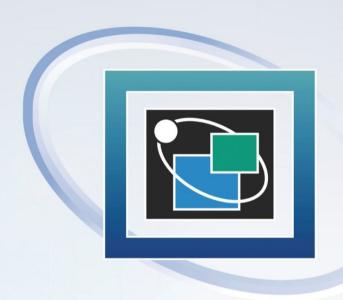
Государственный научный центр Российской Федерации АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» Санкт-Петербург

4-6 октября 2022 г.

# 15 МУЛЬТИКОНФЕРЕНЦИЯ ПО ПРОБЛЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ (15 МКПУ-2022)



МУЛЬТИКОНФЕРЕНЦИЯ ВКЛЮЧАЕТ В СЕБЯ РЯД КОНФЕРЕНЦИЙ, ОБЪЕДИНЕННЫХ ОДНОЙ ИДЕЕЙ:

ХХХІІІ КОНФЕРЕНЦИЯ ПАМЯТИ ВЫДАЮЩЕГОСЯ КОНСТРУКТОРА ГИРОСКОПИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ Н.Н.ОСТРЯКОВА

«МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ» (МТУИП-2022)

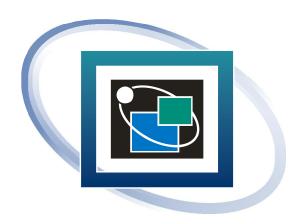
«ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ» (ИТУ-2022)

«УПРАВЛЕНИЕ В АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ИМ. АКАДЕМИКА Е.А.МИКРИНА» (УАКС-2022)

«УПРАВЛЕНИЕ В МОРСКИХ СИСТЕМАХ» (УМС-2022)

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ» (ИТУ-2022)

## 15-я МУЛЬТИКОНФЕРЕНЦИЯ ПО ПРОБЛЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ



4–6 октября 2022 г. ГНЦ РФ АО «КОНЦЕРН «ЦНИИ «ЭЛЕКТРОПРИБОР» Санкт-Петербург

## МУЛЬТИКОНФЕРЕНЦИЯ ВКЛЮЧАЕТ В СЕБЯ РЯД КОНФЕРЕНЦИЙ, ОБЪЕДИНЕННЫХ ОБЩЕЙ ИДЕЕЙ:

- XXXIII конференция памяти выдающегося конструктора гироскопических приборов Н.Н. Острякова
- «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2022)
- «Математическая теория управления и ее приложения» (МТУИП-2022)
- «Управление в аэрокосмических системах» (УАКС-2022) имени академика Е.А. Микрина
- «Управление в морских системах» (УМС-2022)

## Материалы конференции «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ» (ИТУ-2022)

**4–6** ОКТЯБРЯ

Санкт-Петербург 2022 Материалы конференции «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2022). СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2022, 294 с.

В настоящий сборник вошли тексты расширенных рефератов докладов, состоявшихся на конференции «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2022).

Тексты публикуются в авторской редакции.

#### ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

- САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКАЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ГРУППА РОССИЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО КОМИТЕТА ПО АВТОМАТИЧЕСКОМУ УПРАВЛЕНИЮ
- ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РФ АО «КОНЦЕРН «ЦНИИ «ЭЛЕКТРОПРИБОР»
- САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ИНСТИТУТ ИНФОРМАТИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ РАН
- САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «ЛЭТИ» ИМЕНИ В.И.УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)
- УНИВЕРСИТЕТ ИТМО
- САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО
- САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ
- ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАШИНОВЕДЕНИЯ РАН
- ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИМ. В.А.ТРАПЕЗНИКОВА РАН
- ВОЕННЫЙ УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ВМФ «ВОЕННО-МОРСКАЯ АКАДЕМИЯ ИМЕНИ АДМИРАЛА ФЛОТА СОВЕТСКОГО СОЮЗА Н.Г.КУЗНЕЦОВА»
- ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ («ГОСНИИАС»)
- РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ КОРПОРАЦИЯ «ЭНЕРГИЯ» ИМЕНИ С.П.КОРОЛЁВА
- АО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ»

#### ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:

- ОТДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИКИ, МАШИНОСТРОЕНИЯ, МЕХАНИКИ И ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ РАН
- МЕЖДУНАРОДНОЙ ОБЩЕСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ «АКАДЕМИЯ НАВИГАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ»
- ЖУРНАЛА «ГИРОСКОПИЯ И НАВИГАЦИЯ»
- ЖУРНАЛА «ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ И ПРОЦЕССЫ УПРАВЛЕНИЯ»

#### ПРЕДСЕДАТЕЛЬ ПРЕЗИДИУМА

15-Й МУЛЬТИКОНФЕРЕНЦИИ ПО ПРОБЛЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ АО «КОНЦЕРН «ЦНИИ «ЭЛЕКТРОПРИБОР» АКАДЕМИК РАН В.Г.ПЕШЕХОНОВ

#### ХХХІІІ КОНФЕРЕНЦИЯ ПАМЯТИ Н.Н.ОСТРЯКОВА

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА АКАДЕМИК РАН **В.Г. ПЕШЕХОНОВ** 

Заместители председателя программного комитета: член-корреспондент РАН О.А. Степанов к.т.н. А.В. Соколов

#### КОНФЕРЕНЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ» (МТУиП-2022)

СОПРЕДСЕДАТЕЛИ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА: АКАДЕМИК РАН Д.А. НОВИКОВ ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН Н.В. КУЗНЕЦОВ

#### КОНФЕРЕНЦИЯ «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ» (ИТУ-2022)

Сопредседатели программного комитета: член-корреспондент РАН В.Н. Васильев д.т.н., проф. В.Н. Шелудько член-корреспондент РАН Р.М. Юсупов

## КОНФЕРЕНЦИЯ «УПРАВЛЕНИЕ В АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ» (УАКС–2022)

СОПРЕДСЕДАТЕЛИ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА: АКАДЕМИК РАН С.Ю. ЖЕЛТОВ АКАДЕМИК РАН В.А. СОЛОВЬЕВ ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН М.В. СИЛЬНИКОВ

## **КОНФЕРЕНЦИЯ** «УПРАВЛЕНИЕ В МОРСКИХ СИСТЕМАХ» (УМС-2022)

СОПРЕДСЕДАТЕЛИ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА: АКАДЕМИК РАН Е.И. ЯКУШЕНКО АКАДЕМИК РАН С.Н. ВАСИЛЬЕВ ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН А.Ф. ЩЕРБАТЮК

## МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ» (ИТУ-2022)

#### Секция 1

#### ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ

<b>Т. М. Косовская</b> Формулы исчисления предикатов для представления знаний о сложных структурированных объектах	c9
В. П. Иванов Синтез терминального управления динамическими системами на редуцированных моделях	13
В. П. Иванов Синтез терминального управления в антагонистической коалиционной игре на редуцированных моделях	15
<b>Цзюань Чжоу</b> Представление степени совпадения входных строк с общим свойством модальными операторами и в трехзначной логике Лукасевича	17
М. В. Прошутинский Методика снятия характеристик микроэлектромеханического инерциального измерительного модуля из состава автономного малогабаритного подвижного робота	21
<b>О. И. Кутузов, Т. М. Татарникова</b> К прогнозированию сетевого трафика	25
С.А. Державин, А. С. Гейда, И. П. Колосов, В.С. Резанова Майнинг использования информации для функционирования систем	28
А. С. Гейда, И. П. Колосов, И. Р. Борисов, П. В. Наумов Майнинг моделей альтернируемых функционирований системы и прогнозное оценивание их успешности	33
<b>И. А. Приходько, Е. С. Филатова, Д. А. Шильникова</b> Прогнозирование временных рядов на основе метода релевантных векторов	36
Ю.В.Игнатович, М.М.Копычев, В.Матвейчук, А.О.Федоркова, А.Д.Скакун Автоматизированная система фито мониторинга и выращивания растений	40
<b>Н. М. Маркович, М. С. Рыжов</b> Распространение информации в эволюционирующих неоднородных сетях	44
<b>Б. А. Кулик</b> Семантическое моделирование исчисления предикатов первого порядка на основе алгебры множеств	48
В. Б. Мелехин, М. В. Хачумов Виды мышления автономных интеллектуальных мобильных систем и особенности их организации	52
М. В. Цыганков, К. С. Алексеева, М. В. Салогуб, М. В. Федоров Разработка модели преобразователя линейного ускорения на основе конструкции трехосевого микромеханического чувствительного элемента	56
М. В. Салогуб, М. В. Федоров Исследование параметров математической модели микроэлектромеханического преобразователя угловой скорости	60
<b>А. К. Петрова</b> Подход к постановке оптимизационной задачи в системе управления балансом газа на основе взаимосвязи параметров небаланса и его причин	64
3. М. Абдуллаева Использование 1C: ERP систем как инструмент управления и планирования на предприятии	70

#### Секция 2

#### ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АСУ СЛОЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

В. Н. Шелудько, П. В. Соколов, О. А. Андриевский Разработка и исследование системы управления малоэмиссионной камерой сгорания газотурбинного двигателя	74
В. В. Захаров, А. Ю. Баранов Проактивное планирование мониторинга технического состояния мостовых сооружений	78
С. В. Микони Проблемы выбора в процессе развития сложного объекта	81
В. В. Михайлов, Л. А. Колпащиков Об управлении популяцией копытных животных на примере диких северных оленей Таймыра	84
В. А. Зеленцов, И. Ю. Пиманов, С. А. Потрясаев Методы и технологии организации взаимодействия программных компонентов распределенных систем комплексного моделирования сложных объектов	88
В. В. Цехановский, В. Д. Чертовской Специфика процесса планирования в системах управления производством	91
<b>А. А. Мусаев, Д. А. Григорьев</b> Анализ инерционности хаотических процессов через терминальные показатели качества управления	95
А. В. Алексеев Системный анализ и синтетическая квалиметрия объектов морской техники и морской инфраструктуры	99
А. Ю. Кулаков, П. В. Степанов Использование Bluetooth меток с адаптивной логикой для создания систем интерактивной навигации	104
В. Ю. Скобцов Нейросетевая классификация данных телеметрической информации малых космических аппаратов	107
<b>С. А. Потрясаев, Б. В. Соколов, П. В. Степанов, М. М. Стыскин</b> Разработка и внедрение отечественных интеллектуальных наземных транспортно-технологических средств обслуживания самолетов в едином цифровом пространстве аэропорта	112
<b>А. В. Спесивцев, В. В. Захаров, А. И Семенов, В. А. Спесивцев, А. И. Сухопаров</b> Проактивное управление производством кормов из трав	115
А. В. Спесивцев, А. И. Семенов, В. А. Спесивцев, А. И. Сухопаров Нечётко-возможностная модель оценивания совокупного влияния технологических факторов на качественные параметры кормов из трав	118
<ul> <li>И. Т. Кимяев, А. Ю. Баранов</li> <li>Синтез моделей принятия решений при управлении сложными производственными объектами на основе онтологического и нечетко-возможностного подходов</li> </ul>	121
<b>Д. Н. Верзилин, Т. Г. Максимова, И. Б. Соколова</b> Перспективные информационные технологии управления сложными организационными системами: результаты патентного мониторинга	129
М. В. Бакин, С. А. Державин, А. С. Гейда, И. П. Колосов Концептуальные и методологические основы оценивания успешности использования информационных технологий	134
<b>Д. П. Плахотников</b> Методы обработки данных с контроллеров управления предприятий топливно-энергетического комплекса	137

#### Секция 3

## ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ, BIGDATA И НЕЙРОТЕХНОЛОГИИ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ

<b>Д. А. Мурашов</b> Координация процесса балансировки нагрузки на основе мультиагентного подхода	141
А. А. Гусев, А. В. Шевченко, В. М. Никифоров, М. Л. Симаков Выбор и обучение нейронной сети для классификации неисправностей многоканальной системы электропитания постоянного тока	144
Н. Л. Шанарова, М. М. Липкович, А. И. Волошина, А. А. Александров, В. М. Князева Классификация сигналов электроэнцефалограмм человека на определение намерения совершить движение	148
В. А. Галкин, А. В. Макаренко Разработка алгоритма оценивания массы наблюдаемых объектов по их видеоизображениям (на примере сельскохозяйственных животных)	151
<b>А. Н. Кокоулин, А. И. Тур</b> Система оптической сортировки мусора с применением взаимосвязанных нейронных сетей	155
О. Л. Сурнин, П. В. Ситников, А. В. Иващенко, О. К. Головнин, И. Н. Дубинина, Е. А. Додонова Применение цифровой платформы интегрального мониторинга как средства бизнес-аналитики социально-экономического развития региона	158
<b>Л. М. Лукьянова, Н. Ю. Лукьянова, Л. Н. Федорченко</b> Информационная технология системно-целевого анализа рыбохозяйственной деятельности	162
Ш. К. Кадиев, Р. Ш. Хабибулин Поддержка управления при реагировании на чрезвычайные ситуации техногенного характера на основе онтологического подхода и машинного обучения	166
<b>И. И. Журавлев, О. А. Милосердов, А. В. Макаренко</b> Представление изображений в пространстве «форма–текстура» для решения некоторых задач машинного зрения методами глубокого обучения	169
<b>Д. В. Босомыкин, В. К. Сарьян, А. А. Захарова, Р. В. Мещеряков</b> Информационно-управляющая система в условиях угроз чрезвычайных ситуаций и землетрясений	173
<u>Секция 4</u>	
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОЦИОКИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	
И. В. Афанасьева, Ф. А. Новиков, Л. Н. Федорченко Верификация событийно-управляемых программных систем с использованием языка спецификации взаимодействующих автоматных объектов	177
3. К. Авдеева, Е. А. Гребенюк, С. В. Коврига Комбинированный мониторинг разнородной информации для прогнозирования динамики нестационарных процессов	181
А. С. Смирнов, П. А. Харинский, И. А. Качанов Расчет трудоемкости изготовления детали на базе её 3D-модели	186
Ф. В. Логинов Агентная модель возникновения культурных неопределенностей	190
А. Д. Фатин, Е. Ю. Павленко, И. С. Еременко Методы графовой кластеризации в задачах иммунизации киберфизических систем	193
<b>А. М. Минитаева</b> Принятие решений в условиях интервального задания предпочтений лиц, принимающих решений	197

Г. А. Саитова, А. А. Елизарова Разработка интеллектуальной системы анализа данных о результатах испытаний работы турбореактивного двигателя	201
М. В. Яшина, Д. А. Афанасьева, В. О. Ванин Векторный метод видео-распознавания треков транспортных средств для управления перекрестком	204
П. К. Калашников, Р. Л. Барашкин, Д. Н. Жедяевский, Д. Г. Леонов, А. С. Нургуатова, Т. М. Папилина, И. Б. Цехместрук, В. В. Южанин Разработка компьютерного тренажерного комплекса процессов производства малотоннажного сжиженного природного газа	208
Г. Ф. Малыхина, А. И. Гусева, И. В. Образцов, В. Н. Круглеевский Система предупреждения о возгорании на судне, использующая алгоритмы машинного обучения и суперкомпьютерное моделирование	211
<b>С. В. Кулешов, И. О. Шальнев, А. А. Зайцева, А. Ю. Аксенов</b> Коммуникационная инфраструктура на основе активных данных в киберфизических системах	215
<u>Секция 5</u>	
БЕЗОПАСНОСТЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УПРАВЛЕНИИ	
И. В. Котенко, И. Б. Саенко Концепция аналитической обработки больших массивов гетерогенных данных о событиях кибербезопасности в критически важных инфраструктурах	218
А. А. Байбулатов, В. Г. Промыслов О метрике доступности для промышленных систем управления	222
<b>К. Н. Жернова</b> Концептуальная модель человеко-компьютерных интерфейсов, основанных на технологиях виртуальной реальности и сенсорных экранов	226
<b>М. В. Коломеец</b> Методика разметки метрик ботов социальных медиа	230
<ul> <li>И. Б. Паращук, И. В. Котенко</li> <li>Оперативная оценка защищенности информационных и телекоммуникационных ресурсов на основе двухэтапной обработки неопределенных исходных данных</li> </ul>	233
<b>К. Е. Израилов, П. А. Курта</b> Моделирование уязвимостей в интерфейсах транспортной инфраструктуры умного города	237
<b>Л. А. Виткова</b> Оценка угроз в социальных сетях при использовании ботов	241
<b>Л. А. Виткова</b> Анализ профилей в социальных сетях в целях информационной безопасности	244
А. Ю. Солдатова, Д. П. Зегжда, Е. Ю. Павленко Обнаружение мошенничества с мобильной рекламой на основе анализа работы Android-приложений	246
<b>Е. Н. Шкоркина</b> Криптографические наборы протокола аутентификации низкоресурсных устройств в граничной вычислительной архитектуре	250
Е. Б. Александрова, Э. А. Крашенинников, А. В. Ярмак Схема криптографического контроля доступа к данным облачного хранилища на основе изогений эллиптических кривых	
<b>А. А. Штыркина</b> Исследование структурных свойств киберфизических систем	

<b>Т. М. Татарникова, Ф. Бимбетов</b> Модель мониторинга расхода трафика устройством интернета вещей	33
А. О. Исхакова, А. В. Царегородцев Анализ проявлений киберугроз в современной цифровой среде и подходов к их нейтрализации	37
<b>Р. В. Мещеряков, А. Ю. Исхаков, С. Ю. Исхаков</b> Проактивное выявление атак в киберфизических системах	70
<u>КРУГЛЫЙ СТОЛ</u>	
«ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ: СОВРЕМЕННОЕ СОДЕРЖАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ОБУЧЕНИЯ»	
<b>А. М. Полонский, В. М. Космачев, А. Г. Степанов</b> Специфика импортозамещения программного обеспечения в высшей школе	73
<b>Е. Е. Котова</b> Управление образовательным процессом в интегрированной среде: традиции и e-learning	74
А. С. Писарев, Е. Е. Котова, И. А. Писарев Интеллектуальные агенты, имитирующие решение сложных задач	78
<b>Н. Н. Клеванский, В. П. Глазков, В. С. Мавзовин</b> Многокритериальные методы принятия решений в централизованном формировании расписаний28	33
<b>Н. Н. Клеванский, В. П. Глазков, В. С. Мавзовин</b> Интегрированное управление учебным процессом высшего образования28	37
В. И. Будзко, В. И. Меденников, И. В. Соченков  Цифровой инструмент управления научно-образовательными ресурсами в России	91

#### Секция 1

#### ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ

#### Т. М. КОСОВСКАЯ

(Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург)

#### ФОРМУЛЫ ИСЧИСЛЕНИЯ ПРЕДИКАТОВ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ О СЛОЖНЫХ СТРУКТУРИРОВАННЫХ ОБЪЕКТАХ

Описывается подход к решению задач Искусственного Интеллекта, связанных с исследованием сложных структурированных объектов (ССО), основанный на использовании языка исчисления предикатов (ИП). Рассматривается решение следующих задач: описание сложного структурированного объекта, распознавание сложного структурированного объекта; выделение общих свойств объектов; построение логико-предикатных распознающих сетей; вычисление метрики в пространстве описаний объектов; построение нечётких предикатных сетей; построение онтологии.

**Введение.** При решении многих задач искусственного интеллекта используются логические описания исследуемых объектов. При этом, как правило, объект описывается с помощью строки значений бинарных или конечнозначных признаков, характеризующих свойства этого объекта. При этом решение большинства задач при таком описании объектов имеет полиномиальную вычислительную сложность

Для сложных структурированных объектов (ССО), которые являются совокупностью элементов, обладающих заданными свойствами, и находящихся в заданных отношениях (быть может многоместных), такой подход не вполне удобен. В работе изложен подход, основанный на использовании языка исчисления предикатов (ИП). Такой подход был изложен ещё в книге Н. Нильсона [1], однако необходимость использования знаний о предикатных формулах и экспоненциальная вычислительная сложность решения задач с таким описанием, отпугивает многих исследователей. Ниже будет показано, что реальное время решения одной и той же задачи при описаниях в виде строки значений признаков и в виде формулы исчисления предикатов практически совпадает, так как длина соответствующей строки экспоненциальна по сравнению с длиной записи формулы.

В предлагаемом докладе описываются различные задачи, которые могут быть решены при описании ССО средствами языка ИП. Приводятся оценки вычислительной сложности задач. Для некоторых задач сравнивается их вычислительная сложность при разных описаниях объекта.

Описание сложного структурированного объекта. Пусть исследуемый объект  $\omega$  задан множеством своих элементов  $\omega = \{\omega_1, ..., \omega_t\}$ , на котором задан набор предикатов  $p_I$ , ...,  $p_n$ , задающих свойства элементов или отношения между ними. Описанием ССО  $\omega$  называется элементарная конъюнкция всех атомарных формул с предикатами  $p_I$ , ...,  $p_n$ , истинных для  $\omega$  [2]. В дальнейшем описание ССО будем обозначать посредством  $S(\omega)$ .

Отметим, что если только один элемент  $\omega_j$  обладает свойством  $p_i$ , то достаточно записать  $p_i(\omega_j)$ . При описании с помощью бинарной строки необходимо для этого свойства выделить t позиций и только на j-ом месте поставить 1, а на всех остальных местах записать 0. То есть если имеется r свойств, то в описании объекта для записи этих свойств с помощью бинарной строке следует выделить rt позиций, в большинстве из которых будет записан 0.

Если же  $p_i$  – задаёт k-местное отношение, то для него в описании с помощью бинарной строки следует выделить  $t^k$  позиций, в большинстве из которых будет записан 0. Поскольку k может

быть достаточно велики (сравнимо с t), то длина записи бинарной строки может экспоненциально зависеть от длины записи элементарной конъюнкции, задающей описание ССО.

Распознавание сложного структурированного объекта. Под задачей распознавания здесь будет пониматься задача отнесения ССО к тому или иному классу объектов, общие свойства которых заданы с помощью элементарной конъюнкции  $A(\mathbf{x})$ , где  $\mathbf{x}$  – список переменных. Для ССО можно сформулировать 3 задачи распознавания [2]. Задача классификации: Удовлетворяет ли объект  $\omega$  формуле A(x)? Задача идентификации: Найти часть объекта  $\omega$  формуле A(x)? Задача анализа: Найти и идентифицировать все части объекта о, удовлетворяющие формулам  $A_1(x_1), ..., A_K(x_K)$ . Эти задачи могут быть записаны следующими формулами:

$$S(\omega) \Rightarrow \exists \Pi(\omega) A \big( \Pi(\omega) \big)$$

$$S(\omega) \Rightarrow \exists x_{\neq} A(x)$$

$$S(\omega) \Rightarrow \bigvee_{j=1}^{K} \exists x_{\neq} A_{j}(x)$$

$$(1)$$

$$(2)$$

$$(3)$$

$$S(\omega) \Longrightarrow \exists x_{\neq} A(x) \tag{2}$$

$$S(\omega) \Longrightarrow \bigvee_{i=1}^{K} \exists x_{\neq} A_i(x) \tag{3}$$

где  $\Pi(\omega)$  – перестановка элементов из  $\omega$ ,  $\exists x_{\neq}$  означает «существует ли набор различных значений для списка x?».

Задача (1) полиномиально эквивалентна открытой задаче «Изоморфизм графов», т. е. GIполна [3], а задачи (2) и (3) NР-полны [2]. Оценки числа шагов известных алгоритмов экспоненциально зависят от длины записи правых частей формул.

Выделение общих свойств объектов. При различных способах описания ССО понятие общего свойства объектов формализуется существенно разными способами. В частности, при описании объектов с помощью конечнозначных строк общим свойством объектов является общая подстрока их описаний, нахождение которой линейно (на устройствах с прямым доступом) относительно длины строк. При описании ССО на языке ИП в качестве общего свойства объектов не может выступать общая подформула их описаний, т. к. эти подформулы могут иметь существенно разные аргументы. Это привело к введению понятия изоморфизма предикатных формул (изоморфизма элементарных конъюнкций предикатных формул) [4].

Определение. Две элементарные конъюнкции предикатных формул называются изоморфными, если они совпадают с точностью до имён аргументов и порядка следования литералов.

Следует отметить, что задача проверки формул на изоморфизм GI-полна. Если же требуется не только проверить, что переименование аргументов возможно, но и найти соответствующее взаимно-однозначное соответствие, то она GI-трудна [3]. В работе [5] предложен и исследован эвристический полиномиальный по времени алгоритм проверки формул на изоморфизм. В случае отрицательного ответа формулы действительно не изоморфны. Численные эксперименты показали, что в случае положительного ответа для 99,5 % пар формул они изоморфны.

Построение логико-предикатных распознающих сетей. Использование понятия изоморфизма предикатных формул позволило ввести понятие многоуровневого описания классов объектов. В процессе построения такого описания последовательно выделяются общие свойства объектов одного класса и формулы, соответствующие одному общему свойству, заменяются на атомарную формулу с новым предикатом [5].

Решение задачи распознавания сводится к последовательной проверке формул вида (2) с меньшей длиной записи правой части, что существенно уменьшает вычислительную сложность решения задач распознавания.

Но основе многоуровневого описания предложено понятие логико-предикатной распознающей сети, представленной на рис. 1.

Вычисление метрики в пространстве описаний объектов. Использование понятия изоморфизма предикатных формул позволило ввести понятие метрики в пространстве описаний объектов. В [6] в качестве метрики в пространстве описаний ССО предложена следующая формула:  $\rho(\omega^1,\omega^2) = (s^1 - s^{1,2}) + (s^2 - s^{1,2})$ , где  $s^1$  и  $s^2$  – количества литералов в  $\omega^1$  и  $\omega^2$  соответственно,  $s^{1,2}$  – количество литералов в наибольшей формуле, задающей общее свойство  $\omega^1$  и  $\omega^2$ . Недостатком такой метрики является то, что для объектов с длинным описанием и достаточно большой формуле, задающей их общее свойство, расстояние может оказаться таким же, как для объектов с описанием небольшой длины и общим свойством из одного литерала.

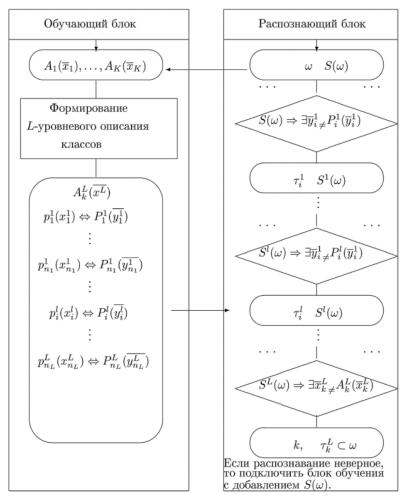


Рис. 1. Схема логико-предикатной распознающей сети

Такая метрика может быть применена при решении задачи кластеризации. Кроме того, с её помощью может быть определена «степень похожести» объектов, определяемая посредством деления  $\rho(\omega^1,\omega^2)$  на  $s^1+s^2$ .

**Построение нечётких предикатных сетей.** Логико-предикатная распознающая сеть правильно распознаёт те, и только те объекты, на которых она была обучена. Введение «степени похожести» между описаниями ССО позволило определить нечёткие предикатные сети, в каждой ячейке которых вычисляется такая «степень похожести». В результате нечёткая предикатная сеть выдаёт «степень уверенности» в том, что объект распознан правильно.

**Построение онтологии.** Для математиков онтология является ориентированным графом, в корневой вершине которого находятся описания объектов. В каждой дочерней вершине находится подмножество описаний отцовской, обладающих некоторым общим свойством.

Выделение общих свойств ССО, основанное на понятии изоморфизма предикатных формул, позволило разработать алгоритм построения онтологии множества ССО [7].

Заключение. В работе изложен подход к исследованию сложных структурированных объектов, описанных с использованием предикатных формул. Указываются отличия при решении задач при таком подходе от подхода, в котором объекты описываются с помощью конечнозначных строк. Сравнивается вычислительная сложность решения рассмотренных задач при разных подходах.

Исследование выполнено в рамках проекта Санкт-Петербургского государственного университета ID 93024916.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Нильсон Н. Искусственный интеллект. Методы поиска решений. М.: Мир, 1973. 279 с.
- 2. **Косовская Т.М.** Доказательства оценок числа шагов решения некоторых задач распознавания образов, имеющих логические описания. *Вестн. С.-Петербург.ун-та. Сер.* 1. 2007. Вып. (4) С. 82–90.
- 3. **Косовская Т.М., Косовский Н.Н.** Полиномиальная эквивалентность задач изоморфизм предикатных формул и изоморфизм графов. *Вестник Санкт-Петербургского университета*. *Математика*. *Механика*. *Астрономия*. 2019. Т. 6 (64). Вып. 3. С. 430–439.
- Kosovskaya T. Isomorphism of Predicate Formulas in Artificial Intelligence Problems. *International Journal "Information Theories and Applications"*. 2019. Vol. 26. № 3. P. 221–230.
- 5. **Косовская Т.М., Петров** Д.А. Выделение наибольшей общей подформулы предикатных формул для решения ряда задач искусственного интеллекта. *Вестник СПбГУ. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления.* 2017. Т. 13. Вып. 3. С. 250–263.
- 6. **Kosovskaya T.** Distance between objects described by predicate formulas. International Book Series. Information Science and Computing. Book 25. Mathematics of Distances and Applications. ITHEA–Publisher, Sofia, 2012. P. 153–159.
- 7. **Kosovskaya T.** Isomorphism of predicate formulas as the base of logic ontology construction. *International Journal "Information Theories and Applications"*. 2020. Vol. 27. № 3. P. 248-254.

### T.M.Kosovskaya (St. Petersburg State University, St. Petersburg). Predicate calculus formulas for representing knowledge on complex structured objects

An approach to solving Artificial Intelligence problems related to the study of complex structured objects, based on the use of the predicate calculus language, is described. The solution of the following problems is considered: description of a complex structured object, recognition of a complex structured object; identification of common properties of objects; construction of logical-predicate recognition networks; calculation of metrics in the description space objects; construction of fuzzy predicate networks; construction of ontology. The differences in solving problems with this approach from the approach in which objects are described using finite-valued strings are indicated. The computational complexity of solving the considered problems with different approaches is compared.

#### В. П. ИВАНОВ

(Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург)

#### СИНТЕЗ ТЕРМИНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ НА РЕДУЦИРОВАННЫХ МОДЕЛЯХ

Доклад посвящен вопросам синтеза терминального управления на редуцированных моделях. Используется сделанный ранее вывод о том, что оптимальные траектории могут быть представлены как огибающие параметрического семейства сингулярных кривых, названных в рамках данного подхода мгновенными решениями, и что управление может быть найдено на этом семействе. Показано, что в общем случае синтезированный закон терминального управления можно построить на соотношениях первого порядка сингулярности, увязанных с мгновенными решениями. Для их построения предложен конструктивный способ условного разделения переменных в уравнении Гамильтона—Якоби. Перебор группировок переменных порождает конечное множество сингулярных редуцированных моделей, описывающих мгновенные решения. Налицо информационный дуализм: для синтеза управления необходима полная (исходная) модель, но для его вычисления в тот или иной момент времени достаточно использовать редуцированную (сокращённую) модель.

Введение. В докладе рассматривается случай, когда динамическая система описывается системой дифференциальных уравнений с нелинейными в общем случае правыми частями, но с линейно входящим управлением. Управление ограничено замкнутым множеством предельно допустимых значений. В качестве терминального критерия оптимальности принята евклидова мера невязок отклонений координат от заданных на момент окончания процесса. Все известные к настоящему времени подходы к решению нелинейной задачи управления (принцип максимума или динамическое программирование и др. [1, 2]) связаны с решением двухточечной краевой задачи, либо с его обходом тем или иным способом. Предлагаемый доклад в этом смысле не является исключением и посвящён различным аспектам применения метода огибающих для оптимизации терминального управления, в частности, в использовании редуцированных моделей.

Основная часть. Как известно, оптимальное терминальное управление и траектории находятся после решения соответствующей краевой задачи. Для нелинейных систем решение её затруднено. Кроме того, на численные методы во многом влияют неизбежные ошибки округления, в ряде случаев не позволяющие получить результат. Для оптимизации управления динамическими системами был разработан подход, основанный на применении метода огибающих [3–5]. В его основу положен тот факт, что фазовая траектория динамической системы является огибающей семейства поверхностей (в частных случаях сингулярных кривых), восставленных из каждой её точки.

Следует отметить, что в каждой конкретной точки фазовой траектории вектор скорости и вектор обобщённого импульса касательны ей, касательны также и сингулярной кривой. Поэтому существует возможность синтеза управления на семействе сингулярных кривых. Параметрические редуцированные модели, описывающие сингулярные кривые, проще исходной математической модели. Сингулярные кривые также должны удовлетворять требованиям минимизации терминального функционала. Такой постулат позволяет обойти явное решение краевой задачи.

В работах [3–5] изложен способ построения сингулярных кривых, названных мгновенными решениями, и представлено доказательство возможности нахождения управления в рамках заданного терминального критерия оптимальности на семействе мгновенных решений как на границе допустимого множества управлений, так и внутри её.

Параметры, определяемые на условиях первого порядка сингулярности особого управления, увязаны с параметрами сингулярных кривых. В общем случае на временном интервале будут существовать участки с предельно допустимым значением управления и участки особого управления [6]. Доказывается, что условия существования особого управления высоких порядков сингулярности можно получить из условия первого порядка.

Обратим внимание на то, что закон управления, вычисляемый на семействе сингулярных кривых, обладает адаптивными свойствами и строится по принципу обратной связи по отношению к параметрам на семействе мгновенных решений. Адаптация осуществляется по вычисляемым в каждый момент времени параметрам на мгновенных решениях и соответствующим производным.

В общем случае оптимальное управление строится на исходной математической модели. Но вот результат его вычисления в тот или иной момент времени может быть получен на редуцированных сингулярных моделях. Таким образом, налицо информационный дуализм задачи оптимального терминального управления [7].

Для оценки эффективности предлагаемого подхода одна и та же задача терминального управления решалась классическим способом, причём двухточечная краевая задача решалась методом последовательных приближений, а также способом с использованием метода огибающих. Сравнение численных решений позволил сделать вывод о том, что метод огибающих даёт семикратное сокращение времени решения краевой задачи при той же точности.

Заключение. Проведённые исследования показали, что применение метода огибающих упрощают синтез управления в дифференциальной игре «преследование—уклонение» и интерпретацию полученных результатов. Указанный подход в дальнейшем можно применить к дифференциальным играм нескольких лиц, к решениям коалиционных, иерархических и кооперативных игр.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Болтянский В.Г. Математические методы оптимального управления. М.: Наука, 1969. 408 с.
- 2. Сейдж Э.П. Уайт Ч.С. Оптимальное управление системами. М.: Радио и связь, 1982. 389 с.
- 3. **Иванов В.П.** Метод синтеза особого оптимального управления для автономных динамических систем. *Вестник Бурятского государственного университета. Математика, информатика.* 2015, №2, С. 62–70.
- 4. **Иванов В.П.** Оптимизация вырожденного управления динамическими системами методом огибающих. *Труды СПИИРАН*. Вып.3. Том 2. СПб, Наука, 2006. С.358-365.
- 5. **Иванов В.П.** Оптимизация управления динамическими системами на границе допустимого множества управлений методом огибающих. *Труды СПИИРАН*. Вып.4. СПб, Наука, 2007. С.270-276.
- 6. Габбасов Р., Кириллова Ф.М. Особое оптимальное управление. М.: Наука, 1973. 253 с.
- 7. **Иванов В.П.** Информационный дуализм задачи оптимального терминального управления динамическим объектом. *Информатизация и связь*, №2, 2021. С.85-90.

V.P.Ivanov (St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg). Synthesis of terminal control of dynamic systems on reduced models

The report is devoted to the synthesis of terminal control on reduced models. The previously made conclusion is used that optimal trajectories can be represented as envelopes of a parametric family of singular curves, called instant solutions within the framework of this approach, and that control can be found on this family. It is shown that, in the general case, the synthesized terminal control law can be constructed on first-order singularity relations linked to instantaneous solutions. For their construction, a constructive method of conditional separation of variables in the Hamilton–Jacobi equation is proposed. Iterating over groupings of variables generates a finite set of singular reduced models describing instantaneous solutions. There is an information dualism: for the synthesis of control, a complete (initial) model is needed, but for its calculation at one time or another, it is sufficient to use a reduced model.

#### В. П. ИВАНОВ

(Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург)

#### СИНТЕЗ ТЕРМИНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ В АНТАГОНИСТИЧЕСКОЙ КОАЛИЦИОННОЙ ИГРЕ НА РЕДУЦИРОВАННЫХ МОДЕЛЯХ

Доклад посвящен вопросам синтеза терминального управления в антагонистической коалиционной игре на редуцированных моделях. Показано, что в общем случае синтезированный закон терминального управления можно определить на соотношениях первого порядка сингулярности, увязанных с сингулярными кривыми — мгновенными решениями. Мгновенные решения описываются соответствующими редуцированными моделями. Налицо информационный дуализм коалиционной игры: для синтеза управления игроков необходима полная (исходная) модель, но для его вычисления в тот или иной момент времени достаточно использовать редуцированную (сокращённую) модель и заменить коалиционную антагонистическую игру в п-мерном пространстве фазовых переменных коалиционной игрой в редуцированном пространстве, что проще.

**Введение.** В докладе рассматривается случай, когда движения игроков каждой коалиции однотипны и описываются системой дифференциальных уравнений с нелинейными в общем случае правыми частями, но с линейно входящим управлением. Управление ограничено замкнутым множеством предельно допустимых значений. В качестве терминального критерия оптимальности принята евклидова мера невязок отклонений координат противоборствующих коалиций на момент окончания процесса. Все известные к настоящему времени подходы к решению нелинейной задачи управления связаны с решением двухточечной краевой задачи. Трудности её решения известны. В предлагаемом докладе для упрощения решения дифференциальных игр применён метод огибающих [1, 2], что позволяет вычислять игровые управления не в исходном, а в редуцированном пространстве фазовых переменных, что проще.

Основная часть. Как известно, оптимальное игровое управление и траектории находятся после решения соответствующей краевой задачи. Для нелинейных систем решение её затруднено. Кроме того, на численные методы во многом влияют неизбежные ошибки округления, в ряде случаев не позволяющие получить результат. Для оптимизации управления нелинейными динамическими системами был разработан подход, основанный на применении метода огибающих [1–4]. В его основу положен тот факт, что фазовая траектория динамической системы является огибающей семейства поверхностей (в частных случаях сингулярных кривых), восставленных из каждой её точки.

Следует отметить, что в каждой конкретной точки фазовой траектории вектор скорости и вектор обобщённого импульса касательны ей, касательны также и сингулярной кривой. Поэтому существует возможность синтеза управления на семействе сингулярных кривых. Параметрические редуцированные модели, описывающие сингулярные кривые, проще исходной математической модели. Сингулярные кривые также должны удовлетворять требованиям минимизации терминального функционала. Такой постулат позволяет обойти явного решения краевой задачи.

В работах [1–4] изложен способ построения сингулярных кривых, названных мгновенными решениями, и представлено доказательство возможности нахождения управления в рамках заданного терминального критерия оптимальности на семействе мгновенных решений как на границе допустимого множества управлений, так и внутри её.

Обратим внимание на то, что закон управления, вычисляемый на семействе сингулярных кривых, обладает адаптивными свойствами и строится по принципу обратной связи по отношению к параметрам на семействе мгновенных решений. Адаптация осуществляется по вычисляемым в каждый момент времени параметрам на мгновенных решениях и соответствующим производным.

В общем случае оптимальное управление строится на исходной математической модели. Но вот результат его вычисления в тот или иной момент времени может быть получен на редуцированных сингулярных моделях. Таким образом, налицо информационный дуализм задачи оптимального терминального управления [3, 4].

Применим указанный подход к решению антагонистической дифференциальной игры двух лиц. Можно показать, что её сингулярным решением (сингулярной кривой) является примитивная задача «преследование-уклонение» [4]. Управление, полученное на этой примитивной игре, пересчитывается в управление реальных объектов. Соответственно, синтезируются и фазовые траектории.

Приложим этот метод к дифференциальной игре двух коалиций. В качестве базового — используем подход, изложенный в [5]. Доказывается, что в таком случае задача расщепляется на парные примитивные игры «преследование-уклонение». Переходя к коалиции, мы получаем оценки цены игры для заданного конечного момента времени. Из множества цен игры выбираем вариант с минимальной ценой для одной коалиции или максимальной для другой. Такие варианты не обязательно могут быть единственными. Для практического применения, если не наложены дополнительные условия, выбираем любой из них.

**Заключение.** Проведённые исследования показали, что применение метода огибающих к коалиционным играм приводит их к рассмотрению игровых задач в классе сингулярных моделей. Такой метод упрощают синтез управления и интерпретацию полученных результатов. Указанный подход в дальнейшем можно применить к другим классам дифференциальных игр.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Иванов В.П.** Оптимизация вырожденного управления динамическими системами методом огибающих. *Труды СПИИРАН*. Вып.3. Том 2. СПб, Наука, 2006. С. 358-365.
- 2. **Иванов В.П.** Оптимизация управления динамическими системами на границе допустимого множества управлений методом огибающих. *Труды СПИИРАН*. Вып.4. СПб, Наука, 2007. С. 270-276.
- 3. **Иванов В.П.** Информационный дуализм задачи оптимального терминального управления динамическим объектом. *Информатизация и связь*, №2, 2021. С. 85-90.
- 4. **Иванов В.П.** Информационный дуализм в нелинейной дифференциальной игре «преследование-уклонение». *Информация и связь*. №5. 2021. С. 111-116.
- 5. **Вайсборд Э.М., Жуковский В.И**. Введение в дифференциальные игры нескольких лиц и их приложения. М.: Советское радио, 1980. 304 с.

V.P.Ivanov (St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg). Synthesis of terminal control in an antagonistic coalition game on reduced models

The report is devoted to the synthesis of terminal control in the antagonistic coalition game on reduced models. It is shown that in the general case, the synthesized terminal control law can be determined on the first-order singularity relations associated with singular curves - instantaneous solutions. Instantaneous solutions are described by corresponding reduced models. There is an information dualism of the coalition game: for the synthesis of player control, a complete (initial) model is needed, but to calculate it at one time or another, it is enough to use a reduced (reduced) model and replace the coalition antagonistic game in the dimensional space of phase variables with a coalition game in a reduced space, which is simpler.

#### ЦЗЮАНЬ ЧЖОУ

(Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Ланчжоуский профессионально-технический колледж, Китай)

## ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СТЕПЕНИ СОВПАДЕНИЯ ВХОДНЫХ СТРОК С ОБЩИМ СВОЙСТВОМ МОДАЛЬНЫМИ ОПЕРАТОРАМИ И В ТРЕХЗНАЧНОЙ ЛОГИКЕ ЛУКАСЕВИЧА

При решении задач искусственного интеллекта с неполной информацией об объекте или в случае, когда объекты с такими описаниями раньше не встречались, встает вопрос о степени совпадения описания этого объекта с ранее исследованными.

Ранее для объектов, описания которых заданы с помощью строки бинарных признаков и отсутствовавших в обучающей выборке, предложено понятие степени совпадения распознаваемого объекта с описанием, гарантирующим попадание объекта в класс.

В настоящей работе предлагается использование модальной логики и трёхзначной логики Лукасевича для решения той же задачи.

**Введение.** При решении задач искусственного интеллекта (ИИ) описание исследуемых объектов часто представлены в виде бинарной или конечнозначной строки. При неполной информации об объекте или в случае, когда объекты с такими описаниями раньше не встречались, встает вопрос о степени совпадения описания этого объекта с ранее исследованными.

В работе [1] для объектов, описания которых заданы с помощью строки бинарных признаков и отсутствовавших в обучающей выборке, предложена модификация нейронной сети, в которой возможно вычисление степени совпадения распознаваемого объекта с описанием, гарантирующим попадание объекта в класс. При этом вводится понятие «степень совпадения» описаний объектов.

В настоящей работе предлагается использование модальной логики и трёхзначной логики Лукасевича для решения той же задачи.

**1. Модальные операторы и значение истинности переменной.** Модальная логика – логическая система, изучающая структуру рассуждений, в состав которых входят модальности (модальные операторы). Будет использоваться трехзначная логика Лукасевича в качестве модели для модальной логики. Формула x имеет значения  $\{0, \frac{1}{2}, 1\}$  в трехзначной логике Лукасевича, где 0 означает "невозможно",  $\frac{1}{2}$  — "неопределенно", 1 — "необходимо".

Модальную логику можно рассматривать как расширение логики первого порядка за счет введения модальностей необходимости ( $\square$ ) и возможности ( $\Diamond$ ). Пусть x — переменная, которая может принимать значение из отрезка [0,1], где 1 соответствует значению *истина*, 0 — значению *ложь*.

Формула  $\Box x$  интерпретируется как "необходимо x", а формула  $\Diamond x$  – как "возможно x". Взаимосвязь между  $\Box$  и  $\Diamond$  выражается формулами:

$$\Box x = \neg \Diamond \neg x \tag{1}$$

$$\Diamond x = \neg \Box \neg x \tag{2}$$

Приведенные соотношения между  $\Box x$ ,  $\Diamond x$  доказаны О. В. Германом [2].

**2.** Общее свойство, максимальное общее свойство объектов и степень совпадения двух описаний. Пусть исследуемый объект описывается с помощью конечнозначной строки, задающей свойства этого объекта.

Определение 1. Общим свойством объектов с описаниями  $\alpha^k = (\alpha_1^k, \cdots, \alpha_n^k)$  и  $\alpha^m = (\alpha_1^m, \cdots, \alpha_n^m)$  называется строка вида  $\alpha^{km} = (\alpha_1^{km}, \cdots, \alpha_n^{km})$ , где если  $\alpha_i^k \neq \alpha_i^m$ , то  $\alpha_i^{km} = *$  и если  $\alpha_i^{km} \neq *$ , то  $\alpha_i^k = \alpha_i^m$  и  $\alpha_i^{km} = \alpha_i^m$ .

**Определение**. Максимальным общим свойством объектов с описаниями  $\alpha^k = (\alpha_1^k, \dots, \alpha_n^k)$  и  $\alpha^m = (\alpha_1^m, \dots, \alpha_n^m)$  называется их общее свойство с максимальным количеством значений отличных от \*.

**Пример**. Пусть  $\alpha^1 = (1,0,0,1,1)$  и  $\alpha^2 = (1,1,0,0,1)$ .

Общие свойства  $\alpha^1$  и  $\alpha^2$ 

$$(1,*,*,*,*)$$
  $(*,*,*,*,1)$   $(1,*,*,*,1)$   $(1,*,0,*,1)$ .

Максимальным общим свойством  $\alpha^1$  и  $\alpha^2$  является (1,\*,0,\*,1).

**Определение**. Степень совпадения  $\deg(x_1, x_2)$  двух описаний  $x_1$  и  $x_2$  называется отношение количества символов отличных от \* в их максимальном общем свойстве к количеству символов в их описаниях.

Например, в предыдущем примере  $deg(\alpha^1, \alpha^2) = \frac{3}{5}$ .

**3. Нечеткие сети.** В работе [1] представлена модель нечеткой нейронной сети, меняющей свою конфигурацию (рис. 1). В висячих вершинах сети находятся описания объектов. В каждой «отцовской» вершине записаны общие свойства «дочерних».

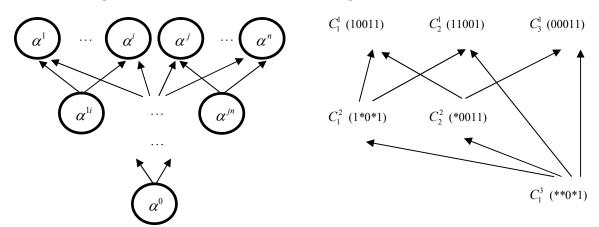


Рис. 1. Модель нечеткой нейронной сети

Рис. 2. Пример сети с обучающей выборкой (10011), (11001) и (00011)

Например, если заданы описания объектов в обучающей выборке (10011), (11001) и (00011), то сеть представлена на рис. 2, где  $C_1^1, C_2^1, C_3^1, C_1^2, C_2^2, C_1^3$  – ячейки. Для степени совпадения описания объекта x с содержимым ячейки C вместо  $\deg(x,C)$  будем писать  $\deg_C(x)$ .

На рис. 3 представлены степени совпадения входной строки (10001) с общими свойствами объектов, записанных в ячейках.

Например, так как содержимое ячейки  $C_2^2$  равно (\*0011), то  $\deg_{C_2^2}(x) = \frac{3}{4}$ . Для ячейки  $C_1^2$  с содержимым (1\*0\*1)  $\deg_{C_1^1}(x) = 1$ . Для ячейки  $C_1^1$  с содержимым (10011)  $\deg_{C_1^1}(x) = \frac{4}{5}$ .

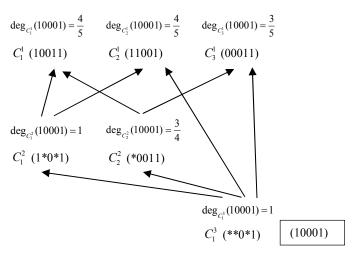


Рис. 3. Распознавание объекта x с описанием (10001), отсутствовавшего в обучающей выборке

**4.** Представление степени совпадения входных строк с общим свойством модальными операторами и в трехзначной логике Лукасевича. В соответствии с написанным выше, в данном контексте, вместо  $\deg_{C_1^1}(x) = \frac{4}{5}$  пишем  $\Diamond C_1^1$  (т.к.  $\frac{4}{5} > \frac{1}{2}$ ), вместо  $\deg_{C_2^1}(x) = \frac{4}{5} - \Diamond C_2^1$  и  $\deg_{C_2^1}(x) = \frac{3}{5} - \Diamond C_3^1$ , то есть, возможно принятие решения (10001) в соответствующей ячейке.

Таким образом, получили степень совпадения входных строк с общим свойством объектов модальными операторами в трехзначной логике Лукасевича (рис. 4).

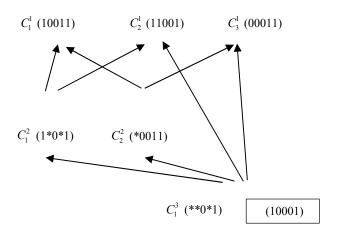


Рис. 4. Представление степени совпадения с помощью модальных операторов

Заключение. На основе работы [1] представлена степень совпадения входных строк с общим свойством объектов модальными операторами в трехзначной логике Лукасевича. Работа может получить развитие для нечетно-значных логик Лукасевича. Также этот подход может быть использован в логико-предикатных сетях [3], используемых для распознавания сложных структурированных объектов, описываемых формулами исчисления предикатов.

Работа проводилась при поддержке стипендии Китая на учебу за рубежом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Косовская Т.М.** О нейронных сетях, меняющих конфигурацию: [презентация: материалы совместного мероприятия СПбГУ и ООО «Техкомпании Хуавэй» в формате онлайн Ореп Day Huawei 2021 (день открытых дверей), 1 декабря 2021 г.

- 2. Герман О.В. Введение в теорию экспертных систем и обработку знаний. Минск: Дизайн ПРО, 1995. 255 с.
- 3. **Kosovskaya Tatiana**. Fuzzy Recognition by Logic-Predicate Network. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*. 2020. Vol. 5. № 4. P. 686-699.

Juan Zhou (St. Petersburg State University, St. Petersburg; Lanzhou vocational technical college, Lanzhou). Representation of the degree of coincidence for input strings with a common property using modal operators and Lukasiewicz's three-valued logic

When solving artificial intelligence problems, the description of the objects under study is often presented as a binary or finite-valued string. If an object's information is incomplete or an object with such a description has been absent before, the degree of coincidence between the descriptions of the object and the previously studied one will be calculated. T.M. Kosovskaya previously suggested a neural network modification for objects, whose descriptions are provided by a string of binary features but are not included in the training sample. The degree of coincidence for a recognized object may be calculated using a description that checks that the object matches to the neural network's class. At the same time, the concept of "degree of coincidence" of object descriptions is introduced. In this paper, modal logic and Lukasiewicz's three-valued logic is used to solve the same problem.

#### М. В. ПРОШУТИНСКИЙ

(АО «Раменское приборостроительное конструкторское бюро», Санкт-Петербург)

## МЕТОДИКА СНЯТИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ИНЕРЦИАЛЬНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО МОДУЛЯ ИЗ СОСТАВА АВТОНОМНОГО МАЛОГАБАРИТНОГО ПОДВИЖНОГО РОБОТА

Приведена методика снятия выходных характеристик с инерциального измерительного модуля, разработанного на базе микроэлектромеханических датчиков. Получены первые экспериментальные данные, содержащие шум, точки выбросов данных и дрейф нуля в зависимости как от времени работы, так и от включения к включению. Результаты исследования представлены в виде статистических данных и графиков выходных характеристик.

**Введение.** В системах управления автономными малогабаритными подвижными роботами используются специальные бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС) с инерциальными измерительными модулями (ИИМ), разработанными на базе микроэлектромеханических (МЭМС) датчиков: гироскопов, акселерометров, магнитометров и барометров.

Среди достоинств БИНС с МЭМС ИИМ стоит отметить:

- полную автономность;
- хорошую помехозащищённость;
- высокую частоту выдачи навигационных данных (до 100 Гц);
- малые массогабаритные характеристики;
- низкую потребляемую мощность источника питания;
- низкую себестоимость.

Однако общим недостатком любых БИНС является сохранение ими требуемой точности навигации лишь в течение ограниченного количества времени вследствие накапливающихся ошибок измерения с помощью инерциальных датчиков.

А работая с МЭМС-технологиями, мы наталкиваемся на фундаментальное физическое противоречие: чем меньше размер и масса первичного датчика, тем больше погрешность измерения вследствие недопустимо большого собственного дрейфа относительно нулевых значений и значительного влияния внешней среды (например, температура, а также линейные и вращательные ускорения движения носителя). При этом уходы накапливаются, возрастают и непредсказуемо изменяются как во времени, так и от включения к включению. В выходных характеристиках МЭМС-датчиков также присутствует высокий уровень шума.

Вследствие чего в настоящее время БИНС с ИИМ на базе МЭМС используются для измерения только очень кратких по времени ускорений и перемещений.

Уменьшение погрешности позволит использовать такие БИНС более длительное время без интеграции с другими системами определения местоположения и без накопления существенных ошибок.

С целью разработки метода снижения погрешности и компенсации уходов показаний МЭМС-датчиков, а также снижения влияния ВВФ для начала необходимо научиться точно определять выходные характеристики МЭМС-датчиков.

Предлагаемый доклад посвящён разработке методики снятия выходных характеристик МЭМС-латчиков.

Также здесь приведено исследование дрейфа нуля и шумового состава выходных сигналов ИИМ путём измерения зависимостей каждого МЭМС-датчика.

**Методика снятия характеристик МЭМС ИИМ.** В рамках полномасштабного эксперимента с целью исследования погрешностей МЭМС ИИМ всего будет поставлено 120 однотипных опытов на экспериментальной установке в стационарном состоянии длительностью 8 часов каждый. То есть по 20 опытов в каждом положении ИИМ, что согласно распределению Стьюдента достаточно для получения экспериментальных данных с доверительным интервалом не хуже 0,95 [1].

Экспериментальная установка. Экспериментальная установка собрана на базе ИИМ «Атрегка Troyka IMU 10 DOF» [2] [3], подключённого к ноутбуку или персональному компьютеру

(ПК) через плату сопряжения «Amperka Troyka Slot Shield» [4] [5] и управляющую плату «Arduino Uno R3» [6].

ИИМ «Amperka Troyka IMU 10 DOF» приведён на рис. 1.

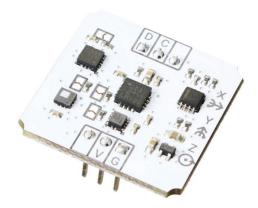


Рис. 1. Troyka IMU 10 DOF

Конструктивно ИИМ «Amperka Troyka IMU 10 DOF» представляет собой аппаратнопрограммный модуль. В его состав входит четыре датчика фирмы «STMicroelectronics»:

- трёхосевой МЭМС-акселерометр LIS331DLH [7];
- трёхосевой МЭМС-гироскоп (датчик угловой скорости) I3G4250D [8];
- трёхосевой МЭМС-магнитометр (магнитный компас) LIS3MDL [9];
- пьезорезистивный датчик давления (барометр) LPS25HB [10].

Приставка «10 DOF» означает, что ИИМ обладает десятью степенями свободы, а именно:

- три ортогональные оси чувствительности акселерометра, позволяющие получить пространственный вектор ускорения, что даёт полную информацию по линейному ускорению в инерциальном пространстве;
- три ортогональные оси чувствительности гироскопа, позволяющие получить пространственный вектор скорости вращения робота относительно собственных осей X, Y и Z.
- три ортогональные оси чувствительности магнитометра, позволяющие получить пространственный вектор напряжённости магнитного поля, что поможет определить направление на Север;
- данные с барометра, позволяющие получить значения атмосферного давления и вычислить высоту над уровнем моря.

При этом в каждой микросхеме имеется встроенный датчик температуры, что позволяет получить более точную информацию о работе датчиков даже в экстремальных условиях.

Также в состав ИИМ входят линейный понижающий регулятор напряжения «NCP698SQ33T1G» [11] производства фирмы «On Semiconductor» и преобразователь логических уровней «PCA9306DCT» [12] производства фирмы «Texas Instruments».

Информационный обмен ИИМ с управляющей электроникой «Arduino» происходит по протоколу  $I^2C$  / TWI, благодаря чему для подключения требуется всего два контакта.

Общий вид всех соединённых устройств с подключением к ноутбуку приведён на рис. 2.



Рис. 2. Экспериментальная установка с подключением к ноутбуку

**Первые полученные результаты экспериментов.** Исследования МЭМС ИИМ проводились в нормальных климатических условиях при комнатной температуре. Статистические данные результатов первых 20 экспериментов, снятых с МЭМС-гироскопа по оси X, представлены в табл. 1.

Таблица 1 Статистические данные результатов первых 20 экспериментов, снятых с МЭМС-гироскопа по оси X

№№ опытов	1	2	2	1	-5	6	7	Q	9	10	1.1	12	13	14	15	16	17	18	19	20
MENE OHPHOR	1	2	3	4	3	U	/	0	9	10	11	12	13	14	13	10	1 /	10	19	20
Мат. ожидание	2,50	2,50	2,75	2,50	2,77	2,79	2,52	2,71	2,70	2,49	2,79	2,74	2,51	2,73	2,52	2,73	2,77	2,50	2,50	2,72
Ср. отклонение	0,14	0,14	0,13	0,15	0,13	0,13	0,14	0,13	0,12	0,14	0,14	0,12	0,14	0,12	0,14	0,12	0,13	0,14	0,14	0,12
Ср. кв. отклонение	0,22	0,18	0,36	0,18	0,63	0,16	0,18	0,17	0,16	0,36	0,18	0,16	0,17	0,16	0,17	0,16	0,16	0,18	0,17	0,44
Дисперсия	0,05	0,03	0,13	0,03	0,39	0,03	0,03	0,03	0,02	0,13	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,19

Графики экспериментальных данных представлены на рис. 3.

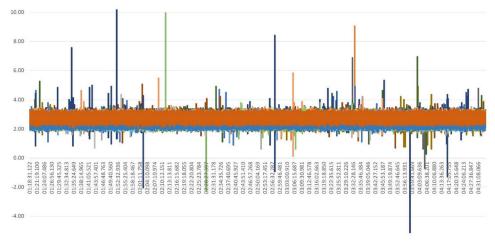


Рис. 3. Результаты первых 20 экспериментов, снятых с МЭМС-гироскопа по оси X

Выводы. В ходе первых полученных результатов эксперимента было установлено, что:

- в выходных данных, снятых с МЭМС-датчиков, присутствует шум, точки выбросов данных и внутренний дрейф относительно нулевого значения;
- судя по статистическим данным результатов и графикам характеристик первых экспериментов, разница показаний гироскопа в течение всех 20 экспериментов незначительна

Следовательно, методика снятия характеристик с ИИМ МЭМС показывает достаточно точные результаты.

Заключение. В рамках исследования была разработана методика точного определения выходных характеристик МЭМС-датчиков, построены графики выходных характеристик МЭМС ИИМ по результатам первых экспериментальных данных, снятых с МЭМС-гироскопа по оси X. Дальнейшей задачей является разработка метода снижения погрешности и компенсации уходов показаний МЭМС-датчиков, а также снижения влияния ВВФ.

Результаты были получены в рамках выполнения работ в соответствии с Дополнительным соглашением от 09.06.2020 № 075-03-2020-045/2 между Минобрнауки и БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова на выполнение государственного задания по теме «Разработка фундаментальных основ создания и управления группировками высокоскоростных беспилотных аппаратов космического и воздушного базирования и группами робототехнических комплексов наземного базирования» (шифр «Роботы — 2024»).

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Бойко А.Ф., Кудеников Е.Ю.** Точный метод расчёта необходимого количества повторных опытов. Белгород: Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016. №8. С. 128-132.
- 2. IMU-сенсор 10-DOF v2: инструкция, схемы и примеры использования. Амперка. <a href="http://wiki.amperka.ru/products:troyka-imu-10-dof-v2">http://wiki.amperka.ru/products:troyka-imu-10-dof-v2</a> (Дата обращения 22.05.2022 г.)
- IMU-сенсор на 10 степеней свободы v1 (Troyka-модуль). Амперка. <a href="https://amperka.ru/product/troyka-imu-10-dof-v1">https://amperka.ru/product/troyka-imu-10-dof-v1</a> (Дата обращения 22.05.2022 г.)
- 4. Troyka Slot Shield v2: инструкция, примеры использования и документация. Амперка. http://wiki.amperka.ru/products:arduino-troyka-slot-shield (Дата обращения 22.05.2022 г.)
- 5. Troyka Slot Shield v2. Амперка. https://amperka.ru/product/arduino-troyka-slot-shield (Дата обращения 22.05.2022 г.)
- 6. Arduino UNO R3. <a href="https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3">https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3</a> (Дата обращения 22.05.2022 г.)
- 7. Datasheet STMicroelectronics LIS331DLH <a href="https://www.st.com/resource/en/datasheet/lis331dlh.pdf">https://www.st.com/resource/en/datasheet/lis331dlh.pdf</a> (Дата обращения 22.05.2022 г.)
- 8. Datasheet STMicroelectronics 13G4250D <a href="https://www.st.com/resource/en/datasheet/i3g4250d.pdf">https://www.st.com/resource/en/datasheet/i3g4250d.pdf</a> (Дата обращения 22.05.2022 г.)
- 9. Datasheet STMicroelectronics LIS3MDL <a href="https://www.st.com/resource/en/datasheet/lis3mdl.pdf">https://www.st.com/resource/en/datasheet/lis3mdl.pdf</a> (Дата обращения 22.05.2022 г.)
- 10. Datasheet STMicroelectronics LPS25HB <a href="https://www.st.com/resource/en/datasheet/lps25hb.pdf">https://www.st.com/resource/en/datasheet/lps25hb.pdf</a> (Дата обращения 22.05.2022 г.)
- 11. Datasheet on Semiconductor NCP698SQ33T1G. <a href="https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/ncp698-d.pdf">https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/ncp698-d.pdf</a> (Дата обращения 22.05.2022 г.)
- 12. Datasheet Texas Instruments PCA9306DCT https://www.ti.com/lit/ds/symlink/pca9306.pdf (Дата обращения 22.05.2022 г.)

M.V.Proshutinsky (JSC «Ramenskoye Instrument Design Bureau», Saint Petersburg). A technique for removing the characteristics of a microelectromechanical inertial measuring module from an autonomous small-sized mobile robot

A technique for removing output characteristics from an inertial measurement module developed on the basis of microelectromechanical sensors is presented. The first experimental data containing noise, data emission points and zero drift depending on both the operating time and on-off are obtained. The results of the study are presented in the form of statistical data and graphs of output characteristics.

#### О. И. КУТУЗОВ, Т. М. ТАТАРНИКОВА

(Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург)

#### К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ СЕТЕВОГО ТРАФИКА

Обсуждается проблема увеличения объемов сетевого трафика, приводящая к возникновению перегрузок каналов передачи данных. Приводятся актуальные модели прогнозирования, их достоинства и недостатки. Показано, что результаты прогноза зависят от качества ретроспективных данных, на которых строится модель прогноза. Рассматриваются основные техники предобработки ретроспективных данных. Реализована компьютерная модель прогноза сетевого трафика — интегрированная модель авторегрессии и скользящего среднего. Ошибка прогноза не превышает 0,04 как для краткосрочного, так и для среднесрочного и долгосрочного периодов.

**Введение.** За последнее десятилетие произошло сильное изменение объемов сетевого трафика. С каждым готом и к интернету присоединяются новые смартфоны, планшеты, устройства интернет вещей. Так же доступность видеохостингов и стриминговых сервисов значительно увеличивает количество передаваемого трафика. По данным сайта datareportal.com число интернет-пользователей увеличивается в среднем на 8,2 % в год. По сравнению с этим, население мира увеличивается в среднем всего на 1,05 % в год [1].

Непрерывный рост трафика приводит к возникновению перегрузки каналов передачи данных. Перегрузки приводят к снижению качества звука и изображения, к увеличению количество потерянных пакетов данных. В связи с этим основной задачей сетевых компаний становится эффективное управление трафиком, приводящее к сбалансированной нагрузке на сеть [2]. Одним из вариантов решения задачи управления трафиком инфокоммуникационных сетей является прогнозная оценка загрузки линий связи. Для прогноза используются статистические данные, которые собираются в процессе эксплуатации коммуникационного оборудования. Модель, способная с заданной точностью прогнозировать трафик как в краткосрочном, так и в долгосрочном промежутке времени позволит заранее выделять необходимые ресурсы для поддержания качества предоставляемых услуг [3].

Анализ существующих моделей прогнозирования. Существует два основных вида моделей прогнозирования: статистические и структурные. Для статистические моделей функциональная зависимость задается аналитически [4]. К таким моделям относятся: регрессионные, авторегрессионные и экспоненциального сглаживания. Структурные модели основаны на зависимости структур. К ним относятся нейронные сети, модели на базе цепей Маркова и деревья принятия решений [5]. В табл. 1 приведены достоинства и недостатки вышеперечисленных моделей прогнозирования.

Модели прогнозирования

Таблица 1

Модель	Достоинства	Недостатки					
Регрессионные	Простота в моделировании и проектировании	Сложность нахождения оптимальных коэффициентов и функциональной зависимости					
Авторегрессионные	Простота в моделировании и анализа	Нельзя моделировать нелинейные процессы					
Экспоненциальное сглаживание	Простота моделирования	Узкая применимость модели					
Нейросетевые	Большое разнообразие архитектур; нелинейность	Сложность в выборе архитектур; размер обучающей выборки; большие временные и ресурсоемкие затраты на обучение					
Цепи Маркова	Единообразие проектирования	Узкая применимость моделей; нельзя моделировать долгосрочные процессы					
Классификационно- регрессионные деревья	Простота обучения модели; возможность масштабирования	Сложность построения алгоритма дерева					

**Оценка качества ретроспективных данных.** Наличие выбросов и искажений является причиной появления ложных закономерностей и тенденций, что приводит к ошибке в прогнозировании. Для исключения таких факторов проверка ретроспективных (накопленных) данных проводится на всех этапах работы с ними.

В табл. 2 приведены существующие уровни качества ретроспективных данных.

Таблица 2 Уровни качества ретроспективных данных

Уровень	Решаемые проблемы	Недостатки					
Технический	• нарушение в структуре данных;	Мешают выполнению консолидации и					
	• некорректное наименование таблиц и полей;	интегрированию данных, применению					
	• некорректные форматы и кодировки;	к ним алгоритмов обработки					
	• нарушение полноты и целостности данных.						
Аналитический	• пропуски;	Снижают достоверность данных и					
	• аномальные значения;	искажают результаты их анализа,					
	• противоречия;	мешают обнаружению закономерно-					
	• дубликаты	стей и тенденций					
Концептуальный	Собранные и консолидированные данные в недо-	Отсутствие или недостаток данных для					
	статочной мере отражают исследуемый процесс	анализа					

Выбросы, пропуски и структурные нарушения можно обнаружить использую табличное представление данных, графики и диаграммы.

Предобработка данных может включать в себя два направления: очистку и оптимизацию.

Очистка данных – процесс, который исключает большинство факторов, которые снижают качество данных и мешающие дальнейшей корректной работе аналитической модели. Данный процесс включает в себя обработку дубликатов, фиктивных значений, выбросов, заполнение пропусков.

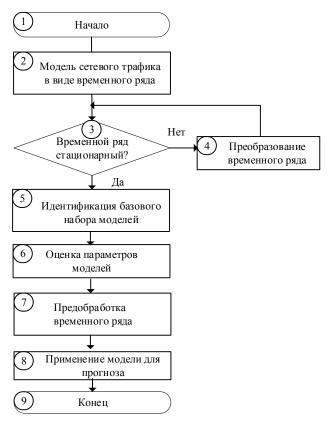
Оптимизация данных обеспечивает снижение размерности, выявление и исключение незначащих признаков, что адаптирует данные для конкретной задачи и повышает эффективность анализа.

Главное отличие очистки и оптимизации данных заключается в том, что очистка исключает факторы, которые существенно снижают точность решения задачи, в отдельных случаях делают работу аналитического алгоритма невозможным.

**Модель ARIMA.** Авторегрессионные модели на данный момент являются лучшим инструментом прогнозирования временных рядов [6]. В работе применяется модель ARIMA(p,d,q) — интегрированная модель авторегрессии и скользящего среднего, где p — порядок авторегрессии, d — порядок интегрированного ряда, q — порядок скользящего среднего. Блок-схема алгоритма ARIMA приведена на рисунке.

В блоках 2—4 рисунка происходит получение стационарного ряда и коэффициента d; блок 5 подразумевает тестирование автокорреляционной функции и частной автокорреляционной функции для получения коэффициентов p и q; в блоке 6 оцениваются параметры модели; в 7 блоке происходит предобработка временного ряда, включая очистку и оптимизацию; блок 8 включает использование модели для прогнозирования [7].

В работе получена ошибка прогноза 0,04, которая остается стабильной и на длинных трассах трафика не меняется при среднесрочном и долгосрочном прогнозах.



Блок-схема модели ARIMA

**Заключение.** Модель ARIMA конкурирует с методами машинного обучения по точности прогноза, но проигрывает по времени отклика – получении результатов прогноза. Это связано с необходимостью применения автокорреляционного анализа для выбора параметров модели ARIMA.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Пойманова Е.Д., Татарникова Т.М., Краева Е.В.** Модель управления хранением трафика данных. *Известия высших учебных заведений. Приборостроение.* 2021. Т. 64. № 5. С. 370-375.
- 2. **Bogatyrev V.A., Bogatyrev S.V., Bogatyrev A.V.** Model and Interaction Efficiency of Computer Nodes Based on Transfer Reservation at Multipath Routing. *2019 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF)*. 2019. P. 8840647. doi: 10.1109/WECONF.2019.8840647
- 3. **Советов Б.Я., Татарникова Т.М., Пойманова Е.Д.** Организация многоуровневого хранения данных. *Информационно-управляющие системы*, 2019, № 2, с. 68–75. doi:10.31799/1684-8853-2019-2-68-75.
- 4. **Татарникова Т.М.** Статистические методы исследования сетевого трафика. *Информационно-управляющие системы*. 2018. № 5 (96). С. 35-43.
- 5. **Tatarnikova T.M., Poymanova E.D.** Differentiated capacity extension method for system of data storage with multilevel structure. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics.* 2020. Vol. 20. No.1. P. 66–73. Doi: 10.17586/2226-1494-2020-20-1-66-73.
- 6. **Татарникова Т.М., Вольский А.В.** Оценка вероятностно-временных характеристик сетевых узлов с дифференциацией трафика. *Информационно-управляющие системы*. 2018. № 3 (94). С. 54-60.
- 7. Lorido-Botran Tania, Miguel-Alonso Jose, Lozano Jose A. A review of auto-scaling techniques for elastic applications in cloud environments. *Journal of grid computing*. 2014. Vol. 12. № 4. P. 559–592.

O.I.Kutuzov, T.M.Tatarnikova (Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", St. Petersburg). Network traffic prediction

The problem of increasing the volume of network traffic, which leads to the occurrence of overloads of data transmission channels, is discussed. Actual forecasting models, their advantages and disadvantages are given. It is shown that the forecast results depend on the quality of retrospective data on which the forecast model is built. The main techniques of pre-processing of retrospective data are considered. A computer model for predicting network traffic is implemented - an integrated model of autoregression and moving average. Forecast error does not exceed 0.04 for both short-term and medium-term and long-term periods.

#### С. А. ДЕРЖАВИН

(Северо-Западный институт управления - Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, Санкт-Петербург)

#### А. С. ГЕЙДА

(Северо-Западный институт управления - Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ; Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург)

#### И. П. КОЛОСОВ. В. С. РЕЗАНОВА

(Северо-Западный институт управления - Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, Санкт-Петербург)

#### МАЙНИНГ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ

Цифровая трансформация экономики и общества вызывает много задач, решаемых практиками и теоретикам при проектировании и использовании информационных технологий. Для успешного решения многих из этих задач требуется исследование результатов использования информационных технологий еще на стадии проектирования систем, в которых эти технологии используются, на математических моделях, описывающих будущее использование информационных технологий при функционировании систем. Однако, прогнозные математические модели, связывающие показатели успешности использования информационных технологий с характеристиками этих технологий и характеристиками функционирования систем пока еще не разработаны в должной мере. Недостаточно подробно описаны концептуальные и методологические основания такого моделирования. Моделирование использования информации связано с построением значительного числа возможных последовательностей причинно-следственных связей информационных и других действий, вызываемых ими цепочек событий и состояний при функционировании. Частично такие цепочки могут быть получены за счет майнинга процессов. Однако, множество всех возможных цепочек может быть получено на этапе проектирования лишь частично, в связи с тем, что такие цепочки могут быть новыми. Для получения множеств возможных цепочек действий, событий и состояний предложено разработать технологии синтеза множеств возможных цепочек действий, событий и состояний. Представленный в докладе материал должен позволить преодолеть имеющееся несоответствие и перейти к построению требуемых моделей цепочек действий, событий и состояний на этапе проектирования.

**Введение.** При реализации цифровой трансформации многих современных систем возникают разнообразные задачи проектирования и совершенствования использования цифровых информационных технологий (ИТ). Так, например, оказывается необходимым соотносить затраты на внедрение цифровых технологий сначала с характеристиками разрабатываемых и внедряемых ИТ, а затем с теми результатами, которые могут быть получены при использовании внедренных ИТ и наконец – с финансовыми результатами, достигаемыми благодаря использованию цифровых ИТ [1, 2, 3].

В ранее опубликованных авторами трудах [4, 5, 6] показано, что для получения математических моделей, позволяющих описать связи характеристик разрабатываемых и используемых ИТ с получаемыми результатами использования в будущей практике необходимо породить возможные последовательности связанных причинно-следственными связями действий, событий и состояний в зависимости от получаемой, создаваемой и используемой информации о функционировании системы и ее среды.

**Модели использования информации для функционирования системы.** Возможные последовательности связанных причинно-следственными связями действий, событий и состояний [7] могут быть структурированы в виде теоретико-графовых моделей разного вида, а затем — функциональных и программных моделей использования информации при функционировании

системы. Они дают далее возможность оценить результаты отдельных реализаций функционирования в изменяющихся условиях при соответствующих реализациях применения ИТ и меры возможности таких реализаций. Это, затем, дает возможность оценить показатели потенциала системы, функционирующей с использованием ИТ, в изменяющихся условиях, и показатели, описывающие изменение энтропии при использовании ИТ – синтропию систем [8]. Эти показатели, оцениваемые в зависимости от условий функционирования и от характеристик используемых ИТ, позволяют далее перейти к функциональным моделям, описывающим связи характеристик разрабатываемых и используемых ИТ с получаемыми результатами использования в будущей практике.

Такие зависимости, в свою очередь, позволяют решать значительное число практических задач, в том числе — задач цифровизации, как математические задачи исследования операций, математического программирования [9].

Основная сложность при таком подходе к решению задач цифровой трансформации состоит в построении необходимых моделей, опирающихся на представление возможных последовательностей причинно-следственных связей между действиями разных видов, информацией об условиях, результатах и реализации действий, событиями в и результате и состояниями. Такие модели могут обладать разными особенностями и их можно порождать разными методами. Рассмотрим особенности предложенных авторами моделей использования информации для функционирования систем, опирающихся на представление в виде цепочек причинноследственных связей.

Особенности моделей использования информации для функционирования систем, опирающихся на представление в виде цепочек причинно-следственных связей. Нами предложены модели, опирающиеся на представления последовательностей причинноследственных связей между действиями разных видов, информацией об условиях, результатах и реализации действий, событиями в их результате и состояниями («цепочки причинноследственных связей»). Такие модели предназначены далее для связывания характеристик информационных технологий и систем, в которых они используются, с показателями, характеризующими разнообразные стороны успешности использования ИТ и для расчета этих показателей в зависимости от характеристик ИТ. При этом важной особенностью указанных моделей является то, что вычисления по этим моделям реализуются в соответствии с закономерностями природных явлений (по причинно-следственным связям), результаты вычислений имитируют результаты реализации того или иного функционирования системы в тех или иных условиях (по тем же причинам, модель обеспечивает подобие функционированию). Кроме того, модель информационной операции подобна информационной операции (и может непосредственно использоваться в системе при функционировании). Наконец, вычисление результатов функционирования задается последовательностью элементов в цепочках модели, а цепочки могут храниться в последовательности вычислений.

Несмотря на то, что модели указанного вида обладают указанными достоинствами, их построение связано с существенными затруднениями, вызванными масштабностью множества возможных цепочек, неопределенностями и случайностями при их формировании, сложностями корректного описания причинно-следственных связей в цепочках так, чтобы можно было достаточно просто перейти к вычислительным моделям.

В связи с этим остро встает вопрос о методах порождения моделей «цепочек» и методах автоматизации их порождения.

**Методы порождения моделей использования информации для функционирования систем.** Рассмотрим ряд основных методов порождения моделей, опирающихся на представления последовательностей причинно-следственных связей между действиями разных видов, информацией об условиях, результатах и реализации действий, событиями в их результате и состояниями (моделями «цепочек»).

1. Метод непосредственного построения модели экспертом. В соответствии с этим методом, цепочки порождаются специалистом по реализации процессов, хорошо знающим особенности моделируемых процессов. Метод трудоемок, однако позволяет описывать все элементы

модели (в том числе информационные) подробно. При этом, однако, могут быть пропущены некоторые реализации цепочек в результате ошибки эксперта.

2. Метод порождения модели по заданным экспертом мета-описаниям (мета-модели) и алгоритмам порождения. В соответствии с этим методом, цепочки порождаются не непосредственно, а путем описания алгоритма их порождения, на основе некоторой мета-модели, описывающей сведения о совокупностях подобных элементов строящихся моделей в более сжатом виде (по отношению к строящейся модели) и алгоритма (правил) порождения модели. Так, например, путем обходов диаграммы, задающей мета-модель в виде графа, описывающего возможные реализации последовательностей причинно-следственных связей, которые могут перечисляться (для порождения модели) при обходе такой мета-модели с соблюдением заданных правил порождения. Метод характеризуется тем, что часть действий может быть автоматизирована. Однако он более сложен в конструировании корректной мета-модели и алгоритма. При его реализации алгоритм, если он корректен, гарантирует перечисление всех возможных цепочек. Описание информационных действий должно быть формализовано, что может вызывать сложности.

Указанные два метода порождения моделей – методы порождения человеком моделей применения информации в деятельности. Их отличие в том, что человеком в разных формах описываются возможные последовательности изменения (альтернирования) деятельности в различных условиях, в зависимости от выполняемых информационных действий. При этом при описании в форме метамодели применение информации и возможности альтернирования необходимо формализовать, что и дает возможность поставить между человеком и моделью вычислительное устройство, на котором может быть выполнена часть действий по моделированию.

- 3. Майнинг процессов. В соответствии с этим методом log-файлы исследуются на предмет выявления цепочек причинно-следственных связей. По ним порождаются реализации цепочек (traces), которые затем следует систематизировать, породив модели процессов. Недостаток метода состоит в том, что в log файлах могут быть только те реализации процессов, которые были наблюдены. Однако это не все возможные реализации. Кроме того, на этапе проектирования никаких log-файлов функционирования проектируемой системы еще нет. Наконец, существующие log-файлы редко содержат сведения о выполненных информационных действиях, необходимые для майнинга использования информации для функционирования систем («майнинга использования информации»).
- 4. Метод обучения по log-файлам алгоритма непосредственного построения моделей на основе порождаемых мета-моделей. Используя как имеющиеся построенные экспертами мета-модели, так и полученные из log-файлов реализации процессов следует уточнить мета-модель использования информации и, на основе log-файлов обучить алгоритм, порождающий возможные цепочки в зависимости от условий. Алгоритм должен порождать корректные (с точки зрения эксперта) модели процессов в виде цепочек реализаций. В этом случае также говорят о майнинге использования информации. И в этом случае необходимо моделировать использование информации в log-файлах.

Указанные два метода порождения моделей – методы порождения моделей применения информации в деятельности из log-файлов. Их отличие в том, что последовательности изменения (альтернирования) деятельности в различных условиях заданы в log-файлах и в моделях использования информации при функционировании систем, построенных людьми. При этом, в настоящее время выстраивание цепочек деятельности в зависимости от выполняемых информационных действий не распространено достаточно широко и, как правило, игнорируется. Описывается только результат. Не практикуется формализация применения информации с использованием мета-моделей.

- 5. Метод обучения мета-модели и алгоритмов порождения. В рамках этого метода мета-модель и алгоритм ее использования для порождения модели создается машиной на основе данных, используемых и человеком, и машиной (в том числе и log-файлов) и аналогично тому, как это делает человек. Предполагается, что структура и характеристики информационных действий не меняются при машинном обучении, информационные действия заданы. Тем не менее, такие алгоритмы нам неизвестны.
- 6. Метод майнинга информационных действий. Метод состоит в обучении моделей информационных действий так, чтобы они реализовывали лучшие из возможных (по соответствию эффектов требованиям в возможных условиях) реакции на изменения системы и ее

среды. При этом в качестве данных используются реализованные информационные действия, модели и мета-модели процессов, описанные экспертами и log-файлы с записями о характеристиках информационных действий.

Указанные два метода порождения моделей – перспективные методы машинного порождения моделей применения информации в деятельности. Модели создаются машиной на основе данных, используемых и человеком, и машиной и аналогично тому, как это делает человек. Их отличие в том, что на основе как моделей, построенных человеком, так и log-файлов применяются алгоритмы создания возможных последовательностей изменения (альтернирования) деятельности, в зависимости от возможных выполняемых информационных действий в различных условиях и от характеристик этих действий. При этом применение информации и возможности альтернирования формализуются для того, чтобы обеспечить их формирование разрабатываемым алгоритмом на основе уже имеющихся моделей (машинное обучение созданию моделей использования информации для деятельности).

7. Комплексные методы. Такие методы представляют собой систему методов 1–6, сформированную таким образом, чтобы с ее использованием могли создаваться требуемые модели использования информации для функционирования систем.

Заключение. Предложены направления построения и совершенствования прогнозных математических моделей, связывающие показатели успешности использования информационных технологий с характеристиками этих технологий и характеристиками функционирования систем. Описаны концептуальные и методологические трудности, связанные с таким моделированием. Показано, что моделирование использования информации связано с построением значительного числа возможных последовательностей причинно-следственных связей информационных и других действий, вызываемых ими цепочек событий и состояний при функционировании. Частично такие цепочки могут быть получены за счет майнинга процессов. Однако, множество всех возможных цепочек может быть получено на этапе проектирования лишь частично, в связи с тем, что такие цепочки могут быть новыми. Для получения множеств возможных цепочек действий, событий и состояний предложено разработать ряд концепций, методов и технологий моделирования множеств возможных цепочек действий, событий и состояний с использованием информационных действий. В докладе показаны основные направления создания таких моделей, в том числе и с использованием машинного обучения. Описано новое направление моделирования использования информации, представляющее собой майнинга информационных действий при функционировании систем и машинное обучение характеристик таких действий по имеющимся сведениям. Представленный в докладе материал должен позволить преодолеть имеющееся несоответствие и перейти к построению требуемых моделей использования информации для функционирования систем.

Работа проводилась при поддержке бюджетной НИР FFZF-2022-0003

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Юсупов Р.М., Мусаев А.А.** Проблема оценивания эффективности информационных технологий. Материалы конференции *«Информационные технологии в управлении (ИТУ-2018)»*. Электроприбор. 2018.
- 2. **Юсупов Р.М., Мусаев А.А.** Особенности оценивания эффективности информационных систем и технологий. *Тр. СПИИРАН.* 51 (2017), с. 5–34.
- 3. **Юсупов Р.М., Мусаев А.А.** К оцениванию эффективности информационных систем. Методологические аспекты. *Информационные технологии*. 2017. Том 23. №5. С. 323–332.
- 4. **Ашимов А.А., Гейда А.С., Лысенко И.В., & Юсупов Р.М.** Эффективность функционирования и другие операционные свойства систем: задачи и метод оценивания. *Труды СПИИРАН*, 5(60), 2018. С. 241–270.
- 5. **Гейда А.С., Гурьева Т.Н., Наумов В.Н.** Концептуальные и математические модели, методы и технологии исследования цифровой трансформации экономических и социальных систем: обзор предметного поля (часть I). *Управленческое консультирование*. 2021. № 11. С. 95–108.
- 6. **Гейда А.С., Гурьева Т.Н., Наумов В.Н.** Концептуальные и математические модели, методы и технологии исследования цифровой трансформации экономических и социальных систем: обзор предметного поля (часть II). *Управленческое консультирование*. 2021. № 12. С. 111–125.
- Reichert M., Weber B. Enabling Flexibility in Process-Aware Information Systems, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012. 511 p.

- 8. **Vyatkin V.** Syntropic criterion for removing restrictions during the COVID-19 pandemic, Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, № 174, 2021, pp. 426-435.
- 9. Гейда А.С. Основы теории потенциала сложных технических систем: монография. М.: РАН, 2021. 408 с.

S.A.Derzhavin, A.S.Geyda, I.P.Kolesov, V.S.Rezanova (The North-West Institute of management – branch of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, St. Petersburg). **Information use mining for system functioning** 

The digital transformation of the economy and society caused many problems in the design and use of information technologies to be solved by practitioners and theorists. To successfully solve many of these problems, it is necessary to study the results of the use of information technologies at the design stage of the systems. Such results of the use of information technologies shall be studies on mathematical models predicting the future use of information technologies in the functioning of systems. However, predictive mathematical models linking indicators of the success of the use of information technologies with the characteristics of these technologies and the characteristics of the functioning of systems have not yet been adequately developed. The conceptual and methodological foundations of such modeling are not described in sufficient detail. Modeling the use of information is associated with the construction of a significant number of possible sequences of cause-and-effect relationships of information and other actions, chains of events and states caused by them during functioning. In part, such chains can be obtained by process mining. However, the set of all possible chains can be obtained by process mining only partially at the design stage, because such chains may be new, not ever recorded ones. To obtain sets of possible chains of actions, events, and states, it is proposed to develop new technologies for synthesizing sets of possible chains of actions, events and states. The research results, presented in the article should make it possible to overcome the existing gap and proceed to the construction of the required models of chains of actions, events and states at the design stage.

#### А. С. ГЕЙДА, И. П. КОЛОСОВ

(Северо-Западный институт управления - Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, Санкт-Петербург)

#### И. Р. БОРИСОВ

(Некоммерческое партнерство «Центр инноваций и высоких технологий «КОНЦЕПТ», Москва)

#### П. В. НАУМОВ

(ПАО «Завод «Буревестник», Ленинградская обл., Гатчина)

#### МАЙНИНГ МОДЕЛЕЙ АЛЬТЕРНИРУЕМЫХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЙ СИСТЕМЫ И ПРОГНОЗНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ИХ УСПЕШНОСТИ

Теоретиками и практиками отмечается ряд недостатков моделей, строящихся на основе существующего методологического аппарата «process mining». В докладе показано, что такое положение во многом связано с отсутствием необходимых сведений в используемых журналах событий. Предложены направления совершенствования строящихся моделей. Доклад посвящен концептуальным аспектам построения моделей альтернируемого функционирования систем и прогнозному оцениванию успешности функционирования систем с учетом их возможного альтернирования. Результаты могут быть использованы для синтеза успешных систем.

Введение. В современных условиях повсеместной цифровизации экономики и общества стало возможно построение моделей функционирования систем разных видов по накапливаемым «большим данным» о результатах процессов. Такие данные (вид «больших данных» о процессах) накапливаются, например, в журналах событий современных информационных подсистем (таких, как ERP, CRM, SRM) при функционировании предприятий. Эти данные уже используются в современной практике для порождения на основе методологического аппарата класса «ргосезя mining» моделей функционирования систем разных видов. Так, строящиеся модели пока еще недостаточно полно отражают возможные альтернирования функционирования. Не моделируются и не учитываются причины такого альтернирования. Не порождаются модели новых, лучших возможных функционирований. В строящихся моделях недостаточно полно отражаются причинно-следственные связи, законы и закономерности, позволяющие предсказывать результаты будущих функционирований [1, 2].

Сведения об альтернировании функционирования, причинах такого альтернирования, переходных процессах для перехода от одного функционирования к другому, требования к процессам, сменяющим исходные, часто содержатся в журналах событий, описывающих события других видов (более высокого уровня, «change logs») или к хранилищам данных, строго говоря, не являющихся журналами событий. Часто такие сведения хранятся в виде слабо структурированных или неструктурированных записей, в том числе в нецифровом виде.

Кроме журналов событий для описания функционирования и его результатов доступны сведения из документации и других разнородных источников разных видов о различных аспектах деятельности в системах (справочники, инструкции, руководства). Эти сведения используются людьми для реализации функционирования, однако не используются в полной мере для построения моделей функционирования систем и часто не оцифрованы. Использование таких сведений для построения моделей, например, методами машинного обучения, может позволить существенно улучшить строящиеся модели функционирования, преодолеть вскрытые недостатки и в перспективе, автоматизировать синтез моделей, в том числе — альтернируемого функционирования, свободных от имеющихся недостатков.

Задача майнинга моделей альтернируемого функционирования систем. Альтернируемое функционирование системы — такое функционирование, при реализации которого возможны смена цели функционирования, смена требований к характеристикам результатов функционирования, изменение условий функционирования и другие изменения среды и системы — такие, что они могут вести к изменению состава, характеристик выполняемых при функционировании действий и связей между ними. Указанные изменения ведут к необходимости получать

и обрабатывать информацию об изменениях. Такая обработка осуществляется с использованием информационных действий (операций). Она необходима для выработки возможных реакций на изменения. Такие реакции, за счет реализации последовательностей причинно-следственных связей, ведут затем к переходу к альтернативному функционированию системы. В результате указанной последовательности действий реализуются причинно-следственные связи, позволяющие получить другие результаты при функционировании, возможно — лучше соответствующие изменившимся условиям.

Использование информации при реализации альтернируемых функционирований систем. Действия в системе разделены на две главные части. Это («материальные») действия – предметно-преобразующие действия, реализуемые для (в целях) получения материальных эффектов и информационные действия — для (в целях) получения информации, требуемой для возможного альтернирования последующих действий.

Действия для получения материальных эффектов — это предметно-преобразующие действия, реализуемые людьми, либо организованные людьми или — под контролем людей каким-либо техническим устройством. Они реализуются для того, чтобы получить материальные результаты, к характеристикам которых людьми предъявлены требования. Будем называть такие результаты эффектами.

Для того, чтобы действия для получения материальных эффектов были реализованы и были получены соответствующие эффекты необходима информация разных видов. Информация необходима в связи с природой человеческой деятельности, которая требует оперирования и/или обмена различными образами отраженной реальности для того, чтобы организовать и осуществить успешную деятельность, выбрав (из возможных) те способы деятельности, которые лучше удовлетворяют требованиям, особенно в изменяющихся условиях.

Для отражения указанных аспектов в моделях альтернируемого функционирования следует явно отражать информационные действия (информационные операции). Цепочки таких информационных действий ведут к изменению функционирования и должны отражаться в моделях для того, чтобы описать причинно-следственные связи, приводящие к альтернированию функционирования и затем – построить модель результатов изменившегося функционирования. В простейшем случае такая модель может представлять собой конструкцию из нескольких OR(XOR) и AND, используемых в языках моделирования бизнес-процессов. Однако при реализации современных методов «process mining» информационные действия не выделяются из остальных действий и, как правило, случаи изменений функционирования не отражаются в моделях должным образом, их причины и последствия не исследуются.

Прогнозное оценивание успешности альтернируемого функционирования. Для альтернируемого функционирования характерна необходимость прогнозного оценивания успешности такого функционирования. Такое оценивание необходимо, в частности, для того, чтобы выбрать лучшие из возможных в будущем действий, в том числе – при альтернировании функционирования в результате изменившихся условий. Для оценивания успешности альтернируемого функционирования по построенным моделям возможно использовать теорию потенциала сложных технических систем [3]. Реализация такого, прогнозного оценивания при альтернировании функционирования должно моделироваться соответствующим информационным действием, результат которого - прогнозы будущих возможных функционирований, которые могут быть использованы для синтеза лучшего альтернируемого функционирования. Однако, для моделирования такого действия недостаточно сведений из файлов журналов событий. Следует использовать либо уже построенные (человеком) модели функционирования для разных случаев альтернирования, основанные на законах, закономерностях формирования результатов действий, либо разработать метод синтеза таких моделей с использованием разнородных, часто слабо структурированных и не оцифрованных данных в виде справочников, инструкций, руководств, описаний, других текстов и даже рукописных данных. Построение и использование таких моделей аналогично тому, как человек строит прогнозные модели деятельности и потому его предложено назвать «activity intelligence».

Заключение. Полученные результаты позволяют перейти к разработке новых моделей и методов класса «process mining», позволяющим устранить имеющиеся несоответствия в рамках этого актуального направления. В результате должно стать возможным корректно описывать

альтернируемые функционирования систем в рамках «process mining», «process science», автоматизировать прогнозное моделирование альтернируемых функционирований, и за счет этого, систематически совершенствовать функционирования систем в условиях изменений.

Работа проводилась при поддержке бюджетной HIIP FFZF-2022-0003.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Dadam P.** et al. Towards Truly Flexible and Adaptive Process-Aware Information Systems. / Kaschek R., Kop C., Steinberger C., Fliedl G. (eds) *Information Systems and e-Business Technologies*. UNISCON 2008. Lecture Notes in Business Information Processing, vol 5. Springer, Berlin, Heidelberg. p.72–83
- Schobel J., Reichert M. Business Process Intelligence Tools. / Grambow, G., Oberhauser, R., Reichert, M. (eds)
   Advances in Intelligent Process-Aware Information Systems. Intelligent Systems Reference Library, vol 123. 2017.
   Springer, Cham. p. 12–48.
- 3. **Гейда А.С.** Основы *теории потенциала* сложных технических систем: монография / А.С. Гейда. М.: РАН, 2021. 408 с.

A.S.Geyda, I.P.Kolesov (The North-West Institute of management – branch of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, St. Petersburg), I.H.Borisov (Non-Profit-Making Partnership "Company for innovations and high technologies "CONCEPT", Moscow), P.V.Naumov (Joint-Stock Company "Factory "Burevestnik", Leningrad region, Gatchina). Mining of alterable system functioning models and predictive evaluation of system capability

Theoreticians and practitioners have reported a few shortcomings of models based on the existing methodology of «process mining». The research shows that this situation is largely due to the lack of necessary information in the event logs used for data. The directions of constructed models improvement are offered. The report is devoted to conceptual aspects of constructing models of the alterable functioning of systems and to predictive estimation of the success of systems, considering their possible alteration. The results can be used for the synthesis of successful systems.

И. А. ПРИХОДЬКО, Е. С. ФИЛАТОВА, Д. А. ШИЛЬНИКОВА (Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург)

#### ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА РЕЛЕВАНТНЫХ ВЕКТОРОВ

Выполнено исследование сравнительной эффективности методов релевантных и опорных векторов для решения задачи регрессии на примере прогноза электропотребления. Для формирования прогностической модели выполнен анализ исследуемого временного ряда: рассмотрен закон распределения, проверена коррелированность данных обучающей выборки. Показана необходимость предварительной обработки обучающей выборки для повышения точности прогноза. В результате исследования подтверждена сравнительная эффективность метода релевантных векторов для решения задачи прогнозирования временных рядов.

**Введение**. Задача прогнозирования временных рядов решена на основе методов опорных и релевантных векторов (support vector machine, SVM, relevance vector machine, RVM).

Сравнительным преимуществом методов является свойство разреженности модели. В методе SVM прогностическая модель формируется на основе опорных векторов, в методе RVM – на основе релевантных векторов.

По сравнению с широко используемыми методами на основе нейросетевых алгоритмов, преимущество метода опорных векторов в том, что параметры регрессионной модели определяются на основе решения задачи квадратичного программирования. Ограничением в применении является неустойчивость по отношению к шуму в исходных данных. [1].

Метод RVM, используя байесовский подход, позволяет получить для задач регрессии полностью вероятностную модель.

Устойчивость к шуму в исходных данных – преимущество метода релевантных векторов [1]. Предлагаемый доклад посвящен исследованию сравнительной эффективности методов SVM и RVM для предсказания предполагаемого электропотребления при наличии шума в исходных данных.

**Основная часть.** Прогностическая модель строится на основе уравнения линейной регрессии. Задачей построения уравнения линейной регрессии является оценка неизвестной вещественной функции

$$y = f(x) + \varepsilon, \tag{1}$$

где для модели на основе метода опорных векторов  $f(x) = \langle w, x \rangle + w_0$ ,  $x \in \mathbb{R}^n$  – вектор переменных временного ряда, вектор  $w = (w, ..., w_n) \in \mathbb{R}^n$  и смещение  $w_0 \in \mathbb{R}$  – весовые коэффициенты,  $\varepsilon$  – допустимая ошибка аппроксимации.

Для модели на основе метода релевантных векторов в (1)  $f(x) = \sum_{i=1}^{m} w_i \, \phi_i(x)$ ,  $\phi_i(x)$  — базисная

функция,  $\varepsilon \sim N(0, \sigma)$  — остатки модели, распределённые по нормальному закону с математическим ожиданием равным нулю и среднеквадратичным отклонением  $\sigma$ .

В применении к решаемой задаче в (1)  $y = P_{t+1}$  – прогнозируемое электропотребление за t+1 день недели.

При использовании метода опорных векторов задача нахождения параметров сводится к задаче квадратичной оптимизации и формулируется в виде минимизации функционала [1]:

$$\min_{w, w_0, \xi, \xi^*} \left[ \frac{1}{2} w^T w + C \sum_{i=1}^{p} (\xi_i + \xi_i^*) \right],$$

при ограничениях

$$y_i - w^T x_i - w_0 \le \varepsilon + \xi_i$$
,  
 $w^T x_i + w_0 - y_i \le \varepsilon + \xi_i^*, \, \xi_i \ge 0, \, \xi_i^* \ge 0, \, i = \overline{1, p}$ 

где параметр C — положительная константа, задающая штраф на ошибку;  $\xi_i > 0$  — набор дополнительных переменных, характеризующих величину ошибки на объектах  $x_i$ ,  $i=1,\ldots,p$ . Штрафное слагаемое в функционале  $\frac{1}{2}\|w\|^2$  вводится согласно принципу регуляризации и означает, что среди всех векторов w, минимизирующих функционал (2), наиболее предпочтительны векторы с минимальной нормой. Второе слагаемое функционала штрафует любые отклонения f(x) от y большие, чем  $\varepsilon$  для всех обучающих данных.

Обычно, при использовании метода SVM, решается двойственная задача, уравнение регрессии (1) выражается через двойственные переменные

$$f(x_i) = \sum_{i=1}^{p} (\alpha_i - \alpha_i^*) K(x_i, x) + w_0,$$

где  $\alpha_i, \alpha_i^*$  – множители Лагранжа,  $K(x_i, x)$  – ядерная функция. Если  $\alpha_i \neq 0, \alpha_i^* \neq 0$ ,  $x_i$  – опорный вектор.

Уравнение (1) для модели на основе метода RVM может быть переписана в виде  $y = \Phi \cdot w + \varepsilon$ ,

где  $\Phi$  – матрица  $n \times m$ , i-й столбец которой образован значениями базисной функции  $\phi_i(x)$  во всех точках тренировочного набора, а  $\varepsilon$  – вектор остатков.

Весовые коэффициенты рассчитываются по формулам (2), (3) [2].

Формула расчета весов для метода наименьших квадратов:

$$w = (\Phi^T \Phi)^{-1} \Phi^T y. \tag{2}$$

Формула расчета весов для максимума апостериорной вероятности:

$$w = (\Phi^T \Phi + \sigma^2 \cdot \psi)^{-1} \Phi^T y, \tag{3}$$

где  $\Psi$  – матрица дисперсии.

Формируется разреженная модель, в которой весам присваивается априорное гауссовское распределение с нулевым математическим ожиданием и различными значениями дисперсии для каждого веса. Разреженность достигается с помощью апостериорной вероятности множества весов, которая стремится к нулю [3].

В рассматриваемом примере обучающая выборка представляет собой почасовые данные электропотребления за рабочие дни декабря 2020 года и января 2021 года<sup>1</sup>. Для выделения основной зависимости, данные были разделены по дням недели (с понедельника по пятницу) с использованием агрегирования средним.

Исследование выполнено в среде Anaconda с применением языка программирования Python.

На основе визуального анализа гистограммы и огибающей частот (характеризующей плотность вероятности) значений электропотребления в течение суток, получено, что закон распределения энергопотребления не соответствует гауссовскому.

Для построения регрессионной модели, опираясь на расчеты коэффициента корреляции Спирмена и соответствующего значения уровня значимости — p-value, получено, что предикторы и предиктанты коррелированны.

Для определения вида регрессии построена зависимость предикторов по месяцам. На основе гистограммы получено, что зависимость предикторов имеет линейный вид, поэтому для решения задачи прогнозирования использована модель линейной регрессии.

Предварительная обработка данных обучающей выборки.

1.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>http://www.atsenergo.ru

Предикторы задаются как агрегированные средние по дню недели данные электропотребления. Предиктанты представляют собой агрегированные средние данные электропотребления с лагом в один день: прогноз на вторник осуществляется на основе данных за понедельник, прогноз на понедельник – основе данных за пятницу.

Для получения прогнозных значений формируется ансамбль регрессионных моделей, каждой модели соответствует пара предиктор — предиктант по соответствующему дню недели, для каждой модели ансамбля рассчитываются метрики с применением предикторов и предиктантов тестового набора.

В работе рассмотрен ансамбль моделей, в качестве примера работы модели на всех рисунках приведен прогноз электропотребления на пятницу.

Для выявления необходимости нормализации данных при обучении RVM моделей выполнен эксперимент, в котором произведено сравнение качества прогноза моделей, обученных с применением нормализованных и ненормализованных данных.

Стационарность остатков модели подтверждена с применением теста Дики-Фулера.

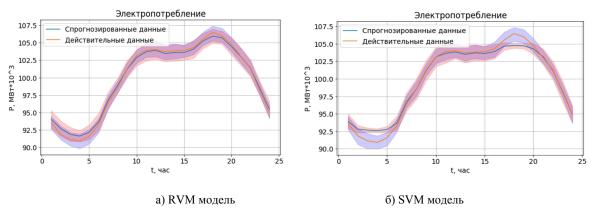
Приведённая средняя ошибка прогнозирования без нормализации данных равна 1.059~%, после нормализации -0.15~%.

Выполнено сравнение результатов прогнозирования для различных ядерных функций: линейной(linear), радиальной базисной (rbf) и сигмоидной (sig).

Приведенные средние ошибки прогнозирования при использовании RVM модели для функций linear, rbf, sig составили, соответственно, 0,15 %, 0.186 %, 0,158 %. В исследованиях в качестве ядерной функции использована линейная функция. Для SVM модели наименьшая приведённая средняя ошибка прогнозирования составила 0.56 % при использовании радиальной базисной функции, которая применялась в сравнительных экспериментах.

Для эксперимента с добавлением аддитивного шума использовался метод моделирования Монте-Карло. Для данного эксперимента к первоначальным данным  $P_t$  прибавлялась случайная выборка чисел с нормальным распределением  $P_{noise}$ :  $P_t + P_{noise}$ ,  $P_{noise} \sim N(0, 1)$ . Полученные зашумленные данные проходили через нормализацию и в дальнейшем строилась регрессия (рисунок).

По полученным спрогнозированным данным высчитывались метрики. Данный эксперимент повторялся 100 раз, каждые новые метрики записывались в массив, затем, из него были высчитаны средние метрики всего массива данных. Этот опыт проводился с целью получить усредненные показания, так как шум — случайная составляющая и может оказаться удачной, в контексте регрессионного анализа или наоборот, неудачной в одной определённой реализации сгенерированного шума. Максимальная амплитуда составляющей аддитивного шума равна 2.65 МВт\*10<sup>3</sup>.



Прогнозирование электропотребления на данных с шумом

Приведённая средняя ошибка прогнозирования для зашумленных данных модели RVM составляет 0.99 %, для модели SVM -1.07 %.

**Заключение.** В результате сравнительного исследования точности прогноза электропотребления подтверждена перспективность использования метода релевантных векторов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Воронцов К.В. Лекции по методу опорных векторов. 2007. Режим доступа: URL: http://machinelearning.ru/.
- 2. Tipping M.E. Sparse Bayesian Learning and the Relevance Vector Machine. *Journal of Machine Learning Research*. 2001. T. 1. P. 211–244.
- 3. Fokoué E., Sun D., Goel P. Fully Bayesian analysis of the relevance vector machine with an extended hierarchical prior structure. *Statistical Methodology*, 2011. vol. 8(1) P. 83–96.

I.A.Prikhodko, E.S.Filatova, D.A.Shilnikova (Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", St. Petersburg). Forecasting of a temporary row on the basis of the relevance vector machine

A study was made to find out a comparative effectiveness of the relevance vector machine and the support vector machine methods for solving the problem of regression on the example of power consumption forecast. To form a predictive model, an analysis of the time series under investigation was performed: the distribution law is considered, the correlation of the data of the training sample is checked. The necessity of the preprocessing of the training sample to improve forecast accuracy is shown. As a result of the study, the effectiveness of the relevance vector machine method for solving the problem of time series forecasting was confirmed.

Ю. В. ИГНАТОВИЧ, М. М. КОПЫЧЕВ, В. МАТВЕЙЧУК, А. О. ФЕДОРКОВА, А. Д. СКАКУН (Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург)

#### АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ФИТО МОНИТОРИНГА И ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ

В данной статье рассматривается задача разработки автоматизированной системы, способной самостоятельно поддерживать требуемые параметры микроклимата в зависимости от вида выращиваемой культуры, выбранной пользователем. Также стоит задача автоматического определения стадии роста выращиваемого растения и контроля состояния здоровья.

Для решения поставленных задач разработана конструкция, выбраны датчики и исполнительные устройства с приемлемыми характеристиками, разработана программная часть, учитывающая также проверку полученных данных на корректность, и проведены испытания разработанной системы.

Введение. С развитием цифровых технологий происходит автоматизация различных процессов во всех областях. Несомненно, аграрная промышленность не исключение. Невозможно выращивать различные культуры круглый год. Более того, не каждый климат подходит для созревания плодов или цветения растений даже в благоприятные сезоны. Ведется поиск решений для организации автоматического выращивания растений. Поэтому разработка автоматизированной системы для управления параметрами микроклимата является достаточно актуальным вопросом [1].

На данный момент созданы различные системы, такие как автоматизированные теплицы, гроубоксы, вертикальные фермы. В их основе лежат системы автоматического управления, которые контролируют процессы в системе с помощью различных датчиков и исполнительных и вычислительных устройств [2]. Для обнаружения изменения в среде внутри теплицы используются датчики – устройства, которые переводят физическое явление в измеряемое аналоговое напряжение или цифровой сигнал, преобразованное в доступную для чтения форму или передаваемое для чтения и дальнейшей обработки [3]. Вычислительные устройства принимают информацию с датчиков, обрабатывают её и передают дальнейшие команды для исполнительных устройств. Но в настоящее время все созданные автоматизированные системы предусматривают поддержание нужных параметров, введенных с помощью оператора, но нет таких решений, которые бы предусматривали автоматическую настройку под выращиваемую культуру и под стадию, на которой находится такая культура, а также автоматически определяли бы состояние растения. Для решения задачи фито мониторинга и контроля за здоровьем растений необходимо разработать систему компьютерного зрения, которая будет идентифицировать отклонения во внешнем виде растений.

В статье изложены принципы разработки автоматизированной системы, способной контролировать требуемые параметры микроклимата в зависимости от вида культуры, выбранной пользователем, и стадии роста, на которой находится выращиваемая культура, а также позволяющей следить за состоянием здоровья посевов.

Разработка системы. Для достижения поставленной цели требовалось решить следующие задачи: выбрать датчики и исполнительные устройства, которые подходят под разрабатываемую систему и удовлетворяют необходимым требованиям; разработать алгоритм для контроля стадии роста выращиваемых культур; определить количество и вид культур, выращиваемых внутри системы; разработать алгоритмы для считывания данных с датчиков, а также для управления исполнительными устройствами; разработать реакцию программы на получение некорректной информации; разработать интерфейс для пользователя для предоставления информации в человекопонятной форме; предусмотреть сохранение данных с датчиков с целью дальнейшего анализа и улучшения условий роста.

**Разработка конструкции и аппаратной части.** Конструкция теплицы представляет собой прямоугольный параллелепипед с отверстиями для циркуляции воздуха. Её размер составляет 100x50x90 см с целью выращивания внутри преимущественно корнеплодных культур. Внутри посевные площади разделены на 3 участка с целью измерения влажности почвы в нескольких



Рис. 1. Конструкция системы

местах, а также возможностью раздельного полива. Собранная конструкция системы представлена на рис. 1.

В проектируемой системе происходит контроль температуры, влажности почвы и освещенности, а также предусмотрено определение стадии роста выращиваемой культуры. Для измерения данных параметров использован полупроводниковый датчик температуры, емкостной датчик влажности почвы, принцип которого основан на изменении диэлектрической проницаемости, а также датчиков освещенности — фоторезисторов, сопротивление которых

способно изменяться в зависимости от освещения, падающего на чувствительный элемент [4]. Датчик каждого вида приобретен в количествах 2–3 штук для возможности более точного получения ланных.

Так как одной из особенностей разрабатываемой системы является контроль стадии роста, необходимо было продумать способ измерения данного параметра. Для этого была использована идея получения информации о стадии по высоте растения. Поэтому был выбран ультразвуковой датчик расстояния, который расположен над выращиваемой культурой и замеряет расстояние до её листвы. Соответственно, чем меньше расстояние, тем больше выросло растение. Всего в программе системы предложено 3 стадии: стадия рассады, стадия роста и стадия созревания. Безусловно, для различных культур рассчитанное расстояние на каждой стадии разное. Данный датчик выбран исходя из ряда подходящих характеристик для разрабатываемой системы, таких как высокая точность; независимость результатов от цвета и солнечных лучей или подсветки; большой диапазон измеряемых расстояний [5].

Для корректировки микроклимата внутри системы требовалось выбрать исполнительные устройства. Для подогрева в случае низкой температуры была использована инфракрасная пленка, способная равномерно распределять тепло и не пересушить почву. Для создания дополнительного освещения в случае нехватки основного света была выбрана светодиодная лента, которая обладает необходимым спектром для активного роста растений и созревания плодов, а также является экономичной с точки зрения энергоэффективности [6]. Если же растению не хватает влаги, в теплице находятся небольшие погружные насосы, перекачивающие воду в почву. Также на каждой стадии предусмотрена подача требуемого количества удобрений. Для этого собрана конструкция дозатора, дозирующая сухие вещества в воду и состоящая из сервопривода и пластиковых деталей, и погружного насоса, подающего воду с удобрениями в почву.

Получение и обработка данных с датчиков, а также управление исполнительными элементами производится с помощью вычислительных устройств. Такими устройствами в проектируемой системе являются устройство ввода-вывода National Instruments USB 6211 и микро-

контроллер Atmega 328p.

Разработка программной части. В разрабатываемом проекте используется программный пакет LabVIEW — Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench. Для микроконтроллера Atmega 328р разработана программа на языке С для сбора информации с подключенных к нему датчиков и передачи управляющих сигналов на исполнительные устройства. Получение данных о параметрах микроклимата с устройства ввода-вывода, а также управление исполнительными элементами, подключенными к данному прибору,



Рис. 2. Структура системы управления

происходит в среде LabVIEW на графическом языке программирования G [7]. Также программа в LabVIEW используется для объединения управления двумя выбранными устройствами и создания

пользовательского интерфейса, в котором есть возможность выбрать культуру для выращивания и наблюдать состояние микроклимата внутри теплицы и стадию роста выращиваемого растения. Структура системы управления представлена на рис. 2.

Так как в системе пользователь выбирает лишь вид культуры, которая будет произрастать, на пользовательском интерфейсе предложен список культур, возможных для выращивания. В программе под каждую культуру заранее прописаны оптимальные параметры микроклимата для каждой стадии и высоты всех предложенных растений на каждой стадии. В разработанной системе на данный момент записаны параметры и предложены на выбор пользователю 4 культуры: редис, свёкла, морковь, салат. Вид интерфейса пользователя представлен на рис. 3.

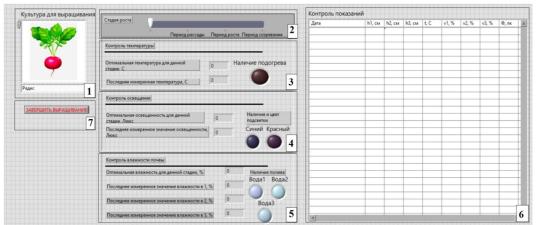


Рис. 3. Пользовательский интерфейс

**Проведение эксперимента.** Для апробации проектируемой системы по части автоматизации было принято решение провести эксперимент по выращиванию одной их предложенных культур, а именно – редиса. Для эксперимента взяты семена раннеспелого сорта, время созревания которых составляет 20–25 дней от начала появления всходов. При благоприятных условиях первые всходы должны взойти на 4–6 день [8].

Параллельно с опытом в теплице был проведен эксперимент выращивания той же культуры в открытом грунте. Первые всходы посевов в теплице были обнаружены уже на 3 день, что является на 1 день раньше заявленного, процент взошедших семян в каждом контейнере составил более 90 %. Также в результате наблюдения было обнаружено, что редис, высаженный в открытом грунте, пророс на пару дней позднее с меньшим количеством проросших семян по сравнению с теплицей.



Рис. 4. Обнаружение болезни растения

**Разработка концепции фито мониторинга.** Система компьютерного зрения состоит из двух компонентов: программного обеспечения и камеры.

Камеры, используемые в техническом зрении, делятся на камеры специального назначения (например, скоростные камеры), тепловизоры (камеры для съемки изображений в инфракрасном

диапазоне волн), камеры машинного зрения (камеры, передающие видео без потерь в качестве).

Для решения задач фито мониторинга были сформулированы технические требования к камере: надёжность, качество сборки, высокая отказоустойчивость; качество изображений; высокая чувствительность сенсора; наличие цифровых линий для подключения внешних устройств [9].

Определение болезней является довольно сложной задачей, так как внешний вид и положение растений, листьев и очагов поражений постоянно меняется. Также на результат может оказывать большое влияние время суток и качество освещения. На рис. 4 можно увидеть обнаружение зараженного листа растения [10].

Также, помимо определения наличия заболевания и идентификации его стадии необходимо локализовать его на изображении. Для определения очага заболевания необходимо решить

задачу детекции объектов (object detection) Она включает в себя нахождение координат ограничивающих рамок и классификации этих ограничивающих рамок из множества заранее известных классов [11].

Для определения непосредственно болезней используется свёрточная нейронная сеть GoogleNet. Для того, чтобы разработать высокоточные классификаторы изображений для диагностики заболеваний растений, необходимо иметь достаточно большой набор данных изображений больных и здоровых растений. Чтобы решить эту проблему, проект Plant Village собрал десятки тысяч изображений здоровых и больных сельскохозяйственных культур [12]. Используя общедоступный набор данных, можно обучить сеть распознавать наиболее часто встречающиеся болезни у распространённых культур.

Заключение. В работе описана система, автоматически управляющая параметрами микроклимата в зависимости от выращиваемой внутри культуры и стадии роста, на которой находится такая культура. В проекте реализованы: разработка конструкции с учётом предложенных для
выращивания растений; выбор датчиков с приемлемыми характеристиками и исполнительных
устройств, позволяющих достичь требуемых показателей микроклимата; разработка программного решения системы, которое получает данные с датчиков, проверяет их на корректность и
затем управляет исполнительными элементами в зависимости от показаний датчиков и стадии
роста. Контроль стадии роста осуществлен с помощью прикрепленных над культурой дальномеров, которые отсчитывают расстояние до листьев. Путем проведения эксперимента доказана
хорошая работоспособность системы по части автоматизации. В дальнейшем планируется
внедрение в лабораторный образец разработок по фито мониторингу и проведение исследований по работоспособности системы в целом.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Что такое датчики и для чего они нужны. [Электронный ресурс]. URL: https://dewesoft.com/ru/daq/what-is-a-sensor (дата обращения: 01.07.2022).
- Greenhouse Climate Control. [Электронный ресурс]. URL: https://drygair.com/blog/greenhouse-climate-control/ (дата обращения: 01.07.2022).
- Greenhouse climate control. [Электронный ресурс]. URL: https://royalbrinkman.com/greenhouse-climate-control (дата обращения: 01.07.2022)
- 4. Датчики освещения. Виды и устройство. [Электронный ресурс] URL: https://electrosam.ru/glavnaja/jelektroobustrojstvo/osveshhenie/datchiki-osveshcheniia/ (дата обращения: 01.07.2022).
- 5. Ультразвуковые дальномеры. Достоинства и недостатки. [Электронный ресурс]. URL: https://mpr-kip.com/a292496-ultrazvukovye-dalnomery-dostoinstva.html (дата обращения: 01.07.2022).
- 6. Светодиодные лампы обещают в корне изменить растениеводство. [Электронный ресурс]. URL: https://www.sb.by/articles/spektr-urozhaynosti.html (дата обращения: 01.07.2022).
- 7. What is LabVIEW? [Электронный ресурс]. URL: https://www.ni.com/ru-ru/shop/labview.html (дата обращения: 01.07.2022)
- 8. **Антипова О.В**. Рекомендации по выращиванию редиса на гидропонных установках УГС4. *Технологии тепличного производства*. 2011, вып. (№) 03. С. 631–544.
- 9. Камеры машинного зрения [Электронный ресурс] https://visionmachines.ru
- Boulent J., Foucher S., Théau1 J., Pierre-Luc St-Charles. Convolutional Neural Networks for the Automatic Identification of Plant Diseases
- 11. Обнаружение объекта [Электронный ресурс] https://www.tensorflow.org/hub/tutorials/object\_detection
- Щетинин Е.Ю. Распознавание заболеваний растений на основе анализа их изображений глубокими нейронными сетями.

Y.V.Ignatovich, M.M.Kopichev, V.Matveichuk, A.O.Fedorkova, A.D.Skakun (Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", Saint Petersburg, Russia). Automated phyto monitoring and plant cultivation system

This paper discusses the task of designing of an automated system that could maintain the required microclimate parameters depending on the type of plant selected by the user. There is also the task of automatically determining the stage of growth of the plant and monitoring it's state of health.

To solve the tasks, it is required to design a prototype of the greenhouse, select sensors and actuators with acceptable characteristics, write a software part that also takes into account checking the received data for correctness, and test the designed system.

Н. М. МАРКОВИЧ, М. С. РЫЖОВ (Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)

#### РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ В ЭВОЛЮЦИОНИРУЮЩИХ НЕОДНОРОДНЫХ СЕТЯХ

Рассматривается задача распространения одного сообщения от одного узла направленной неоднородной сети фиксированному числу узлов этой сети. Для этой цели схемы линейного предпочтительного присоединения узлов, используемые ранее для эволюции сети, используются как метод распространения сообщения и сравниваются с известным алгоритмом SPREAD по скорости распространения сообщения. Показано, что сообщества с наименьшими хвостовыми индексами числа выходящих связей и Пейджранга распространяют информацию быстрее других. Результаты получены эмпирически на модельных и реальных графах.

Введение. Предлагаемый доклад посвящен важной практической задаче распространения информации в случайных неоднородных направленных сетях. Распространение сообщений рассматривалось в ненаправленных сетях в работах [1], [2]. Среди применений можно назвать параллельные вычисления в компьютерных сетях, распространение сообщений в социальных сетях и заражений в популяциях. Выбор лидирующего сообщества сети и сравнение распространения сообщений этим сообществом и другими сообществами рассматривался в [3] на примере однородных геометрических графов. Суть метода SPREAD, предложенного в [1] для полного обмена сообщениями между всеми узлами сети, и в [2] для передачи сообщения части узлов, состоит в следующем. Предполагая, что узлы сети имеют асинхронные часы, сообщение между узлами может передаваться только по сигналу общих часов. Эти тики подаются согласно пуассоновскому процессу. Тогда время, необходимое для передачи сообщения, может быть вычислено, как сумма случайного числа экспоненциально распределенных случайных величин.

С другой стороны, на практике часто наблюдается рост сетей вследствие эволюции, т. е. присоединения новых узлов и их связей к существующим узлам. Эволюция сетей моделируется с помощью предпочтительного присоединения (ПА) нового узла к существующему узлу пропорционально числу его связей, либо путем кластерного присоединения [4]. Эволюция начинается с начального графа, содержащего не менее одного узла. Для направленных сетей (и описывающих их графов) в работе [5] предложены три схемы линейного ПА  $\alpha, \beta, \gamma$ , где вновь создаваемые ребра случайного графа направлены от существующего узла к новому и наоборот, либо эти ребра добавляются между существующими узлами, если новый узел не присоединяется на следующем шаге эволюции.

Доклад содержит результаты работы [6]. Предложено несколько новых подходов.

Во-первых, схемы линейного ПА  $\beta$  и  $\gamma$  предложено использовать для продвижения сообщения от одного узла к фиксированному числу узлов сети. При этом информация может быть передана от узла i, обладающего сообщением, к узлу j только, если между узлами создается направленное ребро от i к j. Эти схемы ПА сравниваются с алгоритмом SPREAD по минимальному числу шагов эволюции, необходимых, чтобы распространить одно сообщение от узла, им обладающего, среди фиксированного числа узлов сети. Изучено влияние выбора начальной сети (подграфа), с которой начинается эволюция, на скорость распространения.

Во-вторых, алгоритм SPREAD, изначально предложенный для ненаправленных графов, адаптирован к направленным. Все результаты получены для неоднородных сетей, где распределения входящих и выходящих связей узлов могут быть различными.

Новые подходы исследуются эмпирически для однородных модельных графов и неоднородных реальных графов из базы данных Берклей—Стенфорд [7] и временных графов [8]. Показано, что сообщества узлов с наименьшими хвостовыми индексами числа выходящих связей и Пейджрангов могут распространять сообщение быстрее. Полученные результаты согласуются с практикой. Показано, что схемы ПА являются лучшими распространителями, чем алгоритм SPREAD, если пропорция вновь созданных связей, направленных от новых узлов, не обладающих сообщением, к существующим узлам мала. Важным результатом является обширное исследование по классификации реальных временных графов (т. е. графов, у которых ребра обра-

зуются в определенные моменты времени) по числу шагов эволюции, необходимых для распространения сообщения среди фиксированного числа узлов сети.

**Основные результаты.** Сравним способность распространять информацию для ПА и алгоритма SPREAD. Пусть число шагов эволюции k ограничено:  $k \le K'$ . Определим число тиков часов, требуемых для доставки сообщения от какого-то узла к n узлам с вероятностью, не меньше, чем  $1-\delta$ , как

$$K^*(n,\delta) = \inf\{0 < k \le K' : P(|S(k) = n| > 1 - \delta) > 1 - \delta\}, \delta \in (0,1),$$

где S(k) — число узлов, получивших сообщение на шаге k . Результаты сравнения алгоритмов ПА и SPREAD показаны на рис. 1 и 2. Параметры ПА  $\alpha$  и  $\gamma$  показывают пропорции вновь создаваемых связей, направленных от нового узла к существующему и наоборот, соответственно, а  $\beta$  — пропорцию новых связей между уже существующими узлами. Из рис. 1 следует, что ПА быстрее распространяет сообщение, если  $\gamma > 0.51$  или  $\beta > 0.6$  . Случай  $\gamma + \beta > 1$  не рассматривался, так как  $\alpha + \beta + \gamma = 1$ .

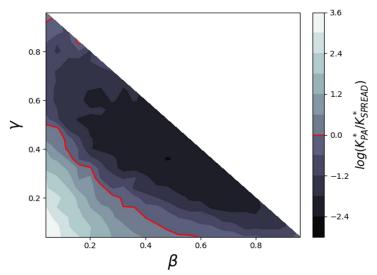


Рис. 1. Зависимость  $\log(K^*_{IIA}/K^*_{SPREAD})$  с минимальным числом шагов  $K^*_{IIA}$  и  $K^*_{SPREAD}$ , необходимых для доставки одного сообщения к 100 узлам, от параметров ПА  $\beta$  и  $\gamma$ . Усреднение проведено по 100 модельным графам. Красная линия указывает случай  $K^*_{IIA} = K^*_{SPREAD}$ , слева от линии  $K^*_{IIA} > K^*_{SPREAD}$ , справа  $K^*_{IIA} < K^*_{SPREAD}$ 

Влияние выбора начальной сети, с которой начинается эволюция, исследовался на реальном графе, представляющем вебстраницы из доменов berkely.edu, stanford.edu [7]. Граф был разбит на сообщества, которые экзаменовались в качестве начальной сети. Выяснилось, что сообщества с наиболее тяжелыми хвостами Пейджрангов и числа выходящих связей быстрее распространяют сообщения, т. е. для них величина  $K^*$  наименьшая.

Эффективность ПА и SPREAD сравнивалась для реальных временных графов, рис. 2. Среди них графы сообщений и комментариев с вебсайтов (sx-mathoverflow, sx-askubuntu, CollegeMsg), графы трансакций биткоинов (soc-sign-bitcoin-otc, soc-sign-bitcoin-alpha) и графы коммуникаций по емайлу (email-Eu, email-Eu-Dept1 and others). Все параметры ПА оценивались методом Snapshot [5]  $(\hat{\alpha}^{SN}, \hat{\beta}^{SN}, \hat{\gamma}^{SN}, \hat{\Delta}^{SN}_{in}, \hat{\Delta}^{SN}_{out})$ . Для всех графов, за исключением графов биткоин, ПА доставляет сообщение быстрее, чем SPREAD, рис. 2 (слева). Для графов биткоин хвостовые индексы выходящих связей меньше единицы,  $\hat{\alpha}_{in} < 1$ , рис. 2 (справа). Это означает, что число выходящих связей имеет бесконечную дисперсию по свойству полиномиального распределения. Это является следствием доминирования  $\alpha$  -схемы ПА, т.е. создания с большей вероятностью новых связей, направленных

от новых узлов без сообщения к старым. В этом случае сообщение не передается, и число узлов, обладающих этим сообщением, не увеличивается на шаге эволюции.

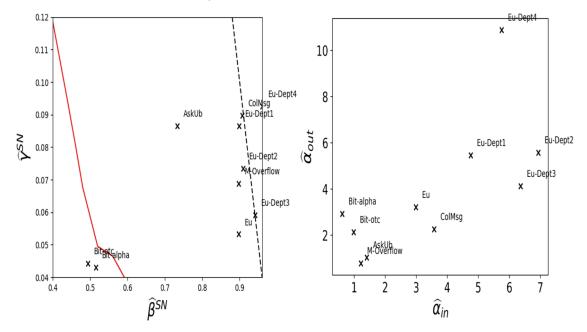


Рис. 2. Минимум  $\log(K^*_{IIA} / K^*_{SPREAD})$  для временных графов, где красная линия указывает случай  $K^*_{IIA} = K^*_{SPREAD}$ , слева от линии  $K^*_{IIA} > K^*_{SPREAD}$ , справа —  $K^*_{IIA} < K^*_{SPREAD}$ , условие выполняется для области слева от пунктирной линии (слева), хвостовые индексы  $\hat{\alpha}_{in}$  и  $\hat{\alpha}_{out}$  для числа входящих и выходящих связей (справа)

Заключение. Новизна работы заключается в применении схем ПА для распространения информации. Алгоритм SPREAD пересмотрен для направленных графов. Оба метода ПА и SPREAD применены к неоднородным графам, которые обычно возникают на практике. Сообщение от одного узла передается фиксированному числу узлов сети. Распространение сообщения исследуется эмпирически на модельных однородных графах и неоднородных реальных временных графах и графе Беркли—Станфорд. Неоднородность означает, что узлы графов могут иметь различные распределения входящих и выходящих связей. ПА и алгоритм SPREAD сравниваются на направленных графах, возможно содержащих селф-циклы и несколько связей между узлами. Эти графы генерируются с помощью эволюции из небольших начальных графов посредством присоединения узлов и ребер по ПА с различными наборами параметров. К полученным графам применялся алгоритм SPREAD и сравнивался с ПА. На этих модельных однородных графах можно заключить, что ПА может быть лучшим распространителем, чем SPREAD, для наборов параметров ПА, где пропорция новых ребер, направленных от новых узлов к старым, мала.

Рассматривая неоднородные реальные графы, было получено, что сообщества узлов с наименьшими хвостовыми индексами для выходящих связей и Пейджрангов могут распространять информацию быстрее, чем узлы других сообществ. Временные графы классифицированы по числу шагов эволюции, необходимых, чтобы доставить сообщение к конечному числу узлов. Для большинства временных графов ПА оказалось лучшим распространителем, чем SPREAD.

Направления дальнейших исследований связаны с использованием кластерных присоединений и их сравнения с ПА.

Работа проводилась при поддержке гранта РНФ 22-21-00177

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Mosk-Aoyama D., Shah D. Computing separable functions via gossip, *Proc. of the 25th ACM symposium on Principles of distributed computing* (PODC '06), ACM, New York, USA. 2006. P. 113–122.

- Censor-Hillel K., Shachnai H. Partial Information Spreading with Application to Distributed Maximum Coverage. Proc. of the 29th ACM symposium on Principles of distributed computing (PODC '10), ACM, New York, USA. 2010. P. 161–170.
- Markovich N.M., Ryzhov M.S. Leader Nodes in Communities for Information Spreading, LNCS 2020. 12563, P. 475– 484
- 4. Bagrow J.-P., Brockmann D. Natural Emergence of Clusters and Bursts in Network Evolution. *Physical Review X*. 2013. P. 021016.
- 5. Wan P., Wang T., Davis R. A., Resnick S.I. Fitting the linear preferential attachment model. *Electron. J. Statist.*, 2017. Vol. 11. №2, P. 3738–3780.
- 6. Markovich N.M., Ryzhov M.S. Information Spreading and Evolution of Non-Homogeneous Networks. *Adv Syst Sci Appl.* (To appear)
- 7. Leskovec J., Lang K., Dasgupta A., Mahoney, M. Community Structure in Large Networks: Natural Cluster Sizes and the Absence of Large Well-Defined Clusters. *Internet Mathematics*. 2009. Vol. 6. №1. P. 29–123.
- 8. Leskovec J., Krevl A. SNAP Datasets: Stanford Large Network Dataset Collection. 2014. http://snap.stanford.edu/data.

N.M.Markovich, M.S.Ryzhov (V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow). Spreading information in evolved heterogeneous networks

The problem of spreading a message from one node of a directed heterogeneous network to a fixed number of nodes of this network is considered. For this purpose, the schemes of linear preferential attachment of nodes used earlier for the evolution of the network are used as a method of message propagation and are compared with the well-known SPREAD algorithm in terms of the speed of message propagation. It is shown that communities with the lowest tail indices of the number of outgoing links (the out-degree) and the PageRank spread information faster than others. The results are obtained empirically on simulated and real graphs.

### Б. А. КУЛИК (Институт проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербург)

## СЕМАНТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСЧИСЛЕНИЯ ПРЕДИКАТОВ ПЕРВОГО ПОРЯДКА НА ОСНОВЕ АЛГЕБРЫ МНОЖЕСТВ

Семантическое моделирование исчисления предикатов первого порядка основано на предложенной Э. Мендельсоном интерпретации, в которой предикатам и формулам со свободными переменными соответствуют п-местные отношения. В эту интерпретацию внесены следующие изменения: разным областям изменения переменных (доменам) соответствуют разные имена (атрибуты); п-местные отношения представлены как объединения декартовых произведений. Установлено, что математической моделью измененной интерпретации является алгебра кортежей, которая изоморфна алгебре множеств. Показаны некоторые позитивные результаты такой интерпретации, перечислены нерешенные проблемы.

Введение. В докладе представлены результаты исследований, с помощью которых намечается подход к решению некоторых задач, сформулированных в Детализированных сведениях Приоритетных направлений фундаментальных и поисковых научных исследований (ПФНИ 2021–2030) в разделе 1.1.1.6. «Математическая логика», а именно, «развитие теории семантического моделирования», «дальнейшая разработка логических формализмов и подходов для работы с естественными языками», «исследования по взаимосвязи синтаксических и семантических свойств в логике».

В качестве математической основы семантического моделирования в классической логике предлагается выбрать алгебру множеств, поскольку в естественных рассуждениях речь идет об отношениях типа «часть – целое», «объекты – свойства» и т. д., которые можно представить как отношения и операции с множествами. Некоторые преимущества такого выбора показаны для исчисления предикатов первого порядка.

В докладе рассмотрены отличия алгебры множеств от аксиоматической теории множеств.

Алгебра множеств и теория множеств. В основе современной логики лежит сформировавшийся на рубеже XIX и XX столетий аксиоматический подход, в котором аксиомы и правила вывода сформулированы в символьных выражениях так, что их трудно интерпретировать. В рамках этого подхода развивалась современная теория множеств, основы которой были заложены исследованиями Г. Кантора, Р. Дедекинда и др. в последней четверти XIX века. Через некоторое время были открыты парадоксы теории множеств (Г. Кантор, Ч. Бурали—Форти и др.), а на рубеже XIX и XX столетий стали завоевывать популярность публикации математиков и философов, заложивших основы современного аксиоматического подхода (Г. Фреге, Ч. С. Пирс, Дж. Пеано, Б. Рассел и др.) [1].

На фоне этих событий начала свое развитие современная логика, в которой термин «множество» оказался под запретом, в силу обнаруженных парадоксов теории множеств. Хотя даже не специалисту в логике понятно, что термин сам по себе не может быть противоречивым — его противоречивость может зависеть от того, как этот термин определили и как его связали с другими терминами теории.

Впоследствии из теории множеств был выделен более простой ее вариант – алгебра множеств, законы которой могут быть обоснованы без аксиом на основе лишь определений операций (дополнение, пересечение, объединение) и отношений (включения и равенства) [2].

Законы алгебры множеств соответствуют законам классической логики, поэтому возможность доказать законы алгебры множеств без аксиом означает, что для классической логики нет необходимости в аксиомах.

Источником противоречий термина «множества» в теории множеств является то, что в этой теории разрешается множеству быть элементом множества. Такое допущение в некоторых разделах математики присутствует и в настоящее время. Споры на эту тему до сих пор не утихли. Но одно, несомненно: в алгебре множеств это допущение можно убрать — законы алгебры множеств от этого не изменятся. Обусловлено это тем, что в алгебре множеств в отли-

чие от теории множеств системообразующим является не отношение принадлежности элемента и множества ( $\in$ ), а отношение включения множеств ( $\subseteq$ ). Поэтому запрет термина «множество» в логике нельзя считать обоснованным.

**Интерпретация исчисления предикатов первого порядка.** Современная математическая логика также развивается в рамках аксиоматического подхода и содержит два основных раздела, предназначенных для дедуктивного анализа: относительно простое *исчисление высказываний* и весьма сложное *исчисление предикатов*.

Хотя имеется немало широко известных публикаций по математической логике, в докладе в основном цитируется наиболее популярная и достаточно ясно изложенная книга на эту тему, а именно 6-е издание книги Э. Мендельсона [3]. На русском языке в 1971 г. было опубликовано 3-е издание этой книги.

Обучение математической логике начинается с двух моделей. Первая модель — это *таблицы истинности* для логических связок  $\neg$  (не),  $\wedge$  (и),  $\vee$  (или),  $\supset$  (если, то). С помощью таких таблиц можно доказывать теоремы исчисления высказываний, но для обоснования теорем исчисления предикатов они малопригодны. Таблицы истинности по сути тоже являются аксиомами, так как в основе многих неклассических логик лежат измененные таблицы истинности логических связок.

Вторая (основная) модель начинается с определения *языка первого порядка* ( $\mathcal{L}$ ), где предусматривается использование определенного алфавита для обозначения *переменных*, *констант* (значений переменных), *функций* и *предикатов*. В языке  $\mathcal{L}$  также используются *погические связки*, в состав которых, помимо  $\neg$ ,  $\wedge$ ,  $\vee$  и  $\supset$ , входят *кванторы*  $\forall$  (для всех) и  $\exists$  (существует). Излагаются правила, с помощью которых формируются правильно построенные формулы (*ппф*).

Язык  $\mathcal{L}$ , в свою очередь, используется для построения *теории первого порядка*  $\mathbf{K}$ , в которой используются  $\mathbf{nn\phi}$  языка  $\mathcal{L}$ , а также *аксиомы* и *правила вывода*, причем аксиомы делятся на два класса: *погические* и *собственные* (или нелогические). Собственные аксиомы служат для построения различных теорий (например, теории групп или формальной арифметики). Если собственных аксиом нет, то теория  $\mathbf{K}$  называется *исчислением предикатов первого порядка*.

В [3] предлагается следующая интерпретация языка первого порядка  $\mathcal{L}$ . В качестве области интерпретации (domain) переменной используется множество D элементов (констант), а для n-местных предикатов и формул со свободными переменными областью интерпретации является n-местное отношение, т. е. подмножество n-местных кортежей элементов из декартова произведения множеств  $D^n$ .

Рассмотрим более подробно, что это означает. Если переменная не находится в области действия какого-либо квантора, то она считается  ${\it csoбodhoй}$ . Например, в формуле  $\forall y(P(x) \land Q(x,y))$  переменная x свободная, в то время как переменная  $y-{\it cshaahhaa}$ . То, что в этой формуле оказывается свободной единственная переменная x, означает, что интерпретацией этой формулы является какое-то подмножество (возможно, пустое) области D. Если бы не было квантора  $\forall y$ , то свободными были бы переменные x и y, а интерпретацией этой формулы было бы некоторое двухместное отношение, т. е. подмножество  $D^2$ .

В рассмотренную выше интерпретацию  $\mathcal L$  были внесены следующие изменения.

**Изменение 1**. Для разных переменных языка  $\mathcal{L}$  предложено использовать не одну какую-то область интерпретации D, а разные области интерпретации. Поэтому, во избежание возможных несогласованностей, было предложено по аналогии с базами данных приписывать к именам интерпретаций формул языка  $\mathcal{L}$  схему отношения, т.е. последовательность имен областей интерпретации переменных, формирующих это отношение. С учетом этого, имена областей интерпретации переменных названы атрибутами, а области интерпретации атрибутов – доменами.

**Изменение 2**. Для многих задач логического анализа более удобно рассматривать n-местное отношение не как множество кортежей элементов, а как объединение декартовых произведений. Поскольку ДП формируется из множеств, то в качестве значений атрибута используются не элементы его домена, а имена или обозначения (например,  $A_2$  или  $\{b,d\}$ ) всех подмножеств домена. Множества с этими именами или обозначениями названы **компонентами** атрибута. Короче: компоненты — это произвольные подмножества домена атрибута.

Алгебра кортежей. Оказалось, что измененную интерпретацию языка  $\mathcal{L}$  можно выразить с помощью алгебры множеств. Но для этого потребовалось разработать и обосновать новую математическую структуру, получившую название *алгебра кортежей* [4]. С алгеброй множеств ее связывает то, что в ней используются те же операции (дополнение, пересечение, объединение), те же отношения (равенства и включения) и те же законы (де Моргана, транзитивности, непротиворечия и т. д.). Отличие только в том, что в ней используются не обычные множества, а структуры, которые можно с помощью вычислений представить множествами *п*местных кортежей элементов (т.е. *п*-местными отношениями). Эти структуры – *декартовы произведения множеств* (ДП) *и их объединения*. Как выяснилось в процессе исследований, они являются интерпретациями основных типов формул математической логики.

Объединение ДП, рассматриваемое как отдельная структура, ранее не исследовалось. Для этой структуры не были известны алгоритмы операций (дополнение, пересечение, объединение), алгоритмы проверок включения одной структуры в другую и т. д. В публикациях содержались только отдельные операции для ДП (их пересечение и разность), а также алгоритм проверки включения одного ДП в другое. Оказалось, что алгоритмы для новой структуры и их обоснования можно существенно упростить, если отказаться от общепринятых обозначений

ДП 
$$(D^n, A \times B \times C, \prod_{i=1}^n D_i$$
 и т. д.). Вместо этого предложено представлять ДП как кортежи ком-

понент, при этом каждая компонента с помощью схемы отношения привязывается к определенному атрибуту. Одна из четырех структур алгебры кортежей – *С- кортежс* – как раз и является подобной записью ДП. Тогда более сложные структуры записываются в виде матриц [4–6].

В широком смысле *интерпретация* — это толкование, объяснение, раскрытие смысла чегонибудь. Предполагается, что интерпретация близка к семантике. В книге [3] во Введении сказано, что в логике «семантические понятия носят теоретико-множественный характер». Доказано, что алгебра кортежей изоморфна алгебре множеств [4]. Поэтому вполне правомерно предположить, что интерпретация исчисления предикатов на основе алгебры множеств является *семантическим моделированием*.

**Нерешенные проблемы.** 1. Задача Steamroller (№ 47 в [10]), которая выражается на языке исчисления предикатов, является иллюстрацией сложности логического вывода. Предполагается, что ее формулировка на языке алгебры кортежей позволит упростить ее решение. Однако до настоящего времени такая формулировка не найдена. Также отсутствует обоснование того, что этого нельзя сделать.

- 2. Не рассмотрена интерпретация и область ее применения для функциональных символов.
- 3. Не исследована возможность замены универсума Эрбрана [11] более простым вариантом на основе алгебры кортежей.
  - 4. Не исследована возможность интерпретации исчисления предикатов высших порядков.
  - 5. Не исследована возможность интерпретации теоремы Геделя о неполноте [3]. Список можно продолжить.

Заключение. Исследования показали, что, помимо логического анализа, алгебру кортежей можно использовать в следующих областях дискретной математики и информационных технологий: 1) реляционные модели; 2) графы и сети; 3) системы искусственного интеллекта (экспертные системы, семантические сети, фреймы, онтологии); 4) логико-вероятностные методы, включая вероятностную логику; 5) дискретные автоматы; 6) задачи удовлетворения ограничений (Constraint Satisfaction Problem – CSP); 7) модели вопросно-ответных систем; 8) при машинной реализации – сокращение трудоемкости алгоритмов решения сложных задач логического анализа за счет специфических свойств АК, а также за счет возможности эффективного распараллеливания алгоритмов [5–7].

С помощью средств математической логики трудно, а порой невозможно применять многие необходимые в естественных рассуждениях методы логического анализа, такие как проверка гипотез, анализ неопределенностей, распознавание и анализ ошибок и некорректностей в рассуждениях, вывод абдуктивных заключений, анализ пресуппозиций и т. д. В то же время эти задачи решаются с помощью алгебры кортежей [5, 6, 8].

С помощью исчисления предикатов можно решать лишь часть задач дедуктивного анализа, т. е. поиск доказательств теорем, в случае если их формулировки известны. Однако задача поиска следствий с заранее заданными свойствами в этой системе не решается. В то же время решение этой задачи стало возможным с помощью алгебры кортежей [6, 9].

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Бурбаки Н. Теория множеств. Книга 1. Основные структуры анализа. М.: Мир, 1965. 456 с.
- 2. **Курант Р., Роббинс Г.** Что такое математика? 3-е изд., испр. и доп. М.: МЦНМО, 2001. 568 с.
- 3. Mendelson, E. Introduction to Mathematical Logic. Boca Raton, London, New York: Taylor & Francis Group, 2015 (6th ed.). 499 pp.
- 4. **Кулик Б.А.** Логический анализ систем на основе алгебраического подхода: дис. докт. физ.-мат.наук / Санкт-Петербург, 2007. 291 с.
- 5. **Кулик Б.А., Зуенко А.А., Фридман А.Я.** Алгебраический подход к интеллектуальной обработке данных и знаний. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. 235 с.
- 6. **Кулик Б.А.** Логика и математика: просто о сложных методах логического анализа. СПб.: Политехника, 2020. 141 с.
- 7. Kulik B., Fridman A. Complicated Methods of Logical Analysis Based on Simple Mathematics. Cambridge Scholars Publishing, 2022. 195 pp.
- 8. **Кулик Б.А.** Исследование противоречий в естественных рассуждениях на примерах метафор и пресуппозиций. *Труды Семнадцатой Национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием.* КИИ-2019 (21–25 октября 2019 г., г. Ульяновск, Россия). Ульяновск: УлГТУ, 2019. Т. 2. С. 192-200.
- 9. **Кулик Б.А.** Вывод следствий с предварительно заданными свойствами. *Системный анализ в проектировании и управлении*. В 3 ч. Ч.2: сб. научных трудов XXV Международной научной и учебно-практической конференции, 13-14 октября 2021 г. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. Часть 2. С. 89-97.
- Pelletier F.J. Seventy-Five Problems for Testing Automatic Theorem Provers. *Journal of Automated Reasoning*, 1986, Vol. 2, P. 191-216.
- 11. Чень Ч., Ли Р. Математическая логика и автоматическое доказательство теорем. М., Наука. 1983. 360 с.

B.A.Kulik (Institute for Problems in Mechanical Engineering of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg). Semantic modeling of first-order predicate calculus based on set algebra

Semantic modeling of first-order predicate calculus is based on an interpretation in which predicates and formulas with free variables correspond to n-place relations. The following changes have been made to this interpretation: i) different names (attributes) correspond to different domains, ii) n-place relations are represented as unions of Cartesian products. The resulting mathematical structure – the n-tuple algebra – is isomorphic to the algebra of sets. Some positive results of such interpretation are shown, unsolved problems are listed.

#### В. Б. МЕЛЕХИН

(Дагестанский государственный технический университет, Махачкала)

#### М. В. ХАЧУМОВ

(Институт программных систем им. А.К. Айламазяна РАН, Переславль-Залесский; Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, Москва)

## ВИДЫ МЫШЛЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ОРГАНИЗАЦИИ

Рассматривается проблема создания автономных интеллектуальных мобильных систем, способных целенаправленно функционировать в сложных условиях. Для решения предлагается синтезировать в интеллектуальном решателе когнитивные инструменты трех типов мышления: наглядно-действенного, наглядно-образного и понятийного. Затрагиваются вопросы организации самообучения, мотивационного поведения и связанного с ним автоматического целеполагания в нестабильных условиях. Для решения мобильной системой сложных задач предлагается использовать специальные модели представления знаний и логики вывода умозаключений.

**Введение.** Одной из актуальных проблем искусственного интеллекта является создание автономных интеллектуальных мобильных систем (АИМС) различного назначения, способных целенаправленно функционировать в сложных априори неопределенных проблемных средах (ПС). Обеспечить АИМС высокими функциональными возможностями предлагается на основе синтеза в интеллектуальном решателе задач когнитивных инструментов следующих взаимосвязанных и дополняющих друг друга типов мышления: наглядно-действенного, нагляднообразного и понятийного или абстрактного мышления [1].

В докладе приводятся общие принципы организации целесообразного поведения АИМС на основе наглядно-действенного мышления и когнитивные инструменты его реализации. Особое внимание уделяется такой слабо исследованной проблеме, как организация мотивационного поведения АИМС и связанного с ним автоматического целеполагания. Рассматриваются основные недостатки решения сложных задач АИМС на основе разработанных в настоящее время процедур поиска решений путем перебора в пространстве состояний и подзадач [2]. Предлагаются и обосновываются пути, позволяющие эффективным образом обойти данные недостатки. При этом автоматическое планирование деятельности АИМС в пространстве состояний организуется на основе когнитивных инструментов наглядно-образного мышления. Основная задача когнитивных инструментов абстрактного мышления сводится к разбиению полученного АИМС задания на связанные между собой этапы его выполнения. Ключевым вопросом предлагаемого доклада является исследование возможности интеграции когнитивных инструментов разных типов мышления для решения сложных полифазных задач.

**Когнитивные инструменты наглядно-действенного мышления.** Инструменты строятся путем формализации и структуризации рефлекторной деятельности и целесообразного поведения высокоразвитых живых систем [3]. Необходимость разработки таких средств мышления обусловлена тем, что на практике часто может возникнуть случай, когда АИМС требуется организовать целесообразное поведение в условиях с высоким уровнем априорной неопределенности текущих условий функционирования. Следовательно, основная функция когнитивных инструментов наглядно-действенного мышления АИМС связана с изучением закономерностей преобразования текущих условий ПС в процессе самообучения. Данный вид мышления позволяет АИМС адаптироваться к априори неописанным ПС на основе автоматического формирования условных программ целесообразной деятельности [4].

Когнитивные инструменты наглядно-действенного мышления используются АИМС, когда возникает необходимость в достижении заданной цели на участке проблемной среды, расположенном в пределах разрешающей способности ее технического зрения. Данные инструменты предназначены для организации следующих видов деятельности АИМС:

- самообучения, которое заключается в изучении закономерностей преобразования текущих условий функционирования по методу проб и ошибок с использованием имитации отработки пробных действий на формальном описании текущей ситуации ПС и инструментов избирательности поступающей информации. В процессе самообучения АИМС автоматически формируют условные программы целесообразной деятельности, позволяющие достичь системе различные цели поведения и переносить накопленный опыт в новые условия ПС, аналогичные ранее изученным условиям;
- условного поведения, связанного с выполнением АИМС ранее сформированных условных программ целесообразной деятельности, приводящих к достижению соответствующих безусловных сигналов (заданных целей) в результате отработки входящих в их структуру действий в ответ на появление в проблемной среде закрепленных в процессе самообучения условных сигналов;
- безусловного поведения, которое сводится к отработке безусловных реакций в ответ на появление в проблемной среде соответствующих им безусловных сигналов, что приводит к достижению заданных АИМС целей, определяемых этими сигналами;
- мотивационной деятельности, характерной особенностью которой является автоматическое целеполагание при попадании АИМС в нестабильные условия проблемной среды и невозможности отработки действий, связанных с достижением подцели поведения. Организация данного вида поведения вызвана необходимостью планирования целенаправленной деятельности АИМС в ответ на возникновение в проблемной среде определенного вида условий, сигнализирующих о наличии в ней событий, препятствующих результативной отработке ранее запланированных действий. Например, при возникновении в проблемной среде опасных для АИМС угроз.

**Когнитивные инструменты наглядно-образного мышления.** Инструменты предназначены для вывода решений в процессе автоматического планирования поведения, связанного с преобразованием текущих недоопределенных условий функционирования на основе информации, поступающей из проблемной среды и знаний, хранящихся в памяти интеллектуальной системы. Необходимость организации такого поведения обусловлена тем, что на практике построить подробную модель ПС, позволяющую АИМС эффективным образом планировать целенаправленное поведение, как правило, не представляется возможным [5].

Процедуры вывода решений, построенные на базе средств наглядно-образного мышления, предусматривают наличие у АИМС модели представления знаний, в которой в обобщенном виде отражаются закономерности преобразования различных ситуаций ПС. Данная модель представления знаний строится безотносительно к конкретной предметной области и условий функционирования, например, в виде заданного множества фрейм-микропрограмм поведения [6], сформированных на основе активных нечетких семантических сетей [7].

Наличие обобщенной модели представления знаний позволяет АИМС, в соответствии с ее назначением и формой представления цели, организовать планирование целенаправленного поведения путем генерации соответствующего дерева вывода решений на основе конкретизации имеющихся у нее сведений и с учетом текущих условий функционирования. Предлагаются и обосновываются следующие пути, позволяющие эффективным образом обойти недостатки алгоритмов решения задач на основе процедур поиска путем перебора:

- построение модели представления знаний в виде заданного множества типовых сценариев на основе фрейм-микропрограмм поведения, позволяющих путем их целенаправленного выбора и комбинирования, а не перебора, автоматически строить план решения сложных задач;
- использование когнитивных инструментов вывода решений, на основе которых планирование осуществляется путем выбора типовых элементов деятельности, отработка которых позволяет выполнить необходимые преобразования текущих условий ПС.

При этом автоматическое планирование деятельности АИМС в пространстве состояний, когда цель поведения определяется в виде желаемой ситуации, организуется на основе когнитивных инструментов наглядно-образного мышления следующим образом. На первом этапе формируется модель описания воспринимаемой в проблемной среде ситуации. Затем в

интеллектуальном решателе устанавливаются все различия между формальным описанием текущей ситуации и заданной в декларативной форме целевой ситуации. Наконец, используя типовые элементы представления знаний и процедуры вывода решений, в пространстве состояний генерируется план предстоящей деятельности в виде дерева решений, определяющего действия интеллектуальной системы, обеспечивающие достижение цели.

Планирование же целенаправленной деятельности АИМС в пространстве подзадач сводится к разбиению заданной в процедурной форме представления цели на подцели или подзадачи поведения. Такое разбиение осуществляется автоматически по заданным правилам до уровня детализации, позволяющего установить последовательность действий, отработка которых обеспечивает достижение заданной цели в текущей ситуации ПС.

Понятийное или абстрактное мышление. Оно является наименее изученным видом мыслительной деятельности человека и АИМС, требующим проведения всесторонних исследований, связанных с разработкой когнитивных инструментов его эффективной реализации. Область применения данной формы мышления связана с решением сложных задач, например, когда исходное местоположение системы определяется одной ситуацией ПС, а цель достигается в абсолютно другой. Абстрактное мышление используется в процессе планирования деятельности, предусматривающей необходимость перехода из одних условий в другие, лежащие за пределами разрешающей способности технического зрения.

Следовательно, основная задача когнитивных инструментов абстрактного мышления сводится к разбиению полученного АИМС задания на связанные между собой этапы и автоматической постановке для каждого такого этапа соответствующей подцели. Затем требуется осуществить планирование и реализацию сформированного плана на каждом этапе полифазной деятельности на основе когнитивных инструментов наглядно-действенного или нагляднообразного мышления в зависимости от уровня неопределенности ПС. Достижение подцели на каждом текущем этапе является предпосылкой для перехода на следующий этап и т.д., пока не будет достигнута подцель, сигнализирующая о выполнении полученного задания.

Решение задачи, связанной с полифазной деятельностью, может быть получено на основе различных способов организации и построения когнитивных инструментов абстрактного мышления. Первый способ организации связан с разработкой специальной логики взаимосвязанных между собой суждений, позволяющих установить все необходимые промежуточные этапы и соответствующие им подцели поведения [8]. Второй способ связан с разработкой специальной модели представления знаний и процедур автоматического вывода решений с различным уровнем детализации, например, путем автоматического роста редукционной сетевой модели решения поставленной перед АИМС задачи [9].

Особую роль при этом играет разработка инструментов автоматического синтеза и комбинирования процедур планирования поведения АИМС в различных условиях ПС [10].

С одной стороны, для построения когнитивных инструментов абстрактного мышления требуется разработать специальные логики рассуждений. С другой стороны, необходимо построить такую модель представления знаний, которая позволяет, оперируя типовыми подзадачами поведения и условиями результативного их применения, определить все этапы полифазной деятельности и наметить пути ее реализации. В частности, требуется построение нетрадиционных схем рассуждений, позволяющих в процессе планирования полифазного поведения сформулировать и дать ответы на следующие важные для достижения цели вопросы:

- как наилучшим образом обеспечить целенаправленную смену условий функционирования и автоматически сформулировать соответствующие промежуточные подцели поведения, достижение которых обеспечивает эффективную реализацию основной цели деятельности?
- что необходимо предпринять для получения наиболее эффективных промежуточных результатов на альтернативной основе в процессе планирования полифазного поведения?

Для ответа на вопросы предлагается использовать специальные модели представления и обработки знаний, а также логики вывода сложных суждений и умозаключений, которые позволяют для решения стоящих задач построить пространство перехода из одних условий в другие условия поведения, соответствующие различным этапам полифазной деятельности.

Заключение. В работе обозначены основные проблемы, связанные с организацией инструментальных средств вывода решений и планирования целенаправленного поведения АИМС в процессе выполнения различных по сложности задач на основе различных форм мышления. Показано, что наглядно-действенное мышление позволяет целенаправленно функционировать и изучать закономерности преобразования текущей ситуации априори неописанной ПС. Инструментальные средства наглядно-образного мышления предназначены для вывода решений в процессе планирования поведения, связанного с преобразованием текущей ситуации ПС. Наименее разработанными являются инструментальные средства понятийного мышления, позволяющие решать сложные задачи, требующие для достижения цели перехода из одной ситуации ПС в принципиально отличающуюся от нее ситуацию среды.

#### Исследование выполнено за счет гранта РНФ №21-71-10056

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Мелехин В.Б., Хачумов М.В.** Планирование поведения автономных интеллектуальных мобильных систем в условиях неопределенности. СПб: ПОЛИТЕХНИКА, 2022. 276 с.
- 2. Норвиг П. Искусственный интеллект. Современный подход. Руководство. М.: Диалектика, 2015. 1408 с.
- В. Поддъяков Н.Н. Мышление дошкольника. М.: Педагогика, 1977. 272 с.
- 4. **Мелехин В.Б., Хачумов М.В.** Инструментальные средства управления целесообразным поведением самоорганизующихся автономных интеллектуальных агентов. *Мехатроника, автоматизация, управление*.2021. Т. 22. С. 171–180.
- 5. **Каляев А.В., Чернухин Ю.В., Носков В.Н., Каляев И.А.** Однородные управляющие структуры адаптивных роботов. М.: Наука, 1990. 147 с.
- 6. **Мелехин В.Б., Хачумов М.В.** Планирование поведения интеллектуального беспилотного летательного аппарата в недоопределенной проблемной среде. Часть 1. Структура и применение фрейм-микропрограмм поведения. *Искусственный интеллект и принятие решения*. 2018. № 2. С. 73–83.
- 7. Melekhin V.B., Khachumov M.V. Fuzzy semantic networks as an adaptive model of knowledge representation of autonomous intelligent systems. *Scientific and Technical Information Processing*, 2021, Vol. 48. No 5. P. 333–341.
- 8. **Мелехин В.Б., Хачумов В.М.** Вывод сложных суждений как инструмент понятийного мышления интеллектуальных мобильных систем. *Морские интеллектуальные технологии*. 2021. Т. 51. № 1–1. С. 111–117.
- 9. **Мелехин В.Б., Хачумов М.В.** Элементы понятийного мышления в планировании поведения автономных интеллектуальных агентов. *Мехатроника, автоматизация, управления*. 2021. Т. 22. № 8. С. 411–419.
- Мелехин В.Б., Хачумов М.В. Принцип построения процедур планирования поведения автономных интеллектуальных роботов на основе полипеременных условно-зависимых предикатов. Автоматика и телемеханика. 2022. № 4. С. 140–154.

V.B.Melekhin (Daghestan State Technical University, Makhachkala), M.V.Khachumov (Ailamazyan Program Systems Institute of RAS, Pereslavl-Zalessky; Federal Research Center "Computer Science and Control" of RAS, Moscow). **Types of thinking of autonomous intelligent mobile systems and ways of their organization** 

The problem of creating autonomous intelligent mobile systems capable of goal-directed functioning under uncertainty is considered. It is proposed to synthesize cognitive tools of three types of thinking in an intelligent problem solver: visual-effective, visual-figurative and conceptual. The problems of organizing self-learning, motivational behavior and related automatic goal-setting in unstable conditions are discussed. To solve complex problems by mobile systems, it is proposed to use special models of knowledge representation and inference logic.

## М. В. ЦЫГАНКОВ, К. С. АЛЕКСЕЕВА, М. В. САЛОГУБ, М. В. ФЕДОРОВ (АО «ГИРООПТИКА», Санкт-Петербург)

#### РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЛИНЕЙНОГО УСКОРЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОНСТРУКЦИИ ТРЕХОСЕВОГО МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА

В статье приведен результат численного моделирования работы преобразователя линейного ускорения, на основе выведенных аналитических уравнений движения инерционных масс, представлен алгоритм работы микросхемы для обработки полезного сигнала с емкостного датчика акселерометра, предложена конструкция чувствительного элемента трехосевого микромеханического акселерометра. Проведены расчеты с использованием методов конечно-элементного анализа. Получены и проверены на работоспособность опытные образцы.

Введение. Расширение области применения преобразователей линейного ускорения микромеханических (ПЛУ) в различных областях науки и техники предъявляет особые требования к конструкциям чувствительного элемента (ЧЭ). В числе таких требований улучшение выходных характеристик, уменьшение массогабаритных параметров и уменьшение стоимости за одну измерительную ось [1–2]. Достигнуть заявленных требований позволяет создание многоосных датчиков и систем на их основе. Целью работы является разработка модели ПЛУ, основанной на выводе дифференциальных уравнений движения инерционных масс (ИМ), разработки конструкции ЧЭ трехосевого микромеханического акселерометра (ММА) с диапазоном преобразования ±30g, численном методе моделирования работы ПЛУ для подтверждения результатов работы разработанной конструкции ЧЭ. Развязка трех инерционных масс (ИМ) с помощью системы упругих элементов и опорных рамок позволяет снизить влияние перекрестных связей и уменьшить вклад технологических операций, связанных с монтажом кристаллов, в итоговое значение углов неортогональности.

*Математическая модель ПЛУ*. Дифференциальные уравнения, описывающие движение трёх инерционных масс чувствительного элемента трехмассового ММА с одной степенью свободы. При решении уравнения Лагранжа 2 рода для каждой ИМ приняты допущения об отсутствии влияния угловой скорости на движение ИМ [1].

$$\begin{split} m_1 \ddot{z} + \mu_z \dot{z} + C_z z &= m_1 (a_z - g) \\ m_2 \ddot{y} + \mu_y \dot{y} + C_y y &= m_2 a_y \\ m_3 \ddot{x} + \mu_x \dot{x} + C_x x &= m_3 a_x \end{split} ,$$

$$\dot{\bar{X}} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -C_z/m & -\mu_z/m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z \\ \dot{z} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} (a_z - g),$$

На основе системы уравнений был синтезирован алгоритм (поведенческая модель) ПЛУ в программном пакете Matlab (Simulink) представленная на рис. 1 для проведения численного анализа работы ПЛУ.

По результатам численного анализа ПЛУ, были подтверждена правильность работы перемещений инерционной массы ЧЭ ММА, при различных внешних воздействиях линейных ускорений. Измерения, полученные с ёмкостных датчиков, соответствуют заявленным диапазонам.

\_

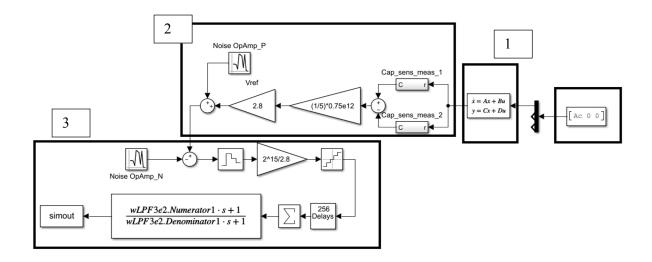


Рис. 1. Поведенческая модель ПЛУ (1 – блок дифференциальных уравнений в пространстве состояний, 2 – емкостные датчики перемещений ИМ, 3 – блок имитации цифрового выхода с ПЛИС)

**Разрабомка конструкции.** Конструкция ЧЭ ММА состоит из трех ИМ 1, 2 и 3. Внутренняя ИМ 1 с помощью четырех упругих элементов 5, обеспечивающих перемещение в направлении оси чувствительности Z, подвешена к внутренней опорной рамке 4. Средняя ИМ 2 подвешена к средней и внутренней рамкам на восьми упругих элементах 6, позволяющим средней ИМ совершать перемещения в направлении оси чувствительности Y. Внешняя ИМ 3 подвешена к средней и внешней опорным рамкам с помощью восьми упругих элементов 7 для обеспечения

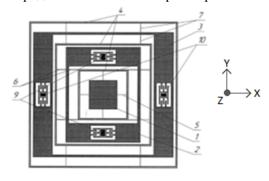


Рис. 2. Конструкция ЧЭ

перемещений в направлении оси чувствительности X. Каждая из опорных рамок имеет жесткое крепление со стеклянными подложками. Съем выходных сигналов обеспечивается емкостными преобразователями перемещений. Для осей X и Y в целях уменьшения габаритных размеров емкостные преобразователи перемещений выполнены по обращенной схеме, т. е. расположены подвижными зубъями вовнутрь, также каждый из них содержит по симметричному преобразователю перемещений для обеспечения дифференциального съема выходного сигнала. Для обеспечения ударопрочности в конструкцию ЧЭ введены ограничи-

тели перемещений, представляющие из себя участки конструкции с уменьшенными зазорами. По периметру внешней опорной рамки находится ответная часть ЧЭ, в которой содержатся контактные площадки [3].

На этапе моделирования выполнялись расчеты собственных частот, емкостей, напряженно-деформированного состояния при воздействии амплитудного ускорения  $\pm 30$ g, напряженно-деформированного состояния при охлаждении от +400 °C до -60 °C; влияния механического удара амплитудой 20000 g и длительностью 3 мс, влияния синусоидальной вибрации, влияния технологических погрешностей. На рис. 3а, 3б и 3в показаны три моды собственных колебаний по осям X, Y и Z соответственно.

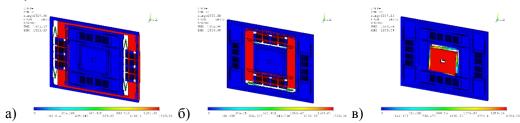


Рис. 3. Моды собственных колебаний

Результатом этапа моделирования стала конструкция ЧЭ трехосевого ММА, для изготовления опытных образцов которой был сформирован необходимый комплект фотошаблонов.

*Исследование опытного образца.* Фотографии опытного образца и элементов его конструкции показаны на рис. 4.

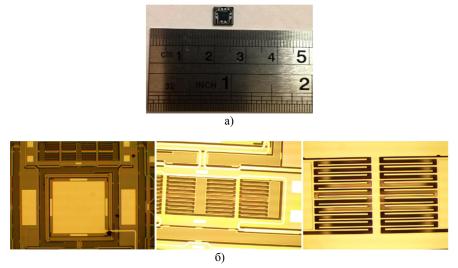


Рис. 4. Фотографии опытного образца: а) общий вид; б) элементы конструкции ЧЭ

Для проверки работоспособности и влияния ускорения свободного падения опытный образец был установлен на двухосный поворотный стенд. На рис. 5а показан выходной сигнал с трех акселерометрических каналов ММА, на рис. 5б алгоритм поворота стенда.

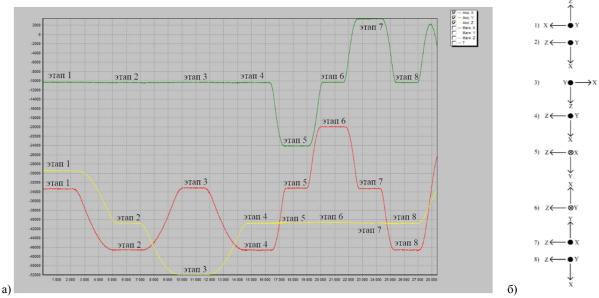


Рис. 5. Результаты оценки работоспособности: а) выходной сигнал с акселерометрических каналов (красный – канал X, зеленый – канал Y, желтый – канал Z), б) алгоритм поворота стенда

Из рис. 5 видно, что ЧЭ реагирует на изменение положения в пространстве в соответствии с алгоритмом поворота стенда. Из этого можно сделать вывод о работоспособности разработанной конструкции.

Диапазона преобразования опытного образца проверялся с помощью стенда управления движением. Проверка проходилась в 11 этапов с шагом нагружения 3g. На рис. 6 показан выходной сигнал с трех акселерометрических каналов.

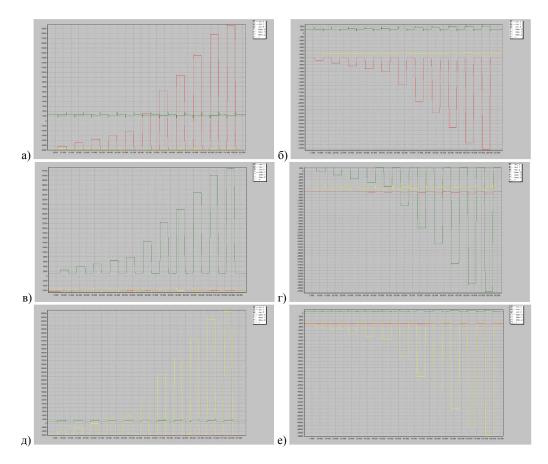


Рис. 6. Результаты оценки диапазона преобразования: а) направление +X, б) направление -X, в) направление +Y, г) направление -Y, д) направление +Z, е) направление -Z (красный – канал X, зеленый – канал Y, желтый – канал Z)

Предложенная конструкция выдерживает воздействие линейного ускорения  $\pm 33$ g и соответствует заявленным требованиям.

**Заключение.** В результате работы разработана конструкция ЧЭ трехосевого ММА. Правильность примененных конструкторских решений подтверждена методами конечно-элементного анализа. В ходе работы получены опытные образцы, проверена их работоспособность и оценены характеристики.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Располов В.Я. Микромеханические приборы: учебное пособие. М.: Машиностроение, 2007. 215-315.
- 2. **Лукьянов Д.П., Распопов В.Я., Филатов Ю.В**. Прикладная теория гироскопов, Санкт-Петербург, 2015. 171-174
- 3. Полез. мод. Российская Федерация RU204 922U1, Чувствительный элемент трехосевого микромеханического акселерометра; Российская Федерация, от имени которой выступает Министерство промышленности и торговли Российской Федерации (RU), Акционерное общество "ГИРООПТИКА" (RU), № 2019107872; заявл. 19.03.19; опубл. 17.06.21, Бюл. № 17.

M.V.Tsygankov, K.S.Alekseeva, M.V.Salogub, M.V.Fedorov (JSC GYROOPTICS, St. Petersburg). Development of the model of a linear micromechanical accelerometer based on the design of the sensitive element of a three-axis micromechanical accelerometer

The article presents the result of numerical simulation of the operation of the linear acceleration converter, based on the derived analytical equations for the movement of inertial masses, the algorithm of the microcircuit for processing the useful signal from the capacitive sensor of the accelerometer is proposed the design of the sensitive element of a three-axis micromechanical accelerometer. Calculations were carried out using finite element analysis methods. Prototypes received and tested for performance.

М. В. САЛОГУБ, М. В. ФЕДОРОВ (АО «ГИРООПТИКА»; СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ

В статье представлены результаты исследования математической модели микромеханического преобразователя угловой скорости. Основой математического описания работы чувствительного элемента является система дифференциальных уравнений и цифровая обработка сигналов, имитирующая работу микроэлектромеханического преобразователя угловой скорости. Проводится оценка времени установившегося режима первичных колебаний инерционной массы (скорости выхода на режим) и изменение амплитуды вторичных колебаний при различных величинах инерционных масс.

Приводится краткий вывод на основе возможной реализации математической модели показаний и погрешностей блока инерциальных микромеханических чувствительных элементов, состоящий из триады микроэлектромеханических преобразователей угловой скорости.

Введение. В настоящее время растет потребность применения микроэлектромеханических преобразователей угловой скорости (МПУС) в различных задачах, например, в составе блока инерциальных чувствительных элементов (БИЧЭ). Возникает необходимость в создании функциональных алгоритмов, по которым на этапе разработки чувствительного элемента можно быстро производить оценку правильности работы МПУС на основе выходных параметров математической модели МПУС при заданных конструктивных и электрических параметрах МПУС [1–2]. Так же важно иметь возможность задавать показания и погрешности БИЧЭ в соответствии с реальными показаниями инерциальных блоков.

Целью статьи является моделирование алгоритма функционирования МПУС в пакете Matlab (Simulink), в состав которого входит чувствительный элемент микромеханического гироскопа (ММГ) LL-типа с заданными конструктивными и электрическими параметрами и алгоритм цифровой обработки сигналов. Анализ следующих выходные данные МПУС, а также встраивание алгоритма МПУС в состав математической модели алгоритма погрешностей БИЧЭ:

- время установившегося режима первичных колебаний (скорость выхода на режим) в зависимости от величины инерционной массы (ИМ);
- установившееся значение амплитуды вторичных колебаний в зависимости от величины ИМ;
- на основе полученных вариациях Аллана (BA) произвести проверку адекватности полученных погрешностей МПУС в БИЧЭ в соответствии с реальными данными.

**Математическая модель.** Задана система уравнений, описывающая движение чувствительного элемента четырехмассового ММГ LL-типа по осям первичных и вторичных колебаний. Система дифференциальных уравнений, описывающая первичные колебания (1) представлена ниже [3–5]:

$$\begin{cases} m_{1}\ddot{y_{1}} + \mu_{y_{1}}\dot{y_{1}} + C_{y_{1}}y_{1} + C_{y_{1}x_{3}}(y_{1} - x_{3}) + C_{y_{1}x_{4}}(y_{1} + x_{4}) + m_{1}\dot{V_{oy}} = Q_{y_{1}} \\ m_{2}\ddot{y_{2}} + \mu_{y_{2}}\dot{y_{2}} + C_{y_{2}}y_{2} + C_{y_{2}x_{3}}(y_{2} + x_{3}) + C_{y_{2}x_{4}}(y_{2} - x_{4}) + m_{2}\dot{V_{oy}} = Q_{y_{2}} \\ m_{3}\ddot{x_{3}} + \mu_{x_{3}}\dot{x_{3}} + C_{x_{3}}x_{3} + C_{x_{3}y_{1}}(x_{3} - y_{1}) + C_{x_{3}y_{2}}(x_{3} + y_{2}) + m_{3}\dot{V_{ox}} = Q_{x_{3}} \\ m_{4}\ddot{x_{4}} + \mu_{x_{4}}\dot{x_{4}} + C_{x_{4}}x_{4} + C_{x_{4}y_{1}}(x_{4} + y_{1}) + C_{x_{4}y_{2}}(x_{4} - y_{2}) + m_{4}\dot{V_{ox}} = Q_{x_{4}} \end{cases}$$

$$(1)$$

где  $\mu_{yxi}$  – коэффициент сил вязкого трения;  $C_{xyi}$  – коэффициент жесткости;  $C_{xyik}(y_i \pm x_i)$  – коэффициент связи осей ММГ;  $Q_{xyi}$  – электростатическая сила (привод); m – величина ИМ;  $x_i$ ,  $y_i$  – оси движения ИМ (первичные колебания), i=1,2,3,4 – индексы (номера) ИМ [1–3].

Система дифференциальных уравнений вторичных колебаний (2) представлена ниже:

Научный руководитель к.т.н., замгендиректора АО «ГИРООПТИКА», Федоров Максим Вячеславович

$$\begin{cases} m_{1}\ddot{z}_{1} + \mu_{z1}\dot{z}_{1} + C_{z1}z_{1} = -2m_{1}\dot{y}_{1}\Omega_{x} + Q_{z1} \\ m_{2}\ddot{z}_{2} + \mu_{z2}\ddot{z}_{2} + C_{z2}z_{2} = -2m_{2}\dot{y}_{2}\Omega_{x} + Q_{z2} \\ m_{3}\ddot{z}_{3} + \mu_{z3}\ddot{z}_{3} + C_{z3}z_{3} = -2m_{3}\dot{x}_{3}\Omega_{y} + Q_{z3} \\ m_{4}\ddot{z}_{4} + \mu_{z4}\dot{z}_{4} + C_{z4}z_{4} = -2m_{4}\dot{x}_{4}\Omega_{y} + Q_{z4} \end{cases}$$

$$(2)$$

где  $\mu_{zi}$  – коэффициент сил вязкого трения;  $C_{zi}$  – коэффициент жесткости;  $k_{zi}$  – коэффициент связи осей ММГ;  $2m_i\dot{y_i}\Omega_{xy}$  – сила Кориолиса;  $z_i$  – оси движения ИМ (вторичные колебания);  $Q_{zi}$  – электростатическая сила (съем) [1–3].

Исходные конструктивные и электрические параметры для проведения моделирования представлены в табл. 1.

Параметры математической модели

Таблица 1

Обозначение	Название	Значение		
Ω, °/c	Входная угловая скорость, внешнее воздействие	300		
С <sub>х,у</sub> , Н/м	Жесткость подвеса	10461		
C <sub>z</sub> , H/M	Жесткость подвеса	10063		
т, мкг	Инерционная масса	0.392; 0.25; 0.15; 0.09; 0.08; 0.07; 0.06		
U <sub>0</sub> , B	Основное напряжение электростатического привода	24, 27		
U <sub>oп</sub> , В	Опорное напряжение	1.6		
$D_{\rm III}$ , $\Gamma$ ц $^2$	Дисперсия шума	$3.6 \cdot 10^{-8}$		
d <sub>2</sub> ,м	Торцевые зазоры (первичные колебания)	$15 \cdot 10^{-6}$		
<b>d</b> <sub>3</sub> ,м	Боковые зазоры (для вторичных колебаний)	$2 \cdot 10^{-6}$		

Модель МПУС позволяет смоделировать и оценить амплитуду установившегося режима вторичных колебаний в зависимости от величины ИМ (рис. 1), с учетом данных табл. 1.

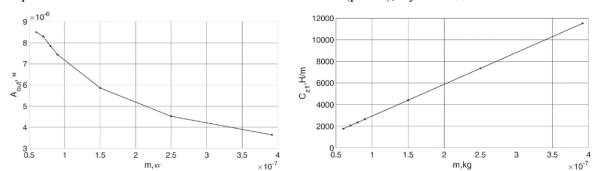


Рис. 1. Зависимость амплитуды вторичных колебаний от величин ИМ и зависимость жесткостей выходной измерительной оси от величин ИМ

Модель МПУС позволяет смоделировать и оценить время установившегося режима первичных колебаний (скорость выхода на режим) в зависимости от величины ИМ (рис. 2).

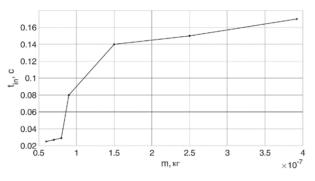


Рис. 2. Зависимость времени выхода на режим от величины ИМ

По результатам моделирования рис. 1 и 2 можно сделать выводы о сокращении времени установившихся колебаний при уменьшении величины ИМ, при этом с ростом величины ИМ массы наблюдается уменьшение амплитуды выходных колебаний ИМ. В модели МПУС реализована система автоматической регулировки и управления (АРУ) амплитуды первичных колебаний по обратной связи, которая представляет собой звено, состоящее из аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей, а также пропорционально-интегрально-дифференцирующего регулятора (ПИД регулятора). При правильной настройке система АРУ позволяет уменьшить время установившегося режима и получить оптимальные выходные данные (например, первичные и вторичные колебания ИМ) с требуемой точностью.

Адекватность полученных погрешностей продемонстрирована на рис. 3. Задание погрешностей производилось в сравнении с реальными данными (Теория), параметры ВА взяты исходя из технических характеристик датчиков, для проверки правильности полученных данных построены ВА по случайной составляющей (моделирование) и реальной ВА (Теория), данные отображены с логарифмическим шагом, рассчитанное отклонение характеристики по реальным данным от характеристики по смоделированным составило 21 % [6–7].

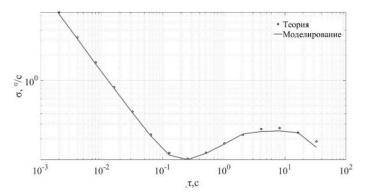


Рис. 3. Вариация Аллана, с логарифмическим шагом

Получение зависимости ВА (рис. 3), позволило определить оптимальность заданных погрешностей в выходных показаниях реальных датчиков и полученных погрешностей на выходе модели.

Заключение. В ходе работы проведено исследование математической модели микромеханического преобразователя угловой скорости, составлены системы дифференциальных уравнений для описания движения ИМ, синтезирован алгоритм цифровой обработки сигналов, автоматической регулировки и управления амплитудой. Оценено время установившегося режима первичных колебаний (скорость выхода на режим) в зависимости от величины инерционной массы, а также установившееся значение амплитуды вторичных колебаний в зависимости от величины инерционной массы.

По результатам математического моделирования получены зависимости установившихся значений амплитуд вторичных колебаний от величин инерционных масс и зависимость времени выхода на режим от величин инерционных масс. Анализ полученных зависимостей позволил определить возможность уменьшения времени установившегося режима первичных колебаний за счет уменьшения величины инерционной массы.

Результаты моделирования погрешностей ПМЛУ соответствуют реальным погрешностям показаний БИЧЭ, алгоритм БИЧЭ позволяет отлаживать показания и погрешности в соответствии с реальными данными, для уточнения математической модели.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Располов В.Я. Микромеханические приборы: учебное пособие. М.: Машиностроение, 2007. 215-315.
- Лукьянов Д.П., Располов В.Я., Филатов Ю.В. Прикладная теория гироскопов, Санкт-Петербург, 2015. 171-174.
- 3. **Боронахин А.М., Лукьянов Д.П., Филатов Ю.В.** Оптические и микромеханические инерциальные приборы. СПб.: Изд-во «Элмор», 2007. 400 с.
- 4. **Пешехонов В.Г., Йесеннюк Л.П., Грязин Д.Г. и др.** Микромеханический гироскоп, разрабатываемый в ЦНИИ «Электроприбор». *Мехатроника, автоматизация и управление*. 2008. № 2. С. 29-31.
- 5. **Пешехонов В.Г.** Гироскопы начала XXI века. *Гироскопия и навигация*. 2003. №4. С. 5-18.

- 6. Основы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации. Ч.2 Введение в теорию фильтрации /О.А. Степанов. СПб.: ГНЦ РФ ОАО "Концерн "ЦНИИ "Электроприбор", 2012. 417 с.
- 7. IEEE Std. 952-1997. IEEE Standard Specifications Format Guide and Test procedure for Single-Axis Interferometric Fiber Optic Gyros, p. 52-71.

M.V.Salogub, M.V.Fyodorov (JSC GYROOPTICS, ETU "LETI", Saint Petersburg). Research of the parameters of the mathematical model of a microelectromechanical converter of angular velocity

The article presents the results of the study of a mathematical model of a micromechanical angular velocity transducer. The basis of the mathematical description of the operation of the sensitive element is a system of differential equations and digital signal processing that simulates the operation of a microelectromechanical angular velocity transducer. The time of the steady-state mode of primary oscillations of the inertial mass (speed of reaching the mode) and the change in the amplitude of secondary oscillations at various values of inertial masses are estimated.

#### А. К. ПЕТРОВА

(Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург)

# ПОДХОД К ПОСТАНОВКЕ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ БАЛАНСОМ ГАЗА НА ОСНОВЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ПАРАМЕТРОВ НЕБАЛАНСА И ЕГО ПРИЧИН

Баланс газа является важным критерием эффективности деятельности газотранспортной системы. В случае расхождения между значениями величин поступивших и отобранных объёмов газа, образуется небаланс, для борьбы с которым предпринимается ряд мер по устранению и профилактике. С целью минимизации потерь от небаланса и оптимизации затрат на борьбу с ним, является актуальным исследование возможностей применения новых методов и подходов. В докладе рассматривается подход, основанный на вза-имосвязи причин небаланса и величины отклонений результатов измерений расхода газа, длительности и скорости нарастания этих отклонений.

Введение. Баланс газа определяется путем сравнения объёмов газа на входе и выходе газотранспортной системы за определённый период и является важным критерием ее эффективности. Следует отметить, что, несмотря на значительное повышение эффективности системы управления балансом газа благодаря применению автоматизированных средств, нередко возникает необходимость устранения небаланса, разницы между поступившим в трубопроводную сеть и отобранным из нее участниками учета объемом газа [1, 2, 3]. Для устранения небаланса осуществляются определенные мероприятия, а также, согласно регламентам, предпринимается ряд мер по его профилактике, каждое из мероприятий по поддержанию баланса в газотранспортной системе имеет свою стоимость. Поскольку небаланс также имеет свою стоимость, и негативно сказывается на показателях эффективности газотранспортной системы, представляется актуальным сформулировать задачу оптимизации на основе критерия минимизации потерь на небаланс, его профилактику и устранение, и исследовать при этом применение подходов, которые бы позволили повысить эффективность принимаемых решений о целесообразности осуществления того или иного мероприятия. Предлагаемый доклад основан на применении для решения этой задачи взаимосвязи параметров небаланса, таких как величина, длительность, скорость нарастания отклонений результатов измерений расхода газа, с факторами-причинами этих отклонений.

**Описание** задачи. Система управления балансом газа в газотранспортной системе (ГТС) представлена на рисунке.

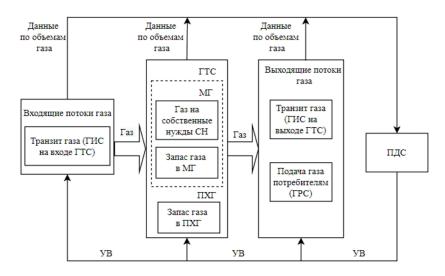


Рисунок. Система управления балансом газа в ГТС

В систему управления балансом газа входят следующие структурные элементы:

- 1. Газораспределительные станции (ГРС).
- 2. Газоизмерительные станции (ГИС) на входе и выходе ГТС.
- 3. Магистральный газопровод (МГ), содержащий вместе с транспортируемым, газ, откладываемый в запас, и газ, потребляемый на собственные нужды (СН).
  - 4. Резервуары для подземного хранения газа (ПХГ).
  - 5. Производственно-диспетчерская служба (ПДС).

Уравнение баланса газа в ГТС в общем виде выглядит следующим образом [4]:

$$\sum_{t} Q_{t \text{ fuc bx}} - \left(\sum_{t} Q_{t \text{ fpc}} + \sum_{t} Q_{t \text{ fuc bix}} + \sum_{t} Q_{t \text{ mr}} + \sum_{t} Q_{t \text{ ch}} + \sum_{t} Q_{t \text{ mix}}\right) = 0, \tag{1}$$

где:  $t \in [0, T]$ , период времени, за который сводится баланс;

 $\sum_t Q_{t \, \text{гис вх}} \, \text{и} \, \sum_t Q_{t \, \text{гис вых}} - \text{объемы} \, \text{газа, походящие через газоизмерительные станции на входе и выходе газотранспортной системы, млн.м}^3;$ 

 $\sum_{t} Q_{t \text{ мг}}$  — объем газа, откладываемый в магистральном трубопроводе, или запас газа, млн м $^{3}$ :

 $\sum_t Q_{t\,\mathrm{ch}}$  — объем газа, расходуемый на собственные нужды, млн.м<sup>3</sup>. На 97 % состоит из расходов на транспортировку газа, то есть  $Q_{\mathrm{ch}} \cong Q_{\mathrm{Tp}}$ , при этом должны соблюдаться требования регламентов по расходам на транспортировку:

$$Q_{\rm ch} \ll Q_{\rm perm}$$
 (2)

 $\sum_t Q_{t \text{ пхг}}$  — запас газа в подземном хранилище газа, млн м<sup>3</sup>, на входе хранилища стоит специальная ГИС<sub>ПХГ</sub> для измерения объемного расхода в нем;

 $\sum_{t} Q_{t \text{ грс}}$  – объемы газа, равные суммарному расходу на всех газораспределительных станци-ях данной газотранспортной системы, млн м<sup>3</sup>.

Все величины объемов газа в формуле (1), кроме  $\sum_t Q_{t\,\text{мг}}$  и  $\sum_t Q_{t\,\text{сн}}$ , определяются методами измерения расхода, определяемыми регламентами технологического процесса учета расхода газа [12–17]. Величина  $\sum_t Q_{t\,\text{мг}}$  определяется расчетным путем [18].

Пусть газотранспортная сеть включает в себя N газораспределительных станций, объем расхода газа на каждой из которых обозначается  $Q_{\rm rpc\,n}$ . Сумму расхода на всех газораспределительных станциях за время T можно определить следующим образом:

$$\sum_{t} Q_{t \text{ rpc}} = \sum_{t} \sum_{n} Q_{t \text{ rpc}}^{(n)}, \qquad (3)$$

где:  $n = \overline{1, N}$ ,  $t \in [0, T]$ .

С n-й ГРС газ поставляется  $J^{(n)}$  предприятиям, для которых должны соблюдаться объемы поставок газа, согласно заключенным договорам. Для n-й газораспределительной станции и j-го предприятия можно это условие обозначить как:

$$Q_j^{(n)} = Q_{\text{дог } j}^{(n)}, j = \overline{1, J}$$
 (4)

Тогда объем газа, израсходованного за время T на n-й газораспределительной станции подключенными к ней  $I^{(n)}$  потребителями, можно выразить формулой:

$$Q_{t \, \text{rpc}}^{(n)} = \sum_{t} \sum_{j} Q_{t \, \text{nor} j}^{(n)}, \tag{5}$$

где:  $n = \overline{1, N}$ ,  $j = \overline{1, J}$ ,  $t \in [0, T]$ .

Подставив (5) в (3) получаем следующее выражение для определения суммарного расхода газа на всех газораспределительных станциях региональной газотранспортной системы:

$$\sum_{t} Q_{t \text{ rpc}} = \sum_{t} \sum_{n} \sum_{j} Q_{t \text{ nor } j}^{(n)}, \qquad (6)$$

где:  $j = \overline{1,J}$ ,  $n = \overline{1,N}$ ,  $t \in [0,T]$ .

Если баланс не соблюдается, в системе, за время T, имеет место небаланс  $\sum_t Q_t$  неб, который можно выразить из выражения (1):

$$\sum_{t} Q_{t \text{ He6}} = \sum_{t} Q_{t \text{ FUC BX}} - \left(\sum_{t} Q_{t \text{ FDC}} + \sum_{t} Q_{t \text{ FUC BMX}} + \sum_{t} Q_{t \text{ MF}} + \sum_{t} Q_{t \text{ CH}} + \sum_{t} Q_{t \text{ TXF}}\right)$$
(7)

Небаланс необходимо устранить:

$$\sum_{t} Q_{t \text{ HeG}} \to 0 \tag{8}$$

В статье рассматривается 9 уровней небаланса, измеряющихся в млн  $\rm m^3$ , определяемых в зависимости от сочетания 3-х параметров (табл. 1). Одним из параметров является величина отклонений текущих значений технологического процесса учета расхода газа объектах газотранспортной системы от данных, полученных при помощи прогнозирования на основе нейронных сетей, обученных ранее на статистических данных этих же станций. Вторым и третьим параметрами являются длительность и скорость нарастания этих отклонений, соответственно. Таким образом, за период T на таких объектах  $\Gamma$ TC, как газораспределительные станции, а также на газоизмерительные станции на входе и выходе газотранспортной системы и в подземном хранилище, измеряются значения этих трех параметров, определяя соответствующий уровень небаланса на каждом из объектов.

Уровни небаланса в ГТС

Таблица 1

П	Отклонение результатов нейросетевых алгоритмов от данных ТП учета расхода								
Длитель-	Маленькое			Среднее		Большое			
ность отклонения	Скорость нарастания отклонения								
отклонения	Маленькая	Средняя	Большая	Маленькая	Средняя	Большая	Маленькая	Средняя	Большая
Только	Незначи-	Незначи-	Малень- кий Небольшой	Сред-	Суще-	Значитель-	Большой	Очень	
появилось	тельный	тельный		ний	ственный			большой	
Длится среднее время	Незначи- тельный	Маленький	Неболь- шой	Средний	Сущест- венный	Значи- тельный	Большой	Очень большой	Критиче- ский
Длится долго	Маленький	Неболь- шой	Средний	Существен- ный	Значи- тельный	Большой	Очень большой	Критичес- кий	Критиче- ский

Обозначим уровни небаланса в газотранспортной системе как  $Q_{\text{неб}}^{(i)}$ ,  $i = \overline{1, I}$ , I = 9. Тогда (7) можно определить следующим образом:

$$\sum_{t} \sum_{i} Q_{t \text{ He6 rpc}}^{(i)} = (\sum_{t} Q_{t \text{ fige bx}} - \sum_{t} \sum_{i} Q_{t \text{ He6 fige bx}}^{(i)}) - ((\sum_{t} Q_{t \text{ fige}} - \sum_{t} \sum_{i} Q_{t \text{ He6 fige}}^{(i)}) + (\sum_{t} Q_{t \text{ fige bix}} - \sum_{t} \sum_{i} Q_{t \text{ He6 fige}}^{(i)}) + \sum_{t} Q_{t \text{ mf}} + \sum_{t} Q_{t \text{ ch}} + (\sum_{t} Q_{t \text{ mix}} - \sum_{t} \sum_{i} Q_{t \text{ He6 fige}}^{(i)}))$$
(9)

При этом величины небалансов на объектах газотранспортной системы, могут определяться различными факторами-причинами небаланса  $\varphi_g$ ,  $g=\overline{1,G}$ ; на данных момент выявлено и обобщено G=33 фактора, на основе анализа литературных источников [5–11] и консультаций с экспертами (табл. 2).

Таблица 2 **Факторы – причины небаланса** 

Свойства Средства и процесс Процедура учета Другие организационные Трубопровод газа измерения и расчета факторы 1. Угол наклона к 24. Низкая квалификация персона-Измене-13. Погрешность или 18. Отсутствие учета ние молярной ла, ведущего учет горизонту отклонения в работе при продувках 2. Изменение доли метана СИ (в т.ч. притупление 19. Пограничные 25. Погодные условия (резкие геометрии в 8. Наличие входной кромки скачки параметров) **УЗЛЫ** течение срока водяных диафрагмы в методе 20. Линеаризация 26. Регион (температурные нормы) службы паров и перепада давления) расчётных величин 27. Размер населенных пунктов и 3. Перепад в 14. Вибрация оборутеплотрасс, влияющих на трубу гидрозатворы 21. Договорные диаметре трубы 9. Наличие дования значения на грани-28. Наличие линий связей, влияю-4. Повышение кислорода 15. Импульсный цах ГТС щих на обмен данными 10. Механи-22. Отклонение 29. Несоответствие нормативов коэффициента режим (для турбинных шероховатости потребления реальному потреблеческие счетчиков) режимов работы от внутри стенок примеси 16. Диапазон измерепроектных 11. Характер ний не по паспорту СИ 23. Неучтенный 30. Разные отчётные периоды, у 5. Негерметич-(для счётчиков) ность фланцевых запас МГ поставщика и потребителя течения и соединений 17. Местонахождение 31. Принятие условно постоянных тангенциаль-6. Свищ (утечка) ный разрыв СИ, улица или помевеличин для разных групп потребителей шение

Трубопровод	Свойства газа	Средства и процесс измерения	Процедура учета и расчета	Другие организационные факторы
	12. в неста-			
	ционарном			32. Технологические потери при
	режиме.			обслуживании трубы и транспорти-
				ровке газа
				33. Отбор газа без его учета (врезка)
				34. Авария, разрыв

Некоторые факторы-причины необходимо устранять незамедлительно, такие как утечки, несанкционированные врезки, разрывы ( $\varphi_6$ ,  $\varphi_{32}$ ,  $\varphi_{33}$  в табл. 2). Другие можно устранять в соответствии с графиком профилактических мероприятий ( $\varphi_7$ ,  $\varphi_{12}$ ,  $\varphi_{14}$ ).

Для борьбы с небалансом предпринимаются мероприятия по его устранению и профилактике. Мероприятия по профилактике и устранению не полностью совпадают между собой. Суммарные затраты на борьбу с небалансом за период T складываются:

$$\sum_{t} K_{\text{3aTD}} = \sum_{t} \sum_{m} K_{t \text{ yc}}^{(m)} + \sum_{t} \sum_{l} K_{t \text{ mp}}^{(l)} , \qquad (10)$$

где:  $K_{ycm}$ , — стоимость мероприятия по устранению,  $m = \overline{1, M}$ ; M — количество существующих мероприятий по устранению, в ходе анализа регламентных документов было определено количество мероприятий, M = 7.

 $K_{np\,l}$  — стоимость мероприятия по профилактике,  $l=\overline{1,L};\ L$  — количество мероприятий по профилактике; L=5.

Каждому уровню небаланса  $Q_{\text{неб}\,i}$ ,  $i=\overline{1,9}$  соответствует определенный на основе экспертных мнений набор факторов-причин:  $\forall Q_{\text{неб}\,i} \ni \phi_{g,i}$ . Например, причиной небольшого отклонения, длящегося долго, но не нарастающего, скорее всего, является погрешность средств измерения. Причиной же длящегося долго, нарастающего небаланса большой величины является, скорее всего, разрыв. Каждому выявленному фактору-причине можно поставить в соответствие определенные мероприятия:  $\forall \phi_{g,i} \ni K_{\text{затр}\,\phi_{g,i}}$ . Можно записать, что  $\forall Q_{\text{неб}\,i} \ni K_{\text{затр}\,\phi_{g,i}}$ :  $Q_{\text{неб}\,i} = 0$ , то есть, для любого уровня небаланса существуют мероприятия, которые его устранят его факторы-причины.

Однако, согласно экспертным оценкам, некоторые факторы-причины, например, утечки, могут создавать пожарную и взрывоопасность, и должны быть устранены в первую очередь, невзирая на расходы на мероприятия. Для учета этих особенностей подобных факторов, предлагается ввести понятие веса  $V = \overline{1,10}$ , где V=10 соответствует максимальному весу, V=1 – минимальному, и формируется условие: если причиной небаланса является утечка, врезка, разрыв и т. п., то мероприятие по устранению приобретает максимальный вес:

IF 
$$\varphi_{g,\hat{h}} : g = [5, 6, 9, 32, 33] \Rightarrow K_{t \text{ samp } \varphi_{g,\hat{h}}} = V_g \cdot K_{t \text{ yc } \varphi_{g,\hat{h}}}^m, V = 10$$
 (11)

где:  $i = \overline{1,9}$ ,  $g = \overline{1,G}$ ,  $m = \overline{1,M}$ ,  $t \in [0, T]$ .

Для остальных факторов причин вес также определяется экспертным путем.

Если причина небаланса такова, что можно ждать очередного мероприятия по профилактике, то необходимо сравнить потери от небаланса в течение периода времени до момента профилактики и затраты на внеочередное устранение, и принять решение, обеспечивающее меньшие потери:

$$\text{IF} \ \ \varphi_{g,\hat{h}} \colon g \neq [5, 6, 9, 32, 33] \ \text{AND} \ \Sigma_{t \pi p o \varphi} K_{Q \text{HeG} \ t} \ \varphi_{g,\hat{h}} \leq K_{t \text{ yc}}^{m} \ \varphi_{g,\hat{h}}, \\ \Rightarrow K_{\pi p}^{l} \ \varphi_{g,\hat{h}}, \ \text{ELSE} \ K_{\text{yc}}^{m} \ \varphi_{g,\hat{h}} \ (12)$$

Выражение (10) для определения суммарной стоимости борьбы с небалансом за период времени Т можно тогда записать в следующем виде:

$$\sum_{t} \sum_{i} K_{t \text{ samp } \varphi_{g,i}} = \sum_{t} \sum_{i} \sum_{m} V_{g} \cdot K_{t \text{ yc } \varphi_{g,i}}^{(m)} + \sum_{t} \sum_{i} \sum_{l} V_{g} \cdot K_{t \text{ mp } \varphi_{g,i}}^{(l)}$$

$$(13)$$

где:  $i = \overline{1,9}$ ,  $g = \overline{1,G}$ ,  $l = \overline{1,L}$ ,  $m = \overline{1,M}$ ,  $V = \overline{1,10}$ ,  $t \in [0,T]$ .

Эти затраты необходимо минимизировать  $\sum_{\mathbf{t}} \sum_{\mathbf{i}} K_{t \text{ затр } \varphi_{q,i}} \rightarrow \min$ .

**Математическая модель**. Цель оптимизационной задачи – минимизировать суммарные потери: от небаланса и от расходов на борьбу с ним, при существующих ограничениях, в периоде времени Т. После приведения выражений (9) и (11) к единым единицам измерения, в данном случае, к денежным средствам, путем умножения величин объемов на цену кубометра газа, математическое описание задачи имеет вид:

$$\left(\sum_{t} \sum_{i} K_{t \text{ samp } \varphi_{q,i}} + \sum_{t} \sum_{i} K_{Qt \text{ He6}}^{(i)}\right) = \min$$
(14)

где:  $i = \overline{1,9}$  — уровни небаланса, на основе его параметров (величины отклонений результатов измерений расхода газа, длительности и скорости нарастания этих отклонений);

 $g = \overline{1, G}$  — факторы-причины, в зависимости от сочетания параметров небаланса;

 $t \in [0, T]$  — период времени, в котором сводится баланс.

 $\sum_{t} \sum_{i} K_{Qt \text{ неб}}^{(i)}$  — потери от небаланса, определяются на основе выражения (9);

 $\sum_t \sum_i K_{t \, {\tt затр} \ \, \phi_{g,i}}$  — расходы на борьбу с небалансом, определяются выражением (13).

**Условия и ограничения.** IF  $\varphi_{g,\bar{l}}$ :  $g = [5, 6, 9, 32, 33] \Rightarrow V_g \cdot K^m_{t \text{ ус } \varphi_{g,\bar{l}}}$  — необходимость первоочередного устранения причин с большим весом, определяется выражением (11);

 $K_{Qj}^{(n)} = K_{Q \text{ дог } j}^{(n)}$ ,  $j = \overline{1, J}$ ,  $n = \overline{1, N}$  — необходимость выполнения договоров поставок j-му предприятию на n-ой газораспределительной станции, определяются на основе выражения (4);

 $K_{\rm Qch} <= K_{\rm Qpern}$  – необходимость выполнения регламентов по затратам на транспортировку, определяется на основе выражения (2);

IF  $\phi_{g|i}$ :  $g \neq [5, 6, 9, 32, 33]$  AND  $\sum_{t \pi p o \phi} K_{Q \text{Heff } t \phi_{g|i}} \leq K_{t \text{ ус } \phi_{g|i}}^m$ ,  $\Rightarrow K_{\pi p \phi_{g|i}}^l$ , ELSE  $K_{\text{ус } \phi_{g|i}}^m$  – минимизация расходов на мероприятия;

 $K_{\text{затр}} \ge 0, K_{Q_{\text{ГИС BX}}} \ge 0, K_{Q_{\text{ГРС}}} \ge 0, K_{Q_{\text{ГИС ВЫЗ}}} \ge 0, K_{Q_{\text{ПХГ}}} \ge 0, K_{Q_{\text{СН}}} \ge 0 -$ все величины, кроме  $K_{Q_{\text{МГ,}}}$  неотрицательные.

Заключение. В статье рассматривается постановка оптимизационной задачи в системе управления балансом газа в газотранспортной системе. Цель задачи – минимизировать суммарные потери: от небаланса и от расходов на борьбу с ним, при существующих ограничениях, в периоде времени Т. Рассмотрена взаимосвязь мероприятий по устранению факторов-причин небаланса с сочетанием трех его параметров: величиной отклонений результатов измерений расхода газа, длительностью и скоростью нарастания этих отклонений. В условия задачи включены такие ограничения, как необходимость выполнения договоров поставок предприятиям-потребителям, необходимость выполнения регламентов по затратам на транспортировку, необходимость первоочередного устранения наиболее важных причин, так как утечки. Для решения этой задачи предполагается рассматривать применение методов дискретной оптимизации, например, метода последовательных уступок.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. ПР 50.2. Количество природного газа. Типовая методика выполнения измерений объемов природного газа в реальных условиях эксплуатации при взаимных расчетах между поставщиком и потребителями, ФГУП ВНИИМС, Москва 2003
- 2. Сайт ГК «Газовик» [Электронный ресурс] Режим доступа: // https://gazovik-sbyt.ru/directory/consum/term.html (дата обращения 15.02.2019)
- Горбунов С.С., Констандян А.В., Дубинин В.А., Констандян В.А. Построение системы идентификации источников и причин небаланса газа в газотранспортной системе, Газовая Промышленность Спецвыпуск № 2 | 786 | 2019
- 4. Организация, планирование и управление на предприятиях транспорта и хранения нефти и газа: учебник для вузов / А.Д. Бренц [и др.]. М.: Недра, 1980. 580 с.
- 5. Лодочкин Н.И. Пути решения проблем небаланса и коммерческих потерь поставщика газа докторская дисс.
- Горбунов С.С., Констандян А.В., Дубинин В.А., Констандян В.А. Построение системы идентификации источников и причин небаланса газа в газотранспортной системе, Газовая Промышленность Спецвыпуск № 2 | 786 | 2019

- 7. Информационно-аналитический портал Neftegaz.RU [Электронный ресурс] Режим доступа: // https://neftegaz.ru/news/gazoraspredelenie/665125-proverka-vyyavila-v-severo-kavkazskom-federalnom-okruge-bolee-7-8-mln-m3-nedouchtennogo-gaza//(дата обращения 11.05.2021)
- 8. **Тухбатуллин Ф.Г., Семейченков Д.С., Тухбатуллин Т.Ф**. Метрологический фактор наличия небаланса в системе «ГРС Потребитель». *Труды РГУ Нефти и Газа (НИУ) им. И.М. Губкина*, 2017 №4 С 86-94
- 9. **Тухбатуллин Ф.Г., Семейченков Д.С.** О причинах небаланса природного газа в системе газораспределения и методах прогнозирования его величины. *Территория «НЕФТЕГАЗ»*, 2017. № 6. С. 14–20.
- 10. **Комиссаров С.Ю., Горбенко А.А., Кутовой Д.Ю., Веснин В.И.** Создание единого информационного пространства «поставщик потребитель» в АО «Газпром Межрегионгаз Нижний Новгород» на базе ПТК «Газсеть». Решение вопроса безопасности бытовых потребителей при транспортировке газа и использовании ВДГО и ВКГО. *Газовая Промышленность*, № 7 | 755 | 2017 г
- 11. Справочник «Газпром в цифрах 2016-2020
- 12. ГОСТ Р 8.563-2009 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Методики (методы) измерений
- 13. Комплекс межгосударственных стандартов ГОСТ 8.586.1-2005 ГОСТ 8.586.5. -2005 «Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств»
- 14. ГОСТ Р 8.740-2011 ГСИ. Расход и количество газа. Методика измерений с помощью турбинных, ротационных и вихревых расходомеров и счетчиков
- 15. ГОСТ 8.611-2013 Методика (метод) измерений с помощью ультразвуковых преобразователей расхода
- 16. СТО Газпром 5.32-2009 "Обеспечение единства измерений. Организация измерений природного газа"
- 17. СТО Газпром 2-3.5-454-2010 «Правила эксплуатации магистральных газопроводов»
- 18. СТО Газпром 2-3.5-051-2006 «Нормы технологического проектирования магистральных газопроводов»

## A.K. Petrova (St. Petersburg Electrotechnical University "LETI", St. Petersburg). Approach to statement of the optimization problem in the system of gas balance control based on the interrelation of the parameters of imbalance of gas and its causes

The gas balance is an important criterion for the efficiency of the gas transmission system. Discrepancy between the values of the incoming and withdrawn gas volumes, forms an imbalance, to combat which a number of measures are taken to eliminate and prevent. In order to minimize losses from imbalances and optimize the costs of eliminating it, it is relevant to study the application of new methods and approaches. The report discusses an approach based on the relationship between the causes of imbalance and the magnitude of deviations in the results of measurements of gas flow, the duration and rate of increase of these deviations.

#### 3. М. АБДУЛЛАЕВА

(Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина))

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 1C:ERP CИСТЕМ КАК ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ И ПЛАНИРОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Проводится анализ развития рынка информационных систем управления предприятием. Преимущества внедрения ERP-систем для развития предприятия, в частности внедрения IC:ERP российского поставщика «IC» данного вида программного продукта перед зарубежными поставщиками. Дается краткая характеристика IC:ERP-системы, которая дает возможность контролировать деятельность всех структурных подразделений, осуществить контроль выполнения поставленных задач, оперативно реагировать на возникиие нестандартные ситуации.

**Введение.** В условиях нестабильной экономической ситуации грамотно построенный управленческий учет имеет решающее значение. От правильности и своевременности того или иного управленческого решения зависит выживаемость и развитие предприятия.

В современных условиях рыночной экономики, связанных с активным ростом предпринимательства, постоянной модернизацией управленческих решений, созданием корпоративных форм ведения бизнеса, процедуры управления сильно усложнились.

Для решения проблем эффективного планирования и управления всеми ресурсами предприятия нужны методы, позволяющие решать следующие задачи: планирования хозяйственной деятельности предприятия; контроль над издержками производства; контроль рентабельности производства; контроля и оптимизация затрат; анализ отклонений фактических показателей от плановых и многие другие задачи.

**Актуальность применения ERP-систем.** Сегодня руководству предприятия приходиться оперировать огромными объемами управленческой информации. Помимо информации, измеряемой в денежной форме, к этой категории относится целый ряд нефинансовых показателей, таких как квалификация работников предприятия, качество выпускаемой продукции, длительность производственного цикла и т. д. Значительная часть информации, используемой руководителями при выработке управленческих решений, содержится в регистрах оперативного и бухгалтерского учета.

Однако функционирование предприятия довольно часто подвержено многочисленным разнообразным внутренним и внешним воздействиям, что для принятия правильного управленческого решения данных в регистрах оперативного и бухгалтерского учета оказывается совершенно недостаточно, поскольку необходимо учитывать большое количество аспектов, касающихся деятельности предприятия [1].

Информация, получаемая управляющим сектором организации, должна обладать следующими свойствами: достоверностью информации; полнотой получаемой информации, достаточностью и, в то же время, краткостью, оперативностью, актуальностью, сопоставимостью и др.

На практике, чаще всего руководство при выработке управленческих решений не всегда опирается на информацию, удовлетворяющую всем перечисленным требованиям.

Соответственно, решения руководства, основанные на такой информации, может привести к негативным последствиям при управлении предприятием. Это может привести в целом к снижению конкурентоспособности на рынке.

Для развития предприятия необходим строгий учет оперативных, бухгалтерских, налоговых и международных дел. Ведение нескольких видов учета весьма трудоемкий процесс, поэтому без использования ІТ-технологий не обойтись. При этом возникает проблема правильности выбора программного обеспечения.

В настоящее время на рынке существует специализированное программное обеспечение, позволяющее одновременно вести несколько видов учета в одном информационном пространстве, в том числе решается и проблема оптимизации использования всех ресурсов предприятия. К данному классу ПО относятся ERP-системы.

Использование ERP-системы позволяет: осуществлять однократный ввод первичных данных; использовать одну информационную базу, что приводит к минимизации расхождений между системами бухгалтерского и управленческого учета и не требует разработки дополнительной структуры для ввода управленческих данных; исключает необходимость импорта данных из одного программного продукта в другой.

Внедрение ERP-системы позволит предприятиям на российском рынке интегрировать происходящие бизнес-процессы [1], сформировать на предприятии единое информационное пространство с доступом к нему руководства и специалистов предприятия и таким образом повысить его конкурентоспособность.

**Рынок ERP-систем в России.** Российский рынок ERP в настоящее время является крайне насыщенным и диверсифицированным. По мнению аналитиков в области информационных систем, в последние годы наблюдается значительный рост интереса отечественных предприятий к российским ERP-системам. Такую тенденцию можно объяснить, в первую очередь, санкциями и ростом цен на лицензии для иностранного ПО. Другим катализатором процесса развития отечественных ERP-систем и импортозамещения зарубежного ПО стало то, что в конце 2016-го года сфера IT на государственном уровне была названа приоритетным направлением развития.

Как известно, компании государственного сектора не смогут больше свободно покупать или обновлять ПО иностранного производства. По мнению экспертов и консультантов, это сильно снизило конкуренцию на рынке ERP-систем. Отсутствие конкуренции может привести к стагнации на рынке. Однако политика импортозамещения создала благоприятные условия для развития отечественных решений, усилила их конкурентоспособность, что в свою очередь способствовало увеличению их доли на рынке.

Динамика продаж программных продуктов фирмы «1С» свидетельствует о росте числа потребителей программных продуктов «1С». До 2020 года фирма «1С» наряду с компанией SAP и Microsoft занимали лидирующие позиции в сфере продаж ERP-систем. Более того, рост отечественного поставщика программного обеспечения постепенно увеличивался.

На основании данных базы Tadvised за период с 2005 по декабрь 2021 год объем рынка программного обеспечения информационных систем управления предприятием по количеству реализованных проектов в России выглядит следующим образом (рис. 1) [2].



Рис. 1. Вендоры ERP-систем, лидирующие на российском рынке по количесмтву реализованных проектов на 2021 год

Согласно табл. 1 «Рейтинг ERP-систем 2021» по количеству начисленных баллов ведущую позицию занимает российская компания 1С:ERP. В рейтинге принята бальная система. Каждой ERP-системе начислено определенное количество баллов по каждому из критериев. Чем выше итоговая сумма баллов, тем выше место в рейтинге.

Критерии, которые учитывались при составлении рейтинга: функционал; формат поставки; наличие бесплатного (тестового) периода и его особенности; наличие отраслевых решений; наличие в свободном доступе подробной документации на поставляемые решения; стоимость [3].

Итоговое количество баллов равно сумме баллов за стоимость системы в двух конфигурациях: на 5 пользователей; на 200 пользователей.

Таблица 1

#### Рейтинг ERP-систем 2021

Место	ERP-	ERP-на 5 человек			ERP-на 200 человек			Итоговый
	системы	Стоимость	Формат	Баллы	Стоимость	Формат	Баллы	балл
		(p)			(p)			
1	1C:ERP	97	Коробка	44	1 238	Коробка	50	94
2	МойСкдад	2	Облако	50	101 900	Облако	42	92
3	SAP	100	Коробка	44	5 400	Коробка	33	77
4	Цех=Успех	11	Облако	32	87	Облако	44	76
5	Галактика ERP	112	Коробка	43	10 800	Коробка	25	68
6	Odoo	11	Облако	33	243	Облако	32	65
7	Business Central Navicon	394	Коробка	28	15 783	Коробка	21	49
8	Лексема (Lexema)	500	Коробка	26	15 000	Коробка	21	47

В таблице 2 приведены правила начисления баллов.

# Таблица 2

#### Сволная таблица начисления баллов

Параметр	Правило начисление баллов			
Функционал	По 40 баллов за каждый модуль. Понижающий коэффициент от 0,5 до 1 за			
	реализацию			
Формат поставки	Коробка – 20 баллов			
	Облако – 15 баллов			
	On-prem – 15 баллов			
Наличие и формат демоверсии	10 баллов за каждый месяц бесплатной работы тестовой версии. Понижающий			
	коэффициент от 0,5 до 1 за ограничения.			
Документация	50 баллов за полноценный онлайн-доступ к документации. Понижающий			
	коэффициент от 0,5 до 1 за ограничения.			
Стоимость	Итоговое количество баллов равно сумме баллов за стоимость системы в двух			
	конфигурациях:			
	• на 5 пользователей			
	• на 200 пользователей			

Анализ вышеприведенных данных (табл. 1, рис. 1) показывает стабильно высокий спрос на ERP-системы российской компании и снижение спроса на программное обеспечение SAP, которая в 2016 году занимала большую часть рынка.

Немаловажным фактом, влияющим на рост потребителей российских ERP-систем, является стоимость продукта и сроки внедрения. Пальма первенства принадлежит российской фирме «1С», цены на программное обеспечение несколько меньше чем у зарубежных компаний. По времени внедрения также выигрывает фирма «1С» [4]. Поэтому, неудивительно, что с каждым годом спрос на программные продукты данной фирмы стабильно возрастает.

ERP-системы позволяют осуществлять управление всеми ресурсами предприятия. В ней заложена методология эффективного планирования и управления материальными и нематериальными ресурсами предприятия, функционирования таких бизнес-процессов предприятия производство, как закупки, продажи, учет заказов, объем т. д.

Поскольку 1C-ERP-систем является наиболее распространенным в России, дадим ей краткую характеристику.

Прежде всего, отметим, что 1C:ERP создан с учетом лучших мировых и отечественных практик автоматизации крупного и среднего бизнеса, при непосредственном участии представителей крупных промышленных предприятий. Благодаря экспертному подходу при разработке, поэтапному тестированию 1C:ERP может осуществлять управление деятельностью предприятия в соответствие с российскими, корпоративными и международными стандартами.

ERP-система фирмы «1С» позволяет построить комплексную информационную систему управления деятельностью любого предприятия, позволяющую достигать ощутимые финансовые результаты.

С помощью 1C:ERP можно: автоматизировать основные бизнес-процессы; контролировать ключевые показатели деятельности предприятия; организовать взаимодействие служб подразделений; координировать деятельность производственных подразделений; оценивать эффективность деятельности предприятия, отдельных подразделений и персонала.

Заключение. Подводя итог, можно отметить, что в 2021–2022 годы спрос на 1С:ЕRР остается стабильным и сохраняет лидирующую позицию среди поставщиков данного вида программного обеспечения. Необходимым условием наращивания российских программных решений будет поддержание официальной государственной линии, направленной на импортозамещение.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. ERP-системы [электронный ресурс]. URL: http://www.kpms.ru/Automatization/ERP\_system.htm (дата обращения 06.05.2022).
- 2. **Савельев И.В.** О проблемах внедрения ERP-систем в России // Экономическая наука современной России. 2013. Издание о высоких технологиях CNews [электронный ресурс]. URL:http://www.cnews.ru/news/top/2016-06-24 sap i 1s ukrepili pozitsii na rynke korporativnogo (дата обращения 6.05.2022).
- 3. **Гартвич А.В.** Планирование закупок, производства и продаж в «1С:Предприятии 8».М.: ООО «1С-Паблишинг». Издательский дом «Питер», 2006. 160 с.
- 4. **Семенович А.В.** Методика постановки и ведения управленческого учета [электронный ресурс]. URL: http://upravlenie.h1.ru/uchet.htm (дата обращения 04.05.2022).

Z.M.Abdullayeva (Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», Saint Petersburg). Using 1C:ERP systems as a management and planning tool in the enterprise

The analysis of the development of the enterprise management information systems market is carried out. Advantages of implementing ERP systems for enterprise development, in particular the introduction of 1C:ERP of the Russian supplier «1C» of this type of software product over foreign suppliers. A brief description of 1C:ERP-system is given, which makes it possible to monitor the activities of all structural divisions, monitor the fulfillment of tasks, and promptly respond to non-standard situations that have arisen.

## Секция 2

# ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АСУ СЛОЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

В. Н. ШЕЛУДЬКО, П. В. СОКОЛОВ, О. А. АНДРИЕВСКИЙ (Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург)

# РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАЛОЭМИССИОННОЙ КАМЕРОЙ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

В докладе рассмотрена система управления малоэмиссионной камерой сгорания газотурбинного двигателя. Входными характеристиками малоэмиссионной камеры сгорания являются следующие параметры: температура за камерой сгорания, давление в камере сгорания, коэффициент избытка воздуха, эмиссия (окись азота). Управление данными параметрами осуществляется изменением расхода топлива и распределения подачи топлива по гомогенным и диффузионным контурам (диффузионные и гомогенный факелы). Главными параметрами контроля являются эмиссия и срыв пламени. Предложена система управления малоэмиссионной камерой сгорания на основе искусственной нейронной сети.

**Введение.** При разработке современных авиационных двигателей кроме требований надежности и безопасности предъявляются дополнительные требования по соблюдению экологической чистоты работы двигателя. [1]

Экологическая чистота обеспечивается за счет уменьшения объемов вредных выбросов (оксиды азота и углерода). [2].

Требования экологической чистоты осуществляется за счет проектирования камер сгорания (КС) нового типа – малоэмиссионных камер сгорания (МЭКС).

## Постановка задачи. Анализ возможных решений

**1.1 Описание МЭКС.** МЭКС точно так же и КС старого типа реализуют основную функцию – обеспечение мощности и скорости авиационного двигателя. [3].

Кроме того, МЭКС должна обеспечивать минимальный объем выбросов вредных веществ. Однако, при минимизации вредных выбросов могут возникнуть недопустимые режимы, такие как «бедный» срыв или виброгорение. Поэтому проектирование МЭКС и систем её управления осуществляется в условиях жестких ограничений, обеспечивающий режим работы КС, не допускающий режим виброгорения и «бедного» срыва (рис. 1). [6]

Режимы виброгорения и «бедного» срыва являются случайными процессами, описываемыми с помощью функции плотности распределения (рис. 2).

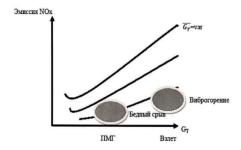


Рис. 1. Режимы «бедного» срыва и виброгорения

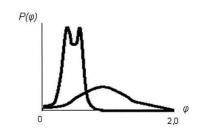


Рис. 2. Функция плотности распределения режимов «бедного» срыва и виброгорения

Параметр  $\varphi$  является функцией от коэффициента избытка воздуха. Коэффициент избытка воздуха a имеет вид:

$$a = \frac{G_B}{L_0 G_T},$$

где —  $G_B$  — это расход воздуха,  $L_0$  — это стехиометрический коэффициент, характеризующий химический состав топлива,  $G_T$  — это расход топлива. [6]

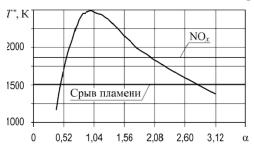


Рис. 3. Зависимость температуры пламени от состава топливовоздушной массы смеси срыва и виброгорения

Режимы виброгорения и «бедного» срыва, а также увеличение объемов выбросов вредных веществ зависит от температуры пламени в камере сгорания.

Зависимости температуры КС, а также моменты возникновения режимов «бедного» срыва и виброгорения от коэффициента *а* представлены на рис. 3.

Кривая на рис. 3 не является постоянной, а может изменяться в зависимости от вида топлива и параметров КС, таких как: давление, температура внутри КС, а также окружающей среды и другие.

Минимальный выброс вредных веществ в МЭКС обеспечивается за счет особой структуры КС, когда топливо подается не только через основной диффузи-

онный контур, но также через дополнительные гомогенные контуры, распространенные по всей области КС. Такой способ перераспределение топлива обеспечивает как основные функции КС, так и минимизацию вредных веществ. [6]

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что МЭКС как объект управления (ОУ) характеризуется следующими свойствами: нелинейность и стохастичность основных параметров КС. В качестве алгоритмов управления МЭКС могут быть использованы алгоритмы адаптивного управления и методы искусственного интеллекта.

**1.2** Задача управления МЭКС. Для реализации управления малоэмиссионной камерой сгорания необходимо выбрать способ управления. В данной работе представлено управление двумя способами. Первый способ заключается в перераспределении топлива по дозирующим устройствам в зависимости от скорости вентилятора ГТД. Второй способ — это перераспределение топлива по дозирующим устройствам, но уже в зависимости от общего количества топлива.

Границы управления МЭКС заключается в трех составляющих:

- 1) отсутствие «бедного» срыва пламени;
- 2) недопущение в системе виброгорения (термоакустического автоколебания);
- 3) уменьшение выброса эмиссии.

**1.3** Анализ алгоритмов управления САУ МЭКС. Типовые регуляторы, отличавшиеся простотой реализации и достаточной базой настройки параметров, не могут быть использованы, так как их настройка зависит от структуры и параметров объекта исследования.

Методы искусственного интеллекта (нечеткие, нейронные и нейронечеткие регуляторы) характеризуются несложными алгоритмами обучения и настройки, которые достаточно хорошо проработаны в различных программных продуктах. Недостатками данных методов является: необходимость достаточно объемной экспериментальной выборки и реализация регуляторов в виде «черного ящика», из которого практически невозможно получить физически понятные параметры регулирования. Кроме того, в нечетких и нейронных регуляторах возникают проблемы с устойчивостью управления и переобучением.

Адаптивное управление характеризуется многообразием алгоритмов адаптации и широкой областью применения. Гибкость адаптивного управления позволяет осуществлять как настройку регуляторов, в условиях как «априорной», так и «текущей» (т. е. в процессе эксплуатации) неопределенности модели объекта управления. Кроме того, алгоритмы адаптивного управления хорошо сочетаются с типовыми регуляторами и нечеткими регуляторами. При разработке алгоритмов адаптивного управления не требуется большой объем экспериментальных выборок. Эталонная модель может быть представлена различным математическим описанием.

На основе анализа достоинств и недостатков различных методов управления, применительно к задачам управления МЭКС, в данной работе предлагается использование адаптивного

регулятора для настройки параметров типового регулятора и параметров объекта. Для реализации модели МЭКС в контуре управления предложен нейронечеткий подход.

**1.4 Анализ качества управления.** В качестве анализа системы управления будут рассмотрены две модели управления МЭКС:

- 1) Система управления МЭКС с типовым регулятором.
- 2) Система управления МЭКС с адаптивным.

Для грамотного анализа качества управления проведено два эксперимента, один из них будет основан на режиме «запуск двигателя – взлет», второй режим – это режим помпажа двигателя, который был представлен в предыдущей главе. Результатом анализа представлен график моделирования выходной характеристики оборотов.

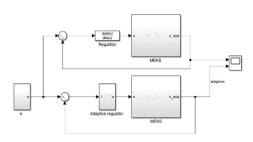


Рис. 4. Модель управления МЭКС с типовым и адаптивным регуляторами топливовоздушной массы смеси срыва и виброгорения

На рис. 4 представлена модель управления МЭКС с типовым и адаптивным регуляторами, реализованная в среде Matlab.

Проведем моделирование на первом режиме «запуск двигателя — взлёт». На рис. 5 представлена выходная характеристика (n\_real) с адаптивным и типовым регуляторами, на рис. 6 представлен график ошибки выходной характеристики (n\_real) от задающей (n).

По выше представленным графикам моделирования можно сделать вывод, что адаптивный регулятор, также как и типовой, не устраняет ошибку моделирования полностью за короткое время (это также связано с реализацией нечеткой логики в МЭКС при формиро-

вании характеристических внутренних величин). Однако при применении адаптивного регулятора на выходной характеристики можно заметить отсутствие «скачков», что в первую очередь связано с реализацией управления различными режимами дозаторов.

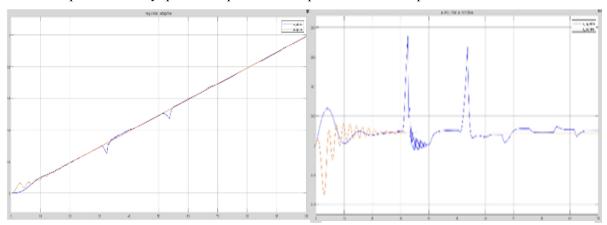


Рис. 5. График моделирования выходной характеристики (n real)

Рис. 6. График моделирования ошибки выходной характеристики (n real) от задающей (n)

Заключение. В соответствие с поставленной целью в данной работе были рассмотрены: Принципы функционирования ГТД и МЭКС. Предложен алгоритм управления МЭКС. Произведено моделирование адаптивной системы управления МЭКС на режиме «запуск ГТД – взлёт» и на режиме помпажа ГТД. Представлено графическое представление моделирования. Произведен анализ качества и сравнения адаптивного регулятора с типовым регулятором. Сделан вывод, что адаптивный регулятор отрабатывает задающее воздействие на режиме помпажа ГТД, в отличие от типового регулятора.

Разработанные САУ будут использованы в дальнейшем для задачи минимизации вредных выбросов NOx и CO в соответствие с мировыми требованиями к воздушным судам.

Данная работа выполнялась в рамках научно-исследовательского договора с AO «ОДК-СТАР» и является законченным результатом первого этапа: управление МЭКС в рамках рабочего режима полного цикла «взлет-полет».

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Августинович В.Г., Кузнецова Т.А., Фатыков А.И., Нугуманов А.Д.** Концепция управления малоэмиссионной камерой сгорания авиационного ГТД и ее эксперт-модель для обучения нейронной сети смарт-регулятора. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника.* 2018. № 53. С. 5–19.
- 2. **Куценко Ю.Г.** Методология проектирования малоэмиссионных камер сгорания ГТД на основе математических моделей физико-химических процессов: дис. докт. ... техн. наук: 05.07.05. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. vн-та. 2010. 193 с.
- 3. **Avgustinovich V.G., Kutsenko Y.G.** Creation and Application of Combined Calculation Methodology for Low Emission Combustion Chamber. *Russian Aeronautics*. 2011. Vol. 54. No. 2. Pp. 170–178.
- 4. **Кузнецова Т.А., Августинович В.Г.** Вопросы теории и практики разработки робастных систем управления авиационными двигателями на базе встроенных математических моделей. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2018. 265 с.
- 5. **Васильев А.Ю.** Некоторые проблемы разработки малоэмиссионных камер сгорания и пути снижения эмиссии оксидов азота. *Двигатель*, 2016 № 6(108), С. 10–13.
- 6. Андриевская Н.В., Андриевский О.А., Кузнецов М.Д., Леготкина Т.С., Никулин В.С., Сторожев С.А., Хижняков Ю.Н., Южаков А.А. Нейронечеткое управление выбросами вредных веществ авиационного газотурбинного двигателя. *Мехатроника, автоматизация, управление*. 2020. Т. 21. № 6. С. 348-355.

V.N.Sheludko, P.V.Sokolov, O.A.Andrievsky (ETU «LETI», Saint Petersburg). Design and research of control systems for a low-emission combustor of a gas turbine engine

In this paper considers the control system for a low-emission combustion chamber of a gas turbine engine. The input characteristics of a low-emission combustion chamber are the following parameters: temperature behind the combustion chamber, pressure in the combustion chamber, excess air coefficient, emission (nitrogen oxide). The control of these parameters is carried out by changing the fuel consumption and the distribution of the fuel supply over homogeneous and diffusion circuits (diffusion and homogeneous torches). The main control parameters are emission and flameout. A control system for a low-emission combustion chamber based on an artificial neural network is proposed.

#### В. В. ЗАХАРОВ, А. Ю. БАРАНОВ

(Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Санкт-Петербург)

# ПРОАКТИВНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

В докладе рассматривается задача разработки проактивных программ управления функционированием киберфизических систем, направленных на мониторинг дорожно-транспортных объектов. Предлагается на этапе синтеза управляющих программ (расписаний наблюдений) опираться на фундаментальные результаты, полученные в современной теорию проактивного управления структурной динамикой сложных технических объектов. В докладе на основе динамического подхода проведена формализация задач проактивного планирования измерительно-вычислительных операций.

**Введение.** Мониторинг технического состояния мостовых сооружений — это технология информационного обеспечения принятия решений по управлению параметрами состояния мостового сооружения на всех стадиях жизненного цикла (ЖЦ), реализуемая посредством систематического или периодического слежения (наблюдения) за техническим состоянием конструкций или деформациями мостовых сооружений [1].

Корректность результатов наблюдений зависит от количества и качества применяемых аппаратно-программных средств, которые в свою очередь являются элементами дорожнотранспортной киберфизической системы (ДТ КФС). При этом отметим ряд важных особенностей. В общем случае, во-первых, номенклатура территориально-распределенных элементов, а также количество информационных каналов может измеряться сотнями единиц. Во-вторых, наблюдаемые величины имеют неоднородную природу (таблица 1).

# Элементы ДТ КФС

Таблица 1

$N_{\underline{0}}$	Название датчика	Измеряемые параметры	Ед. изм.
1	Тензометр (датчик напряжений)	Относительная деформация	Мкм/м
2	Акселерометр (датчик ускорений)	Частота ускорений	Гц
3	Прогибомер (датчик смещений)	Прогиб элементов конструкций сооружения	Мм
4	Датчик перемещений (GPS)	Дифференциальные фазовые измерения с постобработкой	Мм
5	Метеостанция (анеометр)	Климатические воздействия	м/c, °C, мм рт., г.м <sup>3</sup> .
6	Инклинометр (датчик угла наклона)	Угол наклона	Мм
7	Датчик температуры	Температура конструкций	Град
8	Камеры внешнего наблюдения	Визуальные измерения	-

В-третьих, для обработки данных наблюдения применяются различные вычислительные технологии промышленного Интернета (облачные, туманные, граничные и т. д.) [2].

Наряду с указанными особенностями рассматриваемые в докладе системы и их элементы подвержены физическому и моральному старению. При этом возможности обслуживания применяемых аппаратно-программных средств весьма ограничены. Так, например, для установки или замены элемента аппаратно-программного комплекса, установленного на пролетном строении (датчик напряжений), необходимо провести комплекс работ: 1) подготовить техническую документацию на элемент КФС и расчетные характеристики сооружения; 2) получить разрешения на проведения работ; согласовать план и время работ, т. к. нередко приходится перекрывать движение по сооружению; 3) установить датчик и проверить адекватность получаемых значений; 4) установить связь между датчиком и пунктом управления; 5) провести протоколы функционирования различного программного обеспечения.

Следует заметить, что в существующих условиях ключевую роль в обеспечении функционирования ДТ КФС отводится управлению, а именно проактивному планированию измерительно-вычислительных операций (ИВО).

Далее рассмотрим содержательную постановку задачи. Заданы технологии проведения мониторинга технического сооружения на всех уровнях рассматриваемого инфраструктурного объекта. Определен набор характеристик ИВО (длительность, энергопотребление, директивный срок выполнения операций и т. д.), а также множество распределенных информационных сервисов и элементов ДТ КФС (ЭВМ, серверов баз данных, датчиков и т. д.). Необходимо синтезировать проактивное расписание или, другими словами, провести координацию ресурсов так, чтобы обобщенный показатель качества, включающий в себя совокупность частных показателей (целевых и ресурсных), принимал экстремальные значения. Требуется учесть основные технологические и пространственно-временные ограничения. Если синтезируемых планов несколько, то среди них необходимо выбрать обеспечивающий наибольшую устойчивость функционирования ДТ КФС при различных внутренних и внешних воздействиях, а также внештатных ситуациях.

Между тем отметим, что многовариантность формальной постановки данной задачи достаточно велика, а трудности применения традиционных методов дискретной оптимизации хорошо известны. Для преодоления проблемы большой размерности (например, комбинаторного «взрыва» при попытке учесть пространственно-временные ограничения) часто используются подходы, которые не имеют строгого математического обоснования [3]. Вместе с тем до настоящего времени единого подхода к описанию процессов многовариантного управления целеустремленными развивающимися системами (в т. ч. ДТ КФС) до сих пор предложено не было [4].

В докладе рассматриваемую научно-техническую задачу предлагается отнести к классу задач скоординированного динамического многокритериального структурно-функциональный синтез облика ДТ КФС и программ перевода динамического объекта из заданного начального структурного состояния в конечное заданное структурное состояние [2].

**Формальная** постановка задачи планирования мониторинга. Далее приведем теоретикомножественное описание рассматриваемой задачи. Необходимо разработать принципы, подходы, модели, методы, алгоритмы, программное обеспечение, позволяющие синтезировать такие технологии и программы управления ИВО ДТ КФС, позволяющие находить такие  $<U^t, S_\delta^{^{*g}}>$  при которых выполняются следующие условия:

$$J_{\theta}^{\xi}(X_{\chi}^{t}, \Gamma_{\chi}^{t}, Z_{\chi}^{t}, F_{<\chi,\chi^{t}}^{t}, \prod_{(\tilde{\delta},\tilde{\delta})}^{t}, t \in (t_{0}, t_{f}]) \rightarrow \underset{< U_{*}^{t}, S_{\delta}^{tf} > \in \Delta g}{extr}$$

$$\Delta_{g} \left\{ < U^{t}, S_{\delta}^{tf} > \left| R_{\beta} \left( X_{\chi}^{t}, \Gamma_{\chi}^{t}, Z_{\chi}^{t}, F_{<\chi,\chi^{t}}^{t}, \prod_{(\tilde{\delta},\tilde{\delta})}^{t} \right) \leq \tilde{R}_{g}; \right.$$

$$U^{t} = \prod_{<\delta_{\delta}, \delta_{\delta} > 0}^{t_{2}} \prod_{<\delta_{\delta}, \delta_{\delta} > 0}^{t_{2}} \cdots \bigcap_{<\delta_{\delta}, \delta_{\delta} > 0}^{t_{2}} \cdots \bigcap_{<\delta_{\delta}, \delta_{\delta} > 0}^{t_{2}} \beta \in \mathbf{B} \right\},$$

$$(1)$$

где  $\chi$  – индекс, характеризующий различные типы структур ДТ КФС,  $\chi$   $\in$  {Ton, Фун, Tex, ПМО, ИО, Ор} – множество индексов, соответствующих топологической, функциональной и технической структурам, структурам программно-математического и информационного обеспечения (ПМО, ИО), организационной структуре ДТ КФС; t  $\in$  T множество моментов времени;  $X_z^t = \left\{x_{z^t}^t, l \in L_z\right\}$  — множество элементов, входящих в состав структуры динамического альтернативного системного графа (ДАСГ)  $G_z^t$  или множество вершин ДАСГ, с помощью которого задается управляемая структурная динамика ДТ КФС в момент времени t;  $\Gamma_z^t = \left\{\gamma_{<z,l,l'>}^t, l, l' \in L_z\right\}$  — множество дуг ДАСГ типа  $G_z^t$ , отражающих взаимосвязи между его элементами в момент времени t.  $Z_z^t = \left\{z_{<z,l,l'>}^t, l, l' \in L_z\right\}$  — множество значений параметров, количественно характеризующих взаимосвязь соответствующих элементов ДАСГ.  $F_{<z,z'>}^t$  — отображения различных структур ДТ КФС друг на друга в момент времени t.  $\Pi_{<z,\delta,\delta>}^t$  — операция композиции многоструктурных макросостояний с номерами  $\delta$ ,  $\delta$  в момент времени t.  $U^t$  — управляющие (программные и в реальном масштабе времени) воздействия, позволяющие синтезировать структуры ДТ КФС;  $J_z^\xi$  — функционал или, другими словами, результирующий показатель качества функционирования ДТ КФС, представляющий свертку частных показате-

лей (энергетических, временных и т.д.), которые характеризуют качество управления в различных условиях обстановки;  $q \in Q = \{1,...,l\}$  множество номеров показателей;  $\Delta_g$  — множество динамических альтернатив (множество структур и параметров ДТ КФС, а также множество проактивных планов); **В** — множество номеров пространственно-временных, технических и технологических ограничений, определяющих процессы реализации программ проактивного управления ДТ КФС для различных сценариев возмущающих воздействий;  $\widetilde{R}_g$  — заданные величины;  $T = (t_0, t_f]$  — интервал времени функционирования на заданном этапе ЖЦ ДТ КФС [5].

Синтезируемые программы мониторинга мостовых сооружений должны также обеспечить одновременное выполнение программ устойчивого управления ДТ КФС (в т. ч. развития) в промежуточных макросостояниях. Для этого на модельно-алгоритмическом уровне описания предлагается опираться на принципы комплексного моделирования. Задачу поиска оптимальных программ управления ИВО следует осуществлять комбинированным способом, т. е. сочетанием методов наименьших квадратов и последовательных приближений.

Данный подход позволяет сформировать вектор управляющих воздействий (программ управления), задающий скоординированные технологии проактивного управления ИВО КФС, направленных на мониторинг состояния мостового сооружения на различных уровнях иерархий. Кроме того, в этом случае одновременно находится и соответствующий вектор сопряжённой системы уравнений, компоненты которого являются многокритериальными динамическими приоритетами операций, входящих в состав синтезируемых последовательностей действий на каждой страте динамического объекта.

Заключение. Предложенная в докладе динамическая интерпретация процессов наблюдения позволяет с единых позиций одновременно решить ряд важных задач проактивного планирования ИВО в ДТ КФС. Во-первых, появляется возможность синтезировать облик системы на заданных этапах ЖЦ. Во-вторых, продлить сроки активного существования элементов и подсистем ДТ КФС (путем равномерного использования ресурсов). В-третьих, провести координацию технологии реализации ИВО в различных условиях обстановки на всех стратах системы. В-четвертых, связать программы мониторинга, с целями функционирования ДТ КФС.

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при частичной финансовой поддержке грантов  $P\Phi\Phi U$  (№№20-08-01046), в рамках бюджетной темы FFZF-2022-0004.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1. СП 274.1325800.2016. Мосты. Мониторинг технического состояния (2016) // Свод правил. Москва: Стандартинформ.
- 2. **Соколов Б.В., Потрясаев С.А., Юсупов Р.М.** Методология и технологии проактивного управления информационными процессами в промышленном интернете // Системный анализ в проектировании и управлении, 2020, 24 (1), С. 95-104.
- 3. **Моисеев Н.Н.** Математические задачи системного анализа. М.: Наука. Главная редакция физикоматематической литературы, 1981. 488 с
- 4. **Шередеко Ю.Л., Скурихин В.И., Корчинская З.А.** Концептуальные основы управления развитием целеустремленных систем // УСИМ. 2010, №1. С. 3-18.
- 5. **Захаров В. В.** Результаты комплексного планирования процессов функционирования и модернизации корпоративных информационных систем // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2021, 64 (12). 12, С. 965-971.

V.V.Zakharov, A.Yu.Baranov (St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg). **Proactive planning of monitoring the technical state of bridge structures** 

The report considers the task of developing proactive programs for managing the functioning of cyber-physical systems aimed at monitoring road transport facilities. It is proposed at the stage of synthesis of control programs (observation schedules) to rely on the fundamental results obtained in the modern theory of proactive control of the structural dynamics of complex technical objects. In the report, on the basis of a dynamic approach, the formalization of the tasks of proactive planning of measurement and computing operations was carried out.

#### С.В. МИКОНИ

(Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург)

## ПРОБЛЕМЫ ВЫБОРА В ПРОЦЕССЕ РАЗВИТИЯ СЛОЖНОГО ОБЪЕКТА

Анализируются этапы эволюционного и революционного развития сложного объекта. Скачкообразный период рассматривается с точки зрения смены поколений живых и искусственных систем. Предлагается считать элементом развития выбор предпочтительного представителя поколения. Указывается на несопоставимость представителей разных поколений. Обсуждается отношение между потребительскими и элементарными свойствами сложного объекта. Предлагаются подходы к установлению связей между ними. Показывается зависимость важности оцениваемых показателей от решаемой задачи. Выбор перспективного объекта или его действий решается методами многомерной оптимизации и классификации.

Введение. Управление объектом решает две противоречивые задачи — обеспечение его устойчивости (стабильности) и развития (изменчивости). Устойчивость означает *сохранение* основных свойств объекта в присутствии возмущений, а развитие предполагает их *изменение* (улучшение) и появление новых свойств. Антиподы «сохранение» и «изменение» не следует понимать буквально, ибо сохранение не исключает плавного изменения свойств, а само изменение бывает не только плавным, но и скачкообразным. Другими словами, постоянность (а не устойчивость!) развития заключается в чередовании эволюционных и революционных периодов. В [1] система, реализующая только эволюционный этап развития, называется целенаправленной системой, а реализующая оба этапа развития, — целеустремлённой системой.

Функционирование целенаправленной системы обеспечивается наличием дополнительных ресурсов на её эволюцию, выполняемую путём изменения параметров и реконфигурации носителя операций. Объём ресурсов определяется исходя из предельных возможностей системы, отвечающих закономерности эквифинальности [2]. Недостаток ресурсов не позволяет системе реализовать предельные возможности, а их избыток относится к непроизводительным затратам средств, из чего следует необходимость оптимизации объёма ресурсов.

Согласно [1] особенностью целеустремлённой системы является наличие субъекта управления, под которым понимается человек, выбирающий на распутье путь дальнейшего движения к поставленной цели. Но распутью (бифуркации) соответствует период революционных изменений системы, и проблема здесь заключается не в привлечении дополнительных ресурсов, а в изменении принципа функционирования системы. В качестве примера приведём извечную мечту человечества о воздухоплавании. Вначале она существовала в сказках о ковре-самолёте. Затем её пытались реализовать с применением крыльев. Потом появилась винтокрылая, а затем и реактивная авиация. В настоящее время большое внимание уделяется беспилотным летательным аппаратам (БЛА). В этом примере переход от одного вида воздухоплавания к другому связан не с привлечением дополнительных ресурсов, а с изменением его принципа.

Это отвечает принципу «идеи, как конечные цели, вечны, а их носители конечны». В биологии этот принцип реализуется сменой поколений клеток в организме и живых особей в популяции. Каждое поколение людей живёт со своими лозунгами, реализуя глобальные устремления человечества. В технике смене поколений отвечает переход на другие принципы и технологии создания искусственных объектов. Принцип смены поколений облегчает трудности прогнозирования будущего состояния целеустремлённой системы, описываемые в [1]. Накопление частных проблем требует кардинального решения общей проблемы, что отвечает закону «перехода количества в качество». Частичное решение проблемы перехода на новый принцип действия заключается в замене модулей, достигших предельных значений в процессе эволюции.

Принципу смены поколений соответствует несопоставимость представителей разных поколений по значениям характеризующих их показателей. Средняя скорость реактивного самолёта более чем в 2 раза превышает скорость винтокрылого самолёта, что требует относить их к разным категориям качества. В составе одного поколения не все объекты также сопоставимы. Поэтому они объединяются в группы сопоставимых объектов. Условиями сопоставимости объектов являются общее пространство характеризующих их показателей и диапазоны их

значений. Сопоставимость представителей одного поколения позволяет выбирать из них лучшего, что является актуальной задачей на каждом этапе развития объектов любого назначения.

Свойства сложного объекта. Сложный объект (СлО) характеризуется многими десятками свойств [3]. Каждое элементарное свойство измеряется либо физическими, либо отвлечёнными единицами измерения. Однако потребителя СлО интересуют не столько элементарные, сколько его потребительские свойства. Например, современный беспилотный летательный аппарат характеризуется многими десятками показателей, но пользователя могут интересовать такие обобщённые свойства БЛА, как лётная характеристика, надёжность, живучесть, боекомплект, степень автономности и т.д. Каждое из перечисленных свойств объединяет несколько элементарных свойств. Отсюда возникают задачи с одной стороны определения состава обобщённого свойства, а с другой стороны определения принадлежности элементарного свойства одному из обобщённых свойств.

Рассмотрим проблему определения состава обобщённого свойства на примере лётной характеристики летательного аппарата (ЛА). Безусловно, она характеризуется показателями скорости и потолка полёта. Дальность полёта является расчётным показателем, вычисляемым на основе средней скорости ЛА и потребления горючего (энергии) на 100 км полёта. К этой же группе показателей следует отнести массу ЛА. Для конструктора это будет максимальная взлётная масса ЛА, а для потребителя — максимальная масса полезной нагрузки. За компромиссный показатель можно принять относительную массу полезной нагрузки как отношение массы полезной нагрузки к взлетной массе. Этот показатель отражает эффективность ЛА относительно нагрузки. Для более строгого определения состава обобщённой группы показателей может потребоваться формальный логический анализ взаимосвязи показателей.

Рассмотрим следующий пример [4]. Пусть требуется найти обобщённый (составной) показатель G, которому принадлежит первичный показатель P. В качестве первичного показателя примем «маневренность»:  $P = \{$ маневренность $\}$ . Наиболее близкими ему по смыслу являются обобщённые показатели «безопасность» и «устойчивость»:  $G = \{$ безопасность $\}$ , устойчивость $\}$ .

Понятия безопасность и устойчивость различаются целями. Цель обеспечения безопасности – не допустить воздействия (предотвращение), а цель устойчивости – устранить последствия воздействия (устранение отклонений).

Содержания понятий «безопасность» и «устойчивость» характеризуются следующими существенными признаками (СП):

 $C(безопасность) = {уйти, укрыться, защититься, устранить (опасность)}.$ 

 $C(ycтойчивость) = {ycтранить (отклонение от нормы)}.$ 

Для связывания частного показателя «маневренность» с одним из обобщённых показателей из G в качестве СП будем использовать его обобщённую цель: «обойти препятствие движению». Сопоставим её с частными целями понятия безопасность. Поскольку СП понятий маневренность и безопасность выражены разными словами, возникает проблема нормализации СП, т. е. поиска общих слов.

Слово «обойти» в СП понятия «маневренность» также является одним из вариантов изменения направления движения некоторого объекта, как и слова, принадлежащие понятию «безопасность». Возникает задача определить, какое из них ближе к слову обойти. Наиболее близким ему оказывается слово «уйти» ∈ «безопасность» с близким корнем. По смыслу именно для ухода (уклонения) от ненужной встречи требуется выбор направления движения.

Очевидно, что достоверность установленной связи между понятиями зависит от достоверности использованных существенных признаков. При извлечении их из определений понятий их достоверность зависит от качества определений. Таким образом, в качестве формального аппарата для определения состава обобщённых свойств СлО применим логико-лингвистический анализ понятий. Однако оценка обобщённого свойства зависит не только от состава, но и от важности (значимости) характеризующих его первичных показателей.

**Влияние важности показателей на оценку сложного объекта**. На результат сопоставления объектов по выбранному потребительскому свойству влияет не только состав элементарных свойств и значения их показателей, но и распределение важности (значимости) этих свойств. Свойства равноважны только в том случае, когда неизвестно, какую задачу должен решать объект. В военных условиях, например, на соотношение важности показателей влияют

требования безопасности. При наличии у противника системы ПВО следует отдать предпочтение высоте полёта над скоростью ЛА. Скорость зенитной ракеты превышает скорость ЛА, но за счёт большего времени её подлёта увеличивается возможность маневра ЛА или отстрела ложных мишеней. При оценивании лётной характеристики вертолёта предпочтение следует отдать скорости полёта над его потолком, поскольку высокая скорость на низкой высоте уменьшает возможности противника по обнаружению и поражению вертолёта. Таким образом, соотношение важности показателей зависит от задачи, решаемой объектом и условий её выполнения.

Распределение важности осуществляется на всех уровнях иерархии показателей СлО в том случае, когда требуется найти общие оценки объектов. При этом следует иметь в виду зависимость важности потребительских свойств СлО от выполняемой задачи, которая была показана на уровне элементарных свойств. Например, при полёте ЛА в зоне, недостижимой для средств ПВО противника, его лётная характеристика более важна, чем показатели безопасности.

**Методы многомерной оптимизации и классификации**. Охват всех потребительских свойств сложного объекта с учётом их важности позволяет рассматривать его развитие с точки зрения выбора перспективного образца на основе существующих, либо мыслимых вариантов. Эта задача решается методами многомерной оптимизации.

Применительно к активной сущности набор потребительских свойств можно трактовать как набор свойств-умений. Если экспертным способом задать значения соответствующих взвешенных показателей для нескольких видов деятельности / действий, то решается задача выбора предпочтительных действий активной сущности. Выбор действия осуществляется по минимальному суммарному отклонению от одного из заданных шаблонов. Примером применения такого подхода служит задача профориентации интернов Военно-медицинской академии [5]. Эта задача решается методом многомерной классификации.

Заключение. Адаптивные свойства целенаправленной системы нацелены на выполнение задач её эволюционного развития. Целенаправленная система необходимо включает скачкообразный этап развития, трактуемый с позиции смены поколений. В каждом поколении идёт отбор наиболее перспективных представителей. Эта задача решается методами многомерной оптимизации. Выбранный объект, как субъект управления, должен выбирать обоснованное действие для решения поставленной задачи. Выбор действия осуществляется методом многомерной классификации.

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились в рамках бюджетной темы FFZF-2022-0004.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Шередеко Ю.Л., Скурихин В.И., Корчинская З.А.** Концептуальные основы управления развитием целеустремлённых систем. УС и M, 2010, №1, С. 3-18.
- 2. Системный анализ и принятие решений: Словарь-справочник / Под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова. М.: Высшая школа, 2004.
- 3. **Семенов С.С.** Оценка качества и технического уровня сложных систем. Практика применения экспертных оценок, М.: ЛЕНАНД, 2015. 350 с.
- 4. **Микони С.В.** Связывание показателей в модели оценивания качества сложных объектов на основе определений понятий. *International Journal of Open Information Technologies* ISSN: 2307-8162 vol. 8, no. 2, 2020. P. 21-26.
- 5. **Микони С.В., Найденова К.А., Сорокина М.И.** Автоматизация создания системы рационального распределения выпускников Военно-Медицинской Академии с помощью инструментальной системы поддержки принятия решений «СВИРЬ». *Материалы XXXIII международной конференции* «Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе IT + S&E'06». Гурзуф, 20-30.05.2006. Запорожье: ЗНУ. 2006. С. 111-113.

# S.V.Mikoni (St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg). **Problems of choice** in the process of development of a complex object

The stages of evolutionary and revolutionary development of a complex object are analyzed. The leap period is considered from the point of view of generational change of living and artificial systems. It is proposed to consider the selection of the preferred representative of the generation as an element of development. The incompatibility of representatives of different generations is indicated. The relationship between consumer and elementary properties of a complex object is discussed. Approaches to establishing links between them are proposed. The dependence of the importance of the estimated indicators on the problem being solved is shown. The choice of a promising object or its actions is decided by the methods of multidimensional optimization and classification.

#### В. В. МИХАЙЛОВ

(Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург)

## Л. А. КОЛПАЩИКОВ

(Объединенная дирекция заповедников Таймыра, г. Норильск)

# ОБ УПРАВЛЕНИИ ПОПУЛЯЦИЕЙ КОПЫТНЫХ ЖИВОТНЫХ НА ПРИМЕРЕ ДИКИХ СЕВЕРНЫХ ОЛЕНЕЙ ТАЙМЫРА

Представлена система управления популяцией диких копытных, включающая контур правления численностью и половозрастной структурой популяции, контур управления промыслом, контуры экосистемного уровня регулирования — «популяция травоядных-пастбища» и «популяция травоядных-хищники», а также подсистему управления пространственной структурой популяции. Рассмотрена эволюция системы управления таймырской популяции диких северных оленей в ее документированной истории. Показано, что единственный путь сохранения популяции как промыслового ресурса состоит в восстановлении системы управления с учетом современных социально-экономических условий.

Введение. Дикие северные олени – важный компонент экосистем тундры и северной тайги, важный пищевой ресурс коренного населения. В свою очередь, полярные экосистемы Таймыра являются полигоном, на котором разворачиваются элементы сложной социально-экономической системы. С позиций кибернетики фундаментальным атрибутом системы любой природы являются механизмы управления, поддерживающие систему в целостном состоянии и обеспечивающие ей целенаправленное поведение [1]. Кибернетические принципы управления в системе с элементами дикой природы были реализованы (по некоторым пунктам – частично) на Таймыре в системе промыслового оленеводства – новой хозяйственной отрасли, базирующейся на использовании ресурсов таймырской популяции диких северных оленей [2, 3].

Моделирование и управление популяций диких животных возможно на двух уровня их описания: территориально сосредоточенном (точечном) и территориально распределенном. На каждом уровне решаются свои задачи. На точечном уровне это задачи прогнозирования и управления численностью и половозрастной структурой, определение предельной по кормовым ресурсам численности и т. п. Объектом исследования здесь является популяция в целом или ее отдельные группировки без непосредственной связи с территориальным размещением животных. На территориально распределенном уровне объектами управления являются элементы пространственной структуры популяции — пути миграций, места сезонных размещения и концентраций оленей. Решаются задачи прогнозирования изменения элементов структуры в пространстве и во времени, управления движением стад (например, путем строительства направляющих изгородей). Главной задачей здесь является задача сохранения естественной структуры в условиях хозяйственного развития региона, строительства дорог, трубопроводов и других линейных сооружений.

Эволюция системы. Допромысловый период. Добыча северных оленей на Таймыре до 1960 г. разрешалась только местному аборигенному населению. Объем добычи составлял около 8–10 тыс. голов в год. Популяция развивалась естественным путем, как компонент экосистем тундры и северной тайги. Основными контурами взаимодействия и регулирования, в которых участвуют дикие олени, являются контуры «дикие северные олени-волки» и «дикие северные олени-пастбища». По первому авиачету количество оленей в 1950 г. оценено в 110 тыс. голов. Экосистемные регуляторы не ограничивали рост поголовья оленей. Количество животных стало быстро увеличиваться и в 1969 г. составило около 333 тыс. голов. Оленеводческие совхозы стали нести большие убытки из-за стравливания пастбищ и увода домашних оленей дикими во время осенних миграций. В связи с этим возникла проблема регулирования численности оленей с использованием данного природного ресурса для повышения жизненного уровня населения региона [2].

**Промысловый период и структура управления популяцией**. Полупромышленное освоение ресурсов дикого оленя началось с 1971 г., когда было организовано государственное про-

мысловое хозяйство «Таймырский». К середине 1980-х годов на Таймыре была завершена разработка и практическая реализация системы управления численностью и половозрастной структурой популяции диких северных оленей [3]. Цель управления состояла в поддержании заданного уровня численности животных (в перспективе — уровня, обеспечивающего получение максимальной продукции) путем промыслового изъятия оленей в объеме экологически обоснованной квоты. В 1985—1993 гг. численность оценивалась в 590—620 тыс. при годовом изъятии около 70 тыс. оленей. Эта величина был близка к максимальной величине продукции популяции при оленеемкости ареала, оцененном в 800—850 тыс. оленей [4].

Экосистемный уровень регулирования популяцией продолжал действовать, однако роль экосистемных регуляторов была снижена или исключена. Количество оленей в ареале не ограничивалась емкостью кормовой базы, что исключало перевыпас с возникновением колебаний в контуре «дикие северные олени-пастбища». Количество волков было не велико виду их регулярного отстрела.

К 1993 году общая промысловая добыча животных составила более 1.3 млн особей, что превосходило продукцию всех оленеводческих хозяйств Севера Средней Сибири. Аналогов столь крупномасштабного и эффективного использования ресурсов дикого северного оленя не было ни в других районах России, ни за рубежом [5].

Постпромысловый период и распад системы управления популяцией. В начале 90-х годов, в связи с социально-экономической перестройкой страны разрушилась система мониторинга, охотконтроля, транспортировки и сбыта продукции промысла, система управления популяцией распалась. Уровень заготовок диких оленей снизился и промысел перестал играть главного фактора в регулировании численности оленей. В результате возобновился рост численности популяции. К 2000 г. количество оленей достигла 1 млн и превысила расчетную оленеемкость ареала [6]. Это привело к включению механизмов саморегуляции в системе «популяция-кормовая база» и падению численности популяции.

После 2000 г. постепенно стала возрастать роль хищников, а также охотничьего промысла, который вели члены многочисленных фермерских и родовых хозяйств коренного населения, промысловых бригад и индивидуальные охотники. Ввиду малочисленности сотрудников охотинспекции (11 сотрудников на всю территорию Таймыра и Эвенкии) промысел велся практически бесконтрольно. По экспертным оценкам объем добычи в ареале популяции в 2010-е годы составлял около 70 тыс. оленей в год, что существенно превышает данные официальных заготовок (30–35 тыс.). Ситуация усугубляется тем, что с 2008 г. по Закону об охоте коренные жители могут добывать оленей свободно, без каких-либо разрешений. Допустимый объем добычи по региональному лимиту – 8 оленей на человека в год на Таймыре и 7 в Эвенкии [7, 8].

Согласно авиаучетам 2009, 2017, 2021 гг. численность популяции оценивалась, соответственно, в 700, 400 и 241 тыс. голов, а доля телят-сеголеток — в 18.4 %, 15.5 %, 8 %. Для сравнения, в 1969–1993 гг. доля телят составляла в среднем 23.5 % [9, 10].

Угрозы потери ресурса и меры защиты. В связи с катастрофическим падением численности популяции в 2019—2021 г. властями Красноярского края были приняты некоторые ограниченные меры по упорядочиванию промысла (увеличен штат охотинспекции, запрещена пантовка, ограничены сроки охоты). Проведено несколько рабочих встреч и Всероссийское совещание по дикому северному оленю, на которых были выработаны предложения, главная цель которых – ограничить промысловое изъятие оленей всеми группами охотпользователей, включая коренное население, экологически обусловленной квотой.

Однако для коренного населения Таймыра введение квоты означает почти четырехкратное снижение разрешенных к добыче оленей по сравнению с существующими нормами. Решение по квотированию охоты коренного населения пока не принято

Добыча оленей коренным населением по экспертным оценкам составляет около 30–32 тыс. в год. Если привилегии коренного населения будут сохранены, то судьба таймырской популяции трагична. Прогнозные расчеты показывают, что к 2025 г. численность популяции снизится до 125–145 тыс. оленей. К 2028 г. количество оленей может упасть до 60–70 тыс. Популяция сохраниться в форме нескольких небольших группировок, охота на которых станет экономически не выгодной.

Однако квотирование промысла – это всего лишь первый шаг к решению проблемы таймырской популяции диких северных оленей.

Как спасти популяцию? Единственный путь сохранения популяции как компонента полярных экосистем и охотничье-промыслового ресурса состоит в восстановлении системы управления на новой технической и информационной базе с ее реформированием для эффективной работы в современных социально-экономических условиях [11]. Система должна строиться с использованием территориально сосредоточенного и территориально распределенного уровней писания популяции.

На точечном уровне система управления содержит 2 контура управления. Первый контур выполнял регулирование на популяционном уровне и служил для поддержания заданного уровня численности популяции и показателей ее половозрастной структуры.

Контур включает следующие основные компоненты:

- 1. Объект управления. Таймырская популяция диких северных оленей.
- 2. Блок определения целей регулирования. (Межведомственная комиссия по проблеме диких северных оленей, образованная Главохотой РСФСР). В современных условиях это коллегиальный орган, в состав которого должны войти представители министерства экологии и природных ресурсов Красноярского Края, специалисты-зоологи, представители Ассоциации коренных малочисленных народов Таймыра и Эвенкии.
- 3. Регулятор системы управления (органы охотинспекции Красноярского Края, с системой научной поддержки и мониторинга). В настоящее время вопросами мониторинга и изучения таймырской популяции занимаются сотрудники заповедников («Объединенная дирекция заповедников Таймыра» и «Заповедник Центрально-Сибирский»). В работе системного анализа, обработке данных, моделированию принимают участие сотрудники СПб ФИЦ РАН. Основная задача регулятора состоит в определении составляющих баланса численности и промысловой квоты, обеспечивающей достижение цели управления равенству фактической численности и половозрастной структуры популяции желаемому значению этих величин.
- 4. Исполнительный орган системы управления. Элементом, осуществляющим непосредственное воздействие на популяцию с изъятием оленей в объеме квоты, являются Ассоциации коренных малочисленных народов Таймыра и Эвенкии, промысловые бригады и индивидуальные охотники.

Второй контур системы управления служил для контроля добычи оленей фермерскими и родовыми хозяйствами коренного населения, промысловыми бригадами, индивидуальными охотниками. Цель управления — обеспечить соответствие фактического ведения промысла животных нормам и правилам охоты. Объектом управления являются указанные категории охотпользователей, регулятором и исполнительным органом системы — отделы инспекции членов Ассоциации коренных народов.

Наиболее сложной задачей является реконструкция второго контура управления, обеспечивающего соответствие фактической величины изъятия промысловой квоте. Как и промысловая система, так и система контроля также должна быть децентрализованной. В надзоре за промысловой и хозяйственной деятельностью должно участвовать коренное население. Коллективным органом, представляющим интересы населения, являются Ассоциации коренных народов Таймыра и Эвенкии, которые могут определить формы участия коренных жителей в контроле охотничье-промысловой деятельности. Особенность состоит в том, что исторически в российской арктической экономике главную роль в регулировании природопользования играли государственные органы и отсутствует опыт управления охотничьими ресурсами с участием общественных организаций.

Заключение. Для эффективной работы в условиях интенсивного освоения северных территорий, развитием альтернативных хозяйственных отраслей коренного населения, климатических изменений система управления популяцией должна быть проактивной. Это потребует, вопервых, усовершенствования моделей первого контура управления для получения вариантных прогнозов динамики состояний популяции между сроками учетов численности, т. е. на 3–5 лет. Во-вторых, — модификации моделей второго контура для возможности проигрывания на ней различных вариантов структур управления промыслом с различной формой и долей участия государственных органов и населения для выбора оптимального варианта. После реализации

реальной системы управления модель может служить для проактивной коррекции системы при возникновения конфликтных или критических ситуаций. В-третьих, — разработки многослойной компьютерной модели территориального размещения и миграций популяции со слоями кормовой базы, состояния климата, территорий домашнего оленеводства, линейных искусственных преград, пожарищ и других особенностей ареала диких северных оленей.

Работа выполнялась в рамках бюджетной темы FFZF 2022-0004.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Соколов Б.В., Юсупов Р.М**. Проблемы развития кибернетики и информатики на современном этапе. *Кибернетика и информатика*. *Сборник научных трудов к 50-летию секции кибернетики Дома ученых им. М. Горького РАН*, Санкт-Петербург. СПб.: Изд. Политехн. ун-та. 2006. С. 6-12.
- 2. Сыроечковский Е.Е. Дикий северный олень. М.: Агропромиздат. 1986. 255 с.
- 3. **Колпащиков Л.А., Михайлов В.В., Мухачев А.**Д. Экосистема «северные олени-пастбища-человек». СПб: Изд. Политехн. ун-та. 2011. 336 с.
- 4. **Колпащиков Л.А., Куксов В.А., Павлов Б.М.** обоснование предельной численности таймырской популяции диких северных оленей. **Экология и рациональное использование наземных позвоночных Севера Средней Сибири.** 1983. Новосибирск. С. 3-14
- Kolpaschikov L.A., Mikhailov V.V., Russell D.E. The role of harvest, predators, and socio-political environment in the dynamics of the Taimyr wild reindeer herd with some lessons for North America. *Ecology and Society*. 2015. Vol. 20. № 1. URL: http://www.ecologyandsociety.org/vol20/iss1/art9/
- 6. **Якушкин Г.Д., Колпащиков Л.А., Кокорев Ю.И**. Размещение и численность таймырской популяции диких северных оленей в 2000 году. *Научное обеспечение рационального природопользования Енисейского Севера. Сб. научных трудов.* СО Россельхозакадемии. НИИСХ Крайнего Севера. Новосибирск, 2001. С. 32-37.
- 7. **Mikhailov V.V., Kolpaschikov L.A.** Population dynamics of the Taimyr wild reindeer herd. *International Journal of Environmental Studies*. 2017. Vol. 74. № 5. P. 862-883. DOI:10.1080/00207233.2017.1284384
- 8. **Колпащиков Л.А., Бондарь М.Г., Михайлов В.В**. Катастрофа великой популяции. *Охота и охотничье хозяйство*. 2020, № 8. С. 1-5.
- 9. **Колпащиков Л.А., Бондарь М.Г., Михайлов В.В.** Современная история таймырской популяции диких северных оленей: управление, угрозы, пути сохранения. *Труды Карельского исследовательского центра Российской академии наук.* 2019, № 11. С. 1-16. DOI: 10.17076/eco1045
- 10. **Кочкарев П.В., Кузьмин В.Д., Зарубин Д.С., Кочкарев А.П.** Таймырская популяция диких северных оленей: основные показатели и необходимость контроля уровня использования. *Млекопитающие в меняющемся мире: актуальные проблемы териологии (XI съезд Териологического общества при РАН). Материалы конференции с международным участием, 14-18 марта 2022 г., Москва, ИПЭЭ РАН. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2022. С. 172*
- 11. **Зеленцов В.А., Колпащиков Л.А., Михайлов В.В., Петров А.П**. Мониторинг популяции диких северных оленей на основе интеграции наземных, аэрокосмических и климатических данных. *Теоретическая и прикладная экология*, 2014, № 1. С 57-62.

V.V.Mikhailov, (Saint Petersburg Research Center of Russian Academy of Sciences, St. Petersburg) L.A. Kolpaschikov (United Directorate of Taimyr Reserves, Norilsk). **On the management of ungulate populations using wild reindeer in the Taymir** 

The paper presents the management structure of the wild ungulate population, including the population size and sex and age structure, the fishery management structure and the ecosystem level of regulation—"herbivore-pasture population" and "herbivore-predator population". The evolution of the management system of the Taimyr wild reindeer population in its documented history is considered. It is shown that the only way to preserve the population as a hunting resource is to restore the management system taking into account modern socio-economic conditions.

В. А. ЗЕЛЕНЦОВ, И. Ю. ПИМАНОВ, С. А. ПОТРЯСАЕВ (Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург)

# МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОРГАНИЗАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОГРАММНЫХ КОМПОНЕНТОВ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ КОМПЛЕКСНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Рассматриваются и обосновываются методы и программные технологии, которые позволяют практически реализовать методологию комплексного моделирования природно-технических объектов. Показано, что программные комплексы рассматриваемого класса целесообразно строить на базе сервисориентированных архитектур. Стек используемых технологий должен также включать применение обмена сообщениями между программными компонентами систем моделирования, реализацию адаптеров и медиаторов сообщений, использование битемпоральных баз данных и реестра сервисов.

Введение. С развитием систем мониторинга и проактивного управления сложными природно-техническими объектами (ПТО) как в нормальных условиях, так и при чрезвычайных ситуациях, актуальными становятся вопросы автоматизации функционирования моделирующих систем, осуществляющих прогноз изменения состояния ПТО и информационно-аналитическую поддержку принимаемых решений по управлению ими. Основу систем моделирования ПТО составляют распределенные программные комплексы (ПК), задачи создания которых отличаются целым рядом особенностей. В первую очередь, это необходимость использования для описания ПТО не одной, а семейства (комплекса) моделей, реализуемых соответствующими программными модулями (сервисами), каждый из которых предназначен для моделирования ПТО в конкретном диапазоне внешних условий. Применение данной методологии комплексного моделирования [1] позволяет существенно улучшить показатели качества прогнозов, но только при условии разработки технологий выбора моделирующих сервисов и их адаптации в процессе функционирования систем моделирования. Кроме того, возникают задачи получения, ввода и интегрированного использования в разрабатываемых распределенных системах комплексного моделирования (РСКМ) больших объемов разнородных данных об анализируемых объектах, интерпретации и предоставления в наглядной форме результатов моделирования, и т. д. В случае, если потребителями РСКМ являются специалисты-практики, принципиальным требованием является необходимость сквозной автоматизации всех этапов функционирования РСКМ с предоставлением результатов в простой и наглядной форме. Доклад посвящен обоснованию и выбору методов и технологий создания и организации взаимодействия компонентов ПК РСКМ, учитывающих перечисленные особенности.

**Архитектура ПК РСКМ.** Основными видами программных компонентов, согласованное взаимодействие которых необходимо обеспечить при функционировании РСКМ, являются расчетно-моделирующие модули и сервисы, а также разнородные информационные ресурсы, которые привлекаются для поставки исходных данных для выполнения расчетов и решения тематических задач (мониторинга, прогнозирования, проактивного управления). Организация взаимодействия программных компонентов включает вопросы выбора базовой архитектуры РСКМ, формирования состава модулей и сервисов для решения системой целевых задач, и интеграции разнородных информационных ресурсов, необходимых для моделирования.

Сетевое взаимодействие модулей программного обеспечения наиболее полно реализовано в сервис-ориентированной архитектуре (СОА). В СОА воплощен модульный подход к разработ-ке программного обеспечения, использующий распределенные, слабо связанные заменяемые компоненты, которые оснащены стандартизированными интерфейсами для взаимодействия по стандартизированным протоколам, что позволяет создавать сложные распределенные информационные системы [2]. Одно из главных достоинств СОА, определяющих перспективность ее использования при создании РСКМ, состоит в адаптивности и эластичности, которые основываются на слабой связанности существующих и создаваемых программных компонентов (вебсервисов). При этом отдельные интерфейсы не зависят от используемых аппаратных платформ, операционных систем или языков программирования, используемых для разработки распределенных моделирующих сервисов, что обеспечивает их более эффективное взаимодействие [3].

**Технологии сервис-ориентированного взаимодействия в ПК РСКМ.** Вопросами, которые требуют рассмотрения при организации сервис-ориентированного взаимодействия, являются, прежде всего, технология обмена сообщениями между компонентами РСКМ, применение адаптеров и медиаторов сообщений, способы организации хранения данных, использование реестра сервисов.

При выборе *технологии обмена сообщениями* между компонентами ПК и внешними необходимыми сервисами на первом месте стоит требование гарантированной доставки сообщения по технологии запрос-ответ. В РСКМ источниками данных для работы сервисов являются различные государственные и частные службы, информационные порталы, почтовые рассылки и т. д. Располагаемые на них данные и информация зачастую изначально не предназначены для автоматического извлечения. Решение этой проблемы заключается в использовании программных *адаптеров*. Адаптер действует как клиент для системы обмена сообщениями и вызывает функции приложений через интерфейс, предоставляемый приложением. Таким образом, любое приложение может подключиться к системе обмена сообщениями и интегрироваться с другими приложениями, если у него есть соответствующий адаптер. Использование программного адаптера может быть расширено до трансформации разнородных неструктурированных и слабо структурированных данных в семантические данные.

При наличии системы упорядоченных входных данных, преобразованных в вид унифицированных сообщений, появляется возможность использования технологии преобразования и маршрутизации этих сообщений посредством *медиаторов*. Одна из главных функций медиаторов – сопоставление несовместимых протоколов, форматов данных и шаблонов взаимодействия между различными ресурсами. Данные могут быть разделены, дублированы, агрегированы и дополнены, что позволяет взаимодействовать сервисам с различными возможностями. Технологическая основа преобразования – применение языков преобразования документов XQuery и XSLT, а для маршрутизации на основе содержимого используется фильтрация XPath.

Проблема *хранения данных* для РСКМ может быть эффективно решена путем применения битемпоральной базы данных, базирующейся на темпоральной модели данных (ТМД). Благодаря битемпоральности используемой ТМД сохраняется не только время актуальности конкретных данных, но и транзакционное время, т. е. момент их записи в хранилище [4]. Эта особенность упрощает поиск данных, согласованных по времени. Битемпоральная БД позволяет РСКМ функционировать в оперативном и сценарном режимах, а также выполнять моделирование «по прошлому».

Реестр сервисов обеспечивает возможность реализации механизма автоматического выбора того или иного моделирующего сервиса из множества альтернатив и назначение его в качестве исполнителя заданной расчётной процедуры. Реестр должен содержать по каждому сервису информацию, с помощью которой можно в автоматическом режиме получить сведения о точке доступа к сервису и параметрах его запуска. При этом никаких требований к глобальной унификации описания сервисов не предъявляется, публикация сервисов для внешнего доступа не планируется. Поэтому может быть использована любая программная реализация реестра, позволяющая дополнять техническое описание сервисов собственными параметрами.

Методы и модели интеграции разнородных информационных ресурсов. Для создания и функционирования РСКМ существенным является определение базовых подходов к интеграции данных для моделирующих сервисов, в том числе требуют обоснования: (1) метод интеграции данных; (2) уровень интеграции; (3) способ интеграции; (4) модель данных. При их выборе для РСКМ должны учитываться основные возникающие проблемы, определяемые спецификой решаемых системой задач, а именно: (1) проблемы разнородности источников данных с различными моделями данных; (2) проблемы автономности источников данных, которые в общем случае спроектированы под решение различных конкретных задач разными методами; (3) проблемы распределенности, т. к. интегрируемые информационные ресурсы могут быть доступны зачастую только через протоколы удаленного доступа, в том числе могут быть распределены в сети Интернет. Наличие таких особенностей определяет преимущества федеративного подхода [5] при выборе метода интеграции данных в РСКМ с применением концепции «интеграции корпоративных приложений» (Enterprise application integration, EAI). Несомненным достоинством федеративного подхода является возможность обеспечения досту-

па к текущим данным, которые локализованы в месте их получения и обработки, и не требуется консолидации первичных данных в новом едином месте хранения. Данная концепция предполагает интеграцию данных на физическом и логическом уровнях, и возможно ее расширение для интеграции данных различной физической природы, поступающих из различных информационных ресурсов, на семантическом уровне. В качестве модели данных целесообразно использовать объектную модель, основанную на стандартах XML и JSON-LD, прежде всего, из-за удобства автоматического извлечения данных, высокой совместимости (кроссплатформенности) и наличия инструментов формализация описания типов данных.

Заключение. Рассмотренные методы и технологии организации взаимодействия программных компонентов РСКМ позволяют практически реализовать методологию комплексного моделирования сложных объектов путем создания механизмов автоматического выбора наиболее адекватных моделей этих объектов для каждого рассматриваемого момента времени и диапазона внешних условий, а также за счет интегрированного использования разнородных исходных данных при моделировании. При этом обеспечивается максимально полная автоматизация функционирования РСКМ и не требуется переноса моделирующих компонентов (сервисов) на единый аппаратный ресурс с их отчуждением от разработчиков, что подтверждается выполненными практическими реализациями РСКМ.

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ (№№20-08-01046), в рамках бюджетной темы FFZF-2022-0004

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Микони С.В., Соколов Б.В. Юсупов Р.М.** Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов. М.: РАН, 2018 314 с
- 2. **Зеленцов В.А., Потрясаев С.А.** Архитектура и примеры реализации информационной платформы для создания и предоставления тематических сервисов с использованием данных дистанционного зондирования Земли. *Труды СПИИРАН.* 2017. Т.6. №55. С. 86–113.
- 3. Дмитриев А. Сервис-ориентированная архитектура в современных моделях бизнеса. М.: ДК, 2006. 221 с.
- 4. **Georgia Garani, George K. Adam, Dimitrios Ventzas.** Temporal data warehouse logical modelling. *International Journal of Data Mining, Modelling and Management.* 2016. Vol. 8. No. 2.
- 5. Интеграция данных и Хранилища. [Электронный ресурс]. CitCity: [сайт]. URL: http://citcity.ru/12101/ (дата обращения: 10.04.2022).

V.A.Zelentsov, I.Yu.Pimanov, S.A.Potryasaev (St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg). **Methods and technologies for interaction implementation of distributed systems software components for complex objects integrated modeling** 

Methods and software technologies that implement the methodology of complex modeling for natural and technical objects are considered and substantiated. It is shown that software systems of the proposed class should be built on the basis of service-oriented architectures. The technology development stack should also include message exchange between software components, adapters, message mediators, bitemporal database using and a services registry.

## В. В. ЦЕХАНОВСКИЙ, В. Д. ЧЕРТОВСКОЙ

(Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург)

# СПЕЦИФИКА ПРОЦЕССА ПЛАНИРОВАНИЯ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

Зафиксировано, что эффективным направлением развития экономики является цифровизация производственных систем управления. Такие автоматизированные системы характеризуются целым рядом особенностей. Важнейшими из них являются: многоуровневая структура с разными масштабами по времени на разных уровнях, режим оперативного перехода на выпуск новой продукции.

Показано, что многоуровневая структура математически представлена тремя трехуровневыми блоками.

Отмечено, что более детальное изучение процесса планирования в режиме оперативного перехода на выпуск новой продукции удобнее проводить на верхнем блоке – руководитель – диспетчер – начальники иехов.

Более подробно авторами исследуется процесс на двух нижних уровнях, поскольку процесс на верхнем уровне более прост в описании.

Предлагаемое решение режима построено на однородном методе.

Первоначально описан статический процесс планирования. Особенностью является представление динамики режима в отклонениях от статического варианта. Это позволяет снизить размерность задачи и увеличить скорость ее расчета.

**Введение.** Важнейшей экономической задачей является цифровизация экономики. Одним из направлений решения проблемы является построение многоуровневых систем управления производством [1–3] с режимом оперативного перехода на выпуск новой продукции. Описание таких систем возможно в виде трехблочной модели с трехуровневой структурой в каждой. Требования к методам описания таких систем сформулированы в [1]. На их основе в [1, 2] проведен анализ методов описания и предложен универсальный однородный метод. С его помощью системы описаны в виде трехблочной схемы. Каждый блок представлен трехуровневой структурой. Интерес представляет верхний блок со структурой руководитель (уровень h=3) – диспетчер (h=2) — начальники цехов (h=1).

**Постановка задачи.** В работах, исследующих эту структуру, рассматриваются в основном экономические статические свойства системы. В данной работе упор сделан на изучение динамических свойств.

**Решение задачи.** Основу однородного метода составляет задача статического линейного программирования (СЛП), которая в самом общем случае имеет вид

$$\mathbf{DP} \leq \mathbf{b},$$
 $\mathbf{R} \leq \mathbf{P} \leq \mathbf{R}^+,$ 
 $G(\mathbf{P}) = \mathbf{FP} > \rightarrow \max,$ 
(1)

где P, b, R — вектор-столбцы искомого плана, ресурсов, спроса; D — матрица норм расходов; F — вектор-строка прибыли за единицу готовой продукции; G — целевая функция.

Эту задачу, которую будем называть прямой, можно сформулировать и так

Наряду с прямой задачей, для генерации числовых данных для компьютерной модели используются *обратная* задача

Выделяются 2 режима планирования: традиционный (статический) и адаптивный (переход на выпуск новой продукции).

Пусть в системе, работавшей в традиционном режиме, появляется необходимость начать выпуск новой продукции с планом  $\bf P$  на уровне h=3. Это вызывает изменения матрицы  $\bf D$  на всех уровнях. Для выявления потребных ресурсов решается обратная задача в рамках СЛП или с использованием алгоритма  $\bf P$ . Габасова.

Следует заметить, что для новой продукции потребуются не все ресурсы старого статического режима. В этом случае размерность задачи СЛП может быть уменьшена.

Если выявляется недостача ресурсов, то принимаются организационные меры.

Если ресурсов достаточно, то значение P передается на уровень h=2 для решения задачи для диспетчера со структурой в виде  $\mathbf{K}$  последовательно связанных элементов.

Непосредственное описание отдельных структурных элементов с учетом специфики уровней связано с задачей динамического линейного программирования (ДЛП). Каждый уровень имеет свою специфику.

Уровень h = 1.

$$\mathbf{z}_{k}(t_{i}) = \mathbf{A}_{k}\mathbf{z}_{k}(t_{i-1}) + \mathbf{B}_{k}\mathbf{p}_{1k}(t_{i-1}), \, \mathbf{z}_{k}(0) = \mathbf{z}_{k0}, \tag{4}$$

$$\mathbf{p}_k(t_i) = \mathbf{F}_k \mathbf{z}_k(t_{i-1}),\tag{5}$$

$$\sum_{i=0}^{N-1} \mathbf{D}_{1}^{m} \, \mathbf{p}_{1k}(t_{i}) \le \mathbf{b}^{m}(0), \tag{6}$$

$$\sum_{i=0}^{N-1} \mathbf{p}_K(t_i) \le \mathbf{P}(T),\tag{7}$$

$$\mathbf{D}_{k}^{\psi}\mathbf{p}_{k}(t_{i+1}) \leq \mathbf{b}_{k}^{\psi}(t_{i}), \tag{8}$$

$$\mathbf{D}_{k}^{m}\mathbf{p}_{k}(t_{i+1}) \leq \mathbf{b}_{k}^{m}(t_{i}), \tag{9}$$

$$\boldsymbol{b}_{k}^{\psi}(t_{i}) = \boldsymbol{b}_{k}^{\psi}(t_{i-l}) + \Delta \boldsymbol{b}_{k}^{\psi}(t_{i-l}), \tag{10}$$

$$G_k = \mathbf{F}_k \mathbf{P}_k(T) \rightarrow \min,$$
 (11)

$$i = 0, N 1, t_i = iv, t_0 = 0, T = Nv,$$

где **z**, **p** — вектор-столбцы (планового) незавершенного производства и ежедневного плана, **p**<sub>1</sub> — вектор-столбец запуска комплектов ресурсов в производство, **R** — вектор-столбец спроса; **D** — матрица норм расходов ресурсов; **b** — вектор-столбец наличного количества ресурсов; **b**<sup>m</sup>(0) — вектор количества материальных ресурсов, которыми располагает уровень h= 3;  $\Delta$ **b** — поступление ресурсов; **P** — вектор-столбец плана уровня h= 3; **F**— вектор-строка прибыли от выпуска единицы продукции; **A**, **B**, **C** — единичные матрицы соответствующих размерностей; v, T — минимальный интервал времени и время моделирования; m = 1, M — виды материальных ресурсов;  $\psi$  = 1,  $\Psi$  — виды прочих ресурсов; i = 1, I — моменты времени; k = 1, k — номер подразделения.

Уровень *h*= 2.

Выражения (9), (11) меняются на выражения (12), (13)

$$\mathbf{D}_{k}^{m} \mathbf{p}_{1k}(t_{i+1}) \leq \mathbf{b}_{k}^{m}(t_{i}) + \mathbf{p}_{k-1}(t_{i}) - \mathbf{D}_{k}^{m} \mathbf{p}_{1k}(t_{i}), \tag{12}$$

$$G = \sum_{i=1}^{K} G_k \to max, \tag{13}$$

Приведенное описание позволяет представить динамику процесса планирования при оперативном переходе на выпуск новой продукции.

Описание оперативного перехода на выпуск новой продукции. В этом режиме вектор спроса  $\mathbf{R}(t) = \{\mathbf{R}_3^T(t), \mathbf{R}_4^T(t)\}^T$ , где  $\mathbf{R}_4(t)$  – вектор спроса на новую продукцию;  $^T$  – символ транспонирования. Пусть в момент времени  $(t) = (\tau \ 1)$  возникает необходимость в оперативном переходе на выпуск новой продукции  $\mathbf{P}_4[\tau] = \{P_{4j}[\tau], j \in 1, J_4\}$ . При этом старая продукция  $\mathbf{P}_3[\tau]$  из  $\mathbf{P}[\tau]$  снимается с производства полностью  $(\mathbf{P}'_3[\tau] = 0)$  или частично  $(\mathbf{P}'_3[\tau] < \mathbf{P}_3[\tau])$ .

Скачкообразные изменения можно использовать для оценки целесообразности перехода с помощью задачи СЛП.

Обратимся к случаю, когда матрица ограничений **D** заполнена полностью.

Ограничения старого плана имеют вид

$$\mathbf{D}_1 \mathbf{P}_3[\tau] \le \mathbf{b}(0). \tag{14}$$

При появлении новой продукции описание получает вид

$$(\mathbf{D}_1 \mathbf{D}_2) \begin{pmatrix} \mathbf{P}_3[\tau] \\ \mathbf{P}_4[\tau] \end{pmatrix} \le \mathbf{b}(0),$$
 (15)

если новые ресурсы не требуются и

$$\begin{pmatrix} \mathbf{D}_1 \mathbf{D}_2 \\ 0 & \mathbf{D}_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{P}_3[\tau] \\ \mathbf{P}_4[\tau] \end{pmatrix} \le \begin{pmatrix} \mathbf{b}(0) \\ \mathbf{b}_1(0) \end{pmatrix}.$$
 (16)

Запись в отклонениях (15) от (14) получает вид с величиной  $b^*$ , получим

$$\mathbf{D}_{1}(\mathbf{P}'_{3}[\tau] - \mathbf{P}_{3}[\tau]) - \mathbf{D}_{2}\mathbf{P}_{4}[\tau] \le \mathbf{b}^{*} - \mathbf{b}$$
 (17)

Переход целесообразен, если

$$\mathbf{F}_{1}(\mathbf{P}'_{3}[\tau] - \mathbf{P}_{3}[\tau]) + \mathbf{F}_{2}\mathbf{P}_{4}[\tau] \ge 0. \tag{18}$$

В случае (16) к ограничению (17) добавляется

$$\mathbf{D}_{3}\mathbf{P}_{4}[\tau] \le \mathbf{b}_{1}(0),\tag{19}$$

а целевая функция

$$G = \mathbf{F}_1 \mathbf{P}'_3[\tau] + \mathbf{F}_2 \mathbf{P}_4[\tau] \rightarrow \max. \tag{20}$$

Заметим, что при  $P_4 = 0$  получается описание традиционной системы.

В частном варианте рассмотренного случая матрица **D** разрежена. Размерность задачи уменьшается и ее решение упрощается.

Поскольку описание (14) - (20) аналогично описанию интеллектуальной системы управления, можно воспользоваться следующими [1–3] ранее полученными результатами:

- методами согласования экономических интересов отдельных структурных элементов и координации динамических свойств элементов;
- алгоритмами генерации числовых данных для оперативной отладки компьютерной модели;
- программами реализации структурных элементов и системы малой размерности с помощью пакета MatLab;
- программами реализации отдельных высокоразмерных элементов.

Можно будет использовать находящуюся в процессе отладки программу сетевой модели интеллектуальной системы управления производством.

В рамках этой структуры администратор формирует базу данных, используя сгенерированные числовые данные. Первоначально проводится планирование «с нуля». Руководитель формирует план, а на его основе диспетчер и начальники цехов строят планы соответствующих уровней иерархии. Затем задаются параметры для несогласованного плана, и клиенты проводят необходимое согласование. Далее реализуется процедура перехода на выпуск новой продукции сначала без учета динамики планирования, а потом — с учетом инерционности процесса. Рассмотренная модель служит основой для анализа, оптимизации и компьютерного моделирования процессов управления в системе.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Чертовской В.**Д. Интеллектуализация автоматизированного управления производством. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2007.164 с.
- 2. **Чертовской В.**Д. Основы теории адаптивных автоматизированных систем управления производством. Труды Всероссийского совещания по проблемам управления (ВСПУ-2019, Совещание). Москва: ИПУ, 2019, С. 2676–2679.
- 3. **Чертовской В.**Д. Моделирование процессов адаптивного автоматизированного управления производством: Монография. С.-Петерб. Лань, 2019. 216 с.
- 4. Угольников Г.А., Усов А.Б. Трехуровневая система управления средой. Проблемы управления, 2020, №1. С. 26-32.

- Haseeb M, Hussain H., Slusarczyk B., Jermsittiparsert K. 2019 Industry 4.0: A Solution towards Technology Challenges of Sustainable Business Perfomance Soc. Sci. 8 00154
- 6. Chertovskoy V.D., Tsehanovsky V.V. Cyberphisical adaptive manufacturing control systems (2020). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 919 (3), статья № 032018,
- 7. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. М.: Физмат, 2007.

# V.D. Chertovskoy, V.V. Tsehanovsky (Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»). **Specifics of the planning process in production management systems**

It has been recorded that an effective direction of economic development is the digitalization of production management systems. Such automated systems are characterized by a number of features. The most important of them are: a multilevel structure with different time scales at different levels; a mode of operational transition to the production of new products. It is shown that the multilevel structure has a block mathematically represented by three three-level blocks. It is noted that a more detailed study of the planning process in the regime of operational transition to the output of new products is more convenient to conduct on the upper block manager - dispatcher - heads of shops. The authors study the process at the two lower levels in more detail, because the process at the upper level is simpler to describe. The proposed mode solution is based on the homogeneous method. Initially, a static planning process is described. A feature is the representation of mode dynamics in deviations from the static variant. This makes it possible to reduce the dimensionality of the problem and increase the speed of its calculation.

#### А. А. МУСАЕВ

(Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург)

#### Д. А. ГРИГОРЬЕВ

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

# АНАЛИЗ ИНЕРЦИОННОСТИ ХАОТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЧЕРЕЗ ТЕРМИНАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ

Статья носит методический характер и посвящена анализу эффективности прогнозирования нестационарных процессов через терминальные показатели качества управления в условиях динамического хаоса, характерного для нестабильных сред погружения. Показано принципиальное отличие свойств рядов наблюдений за хаотическими процессами от вероятностных описаний традиционных моделей, основанных на статистической парадигме. Рассмотрена аддитивная модель с хаотической системной составляющей и нестационарными шумами, наиболее адекватно описывающая рассмотренные в работе ряды наблюдений. Предложена методика оценки качества статистических прогнозов в условиях хаотической динамики наблюдаемых процессов.

Введение. Характерной чертой любых открытых систем, в том числе и систем управления с нестабильными средами погружения, является наличие случайных возмущающих воздействий, обусловленных множеством трудно прогнозируемых факторов различной природы. При этом в каждый момент времени тот или иной фактор, часто имеющий латентный характер, может оказаться доминирующим, что приводит к возникновению множества явно выраженных локальных трендов. Наличие таких трендов, а также больших участков рядов наблюдений, динамические свойства которых представляют собой колебательный непериодический процесс, разрушает совокупность традиционных ограничений, в рамках которых статистические оценки отвечают свойствам состоятельности, эффективности и несмещенности. Перечень условий, обеспечивающих эффективность и состоятельность статистических решений можно найти в классических и современных учебниках по математической статистике [1–3].

Изучение рядов наблюдений за изменением параметров состояния объекта управления, находящегося во взаимодействии с нестабильной средой погружения, приводит к выводу, что их природа определяется хаотической динамикой и описывается аддитивной моделью Вольда вида:

$$Y_k = X_k + V_k, k = 1, ..., n$$
 (1)

где  $X_k$ ,  $k=1,\ldots,n$  – системная составляющая наблюдаемого процесса, используемая в процессе формирования управляющего решения, представляет собой реализацию динамического хаоса [4-6] и обычно имеет вид колебательного непериодического процесса с множеством локальных трендов неопределенной длительности. Шумовая составляющая наблюдаемого процесса  $V_k$ ,  $k=1,\ldots,n$ , как показали численные исследования, основанные на проверке статистических гипотез [7, 8], представляет собой нестационарный гетероскедастический процесс с невырожденной функцией автокорреляции, зависящей от времени.

Задача состоит в том, чтобы оценить возможность применения алгоритмов прогнозирования на основе традиционных методов статистического синтеза, к задаче проактивного управления при условиях, описываемых моделью наблюдений (1). С этой целью в рамках проведенных исследований разработана методика, основанная на общей теории оценивания эффективности информационных технологий (ИТ), изложенная в [9, 10].

**Метод.** В задачах проактивного управления процесс выработки управляющего решения базируется на прогнозировании развития наблюдаемого процесса. Традиционный статистический синтез позволяет сформировать оптимальный прогноз на основе известных методов байесовского оценивания, ММП, МНК [1–3, 8, 11]. Аналитическая оценка эффективности указанных методов в условиях хаотической и нестационарной динамики наблюдаемых процессов оказывается не реализуемой. В связи с этим в настоящей работе проведены численные исследования, основанные на терминальной оценке эффективности алгоритмов прогнозирования и формируемых на их основе проактивных управляющих решений для реальных процессов, отражающих

динамику нестационарных и хаотических процессов. В целях изучения поставленного вопроса в настоящей работе проведен ряд вычислительных экспериментов для трех наиболее часто используемых физических параметров турбулентного потока.

Для реализации описанной технологии анализа эффективности прогнозирования разделим область изменения исследуемого процесса Y(t) на равномерные сектора размера dL. Значения процесса измеряются в унифицированных нормированных и центрированных величинах, называемых nункmаm (n). Предположим, что процесс перешел с уровня dL до вышерасположенного уровня  $L_{k+1}$ . Данный факт можно грубо интерпретировать, как модель положительного тренда. Обозначим такой переход  $L_k \to L_{k+1}$ . И наоборот, переход  $L_k \to L_{k-1}$  можно рассматривать, как модель с отрицательным трендом. Вопрос состоит в подтверждении гипотезы о корректности предположения о возможности использования выявленного тренда в качестве прогностической модели процесса Y(t), определяемой достижением последующего уровня в направлении, соответствующем установленному тренду.

В качестве иллюстрации на рис. 1 приведен пример изменения плотности потока на 10-дневном интервале наблюдения с границами зон сегментации и отметками о пересечении соответствующих границ.

Заметим, что на графике представлен как сам процесс  $Y_t$ , t=1,, n , так и его сглаженная версия  $\tilde{Y}_t$ , t=1,, n . Сглаживание осуществлялось простым экспоненциальным фильтром



Рис.·1.·Пример·динамики изменения параметранестационарного процесса на ⊷ 10-дневном интервале наблюдения¶

$$ilde{Y}_t = lpha Y_t + eta ilde{Y}_{t-1}$$
,  $t=1$ ,  $n$  , где  $lpha \in (0,1)$ ,  $eta = 1-lpha$  .

Предположим, что проведено N экспериментов, в каждом из которых в качестве прогностической модели используется линейный тренд, определяющий направление перехода с одного уровня на другой. В случае, направление движения сохранится вплоть до пересечения со следующим по направлению тренда уровнем, то такой исход будем воспринимать как событие, подтверждающее корректность модели. Наоборот, если процесс развернется и достигнет предшествующего уровня, то такой исход следует рассматривать как негативный, отрицающий возможность применения прогностической модели. Предположим, что в результате N последовательно проведенных экспериментов, т исходов подтверждают гипотезу о

наличии тренда, а N-m исходов ее отрицают. Тогда предположение о наличии тренда может трактоваться как альтернатива  $H_1$ :  $p \neq 0,5$  к нулевой гипотезе  $H_0$ : p = 0,5 об его отсутствии, где p = m/N.

**Вычислительные** эксперименты. Для того чтобы охватить как можно больше типов вариаций хаотической динамики, рассматривались пять 100-дневных участков для трех параметров турбулентного потока. В качестве размера межуровневого интервала использовалась величина dL = 100п. (пунктов). Оценка вероятности осуществляется через отношение положительных исходов к общему числу экспериментов. Соответствующие результаты вычислительного эксперимента представлены в таблице.

Таблица

Частота положительных и	исходов при dL=100
-------------------------	--------------------

Временной интервал, сутки	Параметры				
	$X_1$	$X_2$	$X_3$		
1-100	0,552	0,484	0,444		
101-200	0,507	0,536	0,465		
201-300	0,533	0,552	0,560		
301-400	0,494	0,452	0,465		
401-500	0,446	0,545	0,444		

Из приведенной таблицы следует полное отрицание эффективности линейной экстраполяционной модели в задаче проактивного управления реализацией турбулентного потока. Последнее утверждение было проверено в [10] методами статистической проверки гипотез  $H_0$  и  $H_1$ .

Дальнейшие исследования проводились для других вариантов прогностических моделей, основанных на сглаженных рядах наблюдений, на технологиях многомерного регрессионного анализа, анализе прецедентов на основе метрик подобия и т. п. Все они подтвердили конструктивность предложенной методики оценивания эффективности алгоритмов прогнозирования на основе терминальных показателей качества управления [12, 13].

**Заключение.** Предложенная в статье технология с применением сегментации области изменения изучаемого нестационарного процесса позволяет построить наглядную, хорошо визуализируемую систему анализа эффективности применяемых технологий прогнозирования.

В частности, для иллюстрации предложенного анализа эффективности прогнозирования показано, что использование статистической экстраполяции не позволяет получить устойчивое решение поставленной задачи прогнозирования в силу высокой степени его стохастического разброса. Процесс достигает уровней принятия решения чаще в силу высокой дисперсии, чем в результате инерционного тренда. Отсюда возникает рекомендация об использовании для анализа инерционности сглаженного процесса. В частности, хорошие результаты дает сглаживание экспоненциальным фильтром с коэффициентом передачи  $\alpha = 0005 - 002$ .

Тем не менее, применение сглаженной кривой также не позволяет убедительно подтвердить эффективность экстраполяционного прогноза для хаотических процессов. В частности, для режима колебательного непериодического процесса, характерного для детерминированного хаоса, стратегия управления, основанная на линейных прогностических моделях, является неэффективной. Для таких участков эволюции значений параметров обнаружение тренда говорит о том, что он в ближайшее время изменится и, следовательно, необходимо стабилизировать процесс, в сторону ему противоположную.

Отсюда возникает вывод о необходимости многостороннего анализа динамики изучаемого процесса. Наиболее перспективным направлением в развитии задачи автоматического управления нестационарными процессами, по мнению авторов, является разработка управляющих решений на основе мультиэкспертных систем [14].

Исследования, выполненные по данной тематике Мусаевым А.А., проводились при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ (№№20-08-01046), в рамках бюджетной темы FFZF-2022-0004. Исследования Григорьева Д.А. проведены при частичной финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 20-78-10113).

Также авторы благодарят участников семинара Центра эконометрики и бизнес аналитики СПбГУ за практические замечания к данной работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Кендалл М., Стьюарт А. Теория распределений /Пер. с англ. Под ред. А. Н. Колмогорова. М.: Наука, 1966. 588 с.
- 2. **Кендалл М., Стьюарт А.** Статистические выводы и связи /Пер. с англ. Под ред. А. Н. Колмогорова. М.: Наука, 1973. 900с.
- 3. Рао С.Р. Линейные статистические методы / Пер. с англ. под ред. Ю.В. Линника. М.: Наука, 1968. 548с.

- 4. **Peters E.E.** Chaos and Order in the Capital Markets: a New View of Cycles, Prices, and Market Volatility, 2nd ed.; John Wiley & Sons: NY, USA, 1996; 288p.
- Gregory-Williams J., Williams B.M. Trading Chaos: Maximize Profits with Proven Technical Techniques, 2nd ed.;
   John Wiley & Sons: NY, USA, 2004; 251p.
- 6. Smith, L. Chaos: A Very Short Introduction; Oxford University Press: Oxford, UK, 2007; 180p.
- 7. **Musaev A.A.** Quod est veritas. Views transformation at a system component of observable process. Informatics and Automation (SPIIRAS Proceedings) 2010, 15, pp. 53–74.
- 8. **Musaev A.A.** Modeling of trading assets quotations. Informatics and Automation (SPIIRAS Proceedings) 2011, 17, pp. 5–32.
- 9. **Юсупов Р.М., Мусаев А.А.** Особенности оценивания эффективности информационных систем и технологий. *Труды СПИРАН*. 2017. Вып. 2 (51). С. 5-34.
- 10. **Юсупов Р.М., Мусаев А.А., Григорьев Д.А.** Оценивание эффективности статистических методов прогнозирования в условиях динамического хаоса. *IV Международная научная конференция по проблемам управления в технических системах (ПУТС-2021)*: Сборник докладов. Санкт-Петербург. 21–23 сентября, 2021 г. Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2021. С. 223-226.
- 11. **Кашьяп Р.Л., Рао А.Р.** Построение динамических моделей по экспериментальным данным / Пер. с англ. М.: Наука, 1983. 384c.
- Musaev A., Makshanov A., Grigoriev D. Forecasting Multivariate Chaotic Processes with Precedent Analysis. Computation 2021, 9, 110.
- 13. **Musaev A., Makshanov A., Grigoriev D.** Numerical Studies of Statistical Management Decisions in Conditions of Stochastic Chaos. Mathematics 2022, 10(2), 226.
- Мусаев А.А., Григорьев Д.А. Формализованная постановка и краткий обзор технологий извлечения знаний из текстовых документов в задачах управления финансовыми активами. Техника и технология современных производств. 2021. С. 129-139.

A.A.Musaev (St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg), D.A.Grigoriev (Saint Petersburg State University, St. Petersburg). **Evaluation of the quality of prediction of non-stationary process using proactive control efficiency indicators** 

This methodical article is devoted to the analysis of the efficiency of predicting non-stationary processes through terminal indicators of control quality under conditions of dynamic chaos, which is typical for unstable immersion environments. A fundamental difference between the properties of observation series of chaotic processes and probabilistic descriptions of traditional models based on the statistical paradigm is shown. An additive model with a chaotic system component and non-stationary noise is considered, which most adequately describes the series of observations considered in the paper. A method to evaluate the quality of statistical forecasts under conditions of chaotic dynamics of the observed processes is proposed.

#### А. В. АЛЕКСЕЕВ

(Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург)

# СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И СИНТЕТИЧЕСКАЯ КВАЛИМЕТРИЯ ОБЪЕКТОВ МОРСКОЙ ТЕХНИКИ И МОРСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Тенденция роста сложности современных объектов проектирования, ужесточение требований на всех этапах жизненного цикла обуславливают особую необходимость поиска инвариантных технологических решений, их системного анализа и комплексного моделирования, включая количественный анализ конкурентной способности, перспективности развития. На основе полимодельного квалиметрического метода системной оптимизации объектов проектирования приведены примеры квалиметрического синтеза автоматизированных систем управления в защищенном исполнении, интеллектуальных систем поддержки принятия решений.

Введение. В развитие ранее представленных математической модели, методики и примеров инвариантной оценки качества, и эффективности объектов исследовательского проектирования ОИП на основе активно развиваемого сегодня полимодельного квалиметрического метода (ПКМ) [1] в контексте известных методов квалиметрии моделей и полимодельных комплексов [2], рассмотрим различные по структуре и специфике функционирования варианты решения проблемы квалиметрического синтеза или в интерпретации профессора А.И. Субетто – синтетической квалиметрии [3] ОИП, обоснования их свойств и характеристик, включая особо востребованный сегодня количественный анализ их конкурентной способности (КС) и перспективности развития (ПР).

Сегодня в условиях ярко выраженной тенденции роста сложности современных объектов информатизации, включая объекты морской техники и морской инфраструктуры (ОМТИ), ужесточения требований к интеллектуальному качеству процессов их создания и эксплуатации на всех этапах жизненного цикла, цифровой трансформации и обеспечения импортозамещения особую актуальность приобретает необходимость поиска технических и технологических решений, инвариантных к специфике условий эксплуатации [4]. Соответственно, их системного анализа и комплексного моделирования их функционирования, исследовательского проектирования, обоснования их свойств и характеристик, включая количественный анализ конкурентной способности и перспективности технологического развития.

Как показывают результаты исследований, это позволяет оценивать практические возможности, свойства, преимущества и ограничения ПКМ, формулировать соответствующие рекомендации по его использованию, прежде всего, применительно к задачам системного анализа проектного качества и эксплуатационной эффективности (как меры реализации проектного качества) объектов критической инфраструктуры, включая корабли и их соединения, интегрированные системы боевого управления, другие автоматизированные системы в защищенном исполнении (АСЗИ) и многие другие объекты ОМТИ.

В современных условиях лавинообразного роста сложности ОМТИ эта проблема представляется нам одной из весьма сложных, но одновременно самых востребованных и значимых для решения задач концептуального и исследовательского проектирования [5].

Постановка задачи системного анализа ОМТИ. В основе анализа системных свойств и проектного качества разнородных вариантов ОМТИ, как объектов исследовательского проектирования, лежит количественная оценка и анализ агрегированного (системного, обобщенного, интегрального) полимодельного системного показателя качества (ПСПК) системы ОИП, оцениваемого по алгоритму свёртки k-ых комплексных показателей качества (КПК) в r-ые однородные агрегированные системные и R разнородные системные показатели качества (АСПК), p-ые модельные и ПСПК системы ОИП вида

$$Q = C_p^{t_p} \left\{ w_p, C_{p,R}^{t_R} [w_r, C_{r,K}^{t_K} (w_k, Q_k)] \right\}, \tag{1}$$

где:  $Q_k$  — комплексный k-ый показатель проектного качества (КПК) отдельного ОИП (при эксплуатации — КПЭ), оцениваемый по алгоритму свёртки n-ых частных показателей качества (ЧПК) в g-ые групповые (ГПК), m-ые модельные (МПК) вида

$$Q_{k} = C_{k,M}^{t_{M}} \left\{ w_{m}, C_{m,G}^{t_{G}} \left[ w_{g}, C_{g,N}^{t_{N}}(w_{n}, q_{n}) \right] \right\}; \tag{2}$$

 $C_{g,N}^{t_N}$ ,  $C_{m,G}^{t_G}$ ,  $C_{k,M}^{t_M}$ ,  $C_{r,K}^{t_R}$ ,  $C_{p,R}^{t_R}$ ,  $C_p^{t_P}$  – частные операторы свертки соответственно ЧПК в ГПК, ГПК в МПК, МПК в КПК, КПК в АСПК, АСПК в ПСПК при соответствующих индексах критериальной значимости (ИКЗ, весовых коэффициентах)  $w_n$ ,  $w_g$ ,  $w_m$ ,  $w_k$ ,  $w_r$ ,  $w_p$  и соответствующих типах (в отличии от показателей степени) алгоритмов агрегирования  $t_N$ ,  $t_G$ ,  $t_M$ ,  $t_K$ ,  $t_R$ ,  $t_P$ , например, типа аддитивного алгоритма академика А.Н. Крылова, типа мультипликативного алгоритма Ф. Нэша, типа среднестепенного алгоритма, типа гармонического алгоритма (наиболее предпочтительного, как показано в ряде исследований).

Постановка задачи синтетической квалиметрии ОМТИ. В основе синтеза и оптимизации системных свойств и проектного качества системы ОМТИ (их синтетической квалиметрии) лежит метод ПКМ системной оптимизации ОИП, существо которого сводится к интерактивному использованию по одним и тем же исходным данным ряда альтернативных методов (типа гармонической оптимизации, эвристических решений, корневой чувствительности, анализа-синтеза-оптимизации решений, максимизации ПСПК M ах, Q ( ...), максимизации конкурентной способности, максимизации перспективности развития и других, ряда альтернативных моделей предпочтений, ряда вариантов условий функционирования, ряда вариантов агрегирования получаемых оценок КПК, АСПК, ПСПК с их ранжированием, интерпретацией и принятием итогового решения ЛПР из множества квазиоптимальных решений  $\{J_{Coptv}\}$  с учетом предложений лиц, обосновывающих решения (ЛОР), и лиц, исполняющих решения (ЛИР), по выбору оптимального варианта  $J_{Opt}$  из множества вариантов  $\{j\}$  в соответствии с алгоритмом вида

$$J_{opt} = ArgM_{j} \text{ ax}[\Pi P, \Pi OP, \Pi P, M_{v} \text{ ax}Q(J_{Coptv}, KC, \Pi P, KCC, \Pi PC, ...)].$$
(3)

**Предмет исследований.** Предлагаемый доклад посвящен результатам системного анализа с использованием программных комплексов поддержки принятия проектных решений «АСПИД», «МРКІОКІТУ», «АСОР», «КСПР», «КаСис», «Товсь» ряда разнородных примеров, включая ОМТИ, от сравнительного анализа информационно-аналитических и интеллектуальных систем поддержки принятия решений при решении задач борьбы за живучесть корабля, судна до сравнительного анализа системных свойств круизных лайнеров, а также результатов синтетической квалиметрии обоснования путей повышения проектного качества данных ОМТИ.

Полученные результаты и выводы. Рассмотрены конкретные примеры реализации ПКМ системной оптимизации ОИП применительно к ОМТИ классов ледокол, большой противолодочный корабль, атомная многоцелевая подводная лодка, соединение кораблей охраны водного района, двигатель внутреннего сгорания, судовая энергетическая установка, система управления оружием и техническими средствами, электроэнергетическая система, морская интегрированная система управления в защищенном исполнении, автоматизированная интеллектуальная система поддержки принятия решений операторами, в том числе по выбору автомобиля в классе «Кроссовер», результаты анализа которых приведены на рис. 1.

Рассмотренные свойства и характеристики (ЧПК) 10 альтернативных вариантов автомобилей (на рисунке приведены лучшие 5 из них) с использованием автоматизированной системы поддержки принятия решений «КСПР-18.5» агрегированы в 10 групповых показателей качества и 4 системные свойства при соответствующих ИКЗ (%) с оценкой конкурентной способности по отношению к варианту 4 и перспективности развития субоптимального варианта 9 к варианту 2 (бренд Renault).

Как следует из приведенных результатов оценки вариант «9.Renault Arkana Prima» имеет конкурентное превосходство в 0,6 % к варианту «4.Renault Kaptur» и 4,31 % к варианту «10.MITSUBISHIE CLIPSE CROSS».

Вместе с тем, незначительный разброс КС между вариантами при оценке по более, чем 30 ЧПК и 10 ГПК указывает на высокий уровень технологического развития рассматриваемых вариантов, выбор оптимального из которых без учета их специфических особенностей на базе

квалиметрических оценок практически не возможен, а, тем более, поиск и обоснование вариантов их перспективного развития.

СППР "КСПР-18.5: Оценка конкурентной способности (КС) и перспективности развития (ПР) эксперт: Алешин А.В. легковых автомобилей и кроссоверов							
Назначение объектов сравнения (анализа):							
Основные конкурентные свойства			1. Продукционное качество (энергоэфективность, грузо-				112,1%
V A			мность, короб нологичност	капередач, т ь эксплуата:	ехническая <b>ции</b> (комплект	ация,	
10 альтернативных вариантов,			логичность об	служивания,	безопасность		100,0%
	включая субоптимальный (№ 9),				сурсная прочно	сть,	102,7%
по отношении	ю к базовому для сравнения		мичность, дизайн номичность в		на маркетинг	овая, цена	97,3%
	варианту <b>(№ 4)</b> :	_	ш, стоимость				
Оценка КП	I9-4 и вариантной оптим	ииза	іции обт	ьектов	анализа	(OA):	0,60%
			10.MITSUBIS	2.Renault	8.Hyundai	4.Renault	9.Renault
	нки качества \ Объект	икз	CROSS 1.5T	Kaptur 1.6	Tucson 2.0 6АКП 150ле	Kaptur, 2,0,АКП4,	Arkana Prima
сравнителн	ьного анализа (ОСА)	(Bec)	MIVEC Instyle 2WD	5МКП 114 FW D 2019	4WD	2,0,AR114, Style, 2020	(B3P2M3 T X 5C)
	Поставщик:	21.6.20	ПетроАЦ	ПетроАЦ	Своя цена	ПетроАЦ	I А 5С) Петровский АЦ
ГПК: 1	.Энергоэффективность, %	15	105,1	06.7	066	100.0	106,7
	.1.Мощность двигателя, л.с.	15	150	1 14	150	143	150
	ый расход топлива, л/100 км	-50	7,3	7,4	8,3	8	7,2
	Скорость максимальная, км/ч	10	195	171	180	185	191
1.5.0	1.4.Приемистость, с	-20	11,1	12,5	11,8	10,5	10,5
FOR A STATE OF THE	1.5.Токсичность, СО2, г/км	-5	165	171	165	171	165
	2.Объем багажника, %	5	109,6	109,3	156,1	100,0	130,4
	2.1.Минимальный, л	95	425	425	615	387	508
	2.2.Максимальный, л.	0	600	600	1665	1200	1200
	2.3.Объем авто в целом, м3	5	13,40	12,67	13,72	12,67	14,6
	3.Трансмиссия, %	10	71,0	71,0	100,0	100,0	71,0
	Ручн1, АКП/в-2, АКПП-3, робот - 4	70	2	2	3	3	2
	ривод: передн-1, полный - 2	10	1	1	2	2	1
	рмоза: барабан - 1, диски - 2	20	2	2	2	2	2
	ческая экономичность, %. д топлива в городе, л/100 км	15 -47	108,6 92	107,2 9.3	95,8 11,2	100,0	110,1 9.1
	топлива на трассе, л/100 км		6,2	6,3	6,7	6,7	6.1
	4.3. Число передач, ед.	3	6	6	7	6	6
	5.Ресурсная прочность, %	10	96,4	100,0	96,2	100,0	100,8
	уатационная надежность, %	40 20	90 90	90 90	90 90	90 90	90 90
5.2.Сервисная д	доступность (массовость), % 5.3.Клиренс, мм	40	183	201	182	201	205
	6.Комплектация, %	5	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
6.1.Зимняя резин	а, задвижка фильтра, другое,	80	0,8	0,8	0,8	0,8	8,0
	2.Имидж модели, фирмы, %	20	95	95	95	95	95
	ность обслуживания, ус.ед.	5	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	жность эксплуатации, ус.ед. Ремонтопригодность, ус.ед.	-60 30	95 30	95 30	95 30	95 30	95 30
	ость обслуживания, тыс.руб.	- <b>10</b>	30	30	30	30	30
	пасность эксплуатации, %	10	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	рисковость эксплуатации, %	-40	80	80	80	80	80
8.2. Числ	о подушек безопасность, шт.	60	2	2	2	2	2
_	9.Экономичность владения, %		86,9	107,4	97,3	100,0	97,3
9.1.Цена (маркетинговая)		0	950		871,5	963	963
9.2.Цена (реальная), т.₽		-80	1500	1150	1300	1257	1300
9.3.Стоимость эксплуатации, т.руб/месяц		-20 5	10	10	10	10	10
10.Эст	гетизм, имидж и другие, % 10.1.Эргономичность, %	40	100,0 90	100,0 90	100,0 90	100,0 90	106,6 90
10.3	10.1. Эргономичность, % 2. Дизайн, класс комфорта, %	30	90	90	90	90	100
	дели и др. пок-и качества, %	30	90	90	90	90	100
	Конкурентная способность (КСг).			99,3	100,4	100,0	100,6
	ание вариантов по уровню КС,		96,3 5	4	2	3	1
	ное превосходство к варианту 4, К		-3,71	-0,69	0,44	0,00	0,60
Перспективност	ь развития (ПР) варианта 9 к 2 (в	бренд	Renault), %	0,0			1,29
							1947

Рис. 1. Результаты вариантной оптимизации ОИП типа «Автомобиль» класса «Кроссовер»

Другой пример реализации ПКМ приведен на рис. 2 при оценке технической готовности корабля к выходу в море одновременно с моделированием погрешности оценки Агрегированного Показателя Качества, получаемых результатов в зависимости от погрешности ввода исходных данных (типа учета влияния «Человеческого Фактора» порядка 5 %), которая составила по критерию коэффициента вариации АПК порядка 0,6 %.

нк тангу-кт: техническая готовность мих-1 тмур	Требование	Дата:		
Крите рий и разме рность оценки фактора	Важность	Кач-во,%	13.3.21	40,%
1.Техн-я готовность к использ-ию, %	45%	87,8	88,1	0,70%
1.1.TF корпуса, %	15%	80	81,7	7%
1.2.ТГ оружия, %	30%	90	92,1	5%
1.3. ТГ техни ческих средств (TC), ль ***	15%	87	88,5	5%
1.4.ТГ федатвБЖ, %	25%	90	87,0	8%
1.5. Состояние уровней ФП (защи охрыт), %	10%	90	89,8	5%
1.6. Укомплектованность О-ЗИП-МГС, %	5%	85	84,2	5%
2. Исправность и грамотная эксплуатация корпуса, ОиТС, качество ЭД%	25%	85,0	84,9	0,82%
<ol> <li>Своевременность и качество технического обслуживания (ТО), %</li> </ol>	20%	88,2	89,3	1,06%
3.1. ППТО (планово-предупредит-е), %	25%	85	86,8	5%
3.2. ППР (планово-предупр. ремонты), %	25%	88	90,3	8%
3.3. М ПР (межпоходовые), %	20%	90	91,3	5%
3.4. НР (навигационные ремонты), %	20%	90	88,6	5%
3.5. Обслуживание по тех.состоянию, %	10%	90	90,8	7%
4. Сохраняемость корабля, % 5%		88	87,8	0,34%
5. Другие показатели ТГ корабля, % 5%		90	89,9	0,28%
АПК "Ожидаемая ТГ корабл	ія"(ТГ), %:	87,3		4,26%
АПК "Факти ческая ТГ корабля"		87,60	2,46%	
Надежность оценки АПК (среднее по 30 реализациям) коэффициента вариации Kvar_АПК=100*СКО/МО, %:		0,28%	0,60%	Дата:
<u>Эксперть</u>	<u>::</u> Алексеев А	.В., Пруднич	ченко П.С.	21.03.2021

Рис. 2. Пример автоматизированной оценки технической готовности корабля

Заключение. Приведенные примеры реализации системного анализа и синтетической квалиметрии подтвердили высокую исследовательскую результативность и перспективность развития предложенной технологии и реализации ПКМ инвариантной оценки, анализа, синтеза и системной оптимизации разнородных объектов исследовательского проектирования.

Следует особо отметить, что инвариантность разработанной технологии ПКМ к решаемым задачам и условиям функционирования позволяют рекомендовать его к широкому применению при исследовательском, техническом и технологическом проектировании, а также при оценке и мониторинге эффективности разнородных организационно-технических объектов, но, прежде всего, объектов критической инфраструктуры.

Значимость получаемых при этом количественных оценок системных свойств, проектного качества и эксплуатационной эффективности разнородных объектов исследовательского проектирования не вызывает сомнений, а возможность их квалиметрического синтеза с переходом к структурному синтезу отдельных объектов и их систем позволяет на качественно новом уровне решать задачи обеспечения, мониторинга и контроля требуемого уровня качества и устойчивости управления сложными организационно-техническими системами. Но еще более значимым следует считать возможность перехода к задачам концептуального, исследовательского и конструкторско-технологического обоснования эффективных и оптимальных структурнофункциональных проектных и эксплуатационных решений разнородных объектов за счет специфики инвариантного квалиметрического моделирования сложных объектов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Алексеев А.В.** Примеры реализации полимодельного квалиметрического метода системной оптимизации объектов морской техники и морской инфраструктуры. *Морские интеллектуальные технологии / Marine intellectual technologies*, № 2 (52) том 3, 2021, с. 69-81.
- 2. **Микони С.В., Соколов Б.В. Юсупов Р.М.** Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов: монография. М.: РАН, 2018. 314 с.
- 3. **Субетто А.И.** Сочинения. Ноосферизм: В 13 томах. Том девятый: Синтетическая квалиметрия. Книга 1 / Под ред. Л.А. Зеленова. С.-Петербург Кострома: КГУ им. Н.А. Некрасова, 2011. 620 с.

- 4. **Бобрович В.Ю., Алексеев А.В., Антипов В.В., Смольников А.В.** Квалиметрическая концепция цифровизации управления инновационным и инвестиционным развитием предприятия. *Региональная информатика (РИ-2020). XVII Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика* (РИ-2020)». Санкт-Петербург, 28-30 октября 2020 г.: Материалы конференции. СПОИСУ. СПб, 2020, с. 158-160.
- 5. Согонов С.А., Алексеев А.В., Максимова М.А., Равин А.А., Хруцкий О.В. Прорывные технологии морских автоматизированных систем в защищенном исполнении. Актуальные проблемы морской энергетики: материалы одиннадцатой международной научно технической конференции. СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2022, с. 69-77.

A.V.Alekseev (Saint Petersburg State Maritime Technical University, Saint Petersburg). System analysis and synthetic qualimetry of marine equipment and marine infrastructure facilities

The tendency to increase the complexity of modern design objects, tightening requirements at all stages of the life cycle make it necessary to find invariant technological solutions, their system analysis and complex modeling, including quantitative analysis of competitive ability and development prospects. Based on the multi-model qualimetric method of system optimization of design objects, examples of qualimetric synthesis of automated control systems in protected design, intelligent decision support systems are given.

#### А. Ю. КУЛАКОВ

(Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург)

П. В. СТЕПАНОВ (ЗАО «Универсал-Аэро», Москва)

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ BLUETOOTH METOK С АДАПТИВНОЙ ЛОГИКОЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ИНТЕРАКТИВНОЙ НАВИГАЦИИ

В докладе рассматривается возможность создания системы навигации в городских условиях, обеспечивающей интерактивное взаимодействие всех участников движения, повышенную точность позиционирования, непрерывность навигации как вне, так и внутри помещения. Предлагается создание «умных» дорожных знаков и светофоров на базе технологии Bluetooth меток с адаптивным поведением. Описывается система, обеспечивающая комплексное взаимодействие всех участников движения в едином информационном пространстве.

**Введение.** Метки Bluetooth широко используются для построения систем навигации внутри помещения, для систем идентификации и поиска объектов. Изначально в стандартах iBeacon и Eddystone предполагается, что метка постоянно находится в одном состояние, с фиксированным интервалом времени шлёт один сигнал — стандартный пакет данных. Для iBeacon это один и тот же пакет данных. Метка стандарта Eddystone [4–7] может посылать четыре разных предопределённых типов пакетов.

Метки с адаптивным поведением, описанные в [1–2], могут находиться в нескольких состояниях, переход между которыми осуществляется по определённым внутренним или внешним событиям. Внутренним событие может быть значение таймера, срабатывание акселерометра, других внутренних датчиков, достижение критического уровня заряда элемента питания и т. д. Внешние команды посылает активное оборудование – смартфоны, приёмники, активаторы и т. д.

Состояние метки характеризуется следующими параметрами:

- Частота посылки сигнала, пакета данных.
- Содержание пакета данных.
- Частота перехода в режим ожидания внешней команды.
- Длительность интервала времени нахождения метки в режиме ожидания внешней команды.
- Условие перехода в другое состояние, например, по истечению интервала времени.

Метки с адаптивным поведением, благодаря расширенному функционалу, позволяют решать многие задачи на ином уровне, создавая цифровую коммуникационную среду нового типа.

Предлагаемый доклад посвящён новым коммуникационным и навигационным возможностям, которые могут возникнуть, если насытить городское пространство адаптивными Bluetooth метками

**Умный дорожный знак.** Знаки дорожного движения могут быть оснащены адаптивными метками, которые с определённым интервалом шлют пакет данных, содержащий описание знака.

Зона распространение сигнала должна быть сужена, путём оснащения метки узконаправленной антенны, до сектора охватывающего полосы движения, к которым применяется действие знака

Сигнал от метки принимается мобильным телефоном или планшетом с установленным на нём приложением, которое может интерпретировать пакет данных от знака и отображать его соответствующим образом на карте и/или выдаваться звуковое предупреждение. Приложение может быть, как специально разработанной программой, так и функциональным расширением навигационных программ типа Яндекс Навигатор, МАРСАМ и других.

Сигнал от «умного знака» может приниматься приёмником, являющимся частью системы управления автомобилем. В этом случае возможно формирование команд на управление движением транспортного средства, например, торможение и ограничение скорости движения.

Особенно полезными «умные дорожные знаки» будут для беспилотных автомобилей, которые смогут получать информацию об ограничениях движения достоверным способом, независящим от погодных условий, времени суток и наличия препятствий визуальной идентификации.

Умный цифровой светофор. Светофоры могут оснащаться адаптивными метками, которые шлют сигналы о текущем состоянии светофора — зелёный, жёлтый и красный. Изменение состояния светофора приводит к изменения состояния метки. Более информативная система предполагает определение расширенного множества состояний метки в зависимости от оставшегося времени действия сигнала светофора. Например, зелёный сигнал осталось 30 секунд, зелёный сигнал осталось 2 секунды и т. д.

Сигнал воспринимается приложением на мобильном устройстве и отображает текущее состояние светофора на экране (опционально дублируя звуковым сигналом).

В случае беспилотного или обычного автомобиля оборудованных приёмником сигналов от «умных светофоров», возможна выработка команд управления системой движения – ограничение скорости, торможение до полной остановки, отмена блокировки движения, включение/выключения двигателя.

Становится возможным интеллектуальное управление работой комплекса светофоров на перекрёстке, реализация сценария управления движением исходя из фактической загрузки по каждому направлению движения, обеспечивая приоритетный проезд общественного и спецтранспорта.

Совместное функционирование «умных знаков» позволяет создать «умный перекрёсток», даже если это перекрёсток не регулируемый.

**Камера контроля скорости.** По действующим положениям, наличие камеры контроля скорости должно предупреждаться соответствующими знаками и дорожной разметкой. Оснащая камеры адаптивными метками, как обязательным оборудованием, можно повысить точность их определения в навигационных системах, что будет полезно для водителей и повысит безопасность движения.

**Бесшовная навигация.** Навигация внутри помещений осуществляется с помощью Bluetooth меток, а снаружи по спутникам GPS и ГЛОНАС [3]. Это два разных способа и два разных приложения на мобильном устройстве. Точность определения положения для GPS около 5 метров, но для массовых мобильных устройств, в реальных городских условия точность около 8–10 метров. При этом в городских условиях существует много помех, уменьшающих точность позиционирования.

Технология Bluetooth 5.0 позволяет определять положение с точностью до 1,5–2 метров, а Bluetooth 5.1 позволяет достичь точности менее 1 метра.

Насыщая городское пространство адаптивными Bluetooth метками, и используя два метода определения положения одновременно, можно существенно повысить точность позиционирования, обеспечив бесшовную навигацию.

Адаптивные метки, устанавливаемые на дорожных знаках, светофорах и т. д., кроме основного пакета данных могут слать ещё и координаты GPS, создавая сеть для высокоточного определения положения в городском пространстве. Системы навигации смогут одинаково хорошо функционировать как внутри, так и вне помещения.

Адаптивные метки высоко автономны и могут функционировать несколько лет без замены элемента питания. Их можно устанавливать в любом месте, прежде всего там, где GPS сигнал ослабевает или недоступен, например туннели, развязки под эстакадами и подземные парковки.

Маркируя важные объекты в городской инфраструктуре, можно создать основу для высокоточной навигации. Например, устанавливая метки на подъезды зданий можно существенно сократить время для поиска необходимого адреса экстренными службами (МЧС, полиция, скорая помощь), службой доставки, такси и т. п.

Сеть высокоточного позиционирования может существенно упростить развитие беспилотных автомобилей, роботов доставщиков и т. д.

**Контроль** движения. Имея информацию от «умных знаков» и «умных светофоров», представляется возможным соотнести данные о фактическом и разрешённом режиме движении на всех этапах маршрута. Вся информация может сохраняться и использоваться для контроля стиля и соблюдения правил вождения для общественного транспорта, такси, каршеринга и т. д.

**Интерактивное взаимодействие участников движения.** Адаптивные метки позволяют создать канал передачи надёжных и достоверных данных между транспортным средством и элементами дорожной инфраструктуры.

«Умные знаки» и «умные светофоры» посылают информацию транспортному средству на основании которой система управления может вырабатывать команды на изменение режимов движения. Транспортные средства могут посылать запросы на изменение режимов работы «умных светофоров» и «умных перекрёстков». Пешеходы могут управлять работой регулируемых и не регулируемых «умных пешеходных переходов». Транспортное средство может обнаруживать пешеходов, движущихся по обочине и переходящих проезжую часть.

Система интерактивного взаимодействия участников дорожного движения является симбиозом «умных дорожных знаков», транспортных средств с навигационным оборудованием и облачных навигационных систем. Достоверные данные, собираемые в процессе взаимодействия участников дорожного движения, являются основой для принятия решений системой управления транспортными потоками на уровне района или города.

**Пешеход как часть транспортной системы.** Интерактивная система взаимодействия участников дорожного движения позволяет включить пешехода как активного участника в транспортную систему. Обеспечение дополнительных потоков обмена информацией между пешеходами, элементами дорожной инфраструктуры и другими участниками движения, позволит повысить защищенность пешеходов и снизить вероятность возникновения происшествий с их участием, упростить навигацию людей с ограниченными возможностями.

**Заключение.** Насыщение пространства города Bluetooth метками с адаптивным поведением позволяет создать интерактивную систему взаимодействия всех участников транспортного движения, обеспечивая обмен информацией между ними.

Информация о дорожной ситуации предоставляется участникам движения в полном объеме и не искажается особенностями человеческого восприятия и текущей дорожной ситуацией.

Точность позиционирования существенно возрастает. Навигация становится бесшовной.

Интеграции всех участников движения в едином информационном пространстве позволяет создавать системы управления транспортными потоками на базе адаптивных алгоритмов оптимизации, что существенно улучшит транспортную ситуацию.

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при частичной финансовой поддержке в рамках бюджетной темы № FFZF–2022–0004.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Потрясаев С.А., Соколов Б.В., Джао В.Ю-Д., Степанов П.В., Стыскин М.М.** Особенности использования BLUETOOTH LOW ENERGY меток для идентификации и определения положения объектов в технологическом процессе наземного обслуживания воздушных судов гражданской авиации. *Информатизация и связь*. 2020. №6. С. 243-247.
- 2. **Степанов П.В.** Методика использования Bluetooth технологии для решения задач идентификации и определения положения объектов. *Информатизация и связь*. 2021. №5. С. 97-104.
- 3. ГЛОНАСС: принципы построения и функционирования / Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. 3-е изд., перераб. М.: Радиотехника, 2005. 688 с. ISBN 5-93108-076-7
- 4. "Eddystone-UID". Git-Hub Eddystone-UID. Retrieved 26 April 2017.
- 5. "Eddystone-EID". Git-Hub Eddystone-EID. Retrieved 28 April 2017.
- 6. "Eddystone-TLM". Git-Hub Eddystone-TLM. Retrieved 28 April 2017.
- 7. "Eddystone-URL". Git-Hub Eddystone-URL. Retrieved 28 April 2017

A.Yu.Kulakov, (St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg), .V.Stepanov (Joint-Stock company «Universal-Aero», Moscow). **Using Bluetooth tags with adaptive logic to create interactive navigation systems** 

The report considers the possibility of creating a navigation system in urban conditions that provides interactive interaction of all traffic participants, increased positioning accuracy, continuity of navigation both outside and indoors. It is proposed to create «smart» road signs and traffic lights based on Bluetooth technology tags with adaptive behavior. The system providing complex interaction of all participants of movement in the uniform information space is described.

#### В. Ю. СКОБЦОВ

(Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси, Минск)

### НЕЙРОСЕТЕВАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ДАННЫХ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

В докладе представлены решения актуальной задачи интеллектуального анализа данных телеметрической информации малых космических аппаратов (МКА) с целью определения их технических состояний. Исследованы и разработаны гибридные нейросетевые модели на основе современных архитектур глубокого обучения для решения задачи классификации данных телеметрической информации, позволяющие определять штатное и нештатные состояния функционирования МКА или его подсистем. Проведены компьютерные эксперименты по обучению, валидации и тестированию построенных нейросетевых моделей, показавшие их достаточно высокую точность.

**Введение.** Одной из важнейших задач на всех этапах жизненного цикла малых космических аппаратов (МКА) является анализ их телеметрической информации (ТМИ) о функционировании МКА с точки зрения определения их технического состояния для обеспечения их корректного и безопасного функционирования. Их актуальность обусловлена, прежде всего, тем, что одной из основных причин потерь МКА являются отказы, сбои и некорректная работа систем МКА.

Большое количество информации, поступающей и накапливающейся в специализированных банках данных с МКА, может быть эффективно использовано для определения технического состояния МКА и его подсистем. В современных условиях для решения задач обеспечения требуемой степени автономности, качества и оперативности управления такими сложными объектами как МКА необходимо выполнить комплексную автоматизацию и интеллектуализацию процессов многомодельного анализа данных ТМИ МКА. Однако в большинстве случаев на практике автоматизация выполнена, в лучшем случае, лишь частично, и многое делается зачастую вручную, базируясь на эвристических правилах [1]. При этом в соответствии с ГОСТ 1410-002-2010 [2] и Стратегией цифровой трансформации ракетно-космической отрасли до 2025 г. и перспективой до 2030 г. госкорпорации «Роскосмос» важной задачей является создание так называемой системы информации о техническом состоянии и надежности космических комплексов и входящих в их состав изделий.

Таким образом, задача интеллектуального анализа данных телеметрии МКА с целью определения технического состояния МКА является актуальной и востребованной. При этом разработка и применение методов анализа данных ТМИ МКА на основе моделей искусственного интеллекта, машинного обучения и биоинспирированных систем позволяет на новом научнотехническом теоретическом и прикладном уровнях решить поставленную задачу и повысить эффективность принимаемых управленческих и эксплуатационных решений наземных комплексов управления (НКУ) МКА.

**Задача классификации данных ТМИ МКА.** Исходные данные ТМИ являются временным рядом, который можно представить как матрицу  $\mathbf{X} = \left(x_{ij}\right)$ , где i-я строка  $\mathbf{X}_i$  является анализируемым вектором показателей ТМИ в i-й момент времени, индекс j соответствует j-му показателю ТМИ в i-м векторе  $\mathbf{X}_i$ .

*Определение 1*. Одномерный временной ряд  $X = (x_1, x_2, ..., x_T)$  – упорядоченный набор вещественных значений. Длина X равна количеству вещественных значений T.

*Определение 2. М*-мерный временной ряд  $X = (X_1, X_2, ..., X_M)$  состоит из M различных одномерных временных рядов  $X_i \in \mathbb{R}^T$ .

Очевидно, что рассматриваемый временной ряд данных ТМИ является M-мерным временным рядом  $X = (X_1, X_2, ..., X_M)$ .

Для каждого вектора показателей ТМИ в i-й момент времени  $X_i$  в соответствие поставлена метка класса  $y_i \in Y$ , который характеризует состояние функционирования анализируемого по данным ТМИ МКА или его подсистемы. В исследуемой задаче мы рассматриваем случаи -классовой классификации, где k – общее число состояний, определяемое экспертом. Конечной

целью является классификация векторов  $X_i$  M-мерного временного ряда X ТМИ к штатному и k-1 нештатным состояниям. В этом случае значения компонент вектора меток классов  $Y \in \{0,1,\dots,k-1\}$ , где 0 обозначает штатное состояние и  $1,\dots,k-1$  нештатные состояния анализируемого МКА или его подсистемы. Таким образом, стоит задача нахождения модели следующего отображения:  $yX \to Y$ .

При этом для кодирования меток классов будем использовать так называемое One Hot кодирование. В этом случае вектору  $X_i$  M-мерного временного ряда X соответствует не скалярное значение метки класса, а вектор  $Y_i = (y_{i0}, y_{i1}, \dots, y_{ik-1})$  размерности k. При этом в векторе  $Y_i$  присутствует только одно значение 1, соответствующее метке класса.

Анализ нейросетевых моделей. В течение последних двух десятилетий классификация временных рядов считается одной из самых сложных проблем в области интеллектуального анализа данных [3, 4]. Фактически, любая проблема классификации, использующая данные, которые регистрируются с учетом некоторого понятия упорядочивания можно рассматривать как проблему классификации временного ряда. Временные ряды встречаются во многих реальных приложениях: электронных медицинских карт, распознавания человеческой деятельности, классификации акустических сцен, кибербезопасности, анализа состояний функционирования МКА по данным ТМИ [4, 5].

Проанализировав текущее состояние классических неглубоких (не нейросетевых) моделей классификаторов и установив непрактичность с позиции вычислительной сложности передовых подходов (СОТЕ, HIVE-COTE) в ряде случаев решения реальных задач интеллектуального анализа больших данных, мы сосредоточимся на моделях глубокого обучения или нейросетевых моделях [4].

Определение 3. Искусственной нейронной сетью (нейросетевой моделью) называется система, состоящая из совокупности связанных между собой по типу узлов направленного графа элементарных процессоров, называемых искусственными или формальными нейронами, и способная генерировать выходную информацию в ответ на входное воздействие.

В анализе и разработке нейросетевых моделей мы будем рассматривать нейросетевые модели от простого к более сложному, начиная с основных на текущий момент нейросетевых моделей:

- полносвязных нейронных сетей/слоев (многослойных персептронов, MLP);
- одномерных (1D) сверточных нейронных сетей/слоев (1D CNN);
- рекуррентных нейронных сетей/слоев типа Long Short-Term Memory (LSTM) и Gated Recurrent Units (GRU),

и продолжая их комбинациями, в том числе, на основе методики остаточных связей архитектуры ResNet [6,7].

В качестве активационных функций будем использовать следующие широко используемые активационные функции [6, 7]:

- функция relu rectified linear unit, линейный выпрямитель relu  $(z) = \max(0, z)$ ;
- обобщение логистической функции для One-Hot кодирования меток классов softmax $(z_i) = \frac{e^{z_i}}{\sum_{i=0}^1 e^{z_i}}$ .

В качестве функции ошибки будем использовать функцию двоичной и категориальной кроссэнтропии (binary crossentropy, categorical crossentropy), для случаев k=2 и k=3 соответственно, поскольку мы решаем задачу бинарной классификации [6, 7].

Для проведения компьютерных экспериментов и анализа точности разработанных нейросетевых классификационных моделей использованы данные ТМИ навигационной подсистемы Белорусского космического аппарата (БКА) и всей бортовой аппаратуры (БА) МКА группировки МКА АИСТ Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П.Королёва.

Для БКА вектор матрицы ТМИ  $X_i$  имеет размерность 9 и помечается 0 в случае штатного состояния и 1 в случае нештатного состояния подсистемы. Общая размерность 9-мерного временного ряда X составляет 121690 векторов, из которых 77881 векторов составляет обучающий набор данных, 19471 векторов составляет валидационный набор данных, 24338 вектор составляет тестовый набор данных.

Для МКА АИСТ вектор матрицы ТМИ  $X_i$  имеет размерность 49 и помечается 0 в случае штатного состояния, 1 в случае отказа, 2 — сбоя. Общая размерность 49-мерного временного ряда X составляет 2679 векторов, из которых 1714 векторов составляет обучающий набор данных, 429 векторов составляет валидационный набор данных и 536 векторов составляет тестовый набор данных.

Основываясь на описанных выше нейросетевых архитектурах, были предложены и исследованы 3-слойная MLP модель, 5-слойная сверточная 1D CNN модель, 4-слойные рекуррентные LSTM и GRU модели. Каждая из них использовала финальный классификационный полносвязный слой из одного нейрона с softmax активационной функцией.

Для приведенной выше группы нейросетевых моделей обучение и валидация проводились при следующих значениях гиперпараметров: метод обучения 'adam' (как один из наиболее эффективных на текущий момент), функция потерь – 'binary\_crossentropy', число эпох обучения – 500, размер мини-пакета – 128. На тестовом наборе модели не оценивались. Механизм раннего останова [7] не использовался и процесс обучения и валидации проходил на всех 500 эпохах.

Как показывают данные экспериментов, наименьшей точностью как на этапе обучения 0.8713, так и на этапе валидации, 0.8706, обладает полносвязная модель, при этом ее время обучения и валидации является наименьшим − 2 секунды. Более точной моделью (0.9036, 0.901) является одномерная сверточная модель, причем время обучения и валидации немногим больше полносвязной модели − 3 сек. Лидерами по точности, очевидно, являются рекуррентные модели, причем модель GRU на этапе обучения чуть уступает LSTM − 0.9496 < 0.9557, а на этапе валидации даже превосходит ее − 0.9330 >0.9322. При этом по времени обучения и валидации модель GRU достаточно выигрывает у LSTM − 29 < 34 сек. Поэтому делаем вывод о ее лидерстве в данной серии экспериментов. Если же точность модели достаточно иметь больше 0.9, и важен фактор времени обучения и легковесности модели, то более привлекательной является сверточная модель 1D CNN. Увеличение числа слоев и нейронов в слоях моделей к увеличению качества моделей не привело, зачастую наблюдался обратный эффект выхода на плато и понижения точности в процессе обучения.

Дальнейшей целью исследований было с одной стороны повысить точность модели, с другой стороны уменьшить ее время обучения и валидации, то есть получить более легковесную модель по сравнению с рекуррентными.

Для этого были последовательно соединены три блока слоев: сверточный 1D CNN, рекуррентный GRU или LSTM и в итоге как классификатор полносвязный блок:

- $Z = \text{Conv1D}(\text{filters}=512, \text{kernel size}=4, \text{activation}='\text{relu'}) (X_i)$
- Z = Conv1D(filters=512, kernel size=4, activation='relu') (Z)
- Z = Conv1D(filters=512, kernel size=4, activation='relu') (Z)
- Z = Pooling1D(2) (Z)
- Z = Conv1D(filters=256, kernel size=2, activation='relu') (Z)
- Z = Conv1D(filters=256, kernel size=2, activation='relu') (Z)
- Z = Conv1D(filters=256, kernel\_size=2, activation='relu') (Z)
- Z = RNN(units=64) (Z)
- Z = Dense(1, activation='sigmoid') (Z) / Dense(2, activation='softmax') (Z)

На основе данной архитектуры были получены несколько нейросетевых моделей путем использования в слое агрегации методов AveragePooling и MaxPooling, в рекуррентных слоях ячейки типа GRU и LSTM. Добавлен этап тестирования моделей. Обучение проводилось также на 500 эпохах, но при этом использовался механизм раннего останова в случае выхода на плато значения точности валидации в течение 10 итераций. Как показали эксперименты, в этом случае обучение выполнялось не более 160 эпох. В рекуррентном слое применялась 11 и 12 регуляризация.

Как показали данные экспериментов, точность всех моделей (за исключением одной) на этапах валидации и тестирования больше 0.96 и варьируется в значениях сотых и тысячных. Поэтому можно сделать выбор по критерию минимального времени обучения одной эпохи. С этой точки зрения с небольшим преимуществом лидирует модель с параметрами AveragePooling, GRU и показателями точности на обучающем, валидационном и тестовом этапах: 0.9850, 0.9668, 0.9661, и временем одной эпохи обучения и валидации 14 сек.

Следующая группа моделей строилась на основе архитектуры предыдущей модели и методики добавления остаточных связей, развитие которой началось с появления семейства сетей ResNet [7]. Также было увеличено число сверточных слоев и уменьшено число фильтров n в них.

```
\mathbf{Z}_1 = \text{Conv1D}(\text{filters=n, kernel size=4, activation='relu'}) (\mathbf{X}_i)
```

 $\mathbf{Z}_1$  = Conv1D(filters=n, kernel\_size=4, activation='relu') ( $\mathbf{Z}_1$ ) \* 9 слоев

 $\boldsymbol{Z}_2 = \operatorname{add}([\boldsymbol{Z}_1, \boldsymbol{X}_i])$  – проброс остаточной связи входа  $\boldsymbol{X}_i$ 

 $\mathbf{Z}_2 = \text{Pooling1D}(2)(\mathbf{Z}_2)$ 

 $Z_3 = \text{Conv1D}(\text{filters=n, kernel\_size=2, activation='relu'}) (Z_2)$ 

 $Z_3$  = Conv1D(filters=n, kernel\_size=2, activation='relu') ( $Z_2$ ) \* 9 слоев

 $\mathbf{Z}_4 = \text{Pooling1D}(2)(\mathbf{X}_i)$ 

 $\textit{Output} = \operatorname{add}([\mathbf{Z}_2, \mathbf{Z}_3, \mathbf{Z}_4]) - \operatorname{проброс}$  остаточных связей  $\mathbf{Z}_2$  и агрегированновода  $\mathbf{Z}_4 = \operatorname{Pooling1D}(2)(\mathbf{X}_i)$ 

Output = Dense(32, activation='relu') (Output)

Output = Dense(1, activation='sigmoid') (Z) / Dense(2, activation='softmax') (Output)

Для задачи бинарной классификации на данных ТМИ БКА по данным экспериментов, исходя из соотношения значения точности и функции потерь, на этапах обучения, валидации и тестирования, а также времени одной эпохи обучения и валидации лидером является модель с параметрами: AveragePooling, GRU, n=64 с показателями точности на обучающем, валидационном и тестовом этапах:  $\sim$ 0.98,  $\sim$ 0.97,  $\sim$ 0.97, и временем обучения эпохи 12 сек.

Проведен сравнительный анализ полученных гибридных нейросетевых моделей с широко распространенными глубокими нейросетевыми классификаторами: Encoder, LeNet, AlexNet, Xception, Yolo, MobileNet, Inception, ResNet, модифицированными для анализа временных рядов. Для задачи бинарной классификации на данных ТМИ БКА, разработанная гибридная нейросетевая модель с использованием остаточных связей сравнима по точности с нейросетевой классификационной моделью Inception (остальные классификаторы имеют меньшую точность): ~0.98 (этап обучения), ~0.97 (этапы валидации и тестирования). При этом полученная гибридная модель в 2.5 раза быстрее по времени обучения и валидации и имеет более облегченную структуру, что важно для ее реализации. Для задачи многоклассовой классификации на данных ТМИ МКА АИСТ для разработанной гибридной нейросетевой модели с использованием остаточных связей по технологии ResNet при n=8 были получены точности:  $\sim 0.99$  (этап обучения), ~0.979 (этап валидации), ~0.978 (этап тестирования). В данном случае модель Inception показала немного худшие результаты по сравнению с предложенной нами гибридной моделью: ~0.98 (этап обучения), ~0.967 (этап валидации), ~0.954 (этап тестирования). Модифицированная же модель TimeResNet показала сравнимые результаты: ~0.99 (этап обучения), ~0.978 (этап валидации) и ~0.976 (этап тестирования). Но время одной эпохи обучения и валидации у модели Inception в 2 раза выше, и в 3 раза выше в последнем случае, что при дальнейшем увеличении выборки приведет к существенным увеличениям затрат времени.

Машинный анализ разработанных моделей показал преимущество гибридных нейросетевых глубоких моделей, представляющих собой последовательное соединение трех блоков слоев: сверточного 1D CNN, рекуррентного GRU и итогового полносвязного блока-классификатора, с применением слоя агрегации AveragePooling, метода добавления остаточных связей семейства архитектур ResNet в силу преимущества по точности на этапах валидации и тестирования и времени обучения и валидации.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Охтилев М.Ю., Мустафин Н.Г., Миллер В.Е., Соколов Б.В. Концепция проактивного управления сложными объектами: теоретические и технологические основы. Известия вузов. Приборостроение. 2014. Том 57. №11. С.7–14.
- 2. ГОСТ РО 1410-002-2010. Ракетно-космическая техника. Система информации о техническом состоянии и надежности космических комплексов и входящих в их состав изделий.
- 3. Yang Q., Wu X. 10 challenging problems in data mining research. Inf Technol Decis Mak, (2006) 05(04), pp.597–604.
- 4. Hassan Ismail Fawaz, Germain Forestier, Jonathan Weber, Lhassane Idoumghar, Pierre-Alain Muller Deep learning for time series classification: a review. *Data Mining and Knowledge Discovery* (2019) 33, pp.917–963.

- 5. **Скобцов В.Ю., Архипов В.И.** Нейросетевой анализ данных телеметрической информации бортовой аппаратуры космических аппаратов. *Космическая техника и технологии*, 2021, C.111-124.
- 6. Николенко С., Кадурин А., Архангельская Е. Глубокое обучение. СПб.: Питер, 2018. 480 с.
- 7. **Шолле Ф.** Глубокое обучение на Python. СПб.: Питер, 2018. 400 с.

V.Yu.Skobtsov (United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus). **Neural network classification of telemetry data of small spacecrafts** 

The paper presents solutions to the actual problem of intelligent data analysis of telemetry data of small spacecraft (SS) in order to determine their technical states. Hybrid neural network models based on modern deep learning architectures have been researched and developed to solve the problem of classifying the telemetry data, allowing determining the normal and abnormal states of the functioning of the SS or its subsystems. Computer experiments were carried out on training, validation and testing of the developed neural network models, which showed fairly high accuracy.

С. А. ПОТРЯСАЕВ, Б. В. СОКОЛОВ (Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург)

П. В. СТЕПАНОВ, М. М. СТЫСКИН (ЗАО «Универсал-Аэро», Москва)

#### РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБСЛУЖИВАНИЯ САМОЛЕТОВ В ЕДИНОМ ЦИФРОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ АЭРОПОРТА

Разработаны и широкомасштабно внедрены комплексы отечественных интеллектуальных наземных транспортно-технологических средств (ИТТС) сервисного обслуживания судов гражданской авиации в едином цифровом пространстве аэропортов. Новизна транспортно-технологических средств состоит в использовании интеллектуальной системы проактивного (упреждающего) управления ими, которая позволяет согласованно и эффективно решать задачи группового взаимодействия ИТТС, управления техническим состоянием, процессами сервисного обслуживания, видеофиксации, геопозиционирования и предотвращения столкновений. В докладе приводится описание и технологии функционирования ИТТС.

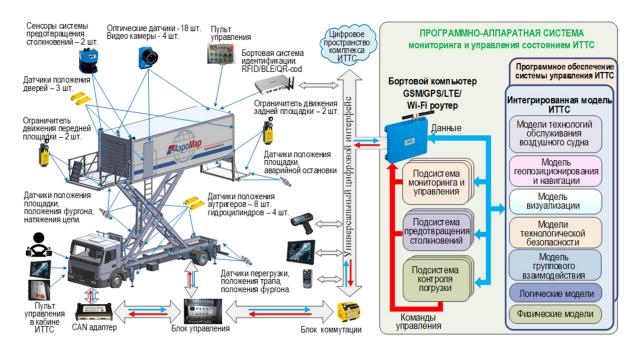
Введение. Актуальность выполненных исследований определяется беспрецедентным уровнем санкций и ограничений, накладываемых на экономику РФ со стороны западных стран, наблюдающихся в последние годы и значительно усилившихся после начала специальной военной операции на Украине. Указанные санкции коснулись многих сфер жизнедеятельности граждан РФ, одной из которых является научно-технологическая сфера. Чтобы остаться в этих условиях технологически независимым государством и обеспечить требуемый уровень национальной безопасности Президентом РФ и Правительством РФ были поставлены цель и задачи по разработке и реализации стратегии импортозамещения, в первую очередь, в критических инфраструктурах отечественной экономики, одной из которых является рассматриваемая в представленной работе транспортно-логистическая структура. Для реализации поставленной Президентом РФ поставленной цели и задач авторы доклада, совместно с другими представителями СПб ФИЦ РАН и ЗАО «Универсал-Аэро» успешно решили крупную научнотехническую проблему создания комплекса отечественных интеллектуальных наземных транспортно-технологических средств (ИТТС) обслуживания судов гражданской авиации в едином цифровом пространстве аэропортов [1–3].

Главная научно-техническая идея выполненной работы состоит в дальнейшем развитии и практической реализации системно-кибернетической методологии, ее концепций и принципов, а также комбинированных моделей, методов проектирования, организации производства и проактивного управления эксплуатацией комплексов ИТТС в едином цифровом пространстве аэропорта на основе разработанной авторами отечественной интеллектуальной информационно-аналитической платформы (ИИАП), универсальных интерфейсов и киберфизических устройств (КФС).

С использованием инструментария ИИАП совместно созданной сотрудниками СПИИРАН, СПб ФИЦ РАН, ОАО НИО ЦИТ «Петрокомета», спроектированы и внедрены различные информационно-аналитические системы (ИАС), успешно эксплуатируемые на атомных электростанциях, на космодромах для управления пусками ракет-носителей и космическими аппаратами на этапе их орбитального полета, в промышленном производстве [2, 4–6].

Основные результаты. Авторами доклада разработана теория, методики и инструментарий цифровой трансформации инфраструктуры аэропортов, на базе созданных комплексов ИТТС, каждый из которых можно рассматривать как качественно новую интегрированную КФС, объединяющую в себе несколько десятков «умных датчиков» и встроенных систем, обеспечивающих проактивное управление как ИТТС, так и процессами сервисного обслуживания воздушных судов гражданской авиации (рисунок). При этом ИТТС и центральный сервер вместе с их программно-математическим и информационным обеспечением (в том числе базами данных

и знаний) образуют материальную основу цифрового пространства комплекса ИТТС, которое в свою очередь, является подпространством единого цифрового пространства аэропорта [6–7].



Обобщенная структура ИТТС и его программно-математического обеспечения

Программное обеспечение комплекса разработано на базе инструментария информационноаналитической платформы. Это позволило использовать разработанные авторами проекта научно обоснованные методы и алгоритмы моделирования поведения комплекса для многовариантного упреждающего прогнозирование возникновения возможных ситуаций, для проведения эффективного планирования использования комплекса ИТТС, для визуализации текущей ситуации и результатов моделирования и планирования. Все вышеизложенное дает основание назвать ИТТС цифровыми автолифтами нового поколения. Необходимо особо отметить, что разработанные и реализованные в виде специального программного обеспечения, методы и алгоритмы обеспечивают надежное и устойчивое оперативное управление ИТТС в режиме реального времени, а также возможность практического перехода к проактивному (упреждающему) управлению технологическими процессами обслуживания воздушных судов, а также проактивному (упреждающему) управлению групповым взаимодействием технических средств и управлению техническим состоянием ИТТС. Открытые универсальные цифровые интерфейсы, созданного цифрового пространства комплекса ИТТС, также позволяют многочисленным пользователям других служб подключаться к нему и получить доступ к актуально и достоверной информации.

Заключение. Создано интеллектуальное транспортное средство и организовано серийное производство, полностью обеспечивающее импортозамещение зарубежных аналогов в масштабах России и Союзного государства [4–7]. Достигнуто повышение безопасности пассажиров, уровня надёжности эксплуатации ИТТС, эффективности оперативного планирования и скоординированного управления технологическими процессами сервисного обслуживания воздушного судна в едином цифровом пространстве аэропорта. Основные результаты внедрения разработки: достигнуто импортозамещение зарубежных аналогов отечественными ИТТС на рынках Российской Федерации: в 2016 году – 55 %, в 2021 году – 85 %, при этом их производство выросло в 2,3 раза, а возможности предприятия позволяют увеличить объём выпуска ИТТС в 3–4 раза, что приведёт к полному импортозамещению в масштабе Российской Федерации и Союзного государства. В целом обеспечено сокращение времени сервисного обслуживания воздушного судна на 15 % за счет организации проактивного управления комплексом ИТТС, сокращение на 30 % времени вынужденного простоя в результате применения системы

проактивного управления техническим состоянием ИТТС, сокращение на 20 % числа транспортных средств, необходимых для своевременного и качественного сервисного обслуживания судов гражданской авиации.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00767

#### ЛИТЕРАТУРА

- Буряк Ю.И., Желтов С.Ю. RFID на службу сервиса авиатехники. Логистика. 2006. № 1(34). С. 22-23.
- Потрясаев С.А., Ронжин А.Л., Соколов Б.В., Джао В.Ю.-Д, Степанов П.В., Стыскин М.М. Полимодельный комплекс мобильной сервисной системы, предназначенной для обслуживания воздушных судов. Информатизация и связь. 2020. № 6. С. 113-118.
- 3. **Желтов С.Ю.** Автоматическая идентификация в управлении цепочками поставок. Москва: Научно-техническое издательство "Машиностроение". 2010. 103 с.
- 4. **Охтилев М.Ю., Соколов Б.В. Юсупов Р.М., Стыскин М.М., Джао В.Ю-**Д. Концепция и технологии проактивного управления жизненным циклом изделий. *Известия высших учебных заведений. Приборостроение.* 2020. Т. 63. № 2. С. 158-163
- 5. **Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.** Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.
- 6. **Ронжин А.Л., Соколов Б.В., Джао В.Ю-Д., Миронова Е.Г., Стыскин М.М.** Применение технологии радиочастотной идентификации для построения системы контроля оборота бортового кухонного оборудования. *Вопросы радио-электроники. Сер. Техника телевидения.* 2020. Вып. 1. С. 3-10.
- 7. **Потрясаев С.А., Соколов Б.В., Джао В.Ю.-Д, Степанов П.В., Стыскин М.М.** Особенности использования bluethooth low energy меток для идентификации и определения положения объектов в технологическом процессе наземного обслуживания воздушных судов гражданской авиации. *Информатизация и связь*. 2020. № 6. С. 106-112.

S.A.Potryassaev, B.V.Sokolov (St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg), P.V.Stepanov, M.M.Styskin (Joint-Stock company "Universal-Aero"). Development and implementation of domestic intellectual ground transport and technological aircraft maintenance facilities in a single digital space of the airport

Complexes of domestic intellectual ground transportation and technological means (IGTTM) for servicing civil aviation vessels in a single digital space of airports have been developed and implemented on a large scale. The novelty of transport and technological means consists in the use of an intelligent system of proactive (proactive) management of them, which allows you to consistently and effectively solve the tasks of group interaction of IGTTM, management of technical condition, maintenance processes, video recording, geo-positioning and collision prevention. The report provides a description and technology of IGTTM functioning.

А. В. СПЕСИВЦЕВ, В. В. ЗАХАРОВ, А. И СЕМЕНОВ, В. А. СПЕСИВЦЕВ (Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург)

#### А. И. СУХОПАРОВ

(Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства — филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург)

#### ПРОАКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ КОРМОВ ИЗ ТРАВ

В докладе предложен новый подход к решению задач проактивного управления производством кормов из трав. Трудность разрешения данной трудноформализуемой задачи усугубляется ещё и тем, что под действием различных причин во времени изменяется состав и структура системы управления производством кормов из трав на различных этапах ее жизненного цикла. В работе на этапе формализации содержательной постановки используется логико-динамический подход, который позволяет учесть совокупность различных ограничений.

**Введение.** В Северо-Западной зоне России доля затрат кормов в себестоимости молока и мяса может составлять до 70 %. При этом на многолетние травы на Северо-Западе России приходится более 9/10 общей площади посевных и сельхоз угодий. В связи с этим производство высококачественных грубых и сочных кормов требует применения большого количества технико-технологических решений с учетом имеющихся ресурсов; складывающихся погодных условий; сбалансированности рациона по питательным веществам. Важно заметить, что в процессе заготовки и хранения кормов теряется более 30 % их ценности.

Вместе с тем результаты предыдущих исследований показывают [1, 2], что недостаточная результативность кормопроизводства связана с низким уровнем управления данным сложным процессом. Во многом это определено наличием множества вариантов использования вспомогательных и обеспечивающих агробиологических и организационно-технических ресурсов.

Тем не менее, последовательная автоматизации, базирующаяся на новейших достижениях, полученных в области умных информационных технологий, киберфизических систем, промышленного Интернета, а также методах проактивного (упреждающего) управления, по нашему мнению, является перспективным направлением улучшения качества и эффективности кормопроизводства.

Содержательная постановка задачи проактивного управления кормопроизводством. Производство кормов из трав представляет собой ряд последовательно выполняемых специальных технологий: от подготовки земельных угодий к посеву многолетних трав до укосов с подготовкой их хранения в виде силоса, сенажа или сена. Все технологические операции разделены во времени на протяжении всего весенне-осеннего сезона сельскохозяйственных работ. Большая протяженность выполнения технологии в целом зависит от почвенно-климатических условий, прогноза погоды, наличия и способов внесения навоза в почву, возможности и проведения ухода за травостоем, наличия и исправности технических средств для выполнения всех видов технологических видов работ и квалификацией механизаторов. При этом одним из самых важных для эффективного управления производством кормов из трав выступает фактор времени — производство работ с нарушением агротехнических требований в жестко отведенные сроки приводит к потере качества готовой продукции.

В свою очередь, распределение технологий, функций, методов, алгоритмов, методик обработки и управления материальными, энергетическими и информационными потоками по элементам и подсистемам системы проактивного управления (СПУ) производства кормов из трав обусловливается специфичностью законов управления на каждом этапе общей технологии кормопроизводства из трав. Постановка и решение таких задач затруднена тем, что на всем цикле производства кормов из трав жизненный цикл каждого из этапов связан с изменением состава и структуры управления. С общенаучной точки зрения данная проблема и определяющие ее задачи характеризуются большой размерностью, нестационарностью, нелинейностью, многокритериальностью и неопределённостью.

В то же время анализ решения реальных задач заготовки кормов из трав показывает, что проактивное управление должно быть направлено на максимальное использование потенциала кормовых угодий, а также минимизацию ресурсных и временных потерь [1, 2]. Это достигается организацией заготовки с гибким маневрированием (синтезом) технологий, равно как и применением ресурсосберегающих и энергосберегающих способов при нанесении минимального вреда окружающей среде.

Формальная постановка задачи проактивного управления производством кормов из трав. В качестве примера рассмотрим основные этапы производства силоса: 1) основная обработка почвы; 2) внедрение органических удобрений; 3) внесение минеральных удобрений; 4) подготовка семян к посеву; 5) предпосевная подготовка почвы; 6) посев семян трав; 7) уход за растениями; 8) уборка трав на силос.

Существует множество способов (технологий) реализации каждого этапа. При этом каждая технология может быть выполнена с различными уровнями интенсивностями. Для обоснованного выбора эффективного варианта производства силоса необходимо учесть большое количество факторов, которые далее будут описаны в виде ограничений. Перечислим некоторые из них: погодно-климатические, агробиологические, пространственно-временные, техникотехнологические, финансово-экономические, организационные ограничения.

Задача создания технологий и программных продуктов проактивного управления процессами производства кормов из трав может быть сформулирована как задача выработки оптимальных управляющих воздействий, переводящих рассматриваемую СПУ сложного динамического объекта (подсистемы агропроизводства) из заданного в требуемое структурное состояние.

Важно отметить, что в состав решаемых задач должны войти следующие задачи: структурно-функционального синтез облика рассматриваемого объекта; определение срока, к которому необходимо завершить работы по производству силоса; синтез технологий производства; синтез комплексного плана функционирования объекта; синтез управляющих воздействий, обеспечивающих реализацию плана производства силоса.

Возможным способом их решения является использование комплекса логико-динамических моделей для описания процессов функционирования элементов и подсистем рассматриваемых сущностей и методов управления сложными техническими объектами с переменной структурой во времени [3, 4].

На основе предложенных к применению модельно-алгоритмических основ приведем агрегированную динамическую модель проактивного управления операциями производства силоса.

$$M_{o} = \left\{ \mathbf{u} \left( t \right) \mid \dot{x}_{ik} = \sum_{j=1}^{n} r_{ij}(t) \cdot u_{ikj}; \, x_{ik}(t_{0}) = 0; \, x_{ik}(t_{f}) = a_{i}; \, \sum_{j=1}^{n} u_{ikj} \leq P_{ik}, \, \forall i, \, \forall k; \right.$$

$$\left. \sum_{i=1}^{m} \sum_{k=1}^{l} u_{ikj} \leq P_{j}, \, \forall j; \, u_{ikj}(t) \in \{0,1\}; \, \sum_{j=1}^{n} u_{ikj} \left[ \sum_{\tilde{\alpha} \in \Gamma_{ik1}} (a_{i\tilde{\alpha}} - x_{i\tilde{\alpha}}(t)) + \prod_{\tilde{\beta} \in \Gamma_{ik2}} (a_{i\tilde{\beta}} - x_{i\tilde{\beta}}(t)) \right] = 0,$$

$$\left. i = 1, \dots, m; k = 1, \dots, l; \, j = 1, \dots, n; \right\},$$

$$\left. (1) \right.$$

где  $x_{ik}$  — переменная, характеризующая состояние выполнения операции  $D_k^i$  в ходе реализации процесса производства силоса  $A_i$ ;  $r_{ij}(t)$  — известная матричная временная функция, с помощью которой задаются пространственно-временные ограничения, связанные с возможностью назначить ресурс  $B_j$  на выполнение операции  $D_k^i$  в рамках пространственно-временных и климатических ограничений. Функция  $r_{ij}(t)$  принимает значения на множестве  $\{0,1\}$ ;  $u_{ikj}(t)=1$ , если операция  $D_k^i$  выполняется с помощью ресурса  $B_j$ , и 0 — в противоположном случае;  $a_i$ ,  $a_{i\bar{\alpha}}$ ,  $a_{i\bar{\beta}}$  — это заданные объёмы операций в вариантах технологий производства силоса;  $\Gamma_{ik1}$ ,  $\Gamma_{ik2}$  — множество номеров операций в рамках процесса  $B_i$ , а также непосредственно предшествующих операции  $D_k^i$  с помощью логических операций «И», «ИЛИ»;  $P_{ik}$ ,  $P_j$  — технико-технологические

ограничения, связанные с возможностью использования ресурсов фермы в различных процессах и операциях по производству силоса.

Ниже приведем показатели оценивания качества разрабатываемых проактивных программ управления кормопроизводством.

$$J_{1} = \sum_{i=1}^{m} \sum_{k=1}^{l} \sum_{j=1}^{n} \int_{t_{0}}^{t_{f}} a_{ik}(\tau) u_{ijk}(\tau); \qquad (2) \qquad J_{2} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{l} \left[ (T - x_{ik}(t_{f})) \right]^{2}; \qquad (3) \qquad J_{3} = \int_{t_{0}}^{t_{f}} d\tau, \qquad (4)$$

где (2) — функционал оценивания качества выполнения операций;  $a_{ik}$  — функция времени; (3) — функционал оценивания ритмичности производственных процессов; (4) — функционал оценивания оперативности выполнения соответствующих операций.

Для обобщенного оценивания качества синтезируемых проактивных программ управлений может быть использована многокритериальная свертка показателей [4]. Помимо этого, возможно введение ресурсных и стоимостных показателей качества, которые позволят оценить качество синтезируемых комплексных планов (проактивных программ управления). Однако при достаточно большом количестве функционалов интерпретируемость результатов снижается [5].

Заключение. Предложенный подход позволяет, во-первых, учесть в едином масштабе времени динамику интервально заданных пространственно-временных, технологических и технических ограничений различной природы; во-вторых, уменьшить размерность решаемой задачи проактивного управления за счет динамической декомпозиции; в-третьих, предложен новый способ описания процессов производства кормов из трав, который может быть в дальнейшем использован при создании программно-алгоритмических основ автоматизированных систем для агропромышленных предприятий при выработке альтернативных вариантов и поддержки принятия технико-технологических решений.

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при частичной финансовой поддержке в рамках бюджетной темы FFZF-2022-0004.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Popov V.D., Spesivtsev A.V., Sukhoparov A.I., Spesivtsev V.A.** Use of logical-linguistic models to predict the retained biological potential of grasses during their conservation. *Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2016. Russia, June 22-24, 2016, Revised Selected Papers.* P. 244-246.
- 2. **Попов В.Д., Спесивцев А.В., Сухопаров А.И.** Формализация экспертных знаний в виде логиколингвистических моделей. *Вестник РАСХН*. 2014. №3. С. 10–13.
- 3. **Соколов Б.В.** Основы теории проактивного управления структурной динамикой группировки сложных технических объектов и ее применение в различных предметных областях. *XII мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2019): материалы конференции.* Геленджик, 23–28 сентября 2019 г.): в 4 т. / Южный федеральный университет [редкол.: И.А. Каляев, В.Г. Пешехонов и др.]. С. 209–212.
- 4. Захаров В.В. Результаты комплексного планирования процессов функционирования и модернизации корпоративных информационных систем. *Известия высших учебных заведений*. *Приборостроение*. 2021. 64(12). С. 965-971.

A.V.Spesivtsev, V.V.Zakharov, A.I.Semenov, V.A.Spesivtsev (St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg), A.I.Sukhoparov (Institute for engineering and environmental problems in agricultural production – branch of Federal state budgetary scientific institution "Federal scientific agroengineering center VIM").

#### Proactive management of grass feed production

The report proposes a new approach to solving the problems of proactive management of grass feed production. The difficulty of solving this problem, which is difficult to formalize, is further aggravated by the fact that, under the influence of various reasons, the composition and structure of the control system for the production of grass feed at various stages of its life cycle changes over time. In the work at the stage of formalization of a meaningful statement, a logical-dynamic approach is used, which allows taking into account a combination of various restrictions.

### А. В. СПЕСИВЦЕВ, А. И. СЕМЕНОВ, В. А. СПЕСИВЦЕВ (Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург)

#### А. И. СУХОПАРОВ

(Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства — филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург)

#### НЕЧЁТКО-ВОЗМОЖНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНИВАНИЯ СОВОКУПНОГО ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОРМОВ ИЗ ТРАВ

В докладе приведен пример построения нечетко-возможностной модели для оценивания качества кормов из трав по содержанию обменной энергии сухого вещества в корме, МДж/кг, как модель второго уровня иерархической объектно-ориентированной системы моделей технологии производства кормов из трав в целом. Численные эксперименты показали, что выполнение прогнозных решений обеспечивает получение в хозяйствах кормов І класса не ниже 50 %, а также повышению энергетической эффективности всего процесса заготовки до 30 %.

**Введение.** Целью данного исследования является построение математических моделей трудноформализуемых систем и процессов, которые характерны для условий всего сельскохозяйственного производства, в том числе и заготовки кормов из трав для ферм крупного рогатого скота (КРС) [1, 2].

Заготавливаемые корма из трав высокого качества существенно повышают продуктивность сельскохозяйственных животных. Поэтому своевременное и оперативное выполнение технологических операций, применение эффективных технологических приёмов и способов в соответствии с агротехническими требованиями будет способствовать формированию сбалансированной по питательным веществам кормовой базы для животных. Особенно существенно качество кормов из трав влияет на продуктивность дойного стада КРС. Получение качественных кормов с минимальными затратами на единицу питательной ценности является одной из главных задач отрасли кормопроизводства [3–6].

Выбор и принятие эффективного решения на каждом этапе осуществления технологического процесса кормопроизводства из трав весьма трудоёмок и длителен по времени из-за большого количества альтернативных вариантов. При этом необходимо учитывать не только многообразие различных факторов, но и их совокупное влияние на реализацию всех этапов технологии с учётом имеющихся земельных, материальных, трудовых ресурсов и складывающихся погодных условий. В таких условиях актуальным является формализация и использование знаний и опыта экспертов на основе нечётко-возможностного подхода, что позволяет получить систему математических моделей, содержащую в себе различные технико-технологические решения, их степень значимости во взаимосвязи друг с другом и прогнозируемое в итоге качество получаемого корма из трав [2–4].

**Методы и материалы.** Нечетко-возможностный подход является синтезом элементов теории нечетких множеств (извлечение и представление экспертных знаний) и теории планирования экспериментов (задание опросной матрицы и построение математической модели). При этом следует особо подчеркнуть, что исходными для построения математической модели являются знания и опыт эксперта, а статистические данные предыдущих лет по хозяйствам служат только для оценивания степени адекватности расчетов по синтезированной модели [1].

Основное внимание направлено на методику построения адекватной нечетко-возможностной модели с использованием знаний и опыта эксперта. Подчеркнем, что «материалом» обработки служат знания, а сам при этом эксперт рассматривается как «интеллектуальная измерительнодиагностическая система» [1]. Решение поставленной задачи эксперт начинает с выбора факторного пространства из нечетких лингвистических переменных, в котором он осуществляет решение.

**Нечетко-возможностная модель качества кормов из трав.** Исследования, проведенные ранее [4], позволили построить математическую модель верхнего уровня иерархической структурной модели оценивания процесса кормопроизводства из трав, которая включала факторное пространство из пяти нечетких лингвистических переменных: почвенный ресурс  $(X_1)$ , кормо-

вой ресурс  $(X_2)$ , технологический ресурс  $(X_3)$ , технико-административный ресурс  $(X_4)$  и погодно-климатические условия  $(X_5)$ . В настоящем исследовании представлена одна из нечетковозможностных моделей второго уровня иерархии, раскрывающая обобщенный показатель модели первого уровня иерархии  $X_3$  (технологический ресурс), который является некоторой функцией от шести переменных: фаза вегетации  $(X_{31})$ ; тип применяемых косилок и время скашивания  $(X_{32})$ ; интенсивность ворошений  $(X_{33})$ ; внесение консерванта  $(X_{34})$ ; способ досушивания  $(X_{35})$  и способ хранения  $(X_{36})$ .

Согласно разработанной методике [1, 2], в результате обработки данных экспертной опросной матрицы получена нечетко-возможностная модель оценивания состояния технологического ресурса и влияние на его величину нечетких лингвистических переменных выбранного факторного пространства в рамках решения общей задачи первого уровня иерархической системы повышения содержания обменной энергии в кормах из трав [4]:

$$\begin{array}{l} x_3 = 8,859 +\ 0,703 X_{31} +\ 0,109 X_{32} +\ 0,172 X_{33} +\ 0,359 X_{34} +\ 0,140 X_{35} + \\ +\ 0,359 x_{36} -\ 0,109 x_{34} x_{35} -\ 0,131 X_{31} X_{34} x_{36} -\ 0,109 x_{32} x_{33} x_{35}, \end{array}$$

где приведены только члены разложения с коэффициентами, значимо отличающимися от нуля, а все переменные представлены в стандартизованном безразмерном масштабе.

Проведем краткий анализ полученной модели. Следует обратить внимание на нелинейность модели, где участвуют даже тройные взаимодействия переменных. Это указывает на сложный характер совокупного влияния технологических факторов на качественные параметры кормов из трав. Фаза вегетации  $(X_{31})$ , внесение консервантов  $(X_{34})$  и способ хранения  $(X_{36})$  — наиболее сильно действующие факторы, что полностью соответствуют теории агрономической науки, но в нашем случае получены количественные оценки степени их влияния в количественном выражении. Благодаря построенной адекватной модели можно утверждать, что при прочих равных условиях потери от внесения консервантов и неправильный способ хранения ухудшают качество готовой продукции по содержанию обменной энергии в два раза меньше, чем нарушение сроков скашивания трав в период вегетации.

В результате проведения численных экспериментов установлено, что гарантированное высокое качество кормов из трав I класса не ниже 50 % возможно только при соблюдении всех агробиологических требований на всех этапах их жизненного цикла. Кроме того, строгое выполнение требований показало, что расчетные значения энергетической эффективности всего процесса заготовки кормов из трав до 30 %.

Однако, как показывает анализ модели, не следует забывать и существенную взаимообусловленность факторов даже тройными взаимодействиями. Так, очень показательно существенное влияние тройного взаимодействия именно наиболее значимых поименованных выше факторов. Это тем более важно, поскольку синтезированная модель второго уровня иерархии дает уже количественные оценки для такого важного фактора первого уровня иерархической метамодели – обобщенного показателя агробиопотенциала по урожайности кормовых угодий.

Заключение. В результате проведенных исследований сделаны следующие выводы.

Приведен практический пример применения новой методологии построения в шестифактоном пространстве нечетких лингвистических переменных математической модели на основе свертки явных и неявных экспертных знаний как одного из наиболее эффективных приемов цифровизации сельскохозяйственных производств в условиях неопределенности.

На основе знаний и опыта эксперта построена нечётко-возможностная модель потенциала урожайности трав для условий Северо-Запада России, которая позволяет прогнозировать выход качество кормов, получаемых из зелёной биомассы травы при реализации конкретных техникотехнологических решений.

Осуществление процесса заготовки кормов при учете рациональных техникотехнологических решений, рекомендованных прогнозированием на базе данной модели, может обеспечить получение в хозяйствах кормов I класса не ниже 50 %, а также будет способствовать повышению энергетической эффективности всего процесса заготовки до 30 %.

Адекватность полученной модели на основании знаний экспертов подтверждена в ряде хозяйств Ленинградской области.

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при частичной финансовой поддержке в рамках бюджетной темы FFZF-2022-0004.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Игнатьев М.Б., Марлей В.Е., Михайлов В.В., Спесивцев А.В.** Моделирование слабо формализованных систем на основе явных и неявных экспертных знаний. СПб: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2018. 430 с.
- 2. **Popov V.D., Spesivtsev A.V., Sukhoparov A.I., Spesivtsev V.A.** Use of logical-linguistic models to predict the retained biological potential of grasses during their conservation. *Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2016. Russia, June 22-24, 2016, Revised Selected Papers.* P. 244-246.
- 3. Справочник по кормопроизводству. 5-е изд., перераб. и дополн. / Под ред. В.М. Косолапова, чл.-корр. Россель-хозаекадемии, доктора с-х. наук. И.А. Трофимова, доктора географ. наук. М.: Россельхозакадемия, 2014. 717 с.
- 4. **Попов В.Д., Спесивцев А.В., Сухопаров А.И.** Формализация экспертных знаний в виде логиколингвистических моделей. *Вестник РАСХН*. 2014. №3. С. 10-13.
- 5. **Flaten O., Bakken A. K., Randby A. T.** The profitability of harvesting grass silages at early maturity stages: An analysis of dairy farming systems in Norway. *Agricultural Systems*. 2015. Vol. 136. Jun. P. 85-95. DOI: 10.1016/j.agsy.2015.03.001
- 6. **Meripõld H., Tamm U., Tamm S., Võsa T., Edesi L.** Fodder galega (Galega orientalis Lam) grass potential as a forage and bioenergy crop. Agronomy Research. 2017. 15(4). P. 1693–1699. DOI: 10.15159/AR.17.021.

A.V.Spesivtsev, A.I.Semenov, V.A.Spesivtsev (St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg), A.I.Sukhoparov (Institute for engineering and environmental problems in agricultural production – branch of Federal state budgetary scientific institution "Federal scientific agroengineering center VIM", St. Petersburg). Fuzzy-probability model for estimating the cumulative effect of technological factors on the qualitative parameters of grass feed

The report gives an example of building a fuzzy-possibility model for assessing the quality of grass feed by the content of exchangeable energy of dry matter in the feed, MJ/kg, as a model of the second level of a hierarchical object-oriented system of models of grass feed production technology in general. Numerical experiments have shown that the implementation of predictive solutions ensures the receipt of class I feed in farms at least 50 %, as well as an increase in the energy efficiency of the entire harvesting process up to 30 %.

### И. Т. КИМЯЕВ (ООО «Норникель – Спутник», Москва)

#### А. Ю. БАРАНОВ

(Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург)

# СИНТЕЗ МОДЕЛЕЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СЛОЖНЫМИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ОБЪЕКТАМИ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО И НЕЧЕТКО-ВОЗМОЖНОСТНОГО ПОДХОДОВ

Современные интегрированные системы контроля и управления субъектами производственно-хозяйственной деятельности имеют существенную сложность, при этом требуют при принятии и выполнении управленческих решений деятельного участия со стороны человека-оператора экспертного уровня. Идентификация роли оператора-эксперта в управленческой иерархии и выбор способа описания его знаний в части выбора управленческих решений является актуальной задачей.

**Введение**. Любая производственная компания как объект хозяйственной детальности (ОХД) на сегодняшний день представляет собой иерархический комплекс функциональных производственных доменов и технологических подсистем, которые увязаны вертикальными и горизонтальными материальными, энергетическими, финансовыми и др. потоками со множеством обратных связей. Поддержание компаний в конкурентном состоянии и способном производить товарную продукцию помогают интегрированные управляющие системы (ИУС), имеющими сложную внутреннюю структуру.

При создании ИУС высокой сложности при любом концептуальном подходе необходимо стремиться синтезировать полную многоуровневую функциональную и кибернетическую сложность комплекса ОХД ↔ ИУС всеми доступными инструментами моделирования и в пределах разумных затрат. В настоящее время это обусловливает привлечение в ключевых точках производственных доменов и технологических линий к принятию управленческих решений творческих и когнитивных способностей специалиста соответствующей квалификацией, т.н. лица́, принимающего решение (ЛПР).

Практика показывает, что ЛПР наибольшее участие в работе ИУС принимают на тех участках и для тех подсистем, которые характеризуются существенной неопределенностью текущего и целевого статуса. Такой подход обусловлен слабой формализацией предметной области, неполнотой и дефицитом исходных данных, многокритериальностью и противоречивостью целей управления, а также переизбытком возможных вариантов для принятия решений («проклятие размерности»).

Тем не менее, уже около 30 лет для представления иерархической ИУС для ОХД используется комплект широко известных международных стандартов семейства ISA-88/95 [7]. На рис. 1 представлена рекомендованная данным стандартами обобщенная (типовая) структура многоуровневых ИУС, на которой, кроме типовых укрупненных функциональных подсистем, представлены точки и приблизительная оценка степени участия ЛПР в решениях задач управления для крупного ОХД.

Структура ИУС на рис. 1 в целом совпадает с описанием иерархических систем управления от различных исследователей [1, 2, 5, 6, 9, 11]. Данное совпадение предполагает, что орган управления наиболее высокого ранга (L5) имеет генеральную цель (максимальная прибыль, наилучшая энергоэффективность и пр.) и ставит задачи органам управления более низкого уровня (L4), которые, в свою очередь, ставят задачи органам управления ещё более низкоуровневым (L3 и ниже). Фактически, в иерархической ИУС для ОХД происходит ниспадающая декомпозиция генеральной цели на последовательность целей и задач. По мере их решения задач управления на каждом уровне достигается и сама генеральная цель.

Особенностями рассмотренного стандартизованного подхода [7] является его сугубая прикладная направленность, которая выражается в том, что:

- а. управленческие слои «привязаны» к двум общепринятым типам технологий: Операционные технологии (ОТ) и Информационные технологии (ИТ);
- b. критерием декомпозиции задач каждого слоя является время дискретизации при принятии управленческих решений.

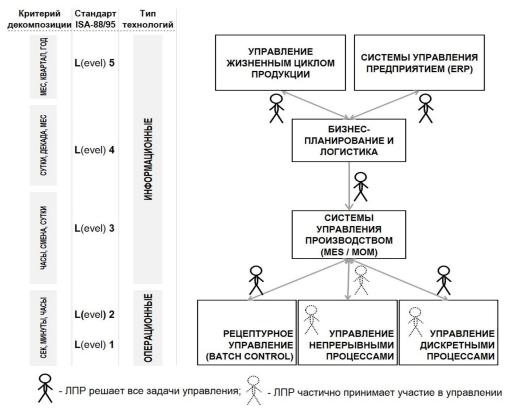


Рис. 1. Структура IT/ОТ для ИУС крупного иерархического ОХД

На рис. 1 также показано, что для реального ОХД достижение генеральной цели делегировано не только инструментам существующих ОТ/ИТ, но и ЛПР, которые задачи управления для каждой отдельной производственно-технологической ситуации решают эвристическим способом на основе, например, актуальных предметно-ориентированных онтологических моделей (ОМ) [9, 12].

Однако на сегодняшний день отсутствуют систематизированные, и тем более стандартизированные, подходы к обоснованию и локализации ЛПР внутри ИУС как консолидированной функции с соответствующими полномочиями. Отсутствуют также подходы и правила к выявлению всей полноты структурированных знаний для управления конкретной предметной областью (подсистемой) внутри ОХД.

Задача выявления и формализации эвристических правил выбора корректных и эффективных управленческих решений, используемых наиболее подготовленными специалистам-экспертами, становится весьма актуальной. Данная актуальность существенно возрастает с повышением риска выхода ИУС из работоспособного состояния из-за нехватки квалифицированных ЛПР как «интеллектуальных информационно-диагностических систем» (ИИДС) [19], например, по причине естественной ротации производственного персонала.

Настоящая работа обосновывает целесообразность включения ЛПР в качестве функциональных единиц в стандартизованные структуры ИУС, а также возможность их полной или частичной замены путем использование метода представления их знаний и опыта «семантическими сетями на базовой онтологии» с последующим построением математических моделей нечетко-возможностного подхода (НВП) [20, 21].

**Иерархическая производственная система ОХД как эффективный жизнеспособный объект управления**. Как отметили выше, производящие товарную продукцию современные ОХД по внутренней структуре очень сложны, и включают в себя: множество объединенных в сравнительно самодостаточные технологических установок (ТУ) в составе производственных доменов (отделений); специализированные организационные административные структуры; локальные технические систем по обеспечению работы ТУ и доменов в целом и пр.

Ряд исследователей [1, 2, 3] для сложного ОХД предлагают представлять любую структуру принятия управленческих решений в виде иерархии. На каждом уровне подобной управленческой иерархии формируются функциональные производственные, финансовые и др. планы и задания по распределению ресурсов, комплектации оборудования, выбору режимов работы и пр. Активности внутри уровней такой иерархии по обмену информационными и управляющими потоками формируют соответствующие органы управления.

В периметре ОХД транслирование управленческих функций от одного слоя/страты или подсистемы к другому (чаще всего – «сверху – вниз») обеспечивают ЛПР со специальными навыками и квалификацией. При этом ключевой особенностью подобного человеко-машинного комплекса становится способность выполнять целенаправленные манипуляции над работающей по малопонятным для ЛПР законам подсистемой (например, ТУ), которые при этом приводят к запланированному результату.

Ограничения, которые накладываются на активности внутри уровней иерархии:

- а) формирование планов и заданий и их операционное исполнение строго синхронизированы между уровнями иерархии;
- b) внутренняя жизнедеятельность ОХД сбалансирована по ресурсам, т. е. не формируются не обеспеченные ресурсами задания;
- с) с внешней средой ОХД производит взаимовыгодный и сбалансированный обмен, т. е. продукции производится столько, чтобы взамен получить достаточное количество ресурсов, необходимых для своего дальнейшего функционирования (финансовых, материальных, трудовых и пр.).

Известный кибернетик-исследователь С. Бир [4] предложил иерархические ОХД рассматривать как аналог живого организма, а действия и процедуры по управлению им (фактически - организации её жизнедеятельности) – по аналогии с отдельными функциями живого организма с несколькими выделенными зонами ответственности.

Способность ОХД адаптироваться к изменениям внешней среды при сохранении способности к решению целевых для ОХД задач, определена как «жизнеспособность» (ЖС). На рис. 2 представлена т. н. «модель жизнеспособной системы» (МЖС), которая, по С. Биру, является основной концептуальной абстракцией управления, и представляется набором операций по целенаправленному обеспечению его жизнеспособности путем приближения комплекса ОХД  $\leftrightarrow$  ИУС к эталонной МЖС.

С. Бир также подчеркивает, что скудная информация о механизмах работы «поднадзорной» производственной или технологической подсистемы (является практически «черным ящиком» – ЧЯ) не является помехой для поддержания ее в «жизнеспособном» статусе. Это связано с тем, что статус ЧЯ для данной подсистема не означает отсутствия «в принципе» исчерпывающих знаний (фактически – онтологий) о способах получения от неё вещественных результатов. Так, работоспособность (управление) каждой отдельной подсистемы ОХД обеспечивают сформулированные по принципу «вход – выход» правила и наставления, совокупность которых можно отнести к предметному контекстно-зависимому метаязыку (МЯ). В реальности МЯ представляет собой предметно-ориентированную онтологическую модель (ОМ), которая более или менее структурированно представлена в формате Технологических Регламентов и инструкций. Кроме того, МЯ содержит правила для постановки целей, реализации типовых производственных операций (ТПО) при актуальных физических и производственных и прочих ограничениях.

Практика применения предусмотренных ОМ правил и наставлений к каждому конкретному производственно-технологическому случаю практически всегда возложено на ЛПР, который их выполняет по своему усмотрению, полагаясь на свой опыт и интуицию, посредством решающих «эвристических правил-оповещений». Место и точки приложения «эвристических оповещений» в структуре МЖС приведены на рис. 2.

Таким образом, при текущем уровне развития теории и практики управления сложными ОХД решать объективно существующие проблемы межуровневой координации и управления для поддержания его в продуктивно-жизнеспособном состоянии возможно лишь путем применения комплекса формализованных предметно-ориентированных ОМ, которыми владеют эксперты – ЛПР.

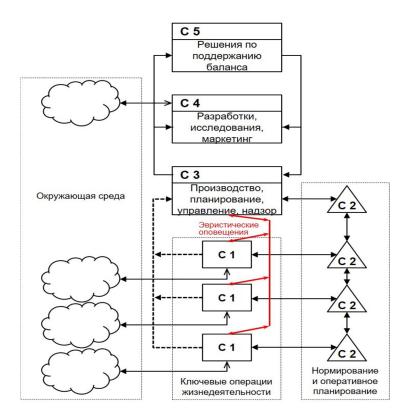


Рис. 2. Обобщенное кибернетическое представление основных функций МЖС

Стандартизованная иерархия ИУС как функциональный эквивалент модели жизнеспособной системы. Для оценки пригодности предложенных в [4] требований к МЖС с включенными эвристическими ОМ к синтезу структуры ИУС по стандартам [7], рассмотрим функциональную и идеологическую эквивалентность обоих подходов.

Поскольку авторам не удалось найти прямых обоюдных ссылок и заимствований между двумя подходами, ниже (таблица), представлены логически и функционально сопоставимые уровни МЖС (С1...5) и иерархии ИУС для ОХД (Level 1...5).

Таблица Сравнение функциональных характеристик уровней МЖС и стандартизованной ИУС

Иерархия МЖС по С. Биру		Иерархия по ISA-88/95		
Подсистема	Функция МЖС	Функция ИУС	Уровень иерархии	
C1	Реализация нескольких ключевых для основной деятельности ОХД функций. Каждая локальная С1 является жизнеспособной, имеет рекурсивный характер	Локальное управление отдельными (несколькими) ТУ и агрегатами	Level 1, 2	
C2	Каналы и органы для обеспечения обмена информацией для общения между собой нескольких С1 и вышестоящей С3 по контролю и координации деятельности нижестоящих С1	Промышленные и локальные сети передачи данных, формирование и ведение общей для L2, L4, L5 базы данных технологических параметров	Level 3	
C3	Формирование правил по ресурсному обеспечению, ограничениям работы C1, а также взаимодействию с C4, C5	Базовый план производства (правила), использования материалов, обязанности (уставки) подсистем на L2	Level 4	
C4	Отслеживает изменения в окружающей среде с целью формирования для ОХД способов адаптации к ним для сохранения жизнеспособности	Коммерция во внешней среде, сбор информации об актуальных / прогнозных ценах, потребностях рынка, к которым нужно приспособиться	Level 5	
C5	Формирует политические решения в рамках ОХД в целом, чтобы сбалансировать потребности и запросы её различных частей и управлять в целом	Формирование бизнес-планов по инвестициям, долго-среднесрочным объемам производства, ценовая политика и пр.	-	

Если сопоставить реализуемые в рамках концепции МЖС функции с аналогичными, но реализуемыми стандартизованной ИУС, очевидна их эквивалентность, кроме С5. Выявленная эквивалентность двух подходов к описанию ИУС говорит об их глубокой онтологической близости. Выявленная близость подходов позволяет говорить о целесообразности для спроектированных по стандартам [7] ОТ/ИТ разрабатывать и встраивать в контуры управления ОМ с набором эвристических правил для управления конкретной ОХД.

Другими словами, широчайшее использование в составе ОТ/ИТ разнообразных математических и программно-технических инструментов не отменяет существенной роли ЛПР в принятии множества эффективных управленческих решений по обеспечению сквозной работо- и жизнеспособности ОХД. При этом, в условиях многокритериальности, ресурсно-временных ограничений, неполноты информации о текущей ситуации и перспективах ее развития, ЛПР — единственное функциональное звено с возможностями и правом корректного и рационального выбора [8].

Тем не менее, активное участие ЛПР в управлении реальными ОХД не значит единожды и окончательно закреплена их роли в составе ИУС. По мере совершенствования математических методик построения моделей компонентов ОДХ (фактически – их «просветления» от состояния ЧЯ), формализации знаний ЛПР (эксперта) и правил принятия управленческих решений, его роль и функции будут существенно трансформироваться. Как пример [3] такой трансформации можно рассмотреть выведение ЛПР из контр оперативного управления сложной технологической установкой за счет создания функционально эквивалентной системы управления с использованием матмоделей на явных и неявных экспертных знаниях.

**ЛПР как субъект принятия эвристических решений в иерархии ИУС.** Современные кибернетические подходы к моделированию процессов физического мира, включая процессы хозяйственной деятельности человека, предполагают использование разнообразного математического аппарата [3, 5, 6, 9]. Данные подходы позволяют успешно создавать т. н. «цифровые двойники», и на их базе – компоненты ИУС высочайшей сложности.

Вместе с тем, даже выполненные по современным стандартам сложнейшие компоненты ИУС нуждаются в ИИДС, как минимум, для эффективной координации своих действий, которое может обеспечить только прямое участие ЛПР.

ЛПР как ИИДС, при исполнении координационно-управленческих функций, оперирует актуальной (предметной) для своей роли ОМ, в лучшем случае, в формализованном виде ТПО для конкретной подсистемы ОХД.

Работоспособную, корректно работающую и построенную на положениях действующих ТПО предметную ОМ [9, 10, 11, 14, 16, 17], можно представить в виде:

$$O = \langle C, R, F \rangle \tag{1}$$

где C – конечное множество концептов (понятий) ИУС, описываемой в ТПО; R – конечное множество отношений между концептами (понятиями) C; F – конечное множество функций интерпретизации (аксиоматизации), заданных на концептах и/или отношениях онтологии O.

В [12, 13, 14, 15] показан один из работоспособных способов построения предметной ограниченной онтологии для решения локальных задач, который можно применить для разделения онтологии O на множества сущностей, отображений, задач и решений, а также для идентификаций функций аксиоматизации множества F.

Построение множества F при синтезе OM реально существующей управляющей человекомашинной подсистемы в составе ИУС является наиболее ответственным и сложным, поскольку его даже далеко не исчерпывающий состав, например, в виде вербального описания, может быть неполным и противоречивым.

В дополнение к методу создания ОМ [12] для построения множества F можно использовать НВП [3, 12], который предполагает синтез функции принятия решений в нечеткомножественном виде на базе явных и неявных экспертных данных.

На уровне концептуального описания обобщенная структура и содержание решаемых задач, связанных с разработкой моделей и методов извлечения, представления, формализации и структуризации явных и неявных экспертных знаний для оценивания состояния ИУС или ее подсистем, могут быть представлены в следующем виде [3, 13, 14]:

$$< X, \Phi_{Z}, E_{\pi p}^{Z}, F_{Z}, M_{Z}, M Z^{0}(q, t, \mu), Z_{\pi p}^{9}(q, t, \mu) Z_{comp}^{9}(q, t, \mu); K; \frac{Y}{\pi} >$$
 (2)

где X — множество состояний ИУС, которые в ходе распознавания должны быть отнесены к одному из определенных классов  $Y/\Xi$ ;  $\Phi_z$  — множество методов извлечения знаний;  $E^z_{np}$  — множество методов представления знаний;  $F_z$  — множество методов и алгоритмов формализации знаний;  $M_z$  — множество условий, необходимых для выполнения всех операций при построении моделей;  $MZ^3(q,t,\mu)$  — множество метазнаний, общая эрудиция, явные и неявные экспертные знания, умение ориентироваться в сложной обстановке;  $Z^3_{np}(q,t,\mu)$  — множество профессиональных знаний, состоящих в умении эксперта разобраться в проблеме, провести постановку задачи, неявные знания, навыки, опыт, интуиция;  $Z^3_{conp}(q,t,\mu)$  — множество знаний в сопредельных предметных областях применительно к профессии; Y — вычисленная обобщенная оценка состояния ИУС, позволяющая отнести его к одному из выбранных классов состояний; K — множество критериев оценивания качества моделей;  $Y/\Xi$  — множество классов состояния ИУС, к одному из которых следует отнести результат его оценивания.

Для формирования ФПР, представляющего последовательность взаимосвязанных процессов извлечения, а также представления и формализации явных и неявных экспертных знаний, на рис. 3 предложена коммутативная схема.

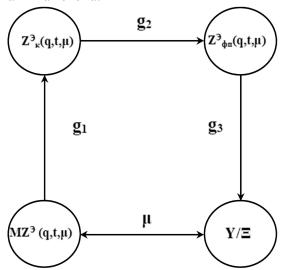


Рис. 3. Коммутативная схема процессов извлечения, представления и формализации явных и неявных экспертных метазнаний

Раскрытие неопределенности состояния ИУС на основе явных и неявных экспертных знаний позволяет конструктивно сформировать следующее отображение:

$$\mu T \times U \times Y \to Y/\Xi \tag{3}$$

При этом само отображение  $\mu$  может быть представлено композицией отображений:

$$\mu = g_1 \circ g_2 \circ g_3,\tag{4}$$

где  $g_1$  — извлечение множества характеристик (параметров) состояния конкретного ИУС  $Z_\kappa^{\mathfrak{I}}(q,t,\mu)$  из метазнаний M  $Z^{\mathfrak{I}}(q,t,\mu)$  эксперта, включающих профессиональные явные  $Z_{np}^{\mathfrak{I}}(q,t,\mu)$  знания, состоящие в умении эксперта разобраться в проблеме, провести постановку задачи, неявные знания  $Z_{\mathfrak{I}}^{\mathfrak{I}}(q,t,\mu)$ , навыки, опыт, интуиция, а также знания в сопредельных предметных областях  $Z_{conp}^{\mathfrak{I}}(q,t,\mu)$ ;  $g_2$  — представление характеристик  $Z_\kappa^{\mathfrak{I}}(q,t,\mu)$  в виде лингвистических переменных и формирование факторного пространства  $Z_{\phi n}^{\mathfrak{I}}(q,t,\mu)$ , в котором эксперт принимает решение о состоянии ИУС для конкретной задачи;  $g_3$  — формализация явных и неявных экспертных знаний. При этом  $g_3$  предусматривает построение моделей формализованного представления явных и неявных экспертных знаний о состоянии ИУС, в том числе,

например, в виде полиномиального выражения с использованием методов теории планированного эксперимента на множестве нечетких продукционных правил факторного пространства  $Z_{\phi n}^{\mathcal{I}}(q,t,\mu)$  с диагностированием на фактор-множестве  $Y/\mathcal{E}$  классов состояний ИУС, элементы которого в ходе распознавания должны быть отнесены к одному из множества классов  $Y/\mathcal{E}$ .

Таким образом, можно утверждать, что при решении управленческой задачи ЛПР в реальном времени квалифицированно и достоверно оценивает текущую ситуацию, и принимает эффективное решение. Однако чтобы обеспечить входящим в ИУС управляющим/координирующих подсистемам сопоставимую с ЛПР эффективность, вербальные экспертные знания для синтеза ОМ должны быть представлены аналитическим выражением. С этой целью разработан НВП, позволяющий последовательно выполнить процедуры извлечения, представления и формализации знаний ЛПР, как показано на рис. 3 [3].

Заключение. Предложены к рассмотрению два концептуальных похода к построению управляющих структур сложным ОХД: первый представляет стандартизованное представление ОХД как техногенной иерархии, на каждом уровне которой формируются и решаются производственные, технологические, финансовые и пр. планы и задачи, второй — предлагает рассматривать иерархические ОХД как аналог живого организма с выделением зон ответственности для обеспечения его жизнеспособности при изменении условий внешней среды стороны.

Проведенное исследование показало функциональную и идеологическую эквивалентность обоих подходов, несмотря на использование каждым из них собственных описательно-онтологических особенностей, создающих впечатление об их «мнимом расхождении». При этом оба подхода предполагают всестороннее участие ЛПР в обеспечении жизнеспособности и жизнедеятельности ОХД, что обуславливает необходимость методики синтеза предметно-ориентированных онтологий в виде правил формирования эвристик на основе знаний человекаэксперта.

Показано, что при управлении сложным ОХД в реальном времени и в условиях существенной неопределенности, ЛПР – единственный субъект, который выступает как «интеллектуальная информационно-диагностическая система» [19], имеющий возможность и право принять корректное и рациональное решение.

Столь высокая значимость ЛПР следует из особенностей человеческого интеллекта. Известно, интеллектуальная деятельность человека в решении трудноформализуемых задач с нечеткой или неточной исходной информацией, превосходит по эффективности любые вычислительные средства. Такое свойство человека-эксперта как ЛПР, способствует борьбе со сложностью построения управленческих структур сложным ОХД путем использования в своей профессиональной области его опыта и знаний. По существу, восстановленные в виде полиномиальной модели знания эксперта обладают уникальным свойством: независимостью от ретроспективных статистических данных и прогнозируемых фактических экспериментальных данных. Это преимущество дает возможность обходить методологические сложности традиционных математических методов, вытекающих из особенностей их применения.

Показана возможность формализации вербальных экспертных знаний аналитическими моделями на базе разрабатываемого авторами нечетко-возможностного подхода в целом. Одно из основных преимуществ предлагаемого подхода состоит в наглядности, использовании только необходимых знаний и опыта эксперта на его профессиональном языке без вовлечения в специфичный язык современной математики.

С целью полноценной увязки предложенных подходов к построению ИУС сложными ОХД, включая возможность встраивания в них эвристических правил, необходима дополнительная оценка их онтологического соответствия и близости, что будет являться предметом дальнейших исследований.

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при частичной финансовой поддержке в рамках бюджетной темы FFZF-2022-0004.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Mesarovich M.D., Macko D., Takahara Y. Theory of hierarchical, multilevel, systems. Academic press, NY and London (1970).
- 2. Pospelov G.S. Introduction to the Theory of System Planning and Management. *Lectures / Ministry of Higher and Special Education RSFSR. MFTI, Moscow* (1974)

- 3. Spesivtsev A.V. Kimyaev I.T. Advanced processes control (APC) for complex technological objects on the fuzzy logic rules based modeling and analysis of safety and risk in complex systems International Scientific Conference Proceedings June 23–25, Saint Petersburg, Russia (2020).
- 4. Beer S. Brain of the firm. 2-nd edn. John Wiley&sons Ltd, Manchester (1981).
- 5. King M. Process Control. A practical approach. John Wiley&sons Ltd, Chichester (2011).
- 6. Vance VanDoren. Techniques for Adaptive Control. Elsevier Science, Amsterdam (2002), 275p.
- ANSI/ISA-95.00.01-2010 (IEC 62264-1 Mod) Enterprise-Control System Integration Part 1: Models and Terminology. (2010).
- 8. Herbert A. Simon. Rationality as Process and as Product of Thought. Richard T.Ely Lecture American Economic Review, May 1978, vol. 68, no.2, pp.1–16. American Economic Association (1978).
- Mikoni V.S. Comprehensibility of the ontological model as a characteristic of its quality. Ontology of design, no.1, vol.11, pp. 20-34. (2021).
- Allemang Dean, Jim Hendler, Fabien Gandon. SemanticWeb for theWorking Ontologist. Effective Modeling for Linked Data, RDFS, and OWL 495p ACM Books (2020).
- 11. Chrysostomos D. Stylios and Peter P. Groumpos. Modeling Complex Systems Using Fuzzy Cognitive Maps, IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics part A: Systems and humans, vol. 34, no. 1, pp. 155-162, JANUARY (2004)
- 12. Dimand I.N., Spesivtsev A.V. Semantic Networks based on Ontology. XIV NTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFT COMPUTING AND MEASUREMENTS. Vol.1, pp.76-81, 23-25 May Saint-Petersburg, Russia (2013)
- Spesivtsev A.V. Fuzzy-possibility approach to Formalization and Usage of Expert Knowledge for assessment of Complex Objects. Instrument Engineering, vol.63 (11), pp. 985-994, (2020).
- 14. Ignatyev M.B., Marley V.E., Michaylov V.V., Spesivtsev A.V. Models for Weakly Formalized Systems Based on Explicit and Implicit Knowledge. POLITECH EXPRESS, 430 p. St. Petersburg (2018).
- Prokopchina S.V., Shestopalov M.Y., Utkin L.V., Kupriyanov M.S., Lazarev V.L., Imayev D.H., Gorokhov V.L., Zhuk Y.A., Spesivtsev A.V. Management under Uncertainty. Study. p.304. SPbGETU «LETI» Publ., St. Petersburg. (2014)
- Tara A., Butean A., Zamfirescu C., Learney R. (2020) An Ontology Model for Interoperability and Multi-organization Data Exchange. In: Silhavy R. (eds) Artificial Intelligence and Bioinspired Computational Methods. CSOC 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 1225. Springer, Cham.
- 17. Al-Fedaghi S., Makdessi M. (2020) Modeling Business Process and Events. In: Silhavy R. (eds) Intelligent Algorithms in Software Engineering. CSOC 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1224. Springer, Cham.
- 18. Спесивцев А.В., Домшенко Н.Г. Эксперт как «интеллектуальная измерительно-диагностическая система». XIII Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям SCM: сб. докладов. 23-25 июля 2010, Санкт-Петербург: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2010. Т.2. С.28–34.
- Спесивцев А.В. Нечетко-возможностный подход к формализации и использованию экспертных знаний для оценивания состояний сложных объектов. Изв. вузов. Приборостроение. 2020. т. 63, № 11. С. 985–994.

I.T.Kimyaev (LLC "Nornickel – Sputnik", Moscow), A.Y.Baranov (St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS), St. Petersburg). Synthesis of decision-making models for the control of complex production business unit based on ontological and fuzzy-possibility approaches

Modern integrated control and management systems for subjects of production and economic activity have a significant complexity, while they require active participation by an expert-level human operator when making and implementing managerial decisions. Identification of the operator-expert role in the management hierarchy and the choice of a way to describe his knowledge in terms of choosing management decisions is an urgent task.

### Д. Н. ВЕРЗИЛИН (Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН;

НГУ имени П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург)

Т. Г. МАКСИМОВА (Университет ИТМО, Санкт-Петербург)

И. Б. СОКОЛОВА

(Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург)

#### ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ОРГАНИЗАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ: РЕЗУЛЬТАТЫ ПАТЕНТНОГО МОНИТОРИНГА

Задача исследования — выявление закономерностей развития информационных технологий в России и мире по патентным данным в интересах оценивания уровня развития и определения перспективных направлений развития технологий в России. Использованы данные из базы QUESTEL — ORBIT о поданных и зарегистрированных патентах, в области компьютерных систем, использующих модели нейронных сетей, модели, основанные на знаниях, нечеткую логику, машинное обучение и ряд других. Обобщение полученных результатов позволяет обозначить рамочные стратегии деятельности ИТ российских компаний в сфере разработки новых информационных технологий управления. Дальнейшие исследования целесообразно ориентировать на более глубокое изучение отдельных областей патентования и анализа специфики заявок в сфере разработки специфических вычислительных моделей.

Введение. Появление и развитие новых информационных технологий управления, развитие методов обработки больших данных, искусственного интеллекта отражает степень готовности экономики и общества к шестому технологическому укладу, устойчивость страны как социокиберэкономической системы. Современные вызовы, возникающие перед Россией, свидетельствуют о необходимости активного развития отечественных информационных технологий управления сложными организационными системами. На сегодняшний день накоплен опыт использования технологий искусственного интеллекта, дополненной реальности, больших данных в управлении сложными организационными и социально-экономическими системами, бизнес-процессами крупных предприятий и организаций. Показательными примерами таких исследований являются публикации материалов отечественных и зарубежных научных конференций и периодических изданий [1, 2, 3, 4], аналитических обзоров [5], монографий [6, 7, 8]. Научные исследования, как правило, сосредоточены на обсуждении специфики и возможностей использования конкретных технологий для целей управления сложными системами или процессами в одной из сфер деятельности, например, в финансовом секторе, промышленности, логистике и транспорте, торговле и маркетинге, сельском хозяйстве, медицине и здравоохранении, государственном управлении. Предлагаемый доклад посвящен результатам сравнительного аналитического патентного исследования, уровня развития информационных технологий управления в России и мире, позволяющим охарактеризовать существующие и перспективные для России направления развития технологий управления.

**Основная часть.** Задача исследования — выявление закономерностей развития информационных технологий в России и мире по патентным данным в интересах оценивания уровня развития и определения перспективных направлений развития технологий в России.

*Материалы и методы исследования*. Использованы данные из базы QUESTEL – ORBIT [9] о поданных и зарегистрированных патентах по коду Международной патентной классификации (МПК) G06N «Компьютерные устройства, основанные на специфических вычислительных моделях», включающей, сведения о компьютерных системах, использующих в, частности, модели нейронных сетей (код МПК G06N 3/02), модели, основанные на знаниях (код МПК G06N 5/00), нечеткую логику (код МПК G06N 7/02), машинное обучение (код МПК G06N 20/00), а также сведения о компьютерных системах, основанные на квантово-механическом феномене (код МПК G06N 10/00). Временная глубина поиска – с 1990 года по настоящее время. В качестве единицы наблюдения рассматривается патентное семейство, то есть все патенты,

описывающие одно изобретение. Проанализированы данные только о действующих патентах и поданных заявках на патенты. Для анализа выделено три группировки: весь мир, все страны, кроме Китая, Россия. Выделение «некитайского» сегмента патентной активности обусловлено многократно опережающим все другие страны мира ростом количества патентных заявок в китайский патентный офис.

Для построения диаграмм использованы средства визуализации QUESTEL – ORBIT. Часть диаграмм построена авторами с использованием аналитических данных, полученных из системы QUESTEL – ORBIT.

**Результаты** исследования. В области компьютерных устройств, основанных на специфических вычислительных моделях, в последние 10 лет в мире наблюдается экспоненциальный рост патентования технических решений, свидетельствующий о мировой гонке за патентами в рассматриваемой области (рис. 1).

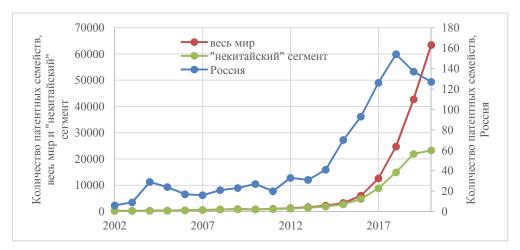


Рис. 1. Динамика патентной активности код МПК G06N «Компьютерные устройства, основанные на специфических вычислительных моделях»; данные за 2021 и 2022 год не приводятся, так как существует 18-месячная задержка между подачей заявки и ее публикацией (количество патентных семейств по году первой публикации)

Основные области применения, в которых есть патенты, зарегистрированные в России по коду МПК G06N: компьютерные технологии, контроль, ИТ методы управления, измерение, цифровая связь, транспорт, медицинские технологии, телекоммуникации, гражданское строительство, анализ биологических материалов (рис. 2).

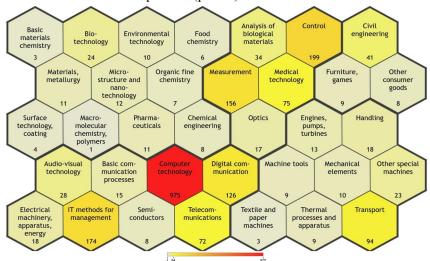


Рис. 2. Структура патентной активности в России по областям применения, код МПК G06N (количество патентных семейств за период). Примечание: патентные семейства могут относиться одновременно к нескольким областям

На протяжении последних 20 лет более 80 % патентных семейств, зарегистрированных по коду МПК G06N, «некитайского» сегмента и России ориентированы на 8 областей применения

(рис. 3). Отмечается разнонаправленная динамика структуры областей применения. ИТ методы управления занимают второе место среди областей применения в некитайском сегменте, в России в период 2016–2020 годы – на четвертом месте.

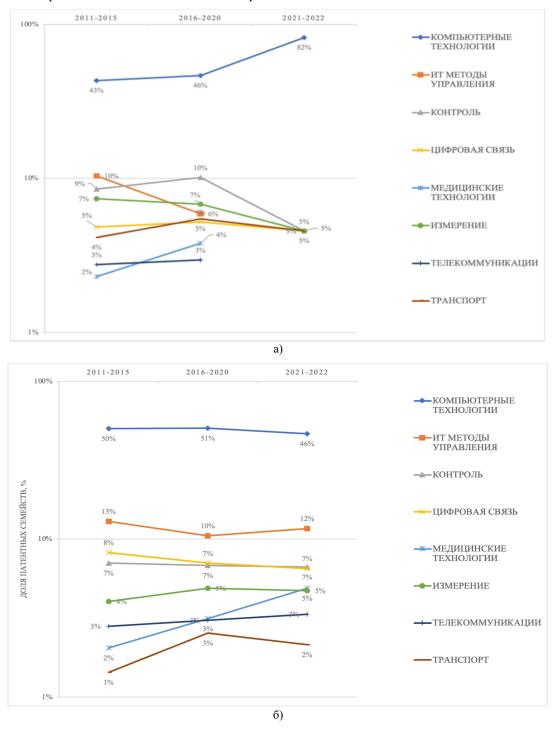


Рис. 3. Динамика патентной активности по областям применения для «некитайского» сегмента (а) и России (б), код МПК G06N. Примечание: патентные семейства могут относиться одновременно к нескольким областям

Рис. 4 иллюстрирует распределение основных концепций, содержащихся в патентах анализируемого класса. Цветом выделены нечеткие кластеры (допускается принадлежность каждого элемента нескольким кластерам), определяемые в соответствии с контекстной близостью концепции одного кластера. Наиболее часто используемые российскими заявителями концепции связаны со сценарным моделированием, классификациями, клиентскими приложениями, машинным обучением.

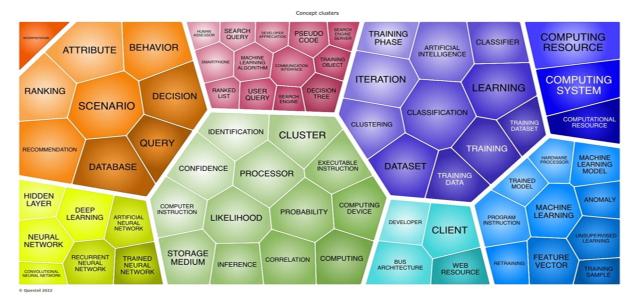


Рис. 4. Сематическая структура патентной активности в России, код МПК G06N

Сравнение наиболее распространенных в России и мире концепций может быть источником идей для новых разработок или выявления защищенных технологий в анализируемой области (рис. 5).

В России на сегодняшний день действует 1032 патента по коду МПК G06N, 35 % из них – это патенты 10 основных игроков. В топе российских компаний YANDEX – 91 патентное семейство, 1 место, AO KASPERSKY LAB – 34 семейства, 4 место, ABBYY – 19 семейств, 8 место.

Основные рынки, на которых действуют патенты, поданные в России, помимо России: США (569 патентных семейств), Китай (334), Европа (314), Индия (276), Япония (245), Корея (224).

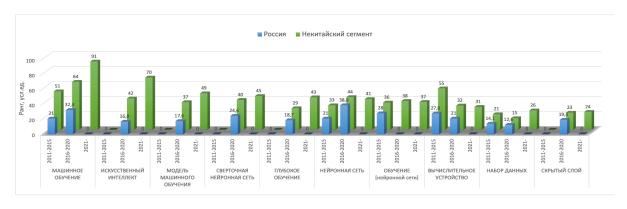


Рис. 5. Динамика сематической структуры патентной активности для «некитайского» сегмента и России, код МПК G06N. Примечание: ранг определен как умноженная на 1000 доля данной концепции в общем числе упоминаний в патентных семействах 70 наиболее распространенных концепций

Заключение. В последние 10 лет в мире наблюдается экспоненциальный рост количества патентов по коду МПК G06N, объединяющему разработки компьютерных систем, использующих, модели нейронных сетей, модели, основанные на знаниях, нечеткую логику, машинное обучение, квантово-механический феномен. В России рост наблюдался до 2018 года включительно. Анализ областей применения технологий, запатентованных по коду МПК G06N, свидетельствует, что на протяжении последних 20 лет более 80 % патентных семейств «некитайского» сегмента ориентированы на 8 областей применения, первое место занимают компьютерные технологии, второе – ИТ методы управления. Для России отмечается иная динамика структуры областей применения: ИТ методы управления в России перешли со второго на четвертое место. Среди ключевых концепций, используемых в патентных семействах, наиболее распространены:

машинное обучение, искусственный интеллект, нейронные сети. Все перечисленные концепции в российских патентах имеют значительно меньшее распространение.

Обобщение полученных результатов позволяет обозначить рамочные стратегии деятельности ИТ российских компаний в сфере разработки новых информационных технологий управления: развитие технологий машинного обучения, искусственного интеллекта, нейронных сетей, ориентация технологий на применение в сфере управления организационными системами. Дальнейшие исследования целесообразно ориентировать на более глубокое изучение отдельных областей патентования и анализа специфики заявок в сфере разработки специфических вычислительных моделей.

Работа проводилась при поддержке гранта РФФИ (№20-08-01046), в рамках бюджетной темы FFZF-2022-0004.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Перспективные информационные технологии (ПИТ 2021) [Электронный ресурс]: труды Международной научно-технической конференции / под ред. С.А. Прохорова. Электрон. текстовые и граф. дан. (25 Мбайт). Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2021. 700 с.
- 2. Information Technology and Management (2021). Shpringer.
- 3. **Иванов Д.А., Иванова М.А., & Соколов Б.В.** (2018). Анализ тенденций изменения принципов управления предприятиями в условиях развития технологий Индустрии 4.0. *Труды СПИИРАН*, 5(60), 97–127. https://doi.org/10.15622/sp.60.4.
- 4. **Богданова В.С., Антипов А.А.** Проблемы регистрации прав на разработки в ІТ-сфере в России и за рубежом. *Экономика. Право. Инновации.* 2019. No 4. C. 42–47.
- Экспертный обзор развития технологий искусственного интеллекта в России и мире. Выбор приоритетных направлений развития искусственного интеллекта в России / Е.И. Аксенова. Москва: ГБУ «НИИОЗММ ДЗМ», 2019 38 с
- Микони С.В., Соколов Б.В. Юсупов Р.М. Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов : монография. М.: РАН, 2018. 314 с. DOI:10.31857/S9785907036321000001
- 7. **Ivanov D., Sokolov B.** Adaptive Supply Chain Management. London: Springer. 2010. 245 p.
- 8. **Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.** Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.
- 9. База данных QUESTEL ORBIT. URL: www.orbit.com.

D.N.Verzilin (St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences; NSU named after P.F. Lesgaft, St. Petersburg), T.G.Maximova (ITMO University, St. Petersburg), I.B.Sokolova (St. Petersburg State University, St. Petersburg). Perspective information technologies for managing complex organizational systems: results of patent monitoring

The objective of the study was to identify patterns in the development of information technologies in Russia and in the world according to patent data for assessing the level of development and determining promising areas for the development of technologies in Russia. We used data from the QUESTEL – ORBIT patent database in the field of computer systems using neural network models, knowledge-based models, fuzzy logic, machine learning and several others. The generalization of the results obtained let identify the framework strategies for the activities of Russian IT companies in the development of new management information technologies. Further research should be focused on a deeper study of certain areas of patenting and analysis of the specifics of applications in the development of computational models.

#### М. В. БАКИН, С. А. ДЕРЖАВИН, А. С. ГЕЙДА, И. П. КОЛОСОВ

(Северо-Западный институт управления - Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург)

### КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНИВАНИЯ УСПЕШНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Актуальность цифровизации экономики и общества вызывает много задач, решаемых практикам и теоретикам при проектировании и использовании информационных технологий. Многие из этих задач требуют исследования информационных технологий на математических моделях. Однако, прогнозные математические модели, связывающие показатели успешности использования информационных технологий с характеристиками этих технологий и характеристиками функционирования систем пока еще развиты не в должной мере. Недостаточно описаны концептуальные и методологические основы такого моделирования. Представленный материал должен преодолеть это несоответствие.

Введение. Для проектирования и совершенствования использования современных (цифровых) информационных технологий (ИТ) важно наличие научно обоснованных математических моделей, связывающих характеристики информационных технологий и систем, в которых они используются, с показателями, характеризующими разнообразные стороны успешности использования ИТ. Для того, чтобы такие математические модели обладали достаточной предсказательной способностью, они должны основываться на законах, закономерностях, устойчивых причинно-следственных связях в природе и обществе. На практике оказалось [1–3], что исследование результатов использования информационных технологий привело, к выявлению ряду парадоксов использования информационных технологий, к проблеме «ІТ Value» в экономике и к проблеме придания гибкости процессно-ориентированным информационным системам [4]. Разрешение указанных проблем тесно связано с созданием концепции и методологии прогнозного оценивания успешности использования ИТ при функционировании систем. Такие концепция и методология должны описывать формирование результатов использования ИТ при альтернировании функционирования систем [5] на основе математических моделей и методов.

Выполненный ранее систематический обзор концептуальных и математических моделей, методов и технологий исследования цифровой трансформации экономических и социальных систем [6, 7] показал, что аналитическое прогнозное исследование прагматических аспектов успешной деятельности, прагматических аспектов использования ИТ должно позволить решить комплекс актуальных задач исследования использования информационных технологий для функционировании систем разных видов на основе математических моделей, описывающих использование ИТ для функционирования систем. Предложена «деятельностная парадигма» исследования использования информационных технологий. Она должна позволить описать функционирование систем (деятельность в системах) и использование для такого функционирования ИТ, как возможные последовательности причинно-следственных связей между состояниями среды и системы, информационными действиями и результатами предметнопреобразующих действий. Было показано, что результат такого описания должен позволить строить математические модели разнообразных аспектов деятельности в системах разного вида, аналогично тому, как за счет дифференциального и интегрального исчислений описывают математические модели разнообразных аспектов природных явлений.

Использование теории потенциала систем для оценивания успешности использования ИТ. Для оценивания успешности использования ИТ при функционировании систем исследователь должен оценить все возможные последовательности возможных изменений среды и затем, зависящих от них изменений действий системы, как реакций на изменения среды. Для этого используются результаты моделирования в соответствии с предложенными нами концептуальными схемами использования ИТ при функционировании систем. Эти концептуальные схемы позволяют описать теоретико-графовые модели функционирования систем и использования ИТ при функционировании в виде деревьев последовательностей состояний и вложенных в такие

деревья действий разного вида при функционировании [8]. Такого рода модели получили название семейств альтернативных стохастических сетей операций. С помощью этих моделей задаются [8] характеристики последовательностей  $^{\mathbf{C}_{\mathbf{n}}}$  возможных изменений благодаря информационным действиям, выполняемым разными способами и связанными с ними причинноследственными отношениями действиями для получения материальных эффектов, выполняемые разными способами в зависимости от результатов информационных действий. Последовательности возможных изменений соответствуют комплексу: последовательностей изменений в среде, вызванных ими изменениями в результатах информационных действий и вызванных затем результатами информационных действий последующих изменений способов реализации действий, что и ведет к проявлению различных материальных эффектов и затем, к различным соответствиям эффектов изменяющимся требованиям. Такие последовательности возможных изменений описывают применение информации для деятельности в системах. Их получают на основе предложенных схем, характеристик способов действий, на основе документации на систему и сведений от экспертов, лицами, осуществляющими моделирование.

Для того, чтобы оценить каждую последовательность описанных возможных действий и состояний  $C_n(E,It,S)$  системы и ее среды предложена вероятностная мера  $\omega(C_n,E,It,S)$ , соответствующая последовательности изменяющихся условий E среды и реакций системы на изменяющиеся условия при используемых характеристиках ИТ It и характеристиках системы S. Например, каждая из таких последовательностей возможных действий и состояний системы и среды, в условиях среды E при использовании IT It и при характеристиках системы S может быть измерена мерой

$$\omega(C_1n, E, lt, S) = \langle P(C_1n, E, It, S), \mu(Y(C_1n), Y^{\dagger}\tau(C_1n), E, lt, S) \rangle$$
,  $n \in \mathbb{N}$ ,

где  $P(C_n, E, It, S)$  – вероятность актуализации последовательности  $C_n(E, It, S)$  из действий и состояний в условиях использования IT It и при характеристиках системы S;

 $\mu(Y(C_n), Y^T(C_n), E, It, S)$  — мера соответствия результатов реализации информационной и последующих за ней операций  $Y(C_n)$  в последовательности  $C_n$  требованиям  $Y^T(C_n)$  при характеристиках среды E. Она может быть определена, как вероятностная мера соответствия случайных величин возможных результатов требованиям (т. е. не больше требований, больше) при реализации действий для каждой из возможных последовательностей  $C_n$ :

$$\mu(Y(C_n), Y^{\mathsf{T}}(C_n), E, It, S) = P\left(Y(C_n) \leq \square /_{>Y^{\mathsf{T}}(C_n), E, It, S}\right)$$

Затем, для всех возможных была порождена многомерная мера  $\Omega(\mathbf{E},\mathbf{S},\mathbf{It})$ , в которой  $\mathbf{It}$  – информационная технология, используемая для реализации системой с характеристиками S возможных изменений в различных условиях.

Характеристики многомерной меры  $\Omega(\mathbf{E}, \mathbf{S}, \mathbf{It})$  (например, все распределение, поскольку оно дискретно и задано на множестве N) могут служить в качестве векторного показателя потенциала системы  $\Psi(\mathbf{S}, \mathbf{It})$  . В качестве скалярного  $\psi(\mathbf{S}, \mathbf{It})$  показателя возможно использовать квантили, моменты и другие характеристики многомерной случайной величины. Если в качестве характеристики случайной величины  $\Omega(\mathbf{E}, \mathbf{S}, \mathbf{It})$  использовать матожидание, то:

$$\psi(E, S, It) = \sum_{n=1}^{N} P(C_n, E, S, It) \cdot \mu(Y(C_n), Y^{T}(C_n), E, It, S)$$

Исследователь может использовать предложенные меры для оценивания показателей, характеризующих различные аспекты качества использования систем в условиях реагирования на изменения и использования соответствующих ИТ, поскольку предложенная многомерная мера зависит от характеристик используемых информационных действий, реализуемых по той или иной ИТ. Это, в частности, позволяет оценить показатели успешности использования ИТ для функционирования систем. Так, простейшим индикатором успешности использования ИТ может быть использована разность между значениями показателей потенциала системы при использовании новой (цифровой) ИТ и при использовании базовой ИТ. В общем случае использования в качестве показателя успешности ИТ разности значений случайной величины

многомерной меры  $\Omega(E, S, It)$  соответствия эффектов требованиям для разных ИТ такую разность следует вычислять с использованием функции свертки случайных величин — мер соответствия эффектов требованиям для разных используемых ИТ.

В простейшем случае возможно обойтись разностью значений скалярных показателей: математических ожиданий  $\psi_1$  или медиан  $\psi_2$ . Тогда, разность  $\Phi(\mathrm{It}_a,\mathrm{It}_0)$  скалярных значений показателей потенциала системы для новой ИТ  $\mathrm{It}_a$  и для базовой ИТ  $\mathrm{It}_0$  может служить в качестве показателя результативности новой ИТ (по отношению к старой):

$$\Phi_1(lt_a, lt_0) := \psi_1(lt_a) - \psi_1(lt_0)$$
, или  $\Phi_2(lt_a, lt_0) := \psi_2(lt_a) - \psi_2(lt_0)$ .

Заключение. Предложены элементы концепции использования информации для функционирования систем. Они позволяют формализовать использование информации для функционирования систем, что не было в полной мере реализовано ранее. Такая формализация основывается на математическом описании последовательностей действий разных видов для получения материальных эффектов, и возможных изменений таких последовательностей. Такие изменения реализуются за счет использования информационных технологий. Последовательности моделируются, как цепочки информационных действий (вызываемых возможными изменениями системы и среды) и связанных с ними причинно-следственными связями последующих действий по реализации материальных эффектов. Полученные результаты использованы для оценивания показателей потенциала систем с учетом использования информации для функционирования систем. С их помощью предложено оценивать показатели успешности использования информационных технологий.

Работа проводилась при поддержке бюджетной НИР FFZF-2022-0003

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Юсупов Р.М., Мусаев А.А.** Проблема оценивания эффективности информационных технологий. Материалы конференции *«Информационные технологии в управлении (ИТУ-2018)»*. Электроприбор. 2018.
- 2. **Юсупов Р.М., Мусаев А.А.** Особенности оценивания эффективности информационных систем и технологий. *Труды СПИИРАН.* 51 (2017), с. 5–34.
- 3. **Юсупов Р.М., Мусаев А.А.** К оцениванию эффективности информационных систем. Методологические аспекты. *Информационные технологии*. 2017. Том 23. №5. С. 323–332.
- 4. **M. Reichert, B. Weber.** Enabling Flexibility in Process-Aware Information Systems, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012. 511 p.
- 5. **Ашимов А.А., Гейда А.С., Лысенко И.В., & Юсупов Р.М.** Эффективность функционирования и другие операционные свойства систем: задачи и метод оценивания. *Труды СПИИРАН*, 5(60), 2018. с. 241–270.
- **6.** Гейда А.С., Гурьева Т.Н., Наумов В.Н. Концептуальные и математические модели, методы и технологии исследования цифровой трансформации экономических и социальных систем: обзор предметного поля (часть I). Управленческое консультирование. 2021. No 11. C. 95–108.
- 7. **Гейда А.С., Гурьева Т.Н., Наумов В.Н.** Концептуальные и математические модели, методы и технологии исследования цифровой трансформации экономических и социальных систем: обзор предметного поля (часть II). *Управленческое консультирование*. 2021. № 12. С. 111–125.
- 8. Гейда А.С. Основы теории потенциала сложных технических систем: монография. М.: РАН, 2021. 408 с.

M.B.Bakin, S.A.Derzhavin, A.S.Geyda, I.P.Kolesov (The North-West Institute of management – branch of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, St. Petersburg). Conceptual and methodological foundations for evaluating the success of information technology use

The urgency of the digitalization of the economy and society causes a significant number of problems to be solved by practitioners and theorists alike in the design and use of information technology. Many of these tasks require investigation of the results of information technologies on mathematical models. However, predictive mathematical models which links the indicators of success in using information technologies with the characteristics of these technologies and the characteristics of system functioning have not yet been sufficiently developed. The conceptual and methodological foundations of such modeling are insufficiently described. The material presented is intended to overcome this gap.

#### Д. П. ПЛАХОТНИКОВ

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург

### МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С КОНТРОЛЛЕРОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

На предприятиях топливно-энергетического комплекса применяются контроллеры управления технологическим оборудованием. При помощи их с различных датчиков собирается информация и хранится в формате текстовых отчетов.

Данные отчеты представляют собой пример больших данных и методами получения и обработки этих данных посвящен данный доклад. Методы обработки представлены с помощью системы класса Business Intelligence. Описаны особенности данных систем и различные задачи, решаемые с их помощью.

**Введение.** При работе предприятий топливно-энергетического комплекса образуется множество данных с контроллеров управления. Эти данные сложно использовать для решения каких-либо задач потому, что их объём достаточно большой, чтобы обработать с помощью человека. Для обработки таких больших данных служат системы Business Intelligence. Благодаря им можно с минимальными трудозатратами разработать систему для анализа больших данных с контроллеров. Так же они позволяют подключить к себе системы искусственного интеллекта для построения прогноза.

**Сеть предприятий топливно-энергетического комплекса.** В качестве предприятий топливно-энергетического комплекса используется сеть газозаправочных станций.

Контроллер создан на базе аппаратных компонентов, адаптированных к нагрузкам при работе на газозаправочной станции и оснащен операционной системой реального времени. Так же поддерживает всю бизнес-логику работы газозаправочной станции, транслируя всю доступную информацию в систему, находящуюся на станции. Датчики газозаправочной колонки представлены на рис. 1.

Станции между собой соединены через виртуальную частную сеть. Так же все они введены в службу каталогов.

Для того чтобы решить задачу определения расположения серверов на станции необходимо на удаленном рабочем месте выполнить команду, представленную на рис. 2.



Рис. 1. Датчики контроллера управления

```
Get-ADComputer -LDAPFilter '(Name=*STATION*)'
-Properties "DistinguishedName", "DNSHostName", "Enabled", "Name", "ObjectGUID", "SamAccountName"
Export-Csv -NoTypeInformation Station.csv -Encoding Unicode
```

Рис. 2. Команда для получения списка станций в локальной сети

Данная команда выводит в текстовый файл «Station.csv» список всех компьютеров в локальной сети с наименованием содержащее фразу «STATION» и его свойства — выделенное наименование, доменное имя сервера, статус, идентификатор объекта и наименование аккаунта. Полученная информация будет использована для загрузки информации с контроллеров управления для каждой станции.

Помимо этого, к выделенной виртуальной сети подключена база данных коммерческого учета. Она служит для фиксации проходящих продаж через газозаправочные станции.

Для изучения методов обработки данных в сети была развернута система класса Business Intelligence и подключено удаленное рабочее место. Схематически это представлено на рис. 3.



Рис. 3. Схема серверов для обработки данных

Системы класса Business Intellengence. Forrester Research, независимая исследовательская компания, определяет Business Intelligence как «набор методологий, процессов, архитектур и технологий для преобразования необработанных данных в значимую и полезную информацию, используемую для эффективного понимания бизнес-процессов и принятия обоснованных решений на стратегических, тактических и операционных уровни» [2].

Основные возможности систем бизнес-аналитики развиваются в областях: хранение данных, интеграция данных, анализ данных и представление данных. Хранение данных, используемых для бизнес-анализа, организовано в специальных хранилищах данных [3].

Внедрение системы класса Business Intelligence, по сравнению с использованием привычных аналитических инструментов, обеспечивает ряд преимуществ — большая наглядность, возможность использования нескольких аналитических решений, обеспечение масштабируемости, эффективности и производительности. Так же данные системы содержат встроенные инструменты для решения различных и разнообразных аналитических задач, как с точки зрения управления, так и с точки зрения информационных технологий.

Источники данных для систем класса Business Intelligence могут быть представлены плоскими текстовыми файлами (формат \*.xlsx, \*.csv, \*.txt, \*.bak), реляционными базами данных (Oracle SQL, MS SQL), репозиториями доменных служб (службы каталогов). Загрузка и предварительная обработка исходных данных происходит в выделенных скрипте загрузки данных с помощью специального внутреннего синтаксиса [4].

**Получение** данных со станций. После получения списка станций предстоит получить информацию с датчиков. Она хранится в архивах по определённому пути. Каждый архив содержит информацию за неопределённый период времени.

Для получения информации был написан скрипт сбора информации с параллельным подключением к станциям. В результате удалось получить текстовые файлы с контроллеров управления. Пример полученных исходных данных с контроллеров представлен на рис. 4.

Doms(22-07-19 10-19-15).bak — Блокнот						
Файл Правка Формат Вид Справка						
19.07.2022 09:52:31:403 DEBUG:	Processing transaction on FP 7					
19.07.2022 09:52:31:403 DEBUG:	Transaction data FP 7: Volume:2.462000 Amount:492.110000 SeqNo:					
19.07.2022 09:52:31:434 DEBUG:	ReadPumpCounters Pump 7 Pistol 1 Grade 1 Counter=11434.154000					
19.07.2022 09:52:31:434 DEBUG:	Locking transaction on FP 7					
19.07.2022 09:52:31:544 DEBUG:	FuellingPointStatusChanged Id=33 State=9 Substate=0xD7 Lock=16					
19.07.2022 09:52:31:544 DEBUG:	Pump 2 State received. MainState=9(FPMS_FUELLING) SubState=0xD7					
19.07.2022 09:52:31:544 DEBUG:	Pump 2 Grade 1 Pistol 1					

Рис. 4. Исходные данные с контроллера управления

В ходе изучения исходных данных для обработки были выделены события «Read Pump Counters» — события получения состояния счётчика колонки. Были посчитаны результаты отпуска по каждой смене на каждой станции.

Далее была получена информация по базе коммерческого учета об учтенном отпуске за смену и выполнена сверка показателей между контроллером управления и базой данных коммерческого учета. Полученные данные представлены на рис. 5.

	По счётчику	По базе	Разница
210	522,25	536,55	-14,30
211	268,15	268,12	0,03
212	894,33	993,2	-98,87
213	323,23	115,44	207,79
214	924,19	674,49	249,70

Рис. 5. Сверка показателей из разных систем

**Выявление ошибок в работе.** Иной метод обработки данных с контроллера управления является поиск ошибок работы оборудования. Для этого в текстовых файлах были найдены соответствующие записи об ошибках и написан скрипт для поиска необходимых записей, представленный на рис. 6.

```
FOR Each vFile in FileList('$(vPath)\*.bak')
Let vFileName=SubField(SubField('$(vFile)','\'
                                                       ,'-1'),'.bak','1');
Let vFileModify=Timestamp(FileTime('$(vFile)'));
if (vFileModify>Last_FileModify_max) then
Let _FileModify_max=Timestamp(RangeMax('$(_FileModify_max)','$(vFileModify)'));
     '$(vFileName)'&'_'&RecNo() as RecNo,
     '$(vStationId)' as StationId,
    Date#(SubField([@1],' ',1)) as Date,
    Time(Time#(Trim(SubField([@1],' ',2)), 'hh:mm:ss:fff')) as Time,
Timestamp(Date#(SubField([@1],' ',1))&' '&Time(Time#(Trim(SubField([@1],' ',2)), 'hh:mm:ss:fff'))) as LogTS,
    //Timestamp(Date#([@1])&' '&Time(Time#(Trim([@2]), 'hh:mm:ss:fff'), 'h:mm:ss.fff')) as LogTS,
TextBetween([@1], 'error:',' (') as ErrorText,
TextBetween([@1],'(',')') as ErrorNum
FROM [$(vFile)]
(txt, utf8, no labels, delimiter is \x0, no quotes)
Where SubStringCount([@1], 'error:');
[_Controls_Pump]:
     '$(vFileName)'&'_'&(RecNo()-1) as RecNo,
    num(TextBetween([@1],'Error ignored for pump ','')) as PumpNo
FROM [$(vFile)]
(txt, utf8, no labels, delimiter is \x0, no quotes)
Where Previous(SubStringCount([@1], 'error:'));
End If;
Next vFile;
```

Рис. 6. Фрагмент скрипта обработки данных об ошибках

Этот скрипт определяет точное время совершения ошибки, текст ошибки, номер ошибки, номер записи и станцию на которой это произошло. Благодаря определению метки времени можно определить и номер смены, в который произошла ошибка. По обработанной информации была построена таблица ошибок, представленная на рис. 7.

Смена Q	Метка времени события	LbK № ď	Ошибка	Текст ошибки
228	19.06.2022 0:02:43	1	Предустановленная ошибка переполнения	Preset Overrun Error
228	19.06.2022 0:02:45	1	Несоответствие суммарных показателей насосов	Pump Totals Mismatch
522	19.06.2022 0:04:03	2	Несоответствие суммарных показателей насосов	Pump Totals Mismatch
734	19.06.2022 0:04:16	4	Неуказанная ошибка ПО	Unspecified SW Error
734	19.06.2022 0:04:17	4	Неуказанная ошибка ПО	Unspecified SW Error
228	19.06.2022 0:04:28	3	Несоответствие суммарных показателей насосов	Pump Totals Mismatch
228	19.06.2022 0:04:40	2	Несоответствие суммарных показателей насосов	Pump Totals Mismatch
856	19.06.2022 0:05:41	-	Неуказанная ошибка ПО	Unspecified SW Error
427	19.06.2022 0:05:52	-	Ошибка управления выходом	Output Control Error

Рис. 7. Таблица данных об ошибках

**Заключение.** С помощью систем класса Business Intellengence можно получить и обработать данные с контроллеров управления предприятий, сопоставить данные из различных систем, выявить расхождения и ошибки в работе оборудования.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. PSS 5000. Technical Manual For systems with CPB50x [Электронный ресурс]. Интернет-сайт. URL: http://www.https://www.doms.com/sites/doms.com/files/assets/80304618.pdf (дата обращения: 16.08.2022).
- Business Intelligence (Forrester) [Электронный ресурс]. Интернет-сайт. URL https://www.forrester.com/Business-Intelligence (дата обращения: 16.08.2022).
- 3. **Плахотников Д.П.** Построение информационно-аналитических средств киберфизических систем. *Междуна-родная конференция «Проектирование и обеспечение качества информационных процессов и систем»* (IPSDQA'22) (Санкт-Петербург, 15 марта 17 марта 2022). С. 45-49.
- Plakhotnikov D.P. and Kotova E.E. "Comprehensive Analysis of Cyber-Physical Systems Data," 2021 XXIV International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), 2021, pp. 175-178, doi: 10.1109/SCM52931.2021.9507112.

D.P.Plakhotnikov (Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", Saint Petersburg). Methods for Processing Data from Management Controllers of Enterprises of the Fuel and Energy Complex

At the enterprises of the fuel and energy complex, controllers for controlling technological equipment are used. With the help of them, information is collected from various sensors and stored in the format of text reports.

These reports are an example of big data and this report is devoted to the methods of obtaining and processing this data. Processing methods are represented using the Business Intelligence class system. The features of these systems and various tasks solved with their help are described.

#### Секция 3

## ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ, ВІGDATA И НЕЙРОТЕХНОЛОГИИ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ

#### Д. А. МУРАШОВ

(Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург)

#### КООРДИНАЦИЯ ПРОЦЕССА БАЛАНСИРОВКИ НАГРУЗКИ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОДХОДА

В настоящее время существует значительное количество алгоритмов на основе мультиагентного подхода, позволяющих решать задачу балансировки нагрузки в вычислительных сетях. Однако большинство данных алгоритмов покрывает один или несколько аспектов балансировки и не позволяет выполнять координацию процесса балансировки извне.

В работе предлагается подход, позволяющий выполнять балансировку индифферентно к топологии вычислительной сети и осуществлять управление процессом балансировки, созданный на основе комбинации алгоритма балансировки нагрузки методом эстафеты и метода анализа иерархий. Приводятся результаты эксперимента, проведенного с использованием имитационной модели вычислительной сети, реализующей подход.

**Введение.** Алгоритмы балансировки нагрузки в вычислительных сетях на основе мультиагентного подхода часто позволяют решать задачу балансировки нагрузки более эффективно, чем модели, основанные на централизованном управлении [1]. «Ситуационная осведомленность» отдельных агентов позволяет в деталях учитывать состояние отдельных участков вычислительного кластера.

Тем не менее, значительная доля алгоритмов данного класса имеет общий недостаток. Мультиагентная архитектура подразумевает, что сущности-участники процесса являются автономными и действуют в ответ на изменение состояния внешней среды, образуемого, в том числе, действиями других агентов, исходя из опыта, накопленного в результате межагентных взаимодействий, или знаний, изначально заложенных в их модель принятия решений. Автономность сущностей затрудняет управление роем агентов; с другой стороны, наличие управления часто означает значительное ограничение свободы действий агента, за счет чего теряются достоинства, присущие мультиагентной архитектуре и моделям.

Существует потребность в подходах, которые позволяют сохранить преимущества мультиагентных моделей, такие как использование ситуационной осведомленности агентов при принятии решений, экономия ресурсов за счет распределения принятия решений и эмерджентное интеллектуальное поведение, но в то же время осуществлять контроль над процессом балансировки.

Предлагаемый доклад посвящен подходу, позволяющему решать данную задачу. В докладе приводится изложение разработанного алгоритма. Для апробации алгоритма была создана имитационная модель вычислительной сети, с помощью которой решалась проблема балансировки нагрузки. Был проведен вычислительный эксперимент с использованием данной модели. Приводятся результаты эксперимента.

**Полимодельный подход к решению задачи балансировки нагрузки.** Предлагаемый подход основан на комбинации двух моделей: алгоритма балансировки нагрузки на основе эстафеты и метода анализа иерархий.

Основополагающая идея разработанного подхода состоит в использовании особенностей структуры графа предпочтений, применяемого в методе анализа иерархий [2]. Данный граф разбивается на «уровни» (минимально возможное количество переходов по дугам дерева в пути

от корневой вершины к вершине, принадлежащей уровню). Это разделение позволяет произвести декомпозицию подцелей (аспектов) процесса балансировки нагрузки. Результат декомпозиции позволяет содержательно интерпретировать полученные цели как «высокоуровневые» и «низкоуровневые».

Листья графа соответствуют альтернативам — конечному множеству, среди которого осуществляется выбор. На выбор альтернативы влияют значения весов, присвоенных дугам, соединяющих корневую вершину, промежуточные вершины («подцели») и листья.

Влияние веса дуги пропорционально близости дуги к корневой вершине. Эта особенность делает возможным управлять процессом принятия решений на «верхнем» (стратегическом) уровне, изменяя веса дуг, соединяющих корневую вершину и вершины первого уровня. В работе предлагается архитектурный подход, использующий разделение агентов на 2 типа: координатор (управляющая сущность в единственном экземпляре) и исполнители (узлы сети, реализующие процесс принятия решений). Координатор осуществляет управление сетью, исходя из текущих стратегических задач, изменяя верхние уровни дерева предпочтений. Исполнители, имея возможность изменять нижние уровни, принимают решения.

Вторая основополагающая идея заимствована из подхода к балансировке нагрузки «методом эстафеты» [3]. Согласно данному подходу, агенты (узлы сети) передают входящие задачи наименее загруженному узлу среди соседей. Цепочка передач продолжается в течение ограниченного количества шагов. В результате, в сети обеспечивается равномерное распределение задач вне зависимости от топологии.

Обобщая — формируется следующая последовательность. Координатор изменяет верхние уровни графа. Исполнитель, наблюдая за непосредственным окружением в кластере, изменяет нижние уровни. В момент поступления задачи исполнителю последний до-формирует граф, добавляя в него листья (альтернативы), каждый из которых соответствует соседней вершине, кроме одного, который соответствует самому исполнителю, принимающему решение. Выполняется рекурсивная вычислительная процедура:

$$W_{(N)}^{(a,N-2)} = AHP\left(\left\{W_{(N)}^{(i,N-1)}\right\}_{i}, W_{(N-1)}^{(v,N-2)}\right),\tag{1}$$

где N — уровень, на котором расположены альтернативы (считая от корневой вершины, соответствующей уровню 0),  $W_H^{(a,G)}$  — вектор, содержащий оценки предпочтительности всех вершин уровня H в контексте вершины a, расположенной на уровне G, AHP(...) — стандартная вычислительная процедура получения оценок альтернатив, используемая в методу анализа иерархий [2]. Целью рекурсивной процедуры является формирование вектора  $W_{(N)}^{(0)}$ , т.е. оценки альтернатив в контексте корневой вершины (индекс вершины опущен, потому что существует только одна корневая вершина).

По своей сути, рекурсивная процедура представляет собой последовательное применение стереотипной вычислительной процедуры из метода анализа иерархий, описанной для трехуровневого графа предпочтений, но в случае графа с большим количеством уровней.

Интеграция вышеописанной интерпретации метода анализа иерархий с разделением графа предпочтений и метода эстафеты позволяет принимать решение более гибко: учитывать задачи, стоящие перед процессом балансировки нагрузки, в момент передачи поступающей задачи между соседними узлами сети. Разделение задач на стратегические и тактические позволяет также учитывать локальные состояния сети перед принятием решения. Достоинство метода анализа иерархий состоит в том, что он не накладывает ограничений на реализацию процесса принятия решений агентом.

**Вычислительный эксперимент.** Для проведения вычислительного эксперимента была создана модель гетерогенной вычислительной сети с изменяющейся топологией. Узлам сети и связям между ними назначались различные величины производительности и пропускной способности соответственно. Изменчивость топологии моделировалась случайным отключением и подключением узлов сети с различными интервалами.

В сети моделировалась передача вычислительной задачи между узлами сети с применением вышеописанного полимодельного подхода.

По мере работы имитационной модели осуществлялся сбор статистики, состоящей из усредненных технических показателей вычислительного кластера.

Было проведено несколько инстанций эксперимента. По результатам эксперимента были построены графики, демонстрирующие зависимости между установленными стратегическими целями процесса балансировки и техническим состоянием вычислительного кластера.

**Заключение.** Среди возможных способов дальнейшего развития подхода, предложенного в настоящем докладе, следует выделить поиск технических средств, позволяющих реализовать предложенный подход на практике.

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при частичной финансовой поддержке грантов  $P\Phi\Phi U$  (N2N20-08-01046), в рамках бюджетной темы FFZF-2022-0004.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Biswas T., Kuila P., Ray A.K.** A novel scheduling with multi-criteria for high-performance computing systems: an improved genetic algorithm-based approach. *Engineering with Computers*, 35(4), 2019. C. 1475–1490.
- Saaty Thomas L. "What is the analytic hierarchy process?" Mathematical models for decision support. Springer, Berlin, Heidelberg, 1988. 109–121.
- 3. **Gorodetskii V.** Self-organization and multiagent systems: I. models of multiagent self-organization. *Journal of Computer and Systems Sciences International* 51(2), 256–281 (2012).

D.A.Murashov (St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg). **Agent-based** coordination of load balancing processes

There exist a significant amount of agent-based algorithms capable of solving the problem of load balancing in computational networks. However, a significant part of them only covers one or few narrow aspects of the process, and do not provide facilities for controlling the process from outside. In this paper, an approach to load balancing based on combination of analytic hierarchy process with relay-race load balancing algorithm was proposed. It enables control over the process of load balancing, while being indifferent to the network's topology. The paper offers a description of the approach and experimental results acquired from a computational experiment using simulation of a heterogeneous network employing the algorithm.

## А. А. ГУСЕВ, А. В. ШЕВЧЕНКО, В. М. НИКИФОРОВ, М. Л. СИМАКОВ (АО «НПЦАП», Москва)

#### ВЫБОР И ОБУЧЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ МНОГОКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В настоящей статье рассматривается определение неисправностей выходных каналов многоканальной системы электропитания, исходя из временных последовательной напряжений и токов, используя различные способы классификации временных рядов. Рассмотрены классификаторы на основе нейронных сетей. Проведен сравнительный анализ полученных классификаторов на экспериментальных данных. Сформулированы рекомендации по применению классификаторов для предсказания возможных неисправностей системы.

**Введение.** К современным системам электропитания промышленных объектов повышенной опасности предъявляются высокие требования к надежности и безотказной работе. Своевременное диагностирование неисправностей и предсказание возникновения неисправностей являются актуальными задачами и позволяют принять меры по минимизации затрат на устранение последствий неисправностей.

Объектом исследования является многоканальная система электропитания постоянного тока с номинальным выходным напряжением 24 В на каждом независимом канале и суммарной мощностью до 1 кВт.

Целью данной работы является бинарный классификатор, позволяющий диагностировать наличие неисправности каналов электропитания по временным последовательностям напряжений и токов.

**Постановка задачи.** В общем виде задачу данной работы можно сформулировать следующим образом:

Для многоканальной системы электропитания постоянным током необходимо построить бинарный классификатор неисправности каналов, обеспечивающий определение состояния канала электропитания с вероятность более 90 %, основываясь на временных последовательностях токов и напряжений длительностью не более 30 с.

**Классификаторы неисправностей.** Для классификации временных рядов возможно использование как классических классификаторов (деревья решений, метод опорных векторов и т. д.), так и классификаторов на основе нейронных сетей (рекуррентные нейронные сети, сверточные нейронные сети и т. д.). Основным преимуществом классификаторов на основе нейронных сетей является то, что они не требуют информации о вероятностном распределении данных и не используют меры расстояний, то есть являются универсальными классификаторами. К тому же нейронные сети не чувствительны к шумам в данных.

Входом классификатора являются временные последовательности токов I и напряжений U по каждому из выходных каналов электропитания. Выходом классификатора является переменная, определяющая текущее состояние канала — исправное или неисправное. Примеры временных последовательностей напряжений исправного канала и неисправного канала представлены на рис. 1 и 2 соответственно.

В работе рассмотрены классификаторы на основе нейронных сетей [1]:

- рекуррентная нейронная сеть (SimpleRNN);
- управляемые рекуррентные блоки (GRU);
- долгая краткосрочная память (LSTM);
- глубокая нейронная сеть (DNN);
- сверточная нейронная сеть (CNN);
- комбинация сверточной нейронной сети и долгой краткосрочной памяти.

Каждая из нейронных сетей имеет входной слой, на который поступает временные последовательности, и выходной слой, определяющий состояние выходного канала системы электропитания, размерностью 2 с функцией активации «softmax».

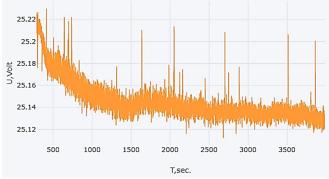


Рис. 1. Напряжение исправного канала

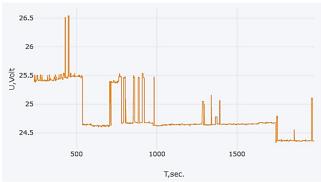


Рис. 2. Напряжение неисправного канала

Обучение классификаторов. Классификаторы, рассмотренные в данной статье, реализованы на языке программирования Python с использования библиотек машинного обучения. Обучение и валидация классификаторов проведены на экспериментальных данных, полученных с исправной и неисправной систем. При этом из общей выборки 33 % составляют данные для валидации, остальные являются данными для обучения классификаторов. Обучение классификаторов представляет собой итеративный процесс на основе алгоритма обратного распространения ошибки, свойственного обучению нейронных сетей.

Процесс обучения любого из классификаторов включает в себя:

- 1. Подготовку данных [2]:
- нормализация данных, заключающаяся в приведении значений в диапазон [0,1];
- разбиение данных на обучающую и выборку валидации.
- 2. Итеративный процесс обучения по эпохам [3]:
- полный прогон выборки на основе пакетного режима обучения (расчет ошибки обучения и коррекция весов нейронных сетей на небольшом фрагменте выборки);
- валидация классификатора на данных, не задействованных в обучении.

В качестве функции ошибки при обучении использована функция кросс-энтропии.

Для оценки качества классификаторов использованы следующие метрики:

1) достоверность (ассигасу) – отношение правильно классифицированных состояний к общему числу состояний, рассчитанное по формуле:

$$accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \tag{1}$$

где TP — истинно положительные результаты классификации; TN — истинно отрицательные результаты классификации; FP — ложноположительные результаты классификации; FN — ложноотрицательные результаты классификации.

2) точность (precision) – отношение действительно принадлежащих классу (исправные и неисправные) состояний, определенных классификатором, к общему числу состояний, отнесенных классификатором к этому классу. Результирующая точность классификатора рассчитывается как арифметическое среднее его точности по всем классам. В идеальном случае точность должна быть близка к 1.

$$precision = \frac{TP}{TP + FP}; (2)$$

3) полнота (recall) – отношение действительно принадлежащих классу (исправные и неисправные) состояний, определенных классификатором, к общему числу состояний этого класса содержащихся в выборке. Результирующая полнота классификатора рассчитывается как арифметическое среднее его полноты по всем классам. В идеальном случае полнота должна быть близка к 1.

$$recall = \frac{TP}{TP + FN} \tag{3}$$

4) F-мера (F1) – комплексная оценка качества классификатора, позволяющая одновременно учесть и точность, и полноту. В идеальном случае F-мера близка к 1.

$$F1 = 2 * \frac{precision*recall}{precision+recall}$$
 (4)

Использование такого количество метрик позволяет в полной мере оценить качество работы классификаторов и сделать правильные рекомендации по применению классификаторов.

На рис. 3 представлены графики изменения функции потерь и точности классификатора при обучении и валидации.

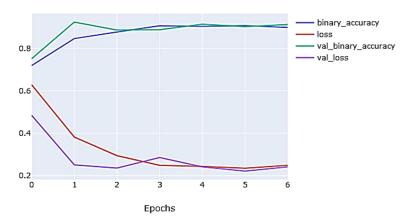


Рис. 3. Изменения функции потерь и точности классификатора при обучении и валидации

Результаты обучения классификаторов. Из-за стохастической природы обучения классификаторов на основе нейронных сетей проведено обучение каждого из классификаторов 10 раз. Классификаторы обучены на выборке, состоящей из 8000 последовательностей длительностью 11,7 сек. Валидация классификаторов проведена на выборке, состоящей из 4000 последовательностей длительностью 11,7 сек. Определены среднеарифметические значения метрик на данных валидации, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 Среднеарифметические значения метрик на данных валидации

Классификатор	Accuracy	Precision	Recall	F1 score
Рекуррентная нейронная сеть (SimpleRNN)	0,81	0,80	0,96	0,86
Управляемые рекуррентные блоки (GRU)	0,83	0,85	0,90	0,86
Долгая краткосрочная память (LSTM)	0,81	0,79	0.97	0,86
Глубокая нейронная сеть (DNN)	0,93	0,92	0,96	0,94
Сверточная нейронная сеть (CNN)	0,96	0,97	0,96	0,97
Комбинация сверточной нейронной сети и долгой краткосрочной памяти	0,93	0,93	0,96	0,94

Исходя из таблицы 1 можно сделать вывод о том, что 3 последних классификатора являются решением поставленной задачи. Наилучшее качество обеспечивает классификатор на основе сверточной нейронной сети.

#### Выводы.

- 1. Лучшее качество обеспечивает классификатор на основе сверточной нейронной сети.
- 2. Классификатор на основе сверточной нейронной сети может быть использован при выявлении неисправностей системы питания практически в режиме реального времени.
- 3. Классификаторы, рассмотренные в данной работе, могут быть использованы в системе предсказания неисправностей.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А.** Глубокое обучение / пер. с анг. А. А. Слинкина. 2-е изд., испр. М.: ДМК Пресс, 2018. 652 с.: цв. ил
- 2. **Плас Дж. Вандер** Python для сложных задач: наука о данных и машинное обучение. СПб.: Питер, 2018. 576 с.: ил.
- 3. Maxim Lapan Deep Reinforcement Learning Hands-On Second Edition. BIRMINGHAM MUMBAI, 2020. 827 c.
- 4. **Осовский С.** Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польского И.Д. Рудинского. М.: Финансы и статистика, 202. 344 с.: ил.

A.A.Gusev, A.V.Shevchenko, V.M. Nikiforov, M.L.Simakov (Academican N.A. Pilyugin Sientific-Production Center of Autimatics and Instrument Making, Moscow). Selection and training of a neural network for fault classification of a multichannel DC power supply system.

This article discusses the definition of faults in the output channels of a multi-channel power supply system based on temporary series voltages and currents, using various methods of time series classification. Considered classifiers based on neural networks. The comparative analysis of the received classifiers on experimental data is carried out. Recommendations on the use of classifiers to predict possible system failures are formulated.

Н. Л. ШАНАРОВА, М. М. ЛИПКОВИЧ, А. И. ВОЛОШИНА, А. А. АЛЕКСАНДРОВ, В. М. КНЯЗЕВА (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург)

#### КЛАССИФИКАЦИЯ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММ ЧЕЛОВЕКА НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАМЕРЕНИЯ СОВЕРШИТЬ ДВИЖЕНИЕ

В данной работе представлены результаты исследования по классификации сигналов электроэнцефалограмм человека на определение намерения совершить движение. Сигналы подвергались удалению артефактов и фильтрации, после чего из них извлекались биомаркеры, отвечающие за самоинициированные движения. Классификация сигналов осуществлялась методами машинного обучения. Было произведено сравнение качества различных моделей, наилучшее из которых продемонстрировал метод опорных векторов. Результаты классификации могут быть использованы для разработки алгоритмов управления на основе нейрообратной связи.

Введение. В настоящее время возрастает актуальность задачи изучения возможностей и повышения эффективности взаимодействия естественного и искусственного интеллекта. Первые шаги в этом направлении породили концепцию биологической обратной связи, которая основана на электроэнцефалографическом исследовании (ЭЭГ) [1]. В системах с биологической обратной связью в компьютер передаются сигналы, записанные с помощью неинвазивных средств, например, электроэнцефалограммы (ЭЭГ). Из этих сигналов через обработку и классификацию извлекается информация о состоянии организма (информация о состоянии нервной системы, в частности, коры головного мозга). Результат классификации поступает на вход регулятору. Многочисленные исследования доказали эффективность этого метода для изменения мощности различных частотных составляющих ЭЭГ [2].

Когнитивные вызванные потенциалы (ВП) являются одним из важнейших параметров, отражающих работу мозга. Они могут применяться для разработки нейроинтерфейсов и реализации парадигмы нейрообратной связи для обучения испытуемых регулированию ритмов головного мозга для решения различных задач управления, например, инвалидными колясками, мобильными робототехническими системами и т. п. Существуют перспективы развития области адаптивного управления и ее пересечения с областью машинного обучения [3]. Проводятся различные исследования по выделению биомаркеров, связанных с подготовкой и выполнением произвольных движений, направленных на разработку систем для преобразования намерения совершить движение в управляющие сигналы для внешних устройств. К примеру, распознавание нейрофизиологических сигналов человеческого мозга используются в таких системах, как «мозг-компьютер» [4, 5], в частности для помощи пациентам с двигательными нарушениями. Предлагаемый доклад посвящен применению методов машинного обучения для распознавания намерения совершить движение.

**Основная часть.** В ходе работ совместно с научной группой биологического факультета Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ) была поставлена задача классификации вызванных потенциалов при самоинициированном произвольном движении, а именно распознавание намерения выполнить движение.

Материал для исследования. Для решения поставленной задачи используется база данных, подготовленная биологическим факультетом СПбГУ. Она состоит из записей электроэнцефалограмм 21 человека, проходивших специальный тест, в котором испытуемые производили самопроизвольные нажатия на клавишу. Перед началом эксперимента каждому испытуемому давалась инструкция избегать ритмических движений, варьировать время между нажатиями, совершать нажатие достаточное количество раз для набора статистики без точного количества нажатия. Для каждого испытуемого было записано 9 каналов. В среднем было совершено 104 нажатия на клавиши на одного испытуемого. Обученная модель по отрезку сигнала ЭЭГ должна быть способна предсказывать совершение движения в момент времени, последующий за данным отрезком [6].

Удаление артефактов в сигнале ЭЭГ. Современная электроэнцефалографическая аппаратура регистрирует чрезвычайно малые величины изменений биоэлектрических потенциалов, в связи с чем истинная ЭЭГ запись может искажаться вследствие воздействия разнообразных физических (технических) и/или физиологических артефактов. Нередко это создает значительные трудности при ее расшифровке и интерпретации [7]. В связи с этим было необходимо произвести удаление таких дефектов записи. Для отслеживания артефактов, связанных с движением глаз, у испытуемых осуществлялась запись электроокулограммы (ЭОГ). Удаление этих артефактов было произведено средствами программы «WinEEG»<sup>1</sup>. Области с амплитудой любого из каналов более 100 мкВ были исключены из анализа. Кроме этого, все участки записи ЭЭГ, в которых наблюдались медленные волны в диапазоне от 0.16 до 1 Гц, с амплитудой более 50 мкВ и быстрые колебания сигнала в интервале частот от 20 до 35 Гц, с амплитудой более 50 мкВ, считались артефактными и не рассматривались в анализе.

**Фильтрация сигналов.** Цифровые фильтры играют важную роль в анализе ЭЭГ. Функция фильтров состоит в подавлении частотной компоненты в сигнале и пропускании первоначального сигнала за исключением подавленных компонент. Фильтрация позволяет убрать лишнюю информацию из анализа и выделить интересующие вызванные потенциалы в определенной полосе частот. Сигналы ЭЭГ подвергались полосовой фильтрации в диапазоне частот 0,3–3 Гц. С целью увеличения соотношения сигнал/шум был применен пространственный фильтр Лапласа [8].

**Разделение сигнала на эпохи.** Для каждого нажатия клавиши в качестве положительных примеров брались предшествующие 1500 мс, за исключением тех, которые содержали артефакты. Аналогичные окна такой же длины были извлечены из сигналов, в которых не было ни одного нажатия, в качестве отрицательных примеров. Такие временные интервалы записи ЭЭГ принято называть эпохами, а выше представленные примеры положительными и негативными эпохами соответственно. Модели машинного обучения получали на вход отрезок эпохи до момента нажатия. Они должны были предсказать, будет ли осуществлено движение сразу после этого отрезка, т.е. рассматривалась задача бинарной классификации.

Извлечение признаков. Выделение признаков является важным шагом в процессе классификации сигналов ЭЭГ. Извлеченные признаки предназначены для получения наиболее полезной информации, содержащейся в сигнале. Для соответствующих каналов были извлечены такие признаки, как максимальная амплитуда и площадь под кривой. Первая характеристика сигнала это максимальное и максимальное абсолютное значения сигналов (по 150 мс, предшествующим моменту нажатия). По умолчанию были взяты амплитуды по следующим каналам: «Сz», «С3-С2», «С3-С4», последние два из которых, были получены как разность значений каналов на интервале всей эпохи. Вторая характеристика сигнала, содержащая важную информацию, заключалась в получении значений площади под кривой на интервале по 1500 мс от значения, где было произведено нажатие. Отрезок был поделен на 3 интервала длиной 500 мс, на каждом из которых было получено значение полученного признака.

Применение моделей машинного обучения. Модель случайного леса (англ. Random Forest, RF), метода опорных векторов (англ. Support Vector Machine, SVM) и логистическая регрессия были обучены на извлеченных признаках для каждого испытуемого. Модель на каждого испытуемого была своя. Система выполняла 5-кратную перекрестную проверку, с помощью которой были определены лучшие параметры. Точность, специфичность и полнота/чувствительность были основными метриками для оценки эффективности. Точность показывает долю эпох, которые были правильно классифицированы относительно всех эпох. Нужно отметить, что для получения достоверного значения сбалансированной точности, пропорции классов были взвешены. Чувствительность же показывает долю правильно распознанных позитивных эпох относительно всех позитивных эпох, а специфичность – долю правильно распознанных негативных эпох относительно всех негативных эпох. Метод опорных векторов показал наиболее высокие значения интересующих метрик. По всем испытуемым были получены усредненные значения оценок: точность, чувствительность и специфичность составили по 71 % каждая. Подавляющее большинство представленных моделей продемонстрировали многообещающие значения полноты, превышающие случайное гадание, причем почти половина превысила 80 %. Качество

WinEEG v. 2.4, B. A. Пономарев, Институт мозга, РАН. Официальный сайт: https://mitsar-eeg.ru

зависит от каждого отдельного испытуемого. Точность колеблется от 60 % до 85 %, чувствительность от 57 % до 86 %, а специфичность от 53 % до 91 %. По тем сигналам, где количество эпох небольшое (в пределах от 10 до 20), судить о качестве проблематично, поскольку встает вопрос, на какой части данных происходит обучение, а какая часть используется для проверки, так как при разных разбиениях можно получать разные оценки. Разброс значений метрик немалый, ввиду того, что модель на каждого испытуемого была своя, т. е. у разных испытуемых в разной степени проявлялись рассматриваемые биомаркеры. Нужно отметить, что биомаркеры совершения движения очень чувствительны к параметрам движения, а их характеристики зависят от многих факторов, таких как уровень мотивации, готовность к выполнению заданного движения [9].

Заключение. В рамках данного исследования была предоставлена база данных записей ЭЭГ и поставлена задача классификации вызванных потенциалов при самоинициированных нажатиях испытуемых. Была проведена предварительная обработка данных, в которую входили удаление артефактов и фильтрация сигналов. Записи ЭЭГ были разделены на эпохи, по которым было проведено извлечение признаков. Кроме этого был рассмотрен набор классификаторов на основе обучения с учителем. В данной работе следовало классифицировать сигналы ЭЭГ для определения совершения нажатия в рассматриваемой эпохе. Точность, чувствительность и специфичность в среднем составили 71 %. Результат классификации может подаваться на вход регулятору, который будет вырабатывать управление. Например, управление роботизированного инвалидного кресла.

Работа проводилась при поддержке гранта СПбГУ ID 84912397.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Kropotov Yu.D. (2008). Quantitative EEG, EventRelated Potentials and Neurotherapy. Elsevier, Berlin.
- 2. **Пронина М.В., Кропотов Ю.Д., Мурашов П.В.** Возможность тренировки амплитуды независимых компонент вызванных потенциалов методом биообратной связи. *Физиология человека*, 2011, том 37, № 3, с. 13–18.
- 3. **Plotnikov S.A., Lipkovich M., Semenov D.M., Fradkov A.L.** Artificial intelligence based neurofeedback. *Cybernetics and Physics* 8 (4), 287–291.
- 4. **Кирой В.Н., Владимирский Б.М., Асланян Е.В., Бахтин О.М., Миняева Н.Р.** Электрографические корреляты реальных и мысленных движений: спектральный анализ. *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова.* 2010. Т. 60, No 5. C. 517–525.
- 5. **Мокиенко О.А., Бобров П.Д., Черникова Л.А., Фролов А.А.** (2013). Основанный на воображении движения интерфейс мозг–компьютер в реабилитации пациентов с гемипарезом. *Бюллетень сибирской медицины*, 12(2).
- 6. Aliakbaryhosseinabadi S., Jiang N., Vuckovic A., Dremstrup K., Farina D., Mrachacz-Kersting N. Detection of movement intention from single-trial movement related cortical potentials using random and nonrandom paradigms. *Brain-Computer Interfaces*, vol. 2, no. 1, pages 29–39, 1992.
- 7. **Гуляев С.А., Архипенко И.В**. Артефакты при электроэнцефалографическом исследовании: выявление и дифференциальный диагноз. 2012, с. 3–16.
- 8. **Blankertz Benjamin** et al. The BCI Competition 2003: progress and perspectives in detection and discrimination of EEG single trials. *IEEE transactions on bio-medical engineering*, vol. 51,6 (2004): 1044–51. doi:10.1109/TBME.2004.826692
- 9. **McFarland D., McCane L., David S., Wolpaw J.** Spatial filter selection for EEG-based communication. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, vol.103, no. 3, pages 386–394, 1997.
- 10. **Lang W.** (2003). Surface recordings of the Bereitschaftspotential in normals. In The Bereitschaftspotential (pp. 19–34). Springer, Boston, MA.

N.L.Shanarova, M.M.Lipkovich, A.I.Voloshina, A.A.Aleksandrov, V.M.Knyazeva (Saint Petersburg State University, St. Petersburg). Classification of human electroencephalogram signals to determine the intention to move

This paper is devoted to the results of a study on the classification of human electroencephalogram signals to determine the intention to make a movement. Signals were subjected to artifact removal and filtering, and then biomarkers responsible for self-initiated movements were extracted from them. Signal classification was performed using machine learning methods. The quality of the different models was compared, the best of which was demonstrated by a support vector machine. The classification results can be used to develop control algorithms based on neurofeedback.

В. А. ГАЛКИН, А. В. МАКАРЕНКО (Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)

#### РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЦЕНИВАНИЯ МАССЫ НАБЛЮДАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ИХ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯМ (НА ПРИМЕРЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ)

Представленная работа направлена на разработку подхода и алгоритма оценивания массы наблюдаемого объекта по его видеоизображению в видимом диапазоне длин волн. Алгоритм демонстрируется и анализируется на примере «взвешивания» сельскохозяйственных животных, располагающихся в производственном станке в условиях промышленной фермы. Подход основывается на комбинации методов сегментации экземпляров объектов и регрессионной модели зависимости между площадью сегментирующих масок и весом. Результирующая ошибка наилучшей модели составила 12 % на исходных данных и 4 % после гомогенизации данных.

**Введение.** Современное развитие науки и техники привело к развитию систем машинного зрения, основным алгоритмическим ядром которых стали глубокие искусственные нейронные сети. Становление нейронных сетей происходило поэтапно, от решения задачи классификации до решения задач локализации и сегментации экземпляров. Во множестве практических приложений желаемой целью является не чистый выход сети, а формируемые из него те или иные оценки, в частности метрические характеристики объектов, такие как: линейные размеры, объем, масса и т.п.

Классический «прямой» подход к оцениванию массы объекта состоит в использовании весов, который является наиболее точным. На практике, использование весов не всегда возможно, по причинам большой трудоемкости или невозможности проведения непосредственного взвешивания. По этим причинам возникает и актуализируется задача автоматического дистанционного «неконтактного» взвешивания объектов по их визуальным признакам. Одним из востребованных примеров прикладного применения подобных подходов является сельское хозяйство, где зачастую необходима оперативная оценка массы животных. Вес животного и его динамика в течение времени является не только фактором оптимизации в мясной промышленности, но и напрямую связана со здоровьем животного.

Целью данной работы является разработка алгоритма оценивания массы наблюдаемых объектов по их видеоизображениям, а демонстрация и анализ разработанного алгоритма проводятся на примере сельскохозяйственных животных, располагающихся в производственном станке в условиях промышленной фермы.

**Обзор методов.** Визуальная оценка веса животных стала направлением для множества научных работ. Превалирующая часть работ основана на эмпирических соотношениях между морфологией объекта и весом. Одним из методов получения морфологии объекта только по визуальным данным является фотограмметрия [1, 2], результатом которой является 3-D модель объекта с привязкой его размеров к абсолютной шкале. Составление модели с помощью фотограмметрии имеет множество ограничений на методики получения данных, например неподвижность объекта во время съемки с различных ракурсов, поэтому данный метод не применим к перемещающимся объектам и/или объектам меняющим форму.

В обзорной работе [3] было выделено 7 ключевых визуальных признаков, которые используют для оценки веса объектов, а именно: площадь тела (вид сверху), высота в холке, высота бедер, длина тела, ширина бедер, объем тела и обхват груди. Оценка некоторых из них является весьма трудоемкой, требующей составления сложной скелетной модели [4], поэтому в первом приближении можно ограничиться только площадью тела.

Базовый подход к решению задачи заключается в двух этапах: автоматическая оценка морфологических признаков, и далее аппроксимация регрессионными моделями эмпирической зависимости между массой и морфологией. Одним из примеров такого подхода является решение задачи сегментации поверхности объекта, с последующей оценкой зависимости площади и веса. Зачастую, для формирования морфологических оценок из «сырых» данных используют

глубокие нейронные сети. Алгоритмы глубокого обучения выделяются способностью автоматически выявлять наиболее релевантные признаки из данных. По этим причинам возможно решать сквозную задачу оценки веса, в котором входом алгоритма являются «сырые», необработанные изображения, а выходом — оценка веса. В контексте оценивания веса были предприняты попытки использовать глубокие сети [5, 6], однако они все ещё имеют ограничения, основным из которых является объём аннотированных данных.

#### Методология и эксперимент.

Набор данных. Исходными данными для решения поставленной задачи являются видеоролики производственного станка. Съемка производилась с верхнего ракурса двумя широкоугольными камерами с перекрывающимися полями зрения, изображения с которых впоследствии сшивались в единую картину. Следует отметить, что в ходе экспериментов использовалось несколько станков, разрешающая способность сшитых кадров между которыми может варьироваться в силу различия параметров сшивки.

Для получения аннотированного набора данных применялась оригинальная методика. Из производственного станка в порядке очереди по одному выводились животные с интервалом [0.5, 4] минуты, которые направлялись на весы для измерения массы. После того как станок оставался пустым, животные проходили через него по одному, задерживаясь в нем на [0.5, 2] мин. Общая длительность аннотированных данных более 12-ти часов записей. Максимальное число животных в производственном станке равно 44. Значение веса животных варьируется от 20 до 115 кг. Полученный набор обладает большой вариативностью и включает в себя данные как для оценки веса станка в целом, с различным количеством животных, так и для получения оценки веса отдельных особей на различной стадии развития.

Таким образом, размеченный набор данных представляет собой видеопоследовательности  $\{x_{i,j}\}_{i=1}^N$  различной длины (j- счетчик по длине временного ряда) и соответствующие значения суммарного веса всех наблюдаемых животных в станке  $\{y_i\}_{i=1}^N$ , где количество роликов N=349.

Метод оценивания веса. Для оценивания веса животных в производственном станке использовался подход на основе поиска зависимости между суммарной площадью масок, сегментирующих животных в кадре и суммарным весом станка. Сегментирующие маски получены путем решения задачи сегментации экземпляров. Используемый подход не зависит от метода решения задачи сегментации, поэтому, не теряя общности, оставим конкретизацию подхода к сегментации за рамками данной работы.

Результирующими данными задачи сегментации являются временные ряды, каждый из которых содержит суммарную площадь масок наблюдаемых объектов на каждом кадре. Наблюдаемая сцена является динамической, поэтому возможны вариации площади масок от кадра к кадру, при неизменном суммарном весе объектов. Нормированная на вес медианная дисперсия площади в данных равна  $\sigma=8.02$ , причем наблюдается высокий уровень дисперсии при малом количестве наблюдаемых объектов. Причина этого заключается в использовании статистической модели для получения сегментирующих масок. Статистическим моделям присущи ошибки, которые при немногочисленном числе объектов вносят в суммарную площадь ошибочный вклад одного порядка с корректными предсказаниями.

Агрегируем временной ряд в медианное значение площади. В таком случае, набор данных представляет собой пару векторов  $X = \{median \ x_i\}_{i=1}^N$  и  $Y = \{y_i\}_{i=1}^N$ .

Для аппроксимации неизвестной функциональной зависимости между медианной площадью и суммарной массой используем три модели: RANSAC [7] и полиномиальную регрессию 2-го и 3-го порядков. Использование простых регрессионных моделей обуславливается высокой степенью коррелированности медианы площади и веса, коэффициент корреляции равен 0.98.

Для оценки качества обученных моделей были использованы следующие классические оценки качества регрессии: средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE), медианная абсолютная процентная ошибка (median APE) и коэффициент детерминации  $(R^2)$ . Обучение и тестирование моделей производилось на полной выборке данных, то есть без разбиения на обучающую и тестовую части. В силу простоты данных и моделей, а так же небольшого количества обучаемых параметров, в сравнении с размером выборки, полученные оценки будут

объективными. С целью повышения устойчивости полученных результатов на каждую модель производится 500 повторных запусков, из которых будет выбрана одна, наиболее точная (топ-1) по медианной абсолютной процентной ошибке модель.

Референсное решение. Как было сказано выше, в качестве моделей для решения задачи выступают: линейная регрессия RANSAC и полиномиальная регрессия 2-го и 3-го порядков. Точность референсных моделей на выборке данных приведена в табл. 1.

Точность референсных моделей на выборке данных

Таблица 1

	MAPE	median APE	$R^2$
RANSAC	0.216	0.188	0.918
Полин. регрессия (2 порядок)	0.139	0.118	0.976
Полин. регрессия (3 порядок)	0.591	0.128	0.976

Из полученных результатов можно заметить, что полиномиальная регрессия 2-го порядка имеет наилучшую точность. Полученная результирующая точность — достаточно низкая. Причина этого заключается в использовании нескольких производственных станков, с различными параметрами сшивки и как следствие разрешением сшитых кадров, а также наблюдение объектов разных размеров и массы. Перечисленные причины, в свою очередь, приводят к неоднородности совмещенной выборки. Таким образом, встает вопрос о поиске преобразования выборок в однородные, с учетом возможности использования преобразования на новых данных. Одним из возможных вариантов построения такого преобразования является операция нормализации, откалиброванная посредством эталонных макетов животных.

Модифицированное решение. Как было показано в предыдущем подразделе, для повышения точности методов оценивания веса с использованием площади объектов требуется поиск преобразования, устраняющего неоднородность в данных. По причине отсутствия данных, достаточных для формирования такого преобразования, найдем его эмпирически, для демонстрации потенциально возможной точности предложенного подхода. Результирующая точность моделей после преобразования данных приведена в табл. 2. Полученная ошибка по метрике median APE – не более 4 % веса от реально измеренного.

MAPE

0.243

0.061

0.892

RANSAC

Полин. регрессия (2 порядок)

Полин. регрессия (3 порядок)

Точность модифицированных моделей на выборке данных

median APE

0.091

0.042

0.132

Ta	бли	ица	2

 $R^2$ 

0.991

0.991

Заключение. В представленной работе предложен алгоритм оценивания массы наблюдае-
мого объекта по его видеоизображению в видимом диапазоне длин волн. Демонстрация алго-
ритма проведена на примере «взвешивания» сельскохозяйственных животных, располагаю-
щихся в производственном станке в условиях промышленной фермы. Применяемый подход
основывается на поиске зависимости между медианной площадью масок наблюдаемых объек-
тов за некоторый промежуток времени и суммарной массой объектов. В качестве модели для
получения из видеоданных площади масок наблюдаемых объектов выступала глубокая свер-
точная нейронная сеть. Для оценки веса было рассмотрено 3 модели, а именно линейная ре-
грессия RANSAC и полиномиальные регрессии 2-го и 3-го порядков. Было сформировано
референсное и модифицированное решение, в котором показана эффективно достижимая точ-
ность. Наиболее точной моделью оказалась полиномиальная регрессия 2-го порядка, ошибка
которой по метрике median APE равна 0.118 и 0.042 для референсного и модифицированного
решения соответственно. Для анализа моделей были построены зависимости ошибки оценки
веса от различных характеристик данных. Наблюдаемые зависимости продемонстрировали
стабилизацию ошибки моделей при наблюдении не менее 3-х объектов единовременно.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Jeremy A Bot и др. Using 3D photogrammetry to create open-access models of live animals: 2D and 3D software solutions. в: Grayburn et al., eds. D 3 (2019), c. 54–72.
- 2. Sakir Tasdemir i Ilker Ali Ozkan. «ANN approach for estimation of cow weight depending on photogrammetric body dimensions». *International Journal of Engineering and Geosciences* 4.1 (2019), c. 36–44.
- 3. Roel Dohmen, Cagatay Catal и Qingzhi Liu. «Computer vision-based weight estimation of livestock: a systematic literature review». New Zealand Journal of Agricultural Research 65.2-3 (2022), с. 227–247.
- 4. Steven Yik и др. «DIAT (Depth-Infrared Image Annotation Transfer) for Training a Depth-Based Pig-Pose Detector». 2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE. 2020, с. 2459–2466.
- Dan B Jensen, Katarina N Dominiak u Lene J Pedersen. «Automatic estimation of slaughter pig live weight using convolutional neural networks». II International Conference on Agro BigData and Decision Support Systems in Agriculture 2018
- 6. Roel Dohmen, Cagatay Catal и Qingzhi Liu. «Image-based body mass prediction of heifers using deep neural networks». *Biosystems Engineering* 204 (2021), c. 283–293.
- 7. Martin A Fischler u Robert C Bolles. «Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography». *Communications of the ACM* 24.6 (1981), c. 381–395.

V.A.Galkin, A.V.Makarenko, (Institute of Control Sciences RAS, Moscow). Algorithm development for the estimation of the weight of observed objects by their video images (by example on the animal husbandry)

The presented paper is aimed at developing an approach and an algorithm for estimating the weight of an observed object from its video images in the visible wavelength range. The algorithm is demonstrated and analyzed on the example of "weighing" livestock placed on industrial farm. The approach is based on a combination of methods for instances segmenting object and a regression model of the relationship between the area of segmenting masks and weight. The resulting error of the best model was 12 % on the source data and 4 % on the data after applying homogenization.

#### А. Н. КОКОУЛИН, А. И. ТУР

(Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ПНИПУ), Пермь)

#### СИСТЕМА ОПТИЧЕСКОЙ СОРТИРОВКИ МУСОРА С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Для сортировки мусора могут быть использованы специальные устройства распознавания материал объекта. Мы разрабатываем проект, основанный на распознавании объектов нейронными сетями по изображению. Задачами является формулировка основных проблем реализации подобных систем и предложение решений для их преодоления. В статье рассмотрены метод оптимизации работы нейронной сети, метод создания взаимосвязанных нейронных сетей и способ предварительного анализа изображения.

Введение. Разделение мусора – практика сбора и сортировки мусора с учётом его происхождения и пригодности к переработке или вторичному использованию. Для выполнения этого могут быть использованы специальные устройства. Они распознают материал объекта и с помощью устройств сортировки разделяют мусор на отдельные фракции. И если системы сортировки уже имеют оптимальные решения, то вот системы распознавания материала всё ещё имеют достаточно большое количество вариантов. [1] Мы разрабатываем проект, основанный на распознавании объектов нейронными сетями по изображению. Этот метод требует больших усилий в реализации, но позволяет значительно сэкономить на стоимости готового изделия. Он основан на использовании области интереса (англ. Region of Interest, ROI). [2, 3]

Главным преимуществом такого варианта является малая ресурсозатратность вычислительной платформы и относительно высокая скорость обработки. Это достигается за счёт предварительной подготовки изображения. Однако данный метод всё ещё будет страдать от случаев, когда признаки классов будут совпадать. Для распознавания сложных образцов (примеры, находящие на границе классов – Adversarial training (рис. 1)) мы предлагаем и группы нейронных сетей управляемых мажоритарным способом. Параллельное использование нескольких нейронных сетей позволяет снизить влияние этого фактора на конечный результат, но при этом значительно повышает ресурсозатратность. [4]





Рис. 1. Ошибочно распознанные деформированные объекты, принадлежащие разным классам

Задача работы сводится к формированию и тестированию алгоритма взаимодействия комплекса нейронных сетей для совместной работы. Для тестов используются фотографии реальных объектов из функционирующего автомата. Объекты преимущественно представлены повреждёнными контейнерами трёх классов — бутылки из полиэтилентерефталата (далее класс 1), бутылки из полиэтилена низкого давления (далее класс 2), алюминиевые банки (далее класс 3).

**Основная часть.** Суть алгоритма заключается в реализации согласованной работы некоторого количества нейронных сетей. Принципы и методы обучения при постановке этого эксперимента не имеют значение, так как не будут оказывать прямого влияния на предлагаемый метод. Для оценки возможностей сетей необходимо провести серию тестовых распознаваний идентичных объектов для получения начальной статистики их эффективности.

Допустим, что в нашем распоряжении имеется три варианта обученной нейронной сети (табл. 1, 2 и 3):

Таблица 1 Результаты тестов нейронной сети, обученной на первом наборе изображений

Класс	Ошибки (все)	Точность	Ошибки (1 класс)	Ошибки (2 класс)	Ошибки (3 класс)
1	144	53%	-	92	52
2	36	87%	35	X	1
2	11	95%	8	3	X
Итого	191	78%	43	95	53

Таблица 2 Результаты тестов нейронной сети, обученной на втором наборе изображений

Класс	Ошибки (все)	Точность	Ошибки (1 класс)	Ошибки (2 класс)	Ошибки (3 класс)
1	84	72%	X	72	12
2	153	48%	149	X	4
2	6	96%	5	1	X
Итого	243	73%	154	73	16

Таблица 3 Результаты тестов нейронной сети, обученной на третьем наборе изображений

Класс	Ошибки (все)	Точность	Ошибки (1 класс)	Ошибки (2 класс)	Ошибки (3 класс)
1	76	75%	X	61	15
2	50	84%	34	X	16
2	35	87%	25	10	X
Итого	161	82%	59	71	31

Общая точность распознавания выше у третьего варианта (82 %), однако она чаще ошибается в определении классов HDPE и AL по сравнению со вторым вариантом. Эти данные получены при анализе тестовой выборки, состоящей из 900 изображений (300 уникальных изображений каждого из классов). Анализ проводился для каждого из трёх вариантов нейронных сетей. Результаты проанализированы как по общим параметрам, так и по каждому классу в отдельности.

Как видно из результатов, ни одна обученная нейронная сеть не может показать достаточно качественного распознавания объекта и часто путает классы. Это происходит, прежде всего, из-за того, что тестовая выборка содержит фотографии реальных объектов, которые деформируются пользователями перед сдачей в автомат, а так же объектов изначально достаточно похожих друг на друга (рис. 2). Добиться идеального распознавания в подобных случаях сложно, так как часть признаков классов имеют много общего и могут быть не восприняты даже человеком.

Для правильной совместной работы нейронных сетей определяются веса, контролирующие степень доверия результатам распознавания. Они могут быть выбраны равновесно (в зависимости от количества нейронных сетей) или асимметрично (в зависимости от точности распознавания каждой конкретной сети). В табл. 4 приведён пример асимметричных весов для рассмотренных выше нейронных сетей, рассчитанный исходя из их точности определения каждого из классов (1):

$$f_{i,j} = \frac{N_i - R_{i,j}}{\sum_{j=1}^3 N_i - R_{i,j}} \tag{1}$$

где i — номер класса, j — номер нейронной сети, N — количество изображений класса в тестовой выборке, R — количество ошибок при распознавании класса нейронной сетью. Таким образом, в случае, если первая и третья нейронные сети (с большим суммарным ассиметричным весом) сообщат, что объект принадлежит классу PET, а вторая (с меньшим ассиметричным весом) — HDPE, то окончательное решение будет — PET. Подобное решение значительно уменьшает чувствительность системы в целом к пересекающимся классам и позволяет обучать нейронные сети лишь с упором на один конкретный класс.

Таблица 4 Результаты расчёта ассиметричных весов для системы распознавания

Класс	Вес первого набора изображений		
1	0,26	0,36	0,38
2	0,40	0,22	0,38
3	0,34	0,35	0,31

Результаты итоговых тестов представлены в табл. 5 и на рис. 2.

Таблица 5 Результаты тестов мажоритарной системы нейронных сетей с ассиметричными весами

Класс	Ошибки (все)	Точность	Ошибки (1 класс)	Ошибки (2 класс)	Ошибки (3 класс)
1	82	71%	X	60	12
2	45	84%	30	X	15
3	10	98%	5	5	X
Итого	137	85%	35	65	27

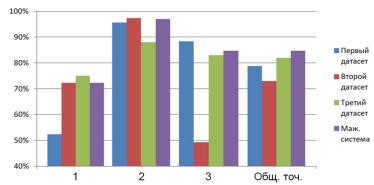


Рис. 2. Сопоставление результатов распознавания классов отдельными нейронными сетями и мажоритарной системой

Заключение. В данном частном случае наблюдается компенсация в «провалах» эффективности распознавания каждой отдельной сети за счёт подключения сетей более правильно распознающих конкретный класс. В соответствии с этим, общая эффективность распознавания тоже увеличивается.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Younes H., Ibrahim A., Rizk M., Valle M.** A Shallow Neural Network for Real-Time Embedded Machine Learning for Tensorial Tactile Data Processing IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers IEEE Trans. Circuits Syst. I Circuits and Systems I: Regular Papers, IEEE Transactions on. Pp(99):1-13.
- 2. **Tur A.I., Kokoulin A.N., Yuzhakov A.A., Polygalov S.V., Troegubov A.S. Korotaev V.N.** Beverage Container Collecting Machine Project. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 317. Art. 012006. 9 p.
- 3. **Kokoulin A.N., Kiryanov D.A.** The Optical Subsystem for the Empty Containers Recognition and Sorting in a Reverse VendingMachine. *2019 4th International Conference on Smart and Sustainable Technologies*, SpliTech 2019.
- 4. **Tur A.I., Kokoulin A.N., Yuzhakov A.A., Knyazev A.I.** Hierarchical Convolutional Neural Network Architecture in Distributed Facial Recognition System. *Proceedings of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering* (EIConRus). P. 1-5.

A.N.Kokoulin, A.I.Tur (Perm National Research Polytechnic University, Perm). **Optical waste sorting system – interconnected neural networks** 

Special devices can be used to sort waste. They recognize the material of the object and using sorting devices divide the waste into separate fractions. Sorting systems already have optimal solutions. Material recognition systems still have a fairly large number of options. We are developing a project based on the recognition of objects by neural networks from the image. The objectives of this article are the formulation of the main problems of implementing such systems and the proposal of solutions to overcome them. The article considers the method of optimizing the operation of the neural network, the method of creating interconnected neural networks and the method of preliminary image analysis.

О. Л. СУРНИН, П. В. СИТНИКОВ, А. В. ИВАЩЕНКО, О. К. ГОЛОВНИН, И. Н. ДУБИНИНА, Е. А. ДОДОНОВА (ООО «Открытый код», Самара)

#### ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ИНТЕГРАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА КАК СРЕДСТВА БИЗНЕС-АНАЛИТИКИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА

В процессе своей деятельности органы государственного управления сталкиваются с оценкой целесообразности и эффективности поступающих данных. Для обеспечения удобства работы с ними необходимо использовать информационную систему, которая сможет собирать в себя информацию, поступающую из разных источников, анализировать ее, формируя целевые показатели, и представлять пользователю с возможностью экспорта данных во внешние системы и хранилища данных. Это позволит минимизировать временные ресурсы и затраты на выявления проблемных ситуаций и выбора принятия мер для их решения.

**Введение.** Обеспечение устойчивого развития региона всегда было одной из задач органов государственного управления [1, 2]. Чтобы этого добиться они должны правильно оценивать текущую ситуацию и уметь своевременно и верно скорректировать свои действия. При этом возникает сложность из-за большого количества используемых информационных решений. Это создает проблемы с взаимодействием и рассогласованностью данных.

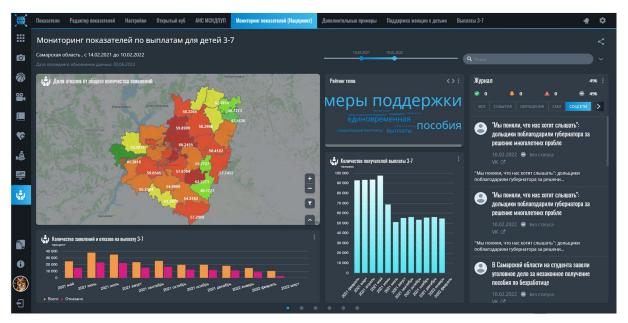
Эффективное принятие управленческих решений возможно только при использовании оперативно функционирующего аналитического аппарата, позволяющего выявлять причинноследственные связи в явлениях, прогнозировать ситуации, находить альтернативные решения, оценивать и контролировать их реализацию.

Изучением особенностей этого процесса занимались многие авторы. Так, Логуа Р.А., Балюков А.С. и Ружников В.А. [3, 4] считают, повышение эффективности управления регионов происходит за счет экономии ресурсов и координации деятельности министерств. Аверченкова Е.Э. [5] считает, что применение информационных систем дает возможность оптимизировать управленческую деятельность в условиях влияния внешней среды на региональное развитие. Бекларян Г.Л. считает, что для оценки регионального развития необходимо применять стратегию управления ключевыми характеристиками за счет использования системы поддержки принятия решений [6]. Черняховская Л.Р., Низамутдинов М.М., Орешников В.В., Атнабаева А.Р. [7] предлагают применять систему для мониторинга и прогнозирования динамики показателей региональной безопасности на основе применения интеллектуальных агентов с имитационным аппаратом. Новыш Б.В., Юрча И.А. [8] используют систему для выделения целевых показателей, отражающих социально-экономическое положение региона и его дальнейшего развития. Система поддержки принятия решений авторства Глазыриной И.П., Забелиной И.А., Фалейчик А.А., Фалейчик Л.М. [9] позволяет исследовать возможные региональные кризисные ситуации, что повышает выработку управленческих решений. Трифонова П.С. [10] исследовала применение систем мониторинга для визуализации на картах показателей социальноэкономического развития арктических территорий. Смыслова О.Ю. [11] разработала механизм повышения стабильности социально-экономического развития региона с помощью современных технологий геоинформационной системы.

Тем не менее, нет единого универсального способа для контроля и анализа показателей деятельности органов исполнительной власти по социально-экономическому развитию региона. Работа посвящена описанию разработанной цифровой платформе интегрального мониторинга, использующей в своей основе современные технологии семантического и статистического анализа данных из открытых источников и информационных систем.

**Цифровая платформа.** Цифровая платформа интегрального мониторинга (ЦПИМ) предназначена для сбора, обработки и анализа показателей деятельности организаций с последующим предиктивным анализом текущей обстановки (рисунок). Основное преимущество платформы формирование наиболее полной картины об исследуемой области за счет использования информации из всех возможных источников данных (структурированные данные из автоматизированных систем, а также неструктурированные данные из открытых источников), ее интеллектуальной обработки и представления в краткой и удобной форме.

ЦПИМ позволяет не только выявить взаимосвязи между показателями, в том числе, неочевидные для аналитика, но и оценивать, как изменение одного показателя повлияет на всю систему показателей в целом.



Цифровая платформа интегрального мониторинга

#### Основными возможностями системы являются:

- мониторинг текущей ситуации путем сбора, обработки и анализа больших данных и выявление развития кризисных ситуаций;
- выявление скрытых закономерностей во взаимодействии показателей регионального развития;
- раннее обнаружение скрытых факторов, рисков и проблем, выработка превентивных решений, направленных их на предупреждение;
- формирование показателей для оценки эффективности деятельности высших должностных лиц и органов исполнительной власти;
- отображение общественного мнения с помощью ленты событий, обращений и новостей из соцсетей и СМИ;
- прогнозирование изменения значений показателей с использованием искусственных нейронных сетей, контроль за отклонениями от нормативов, и предоставление рекомендаций по их улучшению;
- оперативное реагирование на ситуацию;
- загрузка и обработка обращений и сообщений граждан, отслеживание ответов на них;
- составление аналитических отчетов на основе выбранных пользователем данных и их дальнейшая выгрузка;
- многомерная система рабочих пространств, позволяющая переключаться между несколькими рабочими столами так же просто, как и перелистывать слайды презентаций.
- персонализация Web-интерфейса для разных режимов работы.

Платформа основана на комбинации методов анализа слабоструктурированных данных большого объема:

- 1) статистический анализ анализ временных рядов, описывающих динамику изменения показателей во времени;
- 2) семантический анализ комплекс методов и алгоритмов анализа информации, основанные на понимании текстов и распознавании образов;

3) интеллектуальный анализ – современные технологии анализа данных с использованием искусственных нейронных сетей.

Все данные можно визуализировать с помощью карты и графиков, что дает пользователю возможность увидеть риски и угрозы рассматриваемой ситуации. Временной анализ отображаемых на карте событий и значений социально-экономических показателей позволяет рассчитывать косвенные показатели, такие как напряженность ситуации, колебания информационного фона и пр.

Применение технологий искусственного интеллекта и машинного обучения и позволяют оценивать вес влияния исследуемых показателей друг на друга. Результатом применения анализа является формирование рекомендаций по достижению необходимых значений показателей на основе текущей информации и исторических данных.

**Примеры применения.** Использование платформы на практике в министерствах и департаментах региона позволит сформировать единую систему показателей, всесторонне описывающих текущую обстановку с возможностью моделирования и прогноза. Для иллюстрации можно привести несколько примеров.

Во время накала ситуации по коронавирусу с ее помощью проводился мониторинг информации по районам Самарской области по новым случаям заражения, выздоровления и смертности. Также анализировалось, что пишут пользователи социальных сетей к данному вопросу. На основе этих данных система выводила рекомендации по изменению численности персонала в красной зоне.

Также проводилась оценка факторов, влияющих на туристическую привлекательность региона. На основании полученных данных строилась тепловая карта, и формировались рекомендации по консолидации туристических, транспортных и гостиничных услуг.

С помощью ЦПИМ оценивалась нуждаемость различных групп населения в разных видах социальной поддержки, с учетом необходимого объема финансирования. Внедрение платформы интегрального мониторинга в этой области — это важный шаг по цифровой трансформации социальной сферы.

Заключение. Таким образом, с помощью разработанной платформы можно сформировать наиболее полное и объективное представление о ситуации в регионе, повысить качество и оперативность взаимодействия населения и органов исполнительной власти, оценить эффективность деятельности высших должностных лиц. Наглядная аналитика дает реальную картину происходящего в разных формах представления и позволяет сформировать адекватные рекомендации, направленные на предупреждение рисков возникновения инцидентов.

В дальнейшем планируется использовать более точные алгоритмы геотегирования исследуемых событий, а также усовершенствовать методы, используемые для формирования рекомендаций.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Козлов С.В**. Перспективы внедрения интеллектуальных цифровых технологий в процессы управления. *Цифровой регион: опыт, компетенции, проекты*: сборник статей Международной научно-практической конференции (г. Брянск, 30 ноября 2018 г.). Брянск: Брян. гос. инженерно-технол. ун-т., 2018. С. 236-240.
- 2. **Рябенко Д.О.** Ситуационный анализ в государственном и муниципальном управлении региона. Эффективное государственное и муниципальное управление как фактор социально-экономического развития территорий: сборник. 2021. С. 148-150.
- 3. **Логуа Р.А., Балюков А.С., Ружников В.А.** Проблематика электронного правительства в работах отечественных и зарубежных авторов. *Вести. Самарс. гос. ун-та.* 2014. № 6 (117). С. 30-38.
- Логуа Р.А., Хасаншин И.А. Детализация процесса принятия решений по управлению проблемными ситуациями на региональном уровне. Основы экономики, управления и права. 2012. № 3 (3). С. 12-16.
- 5. **Бекларян Г.Л.** Система поддержки принятия решений для устойчивого экономического развития Дальневосточного федерального округа. *Бизнес-информатика*. 2018. № 4 (46). С. 66-75.
- 6. **Черняховская Л.Р., Низамутдинов М.М., Орешников В.В., Атнабаева А.Р.** Подход к организации поддержки принятия решений при разработке стратегий инновационного развития регионов с применением адаптивно-имитационной модели. *Бизнес-информатика*. 2019. Т. 13, № 3. С. 20–34.
- 7. **Новыш Б.В., Юрча И.А.** Имитационная модель оценки экономического потенциала регионов. *Экономика. Управление. Инновации.* 2020. Т. 7. № 1. С. 88–94.

- 8. **Глазырина И.П., Забелина И.А., Фалейчик А.А., Фалейчик Л. М**. Применение имитационного моделирования в оценках уровней социального благополучия восточных регионов РФ. *Вестник Забайкальского государственного университета*. 2020. Т. 26, № 6. С. 125–136.
- 9. **Трифонова П.С.** Особенности представления на картах показателей социально-экономического развития арктических территорий. *Вестник Российского университета дружбы народов*. Серия: Экономика. 2020. №2. С.347-356.
- 10. **Смыслова О.Ю., Строев П.В., Нестерова Н.Н.** Механизм повышения устойчивости социальноэкономического развития регионов с использованием ГИС-технологий. *Управленческие науки*. 2018. №8(4). С. 84-93.

O.L.Surnin, P.V.Sitnikov, A.V.Ivashchenko, O.K.Golovnin, I.N.Dubinina, E.A.Dodonova (SEC "Open code", Samara). Application of the digital integrated monitoring platform as a means of business analytics of socio-economic development of the region

In the course of their activities, public administration bodies are faced with an assessment of the expediency and effectiveness of incoming data. To ensure the convenience of working with them, it is necessary to use an information system that can collect information from various sources, analyze it, form targets, and present it to the user with the ability to export data to external systems and data warehouses. This will minimize the time resources and costs of identifying problematic situations and choosing measures to solve them.

## Л. М. ЛУКЬЯНОВА, Н. Ю. ЛУКЬЯНОВА (Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград)

#### Л. Н. ФЕДОРЧЕНКО

(Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург)

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СИСТЕМНО-ЦЕЛЕВОГО АНАЛИЗА РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Обсуждается недостаточное развитие логического компонента получивших распространение методологий, методик и информационных технологий системного анализа, использование которых способствует, но не обеспечивает системность (полноту, непротиворечивость, согласованность) управленческих решений, формируемых в ходе его проведения. Обосновывается актуальность разработки информационной технологии системно-целевого анализа, основывающейся на одноименной методологии, объективизация логического компонента которой осуществлена с использованием теории целей, включающей семиотические модели логико-лингвистического типа. Уточняются основные понятия технологии и рассматриваются ее ключевые операции.

**Введение.** В условиях трансформации мирового порядка резко обострилась проблема продовольственной безопасности, и без того напряженная в последние годы. Один из ее аспектов охватывает рыбохозяйственную деятельность, важной составляющей которой является добыча и переработка биологических ресурсов Мирового океана [1].

В Атлантическом океане перспективным промысловым ресурсом является тунец, а среди тунцеподобных – синяя акула (наиболее крупный вид пелагических рыб семейства *Carcharhinidae*, осуществляющий, как показывают наблюдения по мечению и учетные записи, трансатлантические миграции от Ньюфаундленда до Аргентины на западе и от Норвегии до Южной Африки, включая Средиземноморье, на востоке) [2]. В последнее время вырос спрос не только на плавники синих акул, но и на их мясо, печеночное масло, рыбную муку, кожу из акульих шкур. Соответственно возросли объемы коммерческой добычи данного вида, принявшие для его атлантической популяции угрожающий характер [3]. При неопределенности структуры запасов синей акулы и отсутствии полных данных об уловах это обусловило многоаспектную проблемную ситуацию. Среди вовлеченных в нее стран – Российская Федерация, традиционно осуществляющая океаническое рыболовство, в том числе, в восточной части центральной Атлантики (ЦВА) [4, 5].

Подготовка управленческих решений по преодолению подобных ситуаций осуществляется в рамках системного анализа. Известные варианты данной методологии [6-10] и другие, в том числе поддержанные теоретически [11], методики (их обзор имеется в [12]) и технологии системного анализа, использующие программные средства [13-16] и аналогичные им, способствуют формированию решений, но не гарантируют их системность - полноту, логическую корректность, согласованность. В производственной сфере, для которой особенно высока стоимость устранения просчетов системности, выявляемых во время исполнения решений, предложена методология системно-целевого анализа (СЦА), в которой объективизирован логический компонент [17]. Это осуществлено путем разработки теории целей, включающей семиотические модели логико-лингвистического типа. В многоаспектных проблемных ситуациях с нечеткими, неполными данными этот вариант методологии системного анализа обеспечивает формирование системы решений по проблемам, целям и системе целедостижения (СЦД). Для практического применения разработана и презентована на конференции «ИТУ-2020» методика [18]. Результаты ее использования показали, что она обеспечивает большую системность решений по сравнению с другими методиками системного анализа [4, 5, 19-21]. Однако не всегда максимальную (человеческий фактор). Во избежание просчетов системности потребовалась автоматизация СЦА.

В докладе рассматривается информационная технология (ИТ) системно-целевого анализа, ключевым средством которой является интеллектуальная информационная система поддержки анализа проблем (П), целей (Ц) и СЦД (СПАСп-ц-сцд). Технология разработана в ориентации на организационно-технические комплексы производственной сферы, в частности, рыбохозяй-

ственные, осуществляющие промышленное рыболовство и рыбоводство, судостроение и судоремонт, производство рыбопродукции и средств ее производства, исследование сырьевой базы и организацию экспедиционного лова в Мировом океане и зонах иностранных государств, создание системы оптовой и розничной торговли рыбопродукцией, развитие научной, информационной и аналитической баз и др.

**Информационная технология системно-целевого анализа.** В названии технологии, как и в методологии СЦА, подчеркнута роль целей как логического основания для синтеза систем.

*Основные понятия ИТ СЦА*. Ключевые понятия технологии размыты и требуют уточнения.

Деятельность – форма человеческой активности, ориентируемая и направляемая конечными целями. Пример: рыбохозяйственная деятельность. Действие – элемент деятельности, обеспечивающий достижение промежуточной цели. Пример: учет данных по улову синей акулы в ЦВА.

*Цель деятельности/действия* — представляющий ценность будущий результат деятельности/действия. В аксиологии (положительная) ценность обозначается через *G*. Формулировка цели — описание цели на естественном языке. Пример: исследовать популяцию синей акулы в ЦВА.

*Целеполагание* (лицом, принимающим решение (ЛПР)) – формирование ЛПР цели в амбивалентном процессе возникновения образа (психические механизмы: «воображение», «память») представляющего положительную ценность (психический механизм «эмоции») результата деятельности/действия и его вербального описания (психический механизм «мышление»).

Целедостижение – осуществление намеченного целью результата деятельности/действия.

СЦД – система, обеспечивающая достижение целей деятельности в проблемных ситуациях.

Проблемная ситуация – ситуация недостижимости (невозможности эффективного достижения) целей деятельности. Примеры: 1) недостижимость целей деятельности при несистемности принимаемых решений; 2) невозможность прагматически полезного «машинного» (т. е. без участия ЛПР) целеполагания и постановки задач в производственной сфере.

Проблема — противоречие между неудовлетворенностью субъекта положением дел и неопределенностью средств для его изменения. Пример: способы сбора и переработки информации не обеспечивают требуемой результативности данных процессов, что снижает качество управленческих решений. Сложная проблема — проблема, в которой могут быть выделены части (составная проблема) и/или аспекты (интегративная проблема). Примеры: 1) приведенная проблема состоит из двух проблем — частей, причем первая («способы сбора и переработки информации) не обеспечивает требуемой результативности данных процессов», обусловливает вторую («снижает качество управленческих решений»); 2) проблема низкой эффективности... — интегративная (первый ее аспект — низкая результативность..., второй — высокая ресурсоемкость ..., третий — недостаточная оперативность ...). В производственной сфере проблемы обычно отражают «недостатки» деятельности, средств и условий ее реализации, выражающие негативную ценность, обозначаемую в аксиологии через Н. Пример соответствующих проблемы и цели: «Н уменьшение популяции синей акулы...» и «G способствовать увеличению популяции синей акулы ...».

Операция – действие вместе с точно определенными средствами (неперераспределяемые ресурсы), условиями (в том числе, перераспределяемые ресурсы) и результатом его реализации. Средствам и условиям присущи роли, согласующиеся с вопросами: «кто? (субъект)», «чем, с помощью чего? («техника»)», «как? («технология»)», «из чего? (исходный объект)», «где? (место)», «что? (конечный объект: результат)», «какие? (условия)». Пример (учет данных об уловах синей акулы в ЦВА): (кто: должностное лицо ХХХХ), (с помощью чего: АИС YYYY), (как: опция ZZZZ), (из чего: запись РРРР базы данных RRRR, (где: район ЦВА), (что: улов синей акулы), (условие 1: обновление базы данных RRRR), (условие 2: 30.06.2022).

*Информационная технология* — пооперационное описание процессов сбора, хранения, передачи, переработки, распределения, воспроизведения информации. Пример: ИТ СЦА — пооперационное описание процессов сбора, хранения, анализа и отображения информации о СЦА.

Интеллектуальная информационная система – информационная система с универсальными знаниями, обеспечивающими решение нетривиальных частных задач. Пример: СПАСп-ц-сцд. Универсальные знания: процедурные (семиотическая, логико-лингвистического типа, модель рассуждений о проблемах/целях, формирования и согласования их структур) и декларативные (семантические тезаурусы предметной области и фреймы проблемы и цели). После настройки

знаний на сектор производственной сферы система осуществляет: контроль правильности анализа ЛПР проблем, целей, функций СЦД и логической корректности, полноты, согласованности результатов данных процессов, а при выявлении несистемности исправляет ее (в частности, путем имитации целеполагания) в партнерском диалоге с ЛПР. Прототип СПАСп-ц-сцд — средство [22], обеспечивающее диалоговый анализ-синтез целей и формирование двухструктурной системы целей со структурами целей (СЦ) — аналитической (АСЦ) и синтетической (ССЦ) [23].

Основные группы операций ИТ СЦА. Технологический процесс анализа—синтеза проблем, целей и СЦД включает: 1) вспомогательные операции создания семантических тезаурусов предметной области, которые описаны в [26]); 2) основные операции трех приводимые ниже групп, соответствующие группам действий, определенных методикой [18]. Конструктивность методов СЦА облегчила их реализацию в форме действий, а совместно с диалогом ЛПР—СПАСп-ц-сцд на ограниченных естественных языках (ЕЯ) проблем и целей упростило трансформацию действий в операции технологического процесса СЦА.

Операции анализа проблем выполняются системным аналитиком (СА), ЛПР, экспертами (Э) и подсистемой СПАСп. Определение списка проблем: формулирование проблем экспертами (Э<sub>і</sub>, i=1(1)n, где n- число экспертов) и сохранение их в диалоге со СПАСП в таблице исходных проблем. Предварительный анализ проблем: устранение (СА/ЛПР) дублирования и перекрещивания исходных проблем с последующим их переформулированием, определением статуса ("В" – внешняя), аспектов ("A $_{j}$ ", j=1(1)m, где m – число аспектов), нумерованием отредактированного списка проблем с добавлением (при установлении факта) префикса "В." слева от номера и кода ". $A_k$ " ( $k=1(1)p, p \le m$ ) справа от номера; определение каузативных связей между проблемами. Определение главной проблемы выполняется двумя способами (операции I и II). I -СПАСп: І.1) построение каузативной СП по каузативным связям проблем; 2) определение главной проблемы как «причины» наибольшего числа «следствий» («исходящие» связи, или положительная степень вершин в каузативной СП). ІІ: 1) ранжирование (или попарное сравнение) отредактированных проблем (Э в диалоге с СПАСп); 2) оценка согласованности мнений экспертов с помощью коэффициента Кендэла с подтверждением его статистической значимости на основе критерия Пирсона  $\chi^2$ , в частности по главной проблеме (СПАСп). Анализ (СА/ЛПР) результатов операций I и II: 1) случай несогласованности мнений Э – повтор операций II, перед которым СА/ЛПР знакомят экспертов с их предыдущими оценками; 2) случай несовпадения результатов I и II – повтор операций, начиная с предварительного анализа проблем; 3) случай совпадения результатов операций I и II — анализ проблем и формирование СП, начиная с анализа главной проблемы, СА/ЛПР под контролем СПАСп формулируют подчиненные ей проблемы первого уровня и продолжают процесс анализа проблем до построения логически корректной и полной иерархической СП.

Операции анализа и синтеза целей выполняют СА, ЛПР, Э и подсистемой СПАСц. Операции анализа целей в общем случае аналогичны операциям анализа проблем. В частном случае 1, когда все формулировки проблем в СП явно выражают недостатки в секторе производственной сферы, технология упрощается: формируется СЦ, изоморфная СП, а цели в ней формулируются путем «отрицания» соответствующих проблем. В частном случае 2, когда известна лишь главная проблема, ЛПР формулирует главную цель и, начиная с нее, осуществляет анализ целей и формирование логически корректной и полной АСЦ в диалоге со СПАСц. Синтез целей во всех случаях включает операции: СПАСц, начиная с цели нулевого уровня «начать целедостижение» и заканчивая целью, соответствующей главной в АСЦ, строит обратной по отношению к АСЦ процедурой начальную ССЦ (НССЦ); ЛПР, исходя из НССЦ и текущей ситуации, под контролем СПАСц синтезирует конечную ССЦ (КССЦ) путем целеполагания, начиная с целей первого уровня.

Операции анализа и синтеза СЦД выполняются ЛПР в диалоге с подсистемой СПАССЦД. Анализ критериев целедостижения. Анализ целей КССЦ и формирование на его основе исходного списка функций СЦД. Пополнение данного списка функциями, необходимыми для достижения всех целей. Группировка функций и закрепление их за компонентами СЦД. Формирование структур СЦД. Разработка плана мероприятий по целедостижению.

В докладе приводятся результаты использования информационной технологии системноцелевого анализа рыбохозяйственной деятельности по синей акуле в Атлантическом океане. Заключение. Предложенная технология системно-целевого анализа, в отличие от известных технологий системного анализа, не требует организации сложных экспертиз, сопряженной с трудовыми и временными затратами на коллективное выявление, анализ и структурирование проблем, целей, функций СЦД и при этом даже в «ручном» режиме повышает степень системности принимаемых решений [4, 5, 6, 20, 21]. В автоматизированном же режиме интеллект используемых в ней средств обеспечивает требуемую эффективность не только процесса СЦА, но и целедостижения, реализуемого синтезированной в нем системой [19].

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. FAO. 1998. FAO yearbook, Fishery statistics: Capture production. FAO series No. 50, Vol. 82; 678 pp.
- 2. Spalding M.D., ..., Martin, K.D. Marine ecoregions of the world: A bioregionalization of coastal and shelf areas. *BioScience*, 57; 2007, pp. 573–583.
- 3. The International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas. URL: https://www.iccat.int/en/submitSTAT.html#
- 4. **Романов В.А., Алексеев В.Г., Лукъянова Л.М.** и др. Развитие рыбопромышленного комплекса С.-Петербурга до 2010 года. С.-Петербург: ФГУП «ГИПРОРЫБФЛОТ», 2002, 126 с.
- Саускан В.И., Осадчий В.М., Лукьянова Л.М. Пути развития отечественного рыболовства. Рыбное хозяйство. №1. 2015. С. 3–8.
- 6. **McKean R.N.** Efficiency in Government through Systems Analysis. With Emphasis on Water Resources Development: a RAND Corporation research study. N.Y.: John Wiley&Sons Inc., 1958. 336 p.
- 7. Hall A.D. A methodology for systems engineering. N.J.: D. Van Nostrand Company, Inc., 1965. 418 p.
- 8. Гиг Дж. ван. Прикладная общая теория систем: в 2-х кн. / Пер. с англ. М.: Мир, 1981. Кн. 1. 336 с. Кн. 2. 733 с.
- 9. **Новиков А.М., Новиков Д.А.** Методология. М.: СИНТЕГ, 2007. 668 с.
- 10. **Тарасенко Ф.П.** Прикладной системный анализ (Наука и искусство решения проблем): Учебник. Томск: Изд-во Томского университета, 2004. 186 с.
- 11. Теоретические основы системного анализа / **В.И. Новосельцев** [и др.]; под ред. В.И. Новосельцева. М.: Майор, 2006. 592 с.
- 12. Системный анализ и принятие решений: Словарь-справочник / Под. ред. **В.Н. Волковой, В.Н. Козлова**. М.: ВШ, 2004. 616 с.
- 13. ExpertChoice for Collaborative Decision Making. URL: http://www.expertchoice.com/2021.
- 14. Integrated environment ARIS: Strategic Planning Tool ARIS BSC. URL: http://bps.org.ua/aris/moduli-aris/aris-bsc.html
- 15. Программно-методический комплекс автоматизации управления в организациях «Инталев: Навигатор». URL: http://www.intalevnavigator.ru/.
- 16. Управление проектами Spider Project. URL: http://www.spider.com.
- 17. **Лукьянова Л.М.** Теоретико-методологические основы структурно-целевого анализа и синтеза организационно-технических комплексов [монография]. СПб.: Наука, 2006. 280 с.
- 18. Lukyanova L.M., Fedorchenko L.N., and Lukyanova N.Y. The Methodological Basis and Technique for Objectifying Logical Results of Systems Analysis in Production Sphere. *Journal of Physics: Conference Series, Volume 1864, 13th Multiconference on Control Problems* (6-8 Oct. 2020, S.-Petersburg, Russia); URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.085107407401&origin=resultslist&featureToggles=FEATURE NEW METRICS SECTION:1.
- 19. Лукьянова Л.М. Системность решений по рыбохозяйственному комплексу. Рыбное хозяйство. №5. 2014. С. 14–88.
- 20. **Лукьянова Л.М.** Аналитический отчет по проблемам рыбохозяйственного комплекса Калининградской области [Электронный ресурс]. Калининград: БФУ им. И. Канта, 2014. 27 с.
- 21. **Weldegiorgish T.K., Lukyanova L.M.** Problems and goals of the researching the population of the blue shark (*prionace glauca*) in Central Eastern Atlantic [Электронный ресурс] *Материалы VII Межо. Балтийского морского форума* (Калининград, 7–12 октября 2019 г.): VII МНК «Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов». Калининград: БГАРФ, 2019. Т. 3. С. 90–197. URL: http://catalog.inforeg.ru/Inet/GetEzineByID/326181.
- 22. **Лукьянова Л.М.** Программное средство «Анализ и синтез систем целедостижения»: свидетельство № ГР 2008614503 от 19.09.2008 [заявитель и правообладатель Л.М. Лукьянова]. *Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам* «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем»: в 2-х ч. М., 2008. №4(65). Ч. II. С. 312.
- 23. **Лукьянова Л.М.** Методология автоматизированного формирования систем целей в производственной сфере: монография. Калининград: Изд-во «КГТУ», 2016. 405 с.

L.M.Lukyanova, N.J.Lukyanova (Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad), L.N. Fedorchenko (St. Petersburg Federal Researcher Center, St. Petersburg). **Information technology of systems-goal analysis in fisheries** 

The article discusses the insufficient development of the logical component of the methodologies and technologies of systems analysis that have become widespread, the use of which contributes, but does not ensure completeness and logical correctness of managerial decisions formed during its implementation. The relevance of the development of information technology of systems-goals analysis based on the same name methodology, the logical component of which is based on the theory of goals, including semiotic models of the logical-linguistic type, is substantiated. The basic concepts of technology are specified and its key operations are considered.

## Ш. К. КАДИЕВ, Р. Ш. ХАБИБУЛИН (Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, Москва)

# ПОДДЕРЖКА УПРАВЛЕНИЯ ПРИ РЕАГИРОВАНИИ НА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Планирование и принятие адекватных и оперативных управленческих решений в области обеспечения безопасности, предупреждения и снижения последствий от чрезвычайных ситуаций (ЧС) невозможно без решения задачи определения необходимых ресурсов для реагирования.

Совершенствование системы реагирования на чрезвычайные ситуации достигается путем разработки моделей поддержки принятия решений должностных лиц. В статье рассматривается способ разработки системы поддержки принятия управленческих решений для реагирования на ЧС с учетом создания онтологической модели предметной области и методов машинного обучения.

**Введение.** Реагирование на ЧС является специфичным этапом в жизненном цикле ликвидации ЧС. Специфика или особенность этого этапа заключается в том, что он сильно ограничен по времени и от результата принятых решений зависит дальнейший ход ликвидации ЧС. В этой связи разработка системы поддержки принятия решений, предлагающей альтернативы действий и их возможные последствия по реагированию для должностного лица является необходимым элементом совершенствования системы реагирования и ликвидации ЧС в целом. В докладе описаны основные структурные элементы разрабатываемой системы.

Решение задач в области ликвидации ЧС с использованием онтологического подхода рассматривались в трудах многих исследователей. В работе [1] группой авторов предлагается автоматизация боевых действий пожарных подразделений при ликвидации ЧС на основе предметной области.

**Основная часть.** Целью доклада является совершенствование этапа реагирования на чрезвычайные ситуации техногенного характера. Для достижения цели поставлена задача разработки системы поддержки управления при реагировании на чрезвычайные ситуации техногенного характера на основе онтологий и поиска прецедента в них.

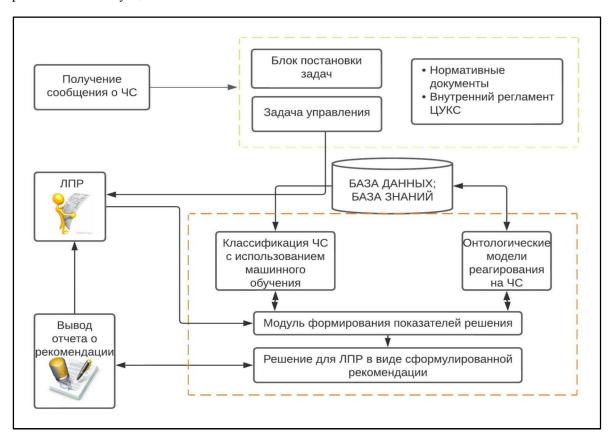
Реагирование на ЧС начинается с получения сообщения об этой обстановке оперативно-дежурной службой центра управления в кризисных ситуациях (ЦУКС). После обработки и подтверждения полученной информации, лицом, принимающим решения (старший оперативный дежурный смены), на основе регламентирующих документов и управленческого опыта, определяется количество техники и людей, необходимых для ликвидации ЧС. Для снижения времени реагировании и повышения эффективности, предлагается разработка системы поддержки принятия управленческих решений по определению количества сил и средств (ресурсов) для реагирования. Особенностью системы является то, что в основе лежат два подхода, один из которых онтологический [2], а второй связан с ранжированием чрезвычайных ситуаций на основе математических алгоритмов классификации методами машинного обучения. В рамках первого подхода разработаны: онтологические модели реагирования на чрезвычайные ситуации техногенного характера, алгоритм поиска прецедентов. Разработана онтологическая база знаний ЧС, включающая в себя онтологические модели [3] и знания предметной области. Второй подход подразумевает установление рангов для чрезвычайных ситуаций техногенного характера и определение количества сил и средств на основе каждого ранга [4].

Структурными элементами системы являются:

- 1. «Система-112» (автоматизированная система получения сообщений о ЧС).
- 2. Блок управления (постановка задач внутри оперативно-дежурной смены, нормативное регулирование процессов, отработка документов по реагированию).
  - 3. База знаний (данных) ЧС.
- 4. Блок классификации ЧС на основе методов машинного обучения и (или) определение количества сил и средств с помощью метода поиска прецедента.

- 5. Модуль формирования показателей решения.
- 6. Решение для лица принимающего решения (ЛПР).
- 7. Вывод отчета о рекомендациях.

На рисунке графически представлена система поддержки управления при реагировании на чрезвычайные ситуации.



Функциональная схема системы поддержки управления при реагировании на чрезвычайные ситуации

С целью разработки системы поддержки принятия решений, должностными лицами по реагированию на ЧС решены следующие задачи:

- 1. Проектирование базы знаний, аккумулирующей в системе опыт определения сил и средств (СиС) для ликвидации ЧС должностными лицами. База знаний формируется как совокупность прецедентов (онтологических моделей) и правил их использования. Прецеденты разделены на 2 класса:
- $<\!C,V\!>$ , где C причинно-следственные связи, описывающие зависимости между событиями, обстановкой, атрибутами, характеризующими оперативную обстановку на месте ЧС, а V это множество закономерностей их развития.
- <*S,P*>, где *S* формализованное описание проблемной ситуации, *P* действия по решению возникающих задач.
- 2. Разработка алгоритма, который с использованием базы знаний, выполняет функцию определения количества сил и средств для ликвидации ЧС на основе ранжированных характеристик (критериев) чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

**Заключение.** В работе представлена процедура разработки системы поддержки принятия управленческих по реагированию на чрезвычайные ситуации техногенного характера в части касающейся определения необходимого количества сил и средств. Описаны основные структурные элементы системы.

В рамках дальнейших исследований планируется проведение классификации ЧС на основе алгоритмов машинного обучения, ранжирование полученных данных. Вместе с тем, планирует-

ся разработка специального программного обеспечения по определению ресурсов для реагирования на ЧС на основе предложенных подходов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Абрамов А.П., Мешалкин Е.А., Олейников В.Т.** Автоматизации планирования боевых действий при чрезвычайной ситуации на основе онтологии предметной области. Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России. 2004. С. 59-63.
- 2. **Пивоварова Л.М., Рубашкин В.Ш.** Компоненты онтологических систем и их реализация в современных проектах. / Составитель: Боргест Николай Михайлович. 2007. С. 14.
- 3. **Хабибулин Р.Ш., Кадиев Ш.К.** Онтологический подход к выявлению проблем в области реагирования на чрезвычайные ситуации. *Проблемы управления безопасностью сложных систем: материалы XXIX.* 2021. С. 448.
- 4. Кадиев Ш.К., Хабибулин Р.Ш. Проблемы классификации для машинного обучения при разработке интеллектуальных систем поддержки принятия управленческих решений при ликвидации ЧС. Проблемы техносферной безопасности: материалы международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов. – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования" Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий", 2020. № 9. С. 194-198.

Sh.K.Kadiev, R.Sh.Khabibulin (Academy of State Fire Service EMERCOM Russia, Moscow). Ontological model of response to man-made emergencies

Planning and making adequate and operational management decisions in the field of security, prevention and mitigation of the consequences of emergency situations (emergencies) is impossible without solving the problem of determining resources for response.

The improvement of the emergency response system is achieved by developing models to support the decisions of officials. The article discusses a way to develop a response model based on the ontology of the subject area.

И. И. ЖУРАВЛЕВ, О. А. МИЛОСЕРДОВ, А. В. МАКАРЕНКО Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН, Москва

#### ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ПРОСТРАНСТВЕ «ФОРМА-ТЕКСТУРА» ДЛЯ РЕШЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ МЕТОДАМИ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

В настоящей работе проведён анализ существующих подходов к обучению нейросетей для решения задач машинного зрения. Установлено, что эти подходы имеют ряд недостатков, которые существенно затрудняют интерпретацию и управление признаками изображений в скрытом пространстве нейросетей. С целью исправления ситуации предложен оригинальный подход, в основе которого лежит перевод изображения в признаковое описание в пространстве ФОРМА—ТЕКСТУРА. При этом показано, что данное пространство является в определённом роде базовым при решении широкого спектра задач в системах компьютерного зрения.

**Введение.** В настоящий момент области и задачи применения систем компьютерного зрения испытывают взрывной рост [1]. При этом неуклонно усиливаются требования к качеству и устойчивости функционирования алгоритмов обработки информации в этих системах, на фоне всё более сложных условий их применения [2]. Основным подходом, в части построения алгоритмов обработки информации в системах технического зрения, на текущее время являются предварительно обучаемые модели на основе глубоких искусственных нейронных сетей (ИНС) [3].

Построение контуров обработки целевой информации в системах технического зрения на основе глубоких ИНС имеет под собой ряд как положительных, так и отрицательных моментов. Причём недостатки подобных алгоритмов, в определённой мере, являются продолжением их достоинств. Так, глубокие ИНС позволяют полностью инкапсулировать (автоматизировать) вопросы синтеза первичных и вторичных информативных признаков служащих для решения тех или иных задач анализа фото- и видеоизображений. В свою очередь, подобная инкапсуляция приводит к ситуации построения аналитического алгоритма в виде «чёрного ящика», что для некоторых задач является неприемлемым, в силу неинтерпретируемости решений. Кроме того, отсутствие доступа к информативным признакам не позволяет проводить тюнинг моделей и/или их комплексирование, что для ряда задач и приложений также является критическим нелостатком.

В настоящей работе, с целью устранения вышеизложенных ограничений, предлагается оригинальный подход, в основе которого лежит перевод изображения в признаковое описание в пространстве ФОРМА-ТЕКСТУРА (далее пространство SxT). При этом, как показано далее, данное пространство является в определённом роде базовым при решении широкого спектра задач в системах компьютерного зрения.

**Недавние исследования.** Для повышения качества моделей большой акцент исследователи делают на архитектурах ИНС и подходах к их обучению. В задачах классификации важнейшим этапом является извлечение признаков. Авторы статьи [4] предлагают подход к обучению, основанный на self-supervised learning. В статьях [5], [6], [7] повышают качество модели, используя специальную функцию потерь для формирования эмбеддингов изображений. На основе архитектуры трансформеров в статье [8] изображения представляют в виде последовательности патчей и обрабатывают их, используя механизмы внимания.

Однако все вышеперечисленные подходы имеют общий недостаток – невозможность интерпретации и управления признаками скрытого пространства. Таким образом, предложенный в данной работе метод закладывает фундамент для создания моделей, свободных от данных недостатков.

**Форма и текстура**. Введем, в первом приближении, определения формы и текстуры. **Определение 1.** Форма объекта S — характеристики границы объекта, инвариантные, как минимум, относительно операторов смещения, поворота, масштаба и отражения. *Определение 2.* Пусть задано множество объектов  $E = \{e: e \subset 0\}$ . Назовем  $e \in E$  элементом текстуры. Взаимное расположение элементов текстуры e есть рисунок текстуры. Тогда текстура объекта T есть рисунок этого объекта.

**Метод.** Как было сказано во введении, мы стремимся сделать модель обучения более интерпретируемой, разделив пространство признаков изображения на два независимых подпространства S и T. Данный метод предлагается реализовать следующим образом (см. рис. 1). Обучая ИНС сеть как многоклассовый классификатор предсказывать класс формы и текстуры объекта, используя бинарную кросс энтропию ( $\mathcal{L}_{BCE}^*$ ), где \* либо S, либо T, мы одновременно воздействуем на заранее определенные две области ИНС с помощью специальной функции потерь  $\mathcal{L}_S$  и  $\mathcal{L}_T$ , заставляя таким образом формироваться в одной из них только признаки, описывающие форму, а в другой — только текстуру. Классификатор состоит из энкодера f, реализованного в виде свёрточной нейронной сети и классификатора c, реализованного в виде многослойного перцептрона. Выходы классификатора  $S_{out}$ ,  $T_{out}$  пропускаются через сигмоиды. Архитектура f и c представлена на рис. 2. N — размерность пространства признаков, соотвественно M и (N-M) — размерность подпространств формы и текстуры.

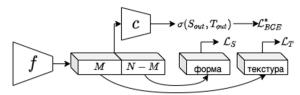


Рис. 1. Схема метода

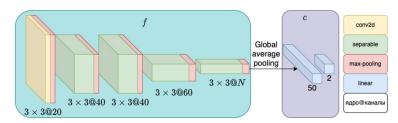


Рис. 2. Архитектура энкодера и классификатора

Датасет. Для первичного исследования предложенного метода использовался синтетический датасет (с целью повышения управляемости эксперимента) из заранее заданных классов формы  $Y^S = \{$ треугольник, квадрат, крест, месяц, эллипс $\}$  и текстуры  $Y^T = \{$ шум, гладкость, градиент, зебра, точки $\}$ . Таким образом, имелось всего 25 классов различных объектов, представляющих собой геометрические фигуры с различной текстурой. При этом решалась задача бинарной классификации. Целевой класс представлял собой треугольник с текстурой зебра. Введем обозначения. Пусть  $x_i$  — объект класса, которому соответствуют метки классов  $y_i^S \in Y^S$  и  $y_i^T \in Y^T$ . Если объект обладает целевой формой или текстурой, то  $y_i^* = 1$ , иначе  $y_i^* = 0$ . Изображения имеют разрешение  $256 \times 256$  пикселей в черно-белом формате.

**Метрика кластеризации.** Используемая метрика кластеризации — силуэт [9], оценивающий разделённость кластеров. В экспериментах метрику разделимости кластеров в исходном пространстве обозначим S, разделимость кластеров целевой формы, но произвольной текстуры и наоборот обозначим  $S_{ST}^*$ . Отделимость кластеров целевой формы или текстуры от нецелевой обозначим  $S^*$ .

Функции потерь. Для формирования независимых подпространств использовалась center loss с градиентным обновлением центров кластеров [6]. Выбор данной функции потерь обусловлен тем, что ее оптимизация занимает малое время. Благодаря градиентному обновлению центров она учитывает информацию обо всём датасете и оценка центров получается минимально смещенной. Также данная функция потерь способна формировать эмбеддинг изображе-

ний эллипсоидной формы, что позволяет использовать выбранную метрику кластеризации. Таким образом, оптимизировалась суммарная функция потерь:

$$\mathcal{L} = \alpha \mathcal{L}_{BCE}^{S} + \beta \mathcal{L}_{BCE}^{T} + \gamma \mathcal{L}_{S} + \theta \mathcal{L}_{T}, \tag{1}$$

где  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\theta$  — коэффициенты вклада функции потерь.

**Результаты экспериментов.** Эксперименты производились с использованием метода оптимизации adam [10] с переменной скоростью обучения. На каждый эксперимент приходилось по 3 запуска, размерности исходного пространства были 10, 20, 40, 80, размерности подпространств равны,  $\alpha = \beta = 1$ . В данной работе приведены результаты для размерности пространства 10. Результаты приведены в таблице для первого запуска. Метрика  $F1_*$  используется для оценки качества классификации формы и текстуры.

Таблица

#### Параметры обучения и значения метрик

N	M	١	Υ	(	Э	$F1_S$	$F1_T$	S	$S_{ST}^{S}$	$S^S$	$\mathcal{S}_{ST}^{T}$	$\mathcal{S}^T$
		Эпоха										
		1-20	20-30	1-20	20-30							
10	5	0,01	0,1	0,01	0,1	1	1	0,84	0,06	0,84	0,02	0,91

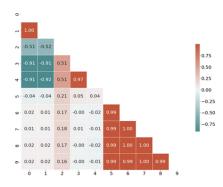


Рис. 3. Матрица корреляций. Признаки 0-4 описывают форму, 5-9 описывают текстуру

Исследование независимости S и T. Для исследования линейной связи вычисляется матрица корреляций. Исходя из результатов можно сделать вывод, что линейная связь между признаками подпространств отсутствует (рис. 2), однако наблюдается «просачивание» признака формы в признаки текстуры, так как 2-й признак формы имеет большую относительно других величину коэффициента корреляции. Также проверим независимость S от T при помощи морфинга [11] целевой текстуры. Исходя из проекций на пространство 3-х главных компонент исходных пространств можно сделать вывод, что подпространства действительно независимы, поскольку при плавном изменении текстуры точка перемещается из кластера целевой текстуры в кластер нецелевой текстуры, при этом точка в подпространстве формы колеблется в пределах кластера целевой формы.

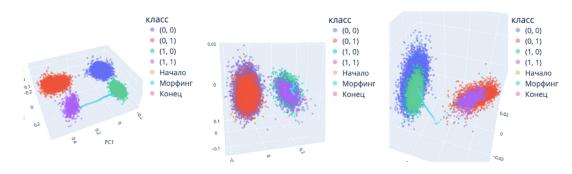


Рис. 4. Переход вектора признаков изображения во время морфинга текстуры в пространстве 3-х главных компонент

**Заключение.** В данной работе предложен алгоритм, позволяющий разделить пространство признаков на два независимых подпространства S и T. Данный алгоритм был исследован на синтетических данных. При помощи анализа коррелированности признаков и морфинга текстуры была продемонстрирована независимость подпространства формы от подпространства текстуры. Наше предположение о возможности разделения исходного пространства на два

независимых подпространства S и T подтверждается экспериментами и позволяет продолжить исследования по созданию интерпретируемых и управляемых моделей глубокого обучения для машинного зрения. В последующих работах мы предполагаем убедиться в независимости T от S при помощи морфинга формы, а также перенести результаты, полученные на синтетических данных, на реальные данные и задачи.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Shawahna A., Sait S., El-Maleh A. FPGA-Based Accelerators of Deep Learning Networks for Learning and Classification: A Review. IEEE Access. 2018. Pp. 1-1.
- 2. Jiao L., Zhao J. A Survey on the New Generation of Deep Learning in Image Processing. IEEE Access. 2019. Pp. 1-1.
- 3. Jena B., Nayak G., Saxena S. Convolutional neural network and its pretrained models for image classification and object detection: A survey. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*. 2021. Vol. 34.
- 4. Gidaris S., Singh P., Komodakis N Unsupervised Representation Learning by Predicting Image Rotations. arXiv. 2018.
- 5. Schroff F., Kalenichenko D., Philbin J. FaceNet: A unified embedding for face recognition and clustering. *IEEE*. 2015.
- Wen Y., Zhang K., Li Z., Qiao Y. A Discriminative Feature Learning Approach for Deep Face Recognition. Springer International Publishing. 2016. Pp. 499-515.
- Sohn K., Li C.-L., Yoon J., Jin M., Pfister, T. Learning and Evaluating Representations for Deep One-class Classification. arXiv. 2020.
- 8. Dosovitskiy A., Beyer L., Kolesnikov A., Weissenborn D., Zhai X., Unterthiner T., Dehghani M., Minderer M., Heigold G., Gelly S., Uszkoreit J., Houlsby N. An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale. arXiv. 2020.
- 9. Rousseeuw P. J. Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Journal of Computational and Applied Mathematics*. 1987. Vol. 20. Pp. 53-65.
- 10. Kingma D. P., Ba J. Adam: A Method for Stochastic Optimization. arXiv. 2014.
- 11. URL: https://github.com/ddowd97/Python-Image-Morpher.

I.I.Zhuravlev, O.A.Miloserdov, A.V.Makarenko (V.A. Trapeznikov (Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow). Representation of images in the "shape-texture" space for solving some machine vision problems by deep learning methods

In this paper, the analysis of existing approaches to training neural networks for solving machine vision problems is carried out. It is established that these approaches have a few disadvantages that significantly complicate the interpretation and control of image features in the hidden space of neural networks. To correct the situation, an original approach is proposed, which is based on the translation of the image into a feature description in the SHAPEXTEXTURE space. At the same time, it is shown that this space is in a certain way basic for solving a wide range of problems in computer vision systems.

Д. В. БОСОМЫКИН, В. К. САРЬЯН (НИИ Радио, Москва)

А. А. ЗАХАРОВА, Р. В. МЕЩЕРЯКОВ (ИПУ РАН, Москва)

#### ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА В УСЛОВИЯХ УГРОЗ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

В работе рассмотрены вопросы управления спасением людей в условиях чрезвычайных ситуаций и землетрясений. Предложено техническое решение в виде системы для массовой услуги по индивидуализированному управлению спасением абонента. Описаны составляющие пространственную компоненту системы, модель данных геоинформационной системы указанной системы. А также продемонстрирована схема управления системой.

**Введение.** Землетрясения по своим разрушительным последствиям, числу жертв и деструктивному воздействию на среду обитания человека занимают одно из первых мест среди других природных катастроф. Основными показателями для оценки опасности землетрясений и прогноза возникающих угроз (природных и техногенных) являются глубина, магнитуда, интенсивность. Причем факторы важно учитывать в комплексе, поскольку развитие последствий землетрясений может носить отложенный характер [1]. Поэтому актуально создание информационно-управляющей системы, которая позволяет осуществлять мониторинг, заблаговременно детектировать угрозы и информировать.

Постановка задачи. В настоящее время имеются технологические решения, например [2], которые решают части комплексной задачи мониторинга ситуации, что создает условия для создания новой комплексной информационной интеллектуальной системы, нацеленной на информирование и сопровождение людей в условиях ЧС, включая землетрясения и связанные с ним последствиями. При этом необходимо сделать такую систему универсальной и масштабируемой, чтобы реализовывать и эксплуатировать ее на уровне человека, группы людей, сообщества. Таким решением является система для массовой услуги по индивидуализированному управлению спасением абонента (ИУСА) при возникновении чрезвычайных ситуаций услуги.

**Предлагаемое решение.** Техническое решение ИУСА опирается на комплексное проектирование платформы, в рамках которой имеется геоинформационная основа (многослойные карты различного тематического содержания) и средства управления связью, инструменты интеллектуального анализа данных [3–5].

Рассмотрим основные положения и объекты проектирования, которые закладываются в основу системы ИУСА.

Типы карт, описывающих пространственную компоненту R:

- 1. Описание геологического строения и сейсмические детали  $\{Rg\}$  (топологическая основа, тип геологии, разломы, зоны пиковых ускорений грунта, карты опасностей, макросейсмические карты, показывающие последствия прошлых землетрясений, земельной морфологии и т. д.).
- 2. Аварийные карты: описание пораженных участков, элементов  $\{Rd\}$  (технических объектов, зданий, природных объектов), подверженных риску, и т. д.
  - 3. Карты по землеустройству, где отмечены безопасные зоны или пути эвакуации.
- 4. Карты потенциальных рисков (близость природных сложных участков, технических объектов с возможностью загрязнений, пожаров и т. п.)  $\{Rs\}$ .
- 5. Карты ресурсов  $\{Rsu\}$  мобильная техника, запасы воды, зоны покрытия разными видами связи и т. п.
  - 6. Карта концентрации и размещения объектов спасения {Res}.

Таким образов модель данных ГИС ИУСА *R* составляет набор масштабных карт:

 $R = \{Rg, Rd, Rs, Rsu, Res\}.$ 

Отдельно следует отметить, что расчеты и модели данных (пространственные и атрибутивные) могут иметь как статический, так и динамический характер. Под статическими (St) расчетами или данными понимаем описание объекта, явления или обстановки, когда параметры, влияющие на оцениваемые характеристики, имеют зафиксированное значение в анализируемый период или по состоянию на начало инцидента.

Динамические (Din) – не могут быть описаны однозначно заданными параметрами, а рассматриваются, как изменяющиеся функции, заданные аналитически, статистическими рядами или многомерными векторами.

Последствия землетрясений предлагается классифицировать: природные (Nat), техногенные (Tech), комплексные (Cpl).

Предлагается различать и учитывать угрозы:

- прямые (*Dir*) это угрозы, которые наступают непосредственно во время инцидента, в т. ч. распространяясь территориально в силу действия природных факторов;
- отложенные (*Prl*) угрозы, которые могут быть скрыты, а последствия наступают после инцидента, вследствие полученных в процессе землетрясения разрушений.

Матрица сопряжений угроз. Таким образом можно описать данные о силе (1–12 баллов), последствиях (сотрясение грунта, смещение грунта, наводнения, пожары, оползни, трещины и разжижение почвы) и возникающих угрозах (в соответствии с описанием шкалы MSK-64) в виде трехмерной матрицы сопряжения ( $M_u$ [12X6Xm]), где  $m = \sum_{i=1}^{m_{Dir}} DIR_i + \sum_{i=1}^{m_{Prl}} PRL_i$ .

После того, как происходит прогноз наступления инцидента, важно оперативно и с учетом пессимистичного сценария рассчитать возможные варианты и сроки наступления последствий Din и риски  $R_S$ :

$$Din = \{f(St), M_u, R\};$$

$$R_S = \{M_u, Nat, Tech, Cpl, f(P)\},$$

где P — вероятность наступления последствий.

Зоны повышенных угроз с указанием классов угроз.

Предлагается строить комплексные карты на основе карт, описывающих пространственную компоненту, т.е. рассчитывается синтетическая карта — поле в виде грида (регулярной сетки), где территории (пикселу карты) соответствует значение показателя потенциальной комплексной угрозы.

В результате получаем модель среды

$$M_{env} = \{ R, St, Din, R_s \}.$$

Классификация спасаемого контингента (определение мобилизационного потенциала контингента) *Конt*: мобильность личная; доступ к транспортным средствам; необходимость специального ухода/сопровождения/доп.средства; доступные средства связи и управления.

Требуемые ресурсы Srs: автомобили; специальные автомобили; специальные средства связи (например, для глухих, слепых); сопровождающие; медикаменты; аппаратура (ИВЛ, капельницы, кардиостимуляторы и т. п.).

Таким образом, модель инфраструктуры можно представить:

$$M_{in} = \{ R, Srs(Kont) \}.$$

Время принятия решения и реализации мер по спасению.

Интерактивное управление, опираясь на текущую обстановку, прогноз и мобилизационный потенциал контингента важно осуществлять на основе оперативных и актуальных данных о наступающих, наступивших и пролонгированных угрозах.

Сбор данных осуществляется в рамках системы сбора данных (датчики, сенсоры, установки и т. п.). Если принять за  $t_0$  момент обнаружения, то важно учитывать моменты времени  $t_1$  – время формирования управляющего воздействия на основе рассчитанных сценариев спасения и  $t_2$  – время формирования и передачи управляющего воздействия на всех абонентов (индивид, группа, общество) через основные и резервные каналы связи.

Управление системой ИУСА делится на централизованное и индивидуализированное. Централизованное управление осуществляется на базе серверной части системы и опирается на работу подсистем моделирования окружающей среды с выделением опасных зон с течением времени t, экспертную оценку наличия и состояния ресурсов для спасения людей. В зависимости от того, сколько времени до начала инцидента, генерируются сценарии для разных категорий абонентов, в т. ч. с учетом их классификации Kont и требуемых для их спасения ресурсов Srs.

При этом абонентов можно разделить на категории: спасаемый контингент (*Kont*) с учетом мобилизационного потенциала; организующий спасение абонент *Kont\_resc* (службы спасения, медицинский персонал и т. п.).

Таким образом можно сказать, что важно время между обнаружением угрозы и наступлением инцидента  $\Delta t$ . Чем больше  $\Delta t$ , тем большее количество ресурсов Srs для спасения может быть задействовано/передислоцировано и большее количество сценариев спасения может быть инициировано и реализовано с большим территориальным охватом, что важно при выборе безопасных территорий-локаций для спасения.

По итогам моделирования формируются рекомендации  $\{Rec(Kont, Kont\_resc)\}$ : по мерам индивидуальной защиты, пути транспортировки, безопасные локации и т. п.

Таким образом в системе ИУСА осуществляется расчет статических и динамических характеристик, описывающих обстановку на момент времени ( $t_0$ ) и прогноз на момент времени ( $t=t_0+\Delta t_1+\Delta t_2$ ):

$$R = \{Rg, Rd, Rs, Rsu, Res\}$$
 $M_{env} = \{R, St, Din, R_s\}$ 
 $M_{in} = \{R, Srs(Kont)\}$ 
 $Din = \{f(St), M_u, R\}$ 
 $R_S = \{M_u, Nat, Tech, Cpl, f(P)\}$ 

Ниже на рисунке представлена схема управления системы ИУСА.

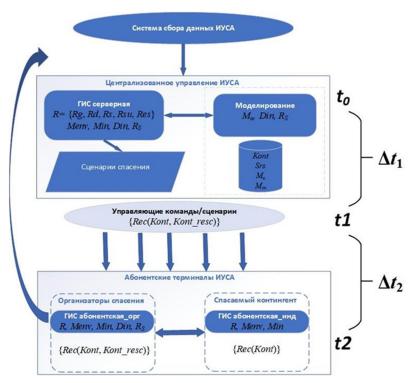


Рисунок. Схема управления системой ИУСА

**Заключение.** В данной работе представлено описание системы ИУСА, которую предлагается реализовывать для сейсмически опасных районов. Важно учитывать не только природные, но и техногенные последствия катастроф и стихийных бедствий.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Kozhurin A.I.** data 2021 Unpublished information provided by A.I. Kozhurin in 2021. URL: http://neotec.ginras.ru/index/english/references eng.html/
- 2. Система предупреждения о землетрясении lifePatron. URL: https://megasensor.com/products/sistema-preduprezhdeniya-o-zemletryasenii-lifepatron/
- 3. **Meshcheryakov R.V., Saryan V.K.** Chimera-States in A Hyperconnected World. 2020 International Conference Engineering and Telecommunication (En&T) 10.1109/EnT50437.2020.9431280.
- 4. **Meshcheryakov R.V., Saryan V.K.** An individualized service for control the rescue of subscribers of an information and control system in the event of emergencies as an example of managing a system of interdisciplinary nature. *Materials of the 13th multiconference on control problems*, ICS RAS, 2020.
- 5. **Сарьян В.К., Мещеряков Р.В., Босомыкин Д.В., Захарова А.А., Козлова Н.В.** Архитектура системы индивидуализированного управления спасением абонента. *«Электросвязь»*, №1, 2022.

D.V.Bosomikin, V.K.Sarian (NII Radio, Moscow), A.A.Zakharova, R.V.Mesheryakov (ICS RAS, Moscow). Information management system in the conditions of threats of emergencies and earthquakes

The paper considers the issues of managing the rescue of people in emergency situations and earthquakes. A technical solution is proposed in the form of a system for a mass service for individualized management of subscriber rescue. The components of the spatial component of the system, the data model of the geoinformation system of the specified system are described. The system control scheme is also demonstrated.

#### Секция 4

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОЦИОКИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

И. В. АФАНАСЬЕВА (Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз)

Ф. А. НОВИКОВ

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург)

Л. Н. ФЕДОРЧЕНКО

(Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург)

#### ВЕРИФИКАЦИЯ СОБЫТИЙНО-УПРАВЛЯЕМЫХ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯЗЫКА СПЕЦИФИКАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ АВТОМАТНЫХ ОБЪЕКТОВ

Язык спецификации взаимодействующих автоматных объектов CIAO (Cooperative Interaction Automata Objects) предназначен для описания поведения распределенных и параллельных систем, управляемых событиями. К такому классу систем относятся различные программно-аппаратные системы управления, мониторинга, сбора и обработки данных. В докладе предлагаются методы и алгоритмы, позволяющие автоматически проверять соответствие требованиям для программ на языке CIAO и, тем самым, верифицировать семантику разработанной программы.

Введение и постановка задачи. Программы, управляемые событиями, иначе называемые дискретными реагирующими системами [1], часто встречаются в задачах управления, мониторинга, сбора и обработки данных. Событийно-управляемая система реагирует на возникающие события (стимулы), выполняя определенные действия (реакции). Зачастую такие системы относятся к классу ответственных систем [2], для которых сама формулировка требований и проверка соответствия требованиям является нетривиальной задачей. Обычных словесных формулировок и выборочного тестирования для ответственных систем недостаточно, и необходимо применение формальных методов верификации. При этом для событийно-управляемых систем недостаточно указать логическое предусловие, которое должно выполняться до начала работы и логическое постусловие, которое должно выполняться в результате реализации некоторой последовательности событий/действий, поскольку один и тот же набор действий может быть выполнен как в допустимой последовательности, так и в нежелательной, запрещенной последовательности. Таким образом, формальные требования к системам рассматриваемого класса необходимо задавать в форме описания как допустимых, так и недопустимых последовательностей событий/действий. Известны различные методы формального описания множества последовательностей, которые варьируются в зависимости от того, насколько разнообразны элементы последовательностей и как сложно организованы последовательности. В данном случае элементарные события/действия можно трактовать как символы конечного алфавита, а последовательности действий – как слова в этом алфавите, и в таком случае, формальные требования – это некоторый язык в заданном алфавите [3]. Целью данной статьи является представление методов и алгоритмов, которые позволяют для определенного класса реагирующих систем, а именно, для систем, описанных на языке СІАО [4, 5], автоматически строить формальное описание множества последовательностей действий (набор возможных протоколов выполнения) в виде условных регулярных выражений [6].

**Применение языка спецификации СІАО** для построения событийно-управляемых систем. Практическое применение языка СІАО в области создания систем управления и обработки данных показало неплохие результаты, в частности, высокую степень надежности программного обеспечения, созданного с помощью этого языка [7].

Язык CIAO основан на использовании графов переходов состояний для описания поведения реактивных систем, причем в качестве графов переходов используются диаграммы автомата языка UML [8], расширенные дополнительными конструкциями и соглашениями для повышения выразительной силы языка. Наиболее существенным нововведением языка CIAO является, с одной стороны, множественность взаимодействующих автоматных объектов, а с другой стороны, строгая типизация интерфейсов взаимодействия.

В статье [5] мы рассмотрели применение языка СІАО для построения управляющих систем на примере задачи управления лифтом, описанной Д. Кнутом [9]. В этой задаче указаны действия, которые может выполнять лифт, условия, которые может проверять алгоритм управления, и требования, которым должен удовлетворять алгоритм управления. В результате применения описанной в статье [5] методики получилась спецификация алгоритма управления лифтом на языке СІАО, представленная на рис. 1.

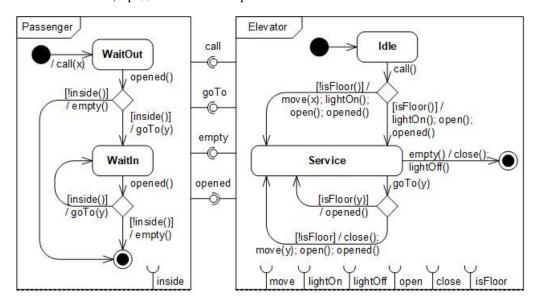


Рис. 1. Спецификация системы управления лифтом на языке СІАО

В этой спецификации присутствуют события/действия call, goTo, empty, opened, move, lightOn, lightOff, open, close и сторожевые условия isFloor, inside. Сокращенные идентификаторы событий/действий и условий, согласно подходу, предложенному в работе [10], приведены в таблице.

 $\label{eq:Taff} T\ a\ б\ \pi\ u\ ц\ a$  Расшифровка идентификаторов событий/действий и сторожевых условий

Обозначение	Событие/действие	Обозначение	Действие	Обозначение	Условие
ez1	call	z1	move	c1	inside
ez2	goTo	z2	lightOn	c2	isFloor
ez3	empty	z3	lightOff		
ez4	opened	z4	open		
		z5	close		

В статье [5] требования к системе управления сформулированы следующим образом.

- 1. Все запросы перемещения на этажи внутри лифта должны быть обслужены.
- 2. Все запросы вызова лифта от этажей должны быть обслужены.

Также в статье [5] показано, как спецификация на рис. 1 гарантирует выполнение требований 1 и 2. Здесь мы идем далее. При разработке ответственных систем необходимо иметь возможность проверки соответствия требованиям на всех этапах разработки, включая возможность проверки соответствия требованиям на всех этапах разработки, включая возможность проверки соответствия требованиям на всех этапах разработки, включая возможность проверки соответствия требованиям на всех этапах разработки, включая возможность проверки соответствия предоставления проверки соответствия предоставления пред

ность изменения требований при необходимости или включения новых требований к существующей системе. Рассмотрим, например, следующее дополнительное требование.

3. Если в кабине лифта находится пассажир, то свет должен быть включен.

Описание семантики реагирующих систем. Основу предлагаемых методов верификации составляет использование техники формального описания языков. В этих обозначениях и соглашениях элементарные действия — символы некоторого алфавита, протокол выполнения программы — слово в данном алфавите, а все множество протоколов, то есть семантика программы — язык над этим алфавитом. В терминах формальных языков требования к системе выражаются как некоторые утверждения о структуре слов языка, задающего семантику. Наиболее удобно задавать структуру слов с помощью регулярного выражения, и тогда проверка соответствия требованиям сводится к задаче синтаксического анализа [11].

Поясним сказанное на примере. В обозначениях таблицы вводится класс событий/действий **zz**, в который попадают все действия, кроме **z2**, **z3**, **z4** и **z5**. Тогда требование 3 записывается в виде следующего регулярного выражения.

$$(zz)^*, z^2, (zz)^*, z^4, (zz)^*, z^5, (zz)^*, z^3, (zz)^*$$
 (1)

Фактически требование 3 означает, что действия включения/выключения света и входа/выхода пассажира должны выполняться всегда строго в указанной последовательности относительно друг друга и никак иначе.

Совершенно очевидно, что выполнение описанных таким образом требований легко устанавливается алгоритмом проверки протокола выполнения на принадлежность регулярному языку, задаваемому регулярным выражением (1). Поэтому, мы предполагаем, что требования к системе заданы набором образцов протоколов выполнения, возможно, со сторожевыми условиями, а сама система задана набором графов переходов на языке СІАО, на дугах которых указаны события/действия этих протоколов.

**Алгоритм автоматической верификации семантики.** Проверка соответствия требованиям для заданной системы на языке CIAO проводится в три этапа.

На первом этапе по заданным графам переходов взаимодействующих автоматных объектов строится единый языковой граф-источник [12]. Узлы в этом графе соответствуют событи-ям/действиям, а дуги могут быть помечены сторожевыми условиями. Граф получается один, поскольку действие в одном графе переходов через соответствующий интерфейс отождествляется с действием в другом графе переходов. Пути в построенном графе-источнике соответствуют протоколам выполнения системы, то есть словам языка верифицируемой семантики. На рис. 2 показан граф-источник для системы управления лифтом.

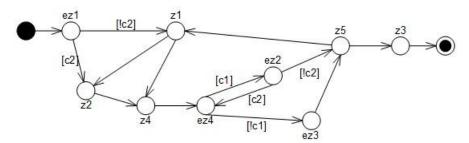


Рис. 2. Граф-источник системы управления лифтом

На втором этапе по графу строятся условные регулярные выражения, описывающие язык семантики верифицируемой системы. Если язык семантики оказывается регулярным (что часто встречается на практике, например, в коммуникационных протоколах [13]), то предлагаемые методы оказываются универсальными и позволяют автоматически извлекать регулярное выражение, описывающее семантику программы, непосредственно из данной программы на языке СІАО. Если же язык семантики проверяемой программы не регулярный, то получить единое регулярное выражение невозможно, но возможно получить некий набор выражений, снабженных сторожевыми условиями. Можно сказать, что поведение программы в целом удается опи-

сать как совокупность нескольких описаний поведения программы в особых «режимах», причем каждый режим характеризуется своим сторожевым условием. Разбиение программы на различные режимы работы не автоматическое, а определяется программистом на языке СІАО при задании сторожевых условий. В данном примере получается следующее условное регулярное выражение, соответствующее нижнему пути в графе-источнике на рис. 2.

На третьем этапе необходимо сопоставить требования, заданные шаблонами, с регулярными выражениями, которые были получены на втором этапе. Сопоставление заключается в проверке того, что полученные регулярные выражения, описывающие семантику (пути из начальной вершины в заключительную в графе-источнике), действительно имеют структуру, предписанную шаблонами требований. Например, легко проверить, что полученное регулярное выражение (2) действительно является частным случаем шаблона (1), а значит, введенное требование 3 выполнено.

Заключение. Таким образом, если техническое задание на ответственную реагирующую систему описано в терминах допустимых и недопустимых последовательностей элементарных действий с помощью условных регулярных выражений, то есть указано желаемое и нежелательное поведение, то предлагаемые методы позволяют без тестирования, математически строго автоматически проверять соответствие разработанной системы на языке СІАО требованиям технического задания.

### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Карпов Ю.Г.** Model Checking. Верификация параллельных и распределенных программных систем. СПб.: БХВ-Петербург, 2010. 560 с.
- 2. **Sommerville I.** Software engineering, 10th ed. Boston: Pearson, 2020.
- 3. **Fedorchenko L., Baranov S.** Equivalent Transformations and Regularization in Context-Free Grammars. *Cybernetics and Information Technologies*. 2015. Vol. 14. No. 4. Pp. 29–44. DOI: 10.1515/cait-2014-0003
- 4. **Новиков Ф.А., Афанасьева И.В.** Кооперативное взаимодействие автоматных объектов. *Информационно-управляющие системы*. 2016. №6. С. 50–63. DOI: 10.15217/issn1684-8853.2016.6.50
- 5. **Афанасьева И.В., Новиков Ф.А., Федорченко** Л.**Н.** Методика построения событийно-управляемых программных систем с использованием языка спецификации СІАО. *Труды СПИИРАН*. 2020.Т. 19. № 3. С. 481–514. DOI: 10.15622/sp.2020.19.3.1
- 6. **Aho A.V., Lam M.S., Sethi R., Ullman J.D.** *Compilers: principles, techniques, and tools, 2nd ed.* Boston: Pearson/Addison-Wesley, 2007.
- 7. **Афанасьева И.В., Новиков Ф.А.** Архитектура программного обеспечения систем оптической регистрации. *Информационно-управляющие системы*. 2016. № 3. С. 51–63. DOI: 10.15217/issn1684-8853.2016.3.51
- 8. **Новиков Ф.А., Иванов** Д.Ю. *Моделирование на UML. Теория, практика, видеокурс.* СПб.: Наука и Техника. 2010. 640 с.
- 9. **Knuth D.E.** The Art of Computer Programming: Fundamental Algorithms, 3rd ed. Addison-Wesley Professional, 1998. Vol. 1, 652 p.
- 10. Поликарпова Н.И., Шалыто А.А. Автоматное программирование. СПб.: Питер, 2011. 176 с.
- 11. Fan W., Li J., Ma S., Tang N., Wu Y., Wu Y. Graph pattern matching: From intractable to polynomial time. Proceedings of the VLDB Endowment, 2010. Vol. 3(1-2). Pp. 264-275. DOI: 10.14778/1920841.1920878
- 12. **Авдошин С.М., Набебин А.А.** Дискретная математика. Формально-логические системы и языки. М.: ДМК Пресс, 2018. 390 с.
- 13. **Levonevskiy D., Novikov F., Fedorchenko L., Afanasieva I.** Verification of Internet Protocol Properties Using Cooperating Automaton Objects. Proceedings of the 12th International Conference on Security of Information and Networks (SIN'19). ACM, 2019. Pp. 1–4. DOI: 10.1145/3357613.3357639

I.V.Afanasieva (Special Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences (SAO RAS), Nizhny Arkhyz), F.A.Novikov (Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU), St. Petersburg), L.N.Fedorchenko (St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS), St. Petersburg). Verification of the event-driven software systems using the specification language of cooperating automaton objects

The CIAO (Cooperative Interaction Automata Objects) specification language is intended to describe the behavior of the distributed and concurrent event-driven systems. This class of systems includes various software and hardware systems for control, monitoring, data collection and processing. The paper proposes methods and algorithms that allow one to automatically check compliance with the requirements for programs in the CIAO language and, thereby, verify the semantics of the developed program.

3. К. АВДЕЕВА, Е. А. ГРЕБЕНЮК, С. В. КОВРИГА (Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)

## КОМБИНИРОВАННЫЙ МОНИТОРИНГ РАЗНОРОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ

Предложена модель комбинированного мониторинга для выявления структурных сдвигов в нестационарных процессах. Модель включает мониторинг временных рядов, описывающих динамику таких процессов, ситуационный мониторинг внешней среды, влияющей на эти процессы, супервайзер для информационного обмена двух видов мониторинга. Эксперимент по данным рынка металлопродукции и сырья 2016—2019 гг. подтвердил, что комбинированный мониторинг повышает качество обнаружения структурных сдвигов цифровым мониторингом за счет информации от ситуационного мониторинга, и помогает выявить причины их возникновения.

Введение. В современных условиях нестабильности внешней среды, неопределенности ее воздействия на изменение процессов функционирования социальной, экономической и финансовой систем возрастает роль мониторинга процессов, на динамику которых влияет состояние внешней среды. Широкое распространение получили системы цифрового мониторинга, проводимые для выявления структурных сдвигов – изменений во временных рядах наблюдаемых процессов и определения типа этих изменений (трендовое изменение, волатильность, тип нестационарности процесса). Однако результаты цифрового мониторинга не позволяют решать такие задачи, как: а) прогнозирование дальнейшего развития ситуации, приведшей к возникновению структурного сдвига и сигнала цифрового мониторинга; б) прогнозирование ситуации, которая может привести к структурному сдвигу, - из-за недостатка необходимой информации в количественных данных или отражения ее в них с запаздыванием. Для поддержки решения указанных задач наряду с цифровым мониторингом необходимо развитие средств ситуационного мониторинга, проводимого на основе обработки и анализа экспертной информации и направленного на выявление причин возникновения структурных сдвигов в наблюдаемых процессах, получение углублённого понимания ситуации, которое поможет системе прогнозирования выстроить соответствующие прогнозы. В контексте обозначенной проблемы в докладе представляется подход к комбинированному мониторингу разнородной информации на примере товарных рынков, процессы которых носят, как правило, нестационарный характер.

В последние годы исследователи [1] отмечают резкое увеличение уровня взаимосвязанных рисков на мировых товарных рынках и повышение уровня эндогенности. Проведенный анализ [1–2] показал, что более 50 % изменений цен на товары связаны с деятельностью участников рынка. Экстремальные события внешней среды и изменения стратегий участников рынка приводят к возникновению структурных сдвигов. Анализ конъюнктуры рынка, обнаружение структурных сдвигов в режиме мониторинга и оценивание их влияния на динамику цен на товарных рынках позволяют снизить увеличивающиеся риски для товаропроизводителей и участников торгов.

**Подход к комбинированному мониторингу.** Целями мониторинга нестационарных процессов, проводимого в настоящем исследовании, являются: обнаружение структурных сдвигов, выявление причин, которые привели или могут привести к их возникновению, формирование сценариев возможного развития ситуации, оценка мощности и продолжительности предстоящих изменений.

В соответствии с поставленными целями вклад данного исследования заключается в следующем:

1. Мы предложили модель комбинированного мониторинга, включающую наряду с цифровым мониторингом временных рядов, описывающих динамику процесса, ситуационный мониторинг макро- и бизнес-среды, супервайзер, управляющий информационным обменом обоих режимов мониторинга и обработкой поступающей от них информации.

Ситуационный мониторинг направлен на выявление информации о значимых изменениях внешней среды, влияющих на динамику наблюдаемого процесса. Выявление такой информации ситуационный мониторинг организует регулярным образом, а также по запросу от цифро-

вого мониторинга в случае обнаружения структурного сдвига. Ситуационный мониторинг поддерживает обнаружение и идентификацию событий и системообразующих факторов, влияющих на динамику наблюдаемого процесса и формирование сигналов о состоянии текущей ситуации. Формирование сигналов осуществляется на основе переработки экспертной информации о потенциально значимых событиях и факторах посредством построения сценариев развития ситуации с оценкой значимости воздействий этих событий на наблюдаемый процесс.

Цифровой мониторинг обнаруживает структурные сдвиги следующего вида: изменение тренда, изменение уровня, изменение дисперсии. Применяемые методы цифрового мониторинга основаны на алгоритмах последовательного анализа [3, 4], адаптированных для мониторинга нестационарных процессов [5].

Сигналы от систем ситуационного и цифрового мониторинга поступают в супервайзер для управления информационным обменом между системами мониторинга, агрегирования и передачи сформированных сигналов в систему решения целевых задач, связанных с анализом и прогнозированием состояния наблюдаемого процесса.

- 2. Для реализации ситуационного мониторинга разработан алгоритм формирования сигналов о состоянии внешней среды, формируемых в результате анализа значимых событий и моделирования сценариев развития ситуации с использованием нечеткой когнитивной карты (НКК) ситуации (fuzzy cognitive map) модели представления причинно-следственных влияний между значимыми системообразующими факторами, характеризующими процессы на товарных рынках и процессы макро- и бизнес-среды, влияющие на динамку товарных рынков, и методов анализа и моделирования на ее основе [6, 7].
- 3. Разработан алгоритм цифрового мониторинга групп временных рядов, каждая из которых описывает различные аспекты развития ситуации. Алгоритм мониторинга представляет собой ансамбль алгоритмов последовательного анализа, настроенных на обнаружение изменений следующего типа: изменение направления тренда, изменение дисперсии процесса, изменение уровня процесса.

Укрупненная схема управления процессом обнаружения, идентификации и оценки изменений наблюдаемого процесса в режимах ситуационного и цифрового мониторинга представлена на рисунке. В верхней части рисунка показан процесс формирования и структурирования информации, необходимой для комбинированного мониторинга.

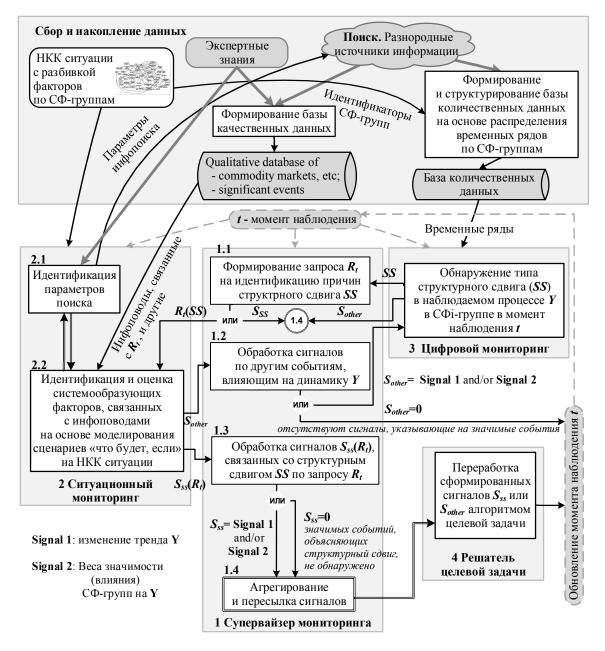
На основе сбора, структуризации и формализации экспертно-аналитической информации из базы качественных данных строится формализованное описание текущей ситуации, связанной с воздействием факторов внешней среды на динамику наблюдаемого процесса, в виде НКК ситуации. В основе НКК лежит граф, вершины которого представляют системообразующие факторы, влияющие на наблюдаемый процесс; ребра — прямые причинно-следственные влияния одних факторов на другие, при этом вес  $w_{ij}$ , приписанный каждому ребру между парой факторов  $x_i \xrightarrow{w_{ij}} x_i$ , характеризуют степень уверенности экспертов в том, что причиной

факторов  $x_i \longrightarrow x_j$ , характеризуют степень уверенности экспертов в том, что причинои изменения фактора  $x_i$  является изменение фактора  $x_i$ . По результатам структурного анализа НКК ситуации все системообразующие факторы разбиваются на группы (СФ-группы), характеризующие те или иные аспекты ситуации (конъюнктуру рынков, значимые финансово-экономические показатели макроэкономики, факторы влияния государственных регуляторов и т. п.), и каждой СФ-группе присваивается вес влияния группы на наблюдаемый процесс.

Формирование СФ-групп направлено на расширение информационного пространства поиска количественных данных для пополнения количественной базы данных и ее структурирование путем распределения рядов по сформированным СФ-группам.

В качественную базу данных поступают сведения о структуре взаимодействий между группами товаров, об экспертно значимых событиях и факторах, влияющих на процессы изменения цен на товарных рынках. Количественная база данных включает временные ряды цен, структурированные по СФ-группам.

Комбинированный мониторинг реализует следующие функции: выявление структурных сдвигов – изменений свойств временных рядов, описывающих динамику процесса (блок 3 на рисунке); обнаружение и идентификация изменений состояния макро- и бизнес-среды (блок 2 на рисунке).



Укрупненная схема управления процессом обнаружения, идентификации и оценки изменений наблюдаемого процесса в режимах ситуационного и цифрового мониторинга

Супервайзер мониторинга (Блок 1) предназначен для обработки результатов комбинированного мониторинга, их подтверждения и передачи ответов в целевой блок решения задач (оценка текущей ситуации, выявление причинно-следственных связей между группами параметров, прогнозирование на различных временных горизонтах и др., Блок 4).

Ситуационный мониторинг (Блок 2) отслеживает значимые события, которые могут повлиять на динамику наблюдаемого процесса, для которого решается определенная целевая задача (прогнозирование целевого показателя, анализ динамики взаимосвязей, сравнительный анализ деятельности СФ-групп и др.). По результатам анализа значимых событий Блок 2 формирует и передает супервайзеру следующие сигналы:  $Signal\ 1$  — изменение тренда,  $Signal\ 2$  — веса значимости СФ-групп или 0 (нет сигнала) ( $S_{other}=Signal\ 1$  and\or  $Signal\ 2$  or 0).

Блок 3 формирует сигнал следующей структуры: {тип изменения: уровень, тренд, дисперсия, нарушение коинтеграции, нарушение причинности по Грейнджеру}; {направление изменения: увеличение, уменьшение, нарушение, внешний вид}; {значение параметра после обнаруженного изменения}; {название серии или группы серий, СФ-групп, к которым они

относятся}. Блок 3 передает эту информацию супервайзеру, который может сравнить ее с информацией блока ситуационного мониторинга и подтвердить, опровергнуть, запросить дополнительную информацию у одной из систем мониторинга или не предпринимать никаких действий. После обработки супервайзер отправляет сигналы в Блок 4.

Когда алгоритм обнаруживает структурный сдвиг в некоторый момент времени t, он посылает из Блока 3 цифрового контроля супервайзеру сигнал  $R_t(SS)$ , содержащий информацию о виде сдвига и его параметрах, идентификатор серии или группа серий и идентификатор СФгрупп, которым принадлежат эти серии. Если в Блоке 2 ситуационного мониторинга алгоритм обнаружил потенциально значимое событие Inf, являющееся причиной структурного сдвига, и сигнал  $S_{SS} = Signal\ 1$  and\or  $Signal\ 2$ , обусловленный Inf, супервайзер отправляет информацию об обнаруженном структурном сдвиге в Блок 4 для обработки алгоритмом решения целевой задачи. Если событие не обнаружено, то супервайзер отправляет сигнал  $S_{SS} = 0$  и информацию о SS в Блок 4.

Работоспособность комбинированного мониторинга проверена с использованием информации о событиях внешней среды и значений временных рядов (1) цен товарного рынка металлопродукции и сырья и (2) значимых для этой сферы финансово-экономических показателей макроэкономики с января 2016 года по декабрь 2018 года в контексте решения задачи формирования помесячного прогноза цен на черный лом на 2019 г. Проведенный эксперимент показал, что погрешность прогноза снижается в несколько раз (в сравнении с «наивным» прогнозом) за счет структурирования ситуации, формирования прогнозов с использованием ансамблей моделей, корректировки ситуации на горизонте прогноза по результатам ситуационного мониторинга и цифрового мониторинга.

**Заключение.** В докладе представлена модель комбинированного мониторинга, которая расширяет возможности цифрового мониторинга за счет предоставления ему дополнительной информации. Алгоритм интегрального мониторинга включает:

- алгоритмы цифрового мониторинга для выявления структурных сдвигов, использующие помимо наблюдений цифровых индикаторов сигналы ситуационного мониторинга;
- ситуационный мониторинг наблюдаемых процессов во взаимодействии с внешней средой, проводимый на основе обработки экспертных знаний, отслеживания информации из разнородных источников о потенциально значимых событиях внешней среды, сценарного анализа и моделирования ситуации с целью оценки ожидаемых последствий этих событий (возникновение структурных сдвигов) на динамику наблюдаемого процесса.

Эксперимент подтверждает, что комбинированный мониторинг повышает качество обнаружения структурных сдвигов цифровым мониторингом за счет информации, предоставляемой ситуационным мониторингом, помогает выявить причины их возникновения и учесть эту информацию при формировании прогноза с целью повышения его точности.

Предложенную модель комбинированного мониторинга мы рассматриваем как основу для дальнейшей разработки технологии мониторинга в составе систем анализа и прогнозирования развития динамических систем в ситуациях неопределенности и нестабильности.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Filimonov V., Bicchetti D., Maystre N., Sornette D**. Quantification of the high level of endogeneity and of structural regime shifts in commodity markets. *Journal of International Money and finance*. 2014. Vol. 42. P. 174-192.
- 2. **Zhang D., Broadstock D.C**. Global financial crisis and rising connectedness in the international commodity markets. *International Review of Financial Analysis.* 2020. Vol. 68. 101239. https://doi.org/10.1016/j.irfa.2018.08.003.
- 3. Wald A. Sequential Analysis. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1947.
- 4. Page E.S. Continuous inspection schemes. *Biometrika*. 1954. Vol. 41. №1-2. P. 100-115.
- 5. **Grebenyuk E.A.** Monitoring and identification of structural shifts in processes with a unit root. In: 13th International Conference Management of large-scale system development. 2020. https://doi.org/10.1109/MLSD49919.2020.9247829
- 6. **Авдеева З.К., Коврига С.В**. Подход к постановке задач управления на когнитивной модели ситуации для стратегического мониторинга. *Управление большими системами*. 2016. № 59. С. 120-146.
- 7. **Avdeeva Z., Grebenyuk E., Kovriga S**. The Technology of the Strategic Goal-Setting and Monitoring of a Manufacturing System Development on the Basis of Cognitive Mapping. Chapter 3 in Manufacturing Systems: Recent Progress and Future Directions, edited by M.A. Mellal., New York: Nova Science Publishers. 2020.

## Z.K.Avdeeva, E.A.Grebenyuk, S.V.Kovriga (V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow). Combined monitoring of heterogeneous information for forecasting of the non-stationary process dynamics

A model of combined monitoring is proposed for revealing structural shifts in non-stationary processes. The model includes monitoring of time series describing the dynamics of such processes, situation monitoring of the external environment that affects these processes, a supervisor for information exchange of two types of monitoring. An experiment based on the data of the market of metal products and raw materials for 2016–2019 confirmed that combined monitoring improves the quality of detection of structural shifts by digital monitoring at the expense of information from situation monitoring, and helps to identify the causes of their occurrence.

А. С. СМИРНОВ, П. А. ХАРИНСКИЙ, И. А. КАЧАНОВ (АО «Силовые машины», Санкт-Петербург)

## РАСЧЕТ ТРУДОЕМКОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ НА БАЗЕ ЕЁ 3D-МОДЕЛИ

Рассматривается новый подход к автоматическому построению технологического процесса и расчету трудоемкости изготовления детали на основании её геометрии. Трехмерная модель детали представляет собой текстовый файл в формате STEP, который обрабатывается с помощью пакета Python. На выходе имеем последовательность технологических операций с их длительностью.

### 1. Введение

## 1.1. Определение сути проблемы

В современном мире производство должно быть более гибким, то есть мелкосерийным. Для удовлетворения запросов потребителей производству необходимо в сжатые сроки проводить технологическую подготовку производства для небольших партий деталей. Чтобы определить себестоимость изделия, необходимо рассчитать трудоемкость изготовления отдельных изделий.

## 1.2 Актуальность проблемы

Проблематика такого расчета заключается в том, что, во-первых, для того рассчитать трудоемкость изготовления уходит от 5 дней до 30 дней, в зависимости от загруженности технологического отдела на производстве. Во-вторых, чаще нормировщики используют метод расчета по аналогии, а это  $\pm$  30 % от реальной трудоемкости. Расчетно-аналитический метод, основанный на данных реального техпроцесса, практически не используют.

## 2. Представление приложения

Наша команда разработала продукт PowerTool, который направлен на решение проблемы неточного и медленного расчета себестоимости изделия. В PowerTool заложен расчетно-аналитический метод на базе 3D-модели детали.

## 2.1. Принцип работы приложения:

- 2.1.1. загрузка 3D-модели изготовляемой детали, при наличии загрузка заготовки;
- 2.1.2. ввод необходимых параметров, таких как материал заготовки, сортамент заготовки или 3D-модели заготовки (рис. 1) [7], [8];
- 2.1.3. из 3D моделей вычленяются соответствующие конструктивные элементы и определяются фактические припуски по каждому из конструктивных элементов (рис. 2);
- 2.1.4. затем для каждого конструктивного элемента в соответствии с заданными требованиями точности строится план обработки, и фактический припуск распределяется по отдельным переходам [9];
- 2.1.5. затем производится расчет трудоемкости по каждому переходу. Данные по трудоемкости отдельных переходов суммируются по соответствующим видам операций [3–6].

## 2.2. Графический анализатор продукта PowerTool

2.2.1 Графическое ядро для анализа геометрии детали написано на языке Python с помощью пакета pythonocc. Строится базовый класс, в котором аккумулируется вся информация о модели (поверхности, контура, ребра, вершины). Например, код для определения того, что деталь надлежит обрабатывать на токарном станке (деталь имеет преимущественно цилиндрическую форму), выглядит так:

```
area4 = sum([face["sp_m"] for face in self.lst_parameters_face
    if face["type"] == 0
    and face.get("is_plane_for_turning", 0) == 1])
area = max(area, area2)
area_plan = area3 + area4
print(f"area2={area2}, area3={area3}, area4={area4}")
print("area >= (self.area ", self.max_radius,
    self.global height, self.dir max radius,
    self.global_direct, "area=", area ,
    area2, area_plan )
return (area >= (area_plan - self.eps)) and (area2 > self.eps)
```

Как видим, задача решается при помощи простой функции без каких-либо признаков нейросетей.

2.2.2. Проводится группировка всех поверхностей детали в конструктивные элементы, такие, как торец, канавка, глухое отверстие, сквозное отверстие и т. д. Далее эта информация передается в модуль Cost Estimation, где по найденным параметрам конструктивных элементов определяются технологические операции и нормы времени выполнения данных операций.

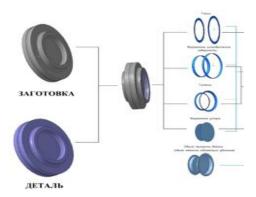


Рис. 1. Парсинг детали в виде 3D – модели.

## 2.3. Модуль PowerTool Cost Estimation

- 2.3.1. После прочтения поверхности и конструктивного элемента определяем вид обработки [9].
- 2.3.2. Определяем инструмент, подходящий для выполнения определенного технологического перехода [9].

Этап №1 (поиск формы пластины)

Обозначение КЭ	Вид обработки	Обозначение формы пластины
Торец	Точение чистовое	C; D; V
Торец	Точение получистовое	S; C
Торец	Точение черновое	S; C
Уступ наружный	Точение чистовое	C; D; V
Уступ наружный	Точение получистовое	S; C
Уступ наружный	Точение черновое	S; C
Цилиндрическая наружная поверхность	Точение чистовое	C; D; V
Цилиндрическая наружная поверхность	Точение получистовое	S; C
Цилиндрическая наружная поверхность	Точение черновое	S; C

Этап №2 (поиск длины режущей кромки)

Форма пластины	Максимальная глубина резания, мм	
V	0,25L	
D	0,25L	
K	0,25L	
S	0,66L	
Н	0,66L	

Этап №3 (определение режимов резания для выбранной пластины)

2.3.3. Получив данные по рекомендуемым режимам резания, переходим в базу данных алгоритмов для расчета норм времени выполнения обработки детали, по формулам ниже (определение основного времени для токарной операции) [1–6].

L = l + y, длина пути, пройденная инструментом в направлении подачи;

 $\Pi = \frac{(D-d)}{2}$ , поиск припуска детали;

 $n=rac{1000 imes V}{\pi imes D}$ , частота вращения детали на операции токарной обработки;

 $T_o = \frac{L \times i}{n \times S}$ , основное (технологическое) время операции;

 $T_{\text{всп}} = T_{\text{пер}} + T_{\text{контр}} + T_{\text{уст}}$ , определяем вспомогательное время, путём сложения времени, затрачиваемого на установку заготовки, времени перехода и на контрольное измерение;

 $T_{\text{доп}} = (T_o + T_{\text{всп}}) \times 0.1$ , определение вспомогательного времени на обслуживание рабочего места;

 $T_{
m mr} = T_o + T_{
m BCR} + T_{
m доп},$  определяем штучное время — продолжительность выполнения технологической операции, не учитывающее время на подготовку исполнителя.

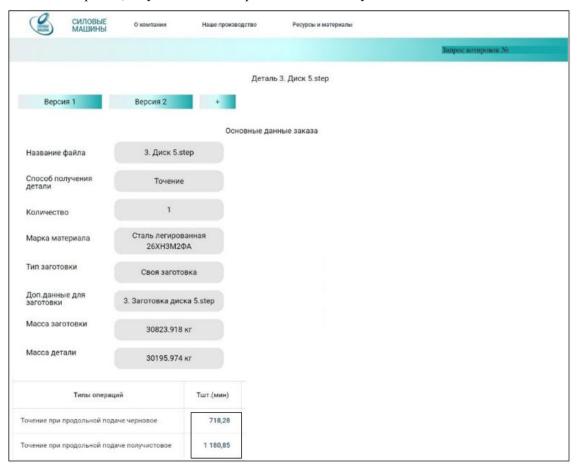


Рис. 2. Результаты работы приложения

## 3. Основные результаты работы

### 3.1. Результатом продукта является:

- автоматически рассчитанная трудоемкость изготовления, что в разы быстрее, чем это будет делать человек (все действие занимает около 1 минуты);
- более корректные данные по трудоемкости.

## 3.2. Описание экспериментов

На предприятие ООО «Силовые Машины» была выделена специальная группа технологов для анализа и проверки корректности работы приложения PowerTool. В ходе экспериментов было подтверждено уменьшение количества человеко-часов, необходимых для формирования технологического процесса, в 5–10 раз.

## 3.3. Перспективы развития PowerTool:

- 1. подбор оборудования для определенного технологического перехода;
- 2. возможность автоматического поиска кооператора для изготовления изделия;
- 3. возможность автоматического формирования технологического процесса в среде Siemens Teamcenter (ведутся работы).

### Вывол

Разработанный нами программный продукт может использоваться как технологами, в качестве «помощника» технолога, так и менеджерами закупок и сбыта для самостоятельного определения трудозатрат на базе имеющейся 3D модели. Основными эффектами от применения программного продукта являются:

- Сокращение трудоёмкости и сроков технологической подготовки производства.
- Расчёт трудоемкости изготовления без привлечения технических служб.
- Снижение влияния «человеческого фактора» при технологической подготовке производства.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. L.M. Modelling. *Science*. 1998. Vol. 2. № 3. P. 13–17.
- 2. Абразивная и алмазная обработка материалов: справочник / Под ред. А.Н. Резникова. М.: Машиностроение, 1977 320 с
- 3. Абразивные материалы и инструменты: каталог-справочник / Под ред. В.А. Рыбакова. М.: НИИМаш, 1976. 242 с.
- 4. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках: Справочник: В 3-х частях: Ч.1. Токарные, карусельные, токарно-револьверные, алмазно-расточные, сверлильные, строгальные, долбёжные и фрезерные станки. М.: Машиностроение; 1974. 325 с.
- 5. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного, обслуживания рабочего места и подготовительно-заключительного на работы, выполняемые на металлорежущих станках. Среднесерийное и крупносерийное производство. М.: НИИТруда, 1984. 382 с.
- 6. Общемашиностроительные нормативы режимов резания: Справочник: В 2- х т. / А.Д. Локтев, И.Ф. Гущин, В.А. Батуев и др. М.: Машиностроение, 1991. Т.1. 640 с.
- 7. Общемашиностроительные нормативы режимов резания: Справочник: В 2- х т. / А.Д. Локтев, И.Ф. Гущин, В.А. Батуев и др. М.: Машиностроение, 1991. Т.2. 304 с.
- 8. Технология машиностроения. Проектирование поковок-заготовок машиностроительных деталей: метод. указания к самостоят. работе студентов / сост. Э.И. Комарова; Владим. политехн. ин-т. Владимир, 1992. 40 с.
- 9. Технология машиностроения. Выбор литых заготовок машиностроительных деталей: метод. указания к курсовому и дипломному проектированию / сост. Э. И. Комарова; Владим. политехн. ин-т. Владимир, 1991. 28 с.
- 10. Справочник технолога-машиностроителя. в 2 т. Т. 1 / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мищерякова. 4-е изд. М.: Машиностроение, 1985. 656 с.

A.S.Smirnov, P.A.Kharinskii, I.A.Kachanov (JSC Power Machines, St. Petersburg). Calculation of the labor intensity of parts manufacturing based on their 3D model

A new approach to the automatic construction of a technological process and calculation of the labor intensity of parts manufacturing based on parts geometry. 3D model is considered as text file in STEP format which is processed using the Python package. The result is a sequence of technological operations with their timing.

### Ф. В. ЛОГИНОВ

(Московский физико-технический институт (Государственный университет), Москва)

## АГЕНТНАЯ МОДЕЛЬ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КУЛЬТУРНЫХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ

В работе описывается имитационная агентная модель межкультурных взаимодействий в стране, население которой принадлежит к разным культурам. В модели пространство культур представляется как гильбертово пространство, в котором различным культурам соответствуют определенные подпространства, что позволяет описывать состояние агентов вектором в гильбертовом пространстве. Считается, что каждый агент описывается принадлежностью к определенной «культуре». Численности агентов, принадлежащие определенным культурам, определяются демографическими процессами, которые соответствуют данным культурам, глубиной и целостностью образовательного процесса, а также интенсивностями межкультурных контактов. Взаимодействие между агентами происходит внутри кластеров, на которые по определенным критериям разбивается все множество агентов, что позволяет формировать межкультурные кластеры, в которых присутствуют агенты разных культур. Такие межкультурные кластеры порождают неопределенности в культурной динамике. В работе приводятся результаты имитационных экспериментов, которые иллюстрируют влияние демографических и образовательных процессов на динамику межкультурных кластеров.

**Введение.** Одной из проблем, с которой сталкивается современная цивилизация, является стремительно возрастающие миграционные процессы, которые значительно изменяют «культурные ландшафты» регионов, порождая в ряде случаев проблемы межкультурных взаимодействий.

В работе предложена формальная математическая схема агентной имитационной модели межкультурных взаимодействий, в которой сделана попытка получения оценки динамики изменения «культурного ландшафта» с учетом демографических характеристик, особенностей взаимодействия между разными культурами, глубиной культурной памяти, а также интенсивностью взаимодействия между агентами [1].

**Векторная модель ассимиляционной динамики кластерного типа.** Введем в рассмотрение множество P — множество всех возможных культурных символов — объектов. Рассмотрим произвольный набор элементов данного множества:  $p_i \in P$ . Назовем такой набор агентом.

Далее введем бесконечномерное векторное действительное пространство H, снабженное базисом, и будем считать, что существует отображение взаимно однозначно отображающее каждый набор  $p_i$  в элемент пространства H. Каждый элемент пространства  $x_i \in H$  будем называть куль-

турным состоянием *i*-го агента в пространстве H. Тогда пространство H можно назвать пространством всех культурных состояний агентов или просто — культурным пространством. Введем понятие базы j-ой культуры. Базой культуры назовем пару  $(h_i, \phi_i)$ , где  $h_i \in H$  и  $\phi_i \in R$ .

Определим  $h_i$  как вектор из пространства H. Определим  $\phi_i$  как критический угол для культуры

j, то есть максимально возможный угол между вектором  $h_j$  и вектором культурного состояния агента. База культуры позволяет ввести в рассмотрение конус культуры, где осью конуса является  $h_j$ , а критический угол  $\phi_j$  – это угол между осью конуса и образующей конуса. Такой конус

 $Y_j$  назовем конусом культуры j. Введем в рассмотрение конечномерное пространство  $H_0 = R^N$ , которое является подпространством H. Тогда, согласно теореме о проекции [2] для любого  $x \in H$  существует единственная проекция на  $H_0$ . Назовем  $H_0$  пространством общих символов-

объектов. Ортогональное дополнение к  $H_0$  обозначим как  $H^+$ , и назовем пространством всех уникальных символов-объектов, присущим различным культурам. Обозначим оператор проекции пространства H на  $H_0$  как  $\pi(): H \to H_0$ , тогда  $x_i^+ + \pi(x_i) = x_i$ . Для дальнейшего построе-

ния проекции из бесконечномерного пространства в конечномерное, определим алгоритм кластеризации агентов в пространстве  $H_0$ . Пусть  $X(x_i, r)$  – кластер агентов в конусе с осью  $x_i$  и

углом r. Назовем угол  $r \in R$  критическим. Под операцией замыкания будем понимать добавление новых агентов к кластеру, если угол к ближайшему агенту из кластера меньше чем критический. Под мерой близости подразумевается  $\rho(a,b) = \arccos((a,b))$  – угловая метрика [3]

между проекциями состояний агентов на  $H_0$ . Будем проводить операцию замыкания до тех пор, пока существуют такие агенты, что их расстояние до кластера меньше чем критический угол кластера. Таким образом, можно представить всех агентов как непересекающийся набор кластеров. Введем дискретное равномерное распределение, где для каждой размерности будет соответствовать вероятность ее выбора равная  $\frac{1}{m}$ , где  $m \in N$  — заранее выбранное число. С

помощью этого распределения будем строить проекции состояние агента из  $H^{^+}$  на конечномерное пространство. Рассмотрим объединенное из проекции на  $H_0$  и проекции из  $H^{^+}$  состояние агента  $x_i^{\ t}$  в момент времени t. Введем для него правило взаимодействия внутри кластеров:

$$x_{j,i}^{t+1} = x_{j,i}^{t} + \cos\left(\phi_{k_{j,i}} + \rho(x_{i,j}^{t}, x_{j,i}^{t})(x_{i,j}^{t} - x_{j,i}^{t})\right), \tag{1}$$

где  $x_i^{\ t}$  – культурное состояние -го агента в момент времени  $t, \phi_{k_i}$  – критический угол для конуса культуры  $Y_{k_i}$ , к который принадлежит агент i.

Процесс рождения агентов моделируется следующим образом. Все агенты внутри кластеров разбиваются по парам, в каждой из которых рождается новый агент с культурным состоянием равным среднему по паре. Всего за одну итерацию появляется  $NW_k = \xi_k \alpha N_k$  новых агентов, где k – культура,  $N_k$  – численность k-ой культуры,  $\xi_k$  – плодовитость k-ой культуры, который описывает скорость появления новых агентов и  $\alpha$  – параметр рождаемости – макро характеристика всей популяции. В течение процесса смертности на каждом временном такте из всех агентов, с помощью дискретного равномерного распределения выбирается доля агентов, равная  $\beta$  – параметр смертности. Полученное число  $ND = \beta N$  агентов удаляется из модели, где N – общая численность агентов. Опишем образовательный процесс. В процессе образования происходит приближение культурного состояния к некоторой окрестности, в которой появился новый агент. В текущей реализации глубина памяти составляет один такт. Все агенты, появившиеся на данном такте, изменяют свои культурные состояния на культурные состояния, отличные от исходных на фиксированный угол  $\zeta_k$ , для k-ой культуры. При этом направление изменения культурного состояния агента происходит в сторону центра кластера, в котором появился агент.

**Имитационные эксперименты.** Для демонстрации влияния образовательного процесса введем понятие средней вероятности межкультурного кластера. Под средней вероятностью кластера будем понимать отношение числа агентов в межкультурных кластерах к общему числу агентов. В работе представлены два имитационных эксперимента: первый демонстрирует динамику межкультурных взаимодействий для низкого показателя образования  $\zeta_k = 10^{-3}$ ; второй демонстрирует динамику межкультурных взаимодействий для режима переключения показателя образования с  $\zeta_k = 3 \cdot 10^{-3}$  на  $\zeta_k = 0.5$  га 150 такте. На рис. 1 и 2 представлены два графика для двух экспериментов, на которых изображены динамика средней вероятности межкультурных кластеров и динамика общей численности агентов.

На протяжении всего эксперимента вероятность межкультурных кластеров агентов колеблется около значения 0.5, а общая численность агентов сохраняется в диапазоне 590–600 агентов.

С начала эксперимента вероятность представляется хаотическим процессом. После переключения на высокий показатель образования — падает. Общая численность агентов сохраняется в диапазоне 590–600 агентов.

Сравнивая результаты экспериментов можно видеть, что образование является одним из главных факторов, влияющих на формирование культурных неопределенностей.

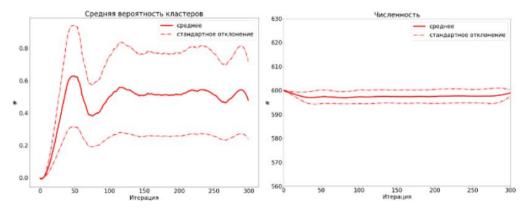


Рис. 1. Эксперимент с низким показателем образования

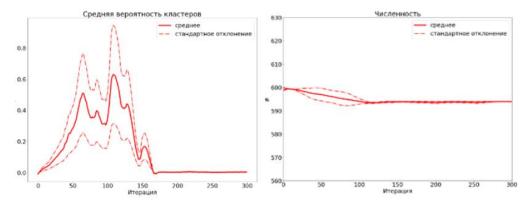


Рис. 2. Эксперимент с режимом переключения показателя образования

Заключение. Предложенный математический формализм позволил по-новому взглянуть на проблему описания взаимодействия культур. Представленная выше модель показывает, что предложенный подход к описанию межкультурного взаимодействия агентов позволяет анализировать влияние процессов образования и глубины культурной памяти на процессы возрастания культурной неопределенности. Автор надеется, что данная работа продемонстрирует возможность до некоторой степени формализации такого сложного процесса как культурное взаимодействие.

### ЛИТЕРАТУРА

- Loginov F, Belotelov N. Agent-Based Approach of Cross-Cultural Interactions in Hilbert Space, Lecture Notes in Networks and Systems, 2021. Vol. 358. P 252–263.
- 2. **Гилбарг Д., Трудингер М**. Эллиптические дифференциальные уравнения с частными производными второго порядка: Наука, 1989, стр. 83 теорема 5.6
- 3. **Burago D., Burago Y., Ivanov S**. A Course in Metric Geometry, American Mathematical Society Providence, 2001, Example 1.2.25

## F.V.Loginov (Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow). Agent model of intercultural interactions - the emergence of cultural uncertainties

The paper describes a simulation agent model of intercultural interactions in a country whose population belongs to different cultures. In the model, the space of cultures is represented as a Hilbert space, in which certain subspaces correspond to different cultures, which makes it possible to describe the state of agents by a vector in the Hilbert space. The number of agents belonging to certain cultures is determined by the demographic processes that correspond to these cultures, the depth and integrity of the educational process, as well as the intensity of intercultural contacts. Interaction between agents occurs within clusters, into which, according to certain criteria, the entire set of agents is divided, which makes it possible to form intercultural clusters – clusters in which there are agents of different cultures. Such intercultural clusters generate uncertainties in cultural dynamics. The paper presents the results of simulation experiments that illustrate the impact of demographic and educational processes on the dynamics of intercultural clusters.

А. Д. ФАТИН, Е. Ю. ПАВЛЕНКО, И. С. ЕРЕМЕНКО (Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург)

## МЕТОДЫ ГРАФОВОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ В ЗАДАЧАХ ИММУНИЗАЦИИ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В рамках доклада представлены подробный разбор и анализ пяти наиболее перспективных алгоритмов кластеризации графов в контексте задач иммунизации, адаптации и детектирования скрытых связей в киберфизических системах. Приведенные особенности и способы реализации рассматриваемых методов в дальнейшем позволяют провести численный анализ и сравнение эффективности существующих методов и, с учетом полученной информации, синтез нового метода, базирующегося на особенностях и преимуществах проанализированных методов.

**Введение.** В настоящее время задача кластеризации сетей является одной из основополагающих при решении вопросов иммунизации киберфизических систем, детектирования ботнетов и скрытых кластеров, а также при решении задач адаптивности, отказоустойчивости, надежности и так далее [1–3].

В задачах иммунизации киберфизических систем алгоритмы кластеризации применяются обычно для первичного разделения зараженных узлов на группы согласно их приоритету. Альтернативным вариантом применения алгоритмов кластеризации является изоляция зараженных узлов путем выделения новых кластеров, включающих в себя как зараженные, так и потенциально зараженные узлы, с последующей изоляцией всего кластера.

Касаемо задач детектирования ботнетов и скрытых кластеров, алгоритмы кластеризации используются при решении задачи нахождения скрытых связей между узлами, которые удается установить путем неявной кластеризации графа социальных связей или графа сетевых запросов, а также анализа сетевой нагрузки уже выделенных графов.

Говоря о задачах адаптивности, отказоустойчивости, надежного функционирования киберфизических систем, обычно рассматривают классическую кластеризацию системы на зоны ответственности или на зоны потенциальной надежности, то есть на так называемые «точки возможного отказа».

Под кластеризацией, согласно [4], понимается классификация или ряд моделей разделения вершин и/или ребер графа по ряду признаков и/или свойств на определенные группы, называемые кластерами.

Хотя задача эффективной кластеризации графов на данный момент является открытой, существует достаточное множество алгоритмов, потенциально являющихся лидерами в своих направлениях.

Предлагаемый доклад посвящен анализу, обобщению и систематизации существующей и актуальной на данный момент информации о методах кластеризации компьютерных сетей в задачах иммунизации, детектирования скрытых кластеров, адаптивности, отказоустойчивости и надежности, а также созданию теоретического базиса для последующей реализации собственных численных тестов и синтезу нового метода кластеризации графов в задачах иммунизации киберфизических систем.

**Обоснование выбора рассматриваемых методов кластеризации.** Среди исследованных алгоритмов кластеризации наибольший интерес представляют следующие:

- 1. Алгоритм кластеризации распределенной сети.
- 2. Алгоритм быстрого обнаружения центральных узлов.
- 3. Алгоритм обнаружения латентных состояний сети.
- 4. Алгоритм вариационного обучения с совместным встраиванием.
- 5. Тензорное разложение для кластеризации многослойных сетей.

Выбор данных алгоритмов и методов кластеризации графов обусловлен их широкой применимостью в ряде рассматриваемых задач (иммунизация киберфизических систем, детектирование скрытых связей, адаптивный анализ, анализ устойчивости и надежности), а также наибольшей

эффективностью по сходимости, скорости численного моделирования, точности и корректности кластеризации, а также рядом прочих уникальных параметров, рассматриваемых далее.

**Алгоритм кластеризации распределенной сети.** Алгоритм кластеризации распределенной сети ANCA [5] наиболее интересен следующим рядом преимуществ:

- 1. Более низкая энтропия по сравнению с SA-Cluster [6].
- 2. Не требует изменения структуры графа.
- 3. Работа на неориентированном, взвешенном или невзвешенном графе.

Описанные выше преимущества алгоритма достигаются за счет объединения топологической структуры и информации об атрибутах графа, а именно за счет отказа от изменения топологии в пользу добавления семян (наборов вершин), которые используются для описания характеристик каждой вершины графа. В конечном итоге, опираясь на набор дополнительных атрибутов в виде семян, проводится разбиение вершин графа на кластеры с использованием метода k-means [7].

**Алгоритм быстрого обнаружения центральных узлов.** Алгоритм кластеризации сети, основанный на быстром обнаружении центрального узла или же Graph clustering algorithm based on fast detection of central node (CFCN) [8], решает следующий ряд задач, которые редко можно встретить в иных алгоритмах сразу всем набором, а именно:

- 1. Вопрос об определении центра кластеризации.
- 2. Вопрос о стратегии кластеризации нецентральных узлов.
- 3. Вопрос определения расстояния и плотности узла.

К дополнительным преимуществам рассматриваемого алгоритма можно отнести следующие моменты:

- 1. Самостоятельное определение количества кластеров в сети.
- 2. Зависимость количества кластеров только от топологии сети.
- 3. Высокая скорость нахождения центра кластеризации.

Принцип работы алгоритма сводится к разделению графа на непересекающиеся подграфы с плотными краевыми связями внутри и разреженными краевыми связями между собой. В каждом из выделенных подграфов определяется центр кластера, по отношению к каждому из которых далее разделяются некластерные центральные узлы, создавая конечные кластеры.

Алгоритм обнаружения латентных состояний сети. Алгоритм кластеризации сети для обнаружения латентных состояний и точек изменения или же alternating direction method of multipliers (ADMM) [9] сводится к расширению системы выпуклой кластеризации на данные о нескольких сетях, использованию нормы матрицы Шаттена в штрафе слияния для корректировки межкластерной изменчивости, а также к использованию преимуществ сильной сходимости алгоритма.

Таким образом, реализуя описанный выше подход, удается добиться следующих результатов преимуществ:

- 1. Объединение краевой и спектральной информации и, как результат, повышенная устойчивость к наличию шумов.
- 2. Отсутствие необходимости в выборе заранее заданного количества кластеров.
- 3. Полное отсутствие генеративной модели для графа и, как результат, отказ от суммарной статистики.
- 4. Возможность работать как с направленными, так и ненаправленными графами.
- 5. Возможность контроля характера различий между центроидами кластеров.
- 6. Возможность работы с несколькими сетями: определения точек изменения или обнаружения скрытых временных состояний графов.

**Алгоритм вариационного обучения с совместным встраиванием.** В работе [10] рассматривается вариационная модель обучения с совместной сверткой для кластеризации приписанных сетей (VCLANC). Принцип работы метода сводится к использованию двойных вариационных автокодировщиков для последующего одновременного встраивания узлов и атрибутов в

единое латентное пространство и последующее восстановление взаимного родства между узлами и атрибутами.

В качестве преимуществ использования данного метода следует выделить следующие особенности:

- 1. Превосходство по эффективности решения задач кластеризации над алгоритмами SDCN [11], NEC [12] и CAN [13].
- 2. Превосходство над SDCN по скорости решения задачи кластеризации.
- 3. Объединение сети и атрибутов в едином семантическом пространстве возможность использования родства узлов и атрибутов.

**Тензорное разложение для кластеризации многослойных сетей.** Метод кластеризации многослойных сетей на основе центроиды (CMNC) [14], использующий мультилинейное разложение по рангам, позволяет рассмотреть задачу кластеризации с иной стороны, а именно предоставляет возможность разделить нерелевантные связи на группы сетей и одновременно выявить кластерную структуру в каждой из рассматриваемых групп.

Принцип работы данного метода сводится к анализу тензора третьего порядка как суммы низких мультилинейных ранговых членов, каждый из которых может быть записан как внешнее произведение матрицы ранга и вектора.

Данный подход позволяет достичь следующих преимуществ в сравнении с другими методами кластеризации, а именно:

- 1. Отказ от использования гиперпараметров возможность реализации обучения без наблюдения.
- 2. Возможность ускорения задачи оптимизации за счет использования нелинейной системы наименьших квадратов (NLS).
- 3. Превышение эффективности классических алгоритмов (SymNMF [15], SC [16], CTSC [17], PairCRSC [18], CentCRSC [18] и NONCLUS [19]) за счет использования взаимодополняющих сетей.
- 4. Весьма высокая устойчивость к шуму и нерелевантным данным.
- 5. Возможность разделения шума на группы других сетей и использование полученных сетей для корректировки изначально полученных данных.
- 6. Учет предварительно известных данных и дополнительных параметров анализируемых графов.

**Заключение.** В работе были рассмотрены и проанализированы 5 наиболее актуальных методов кластеризации компьютерных сетей; были найдены преимущества и недостатки алгоритмов, выявлены их области применения.

Основная цель настоящего исследования заключалась в изучении, классификации и сравнении методов кластеризации компьютерных сетей. Данное исследование позволит упростить дальнейшую работу с данным материалом другим исследователям, а также обеспечит создание теоретико-практического базиса для собственной реализации алгоритма кластеризации компьютерных сетей.

В качестве дальнейшего вектора развития данной темы авторами рассматривается возможность численного сравнения эффективности выбранных методов и алгоритмов на синтетических и реальных данных, а также возможность реализации своего собственного с учетом выявленных преимуществ и способов их достижения в контексте задачи иммунизации киберфизических систем.

Исследование выполнено в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых — кандидатов наук МК-3861.2022.1.6.

### ЛИТЕРАТУРА

- Probabilistic partition of unity networks: clustering based deep approximation / N. Trask et al. 2021, arXiv:2107.03066.
   DOI: 10.48550/arXiv.2107.03066.
- 2. Adaptation of Vehicular Ad hoc Network Clustering Protocol for Smart Transportation / M. Ahmad et al. *Computers, Materials & Continua*. Vol.67. No. 2. 2021. pp.1353-1368. DOI: 10.32604/cmc.2021.014237.

- Adaptive Network Automata Modelling of Complex Networks / A. Muscoloni, U. Michieli, C. V. Cannistraci. Preprints 2020, 2020120808. DOI: 10.20944/preprints202012.0808.v1.
- Кластеризация данных методом растущего нейронного газа / А.В. Чернов и др. Инженерный вестник Дона. 2020. №7. С. 1-17.
- ANCA: Attributed Network Clustering Algorithm / Issam Falih et al. COMPLEX NETWORKS 2017: Complex Networks & Their Applications VI, 2017. pp 241–252.
- 6. Clustering large attributed graphs: An efficient incremental approach. / Zhou Y. et al. *Proceedings of IEEE International Conference on Data Mining* (ICDM), 2010. pp. 689–698. DOI: 10.1109/ICDM.2010.41.
- 7. Some methods for classification and analysis of multivariate observations / MacQueen et al. *Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability*, 1961. Vol. 1. No. 14. pp. 281–297.
- 8. **Ziruo J., Fuqiang Q**. Network Clustering Algorithm Based on Fast Detection of Central Node / Jia Ziruo, Qi Fuqiang. *Scientific Programming*, 2022. pp 1-5. DOI: 10.1155/2022/4905190.
- 9. Network Clustering for Latent State and Changepoint Detection / Madeline Navarro et al. // arXiv CS Social and Information Networks, 2021. DOI: arxiv-2111.01273.
- Variational Co-embedding Learning for Attributed Network Clustering / Shuiqiao Yang et al. // arXiv CS Machine Learning (IF). 2021. DOI: arxiv-2104.07295.
- 11. Structural deep clustering network / D. Bo et al. *Proceedings of The Web Conference 2020*, ser. WWW '20, 2020. pp. 1400–1410.
- 12. Network embedding for community detection in attributed networks / H. Sun et al. *ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data* (TKDD), 2020. Vol. 14, No. 3, pp. 1–25.
- 13. Co-Embedding Attributed Networks / Z. Meng et al. the Twelfth ACM International Conference, 2019. pp. 393–401.
- 14. Tensor Decomposition for Multilayer Networks Clustering / Zitai Chen et al. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 2019. 33(01). pp. 3371-3378. DOI: 10.1609/aaai.v33i01.33013371.
- 15. Symmetric nonnegative matrix factorization for graph clustering/ Kuang D et al. SDM, 2012. pp. 106–117. DOI: 10.1137/1.9781611972825.10.
- 16. **von Luxburg** U. A tutorial on spectral clustering / Ulrike von Luxburg. *Statistics and Computing*, 2007. No. 17(4). pp. 395–416. DOI: 10.48550/arXiv.0711.0189.
- 17. **Abhishek Kumar, Hal Daumé III**. A co-training approach for multi-view spectral clustering. *Proceedings of the 28th International Conference on Machine Learning* (ICML), 2011. pp. 393–400.
- 18. Co-regularized multi-view spectral clustering / Kumar A et al. NIPS'11: Proceedings of the 24th International Conference on Neural Information Processing Systems, 2011. Pp. 1413–1421.
- 19. Flexible and robust multi-network clustering / Ni J. et al. KDD '15: Proceedings of the 21th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 2015. pp. 835–844. DOI: 10.1145/2783258.2783262.

A.D.Fatin, E.Yu.Pavlenko, I.S.Eremenko (Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg). Graph clustering methods in problems of immunization of cyber-physical systems

The paper presents a detailed analysis of the five most promising graph clustering algorithms in the context of immunization, adaptation and detection of hidden links in cyber-physical systems. The above features and ways of implementing the considered methods in the future allow for a numerical analysis and comparison of the effectiveness of existing methods and, taking into account the information received, the synthesis of a new method based on the features and advantages of the analyzed methods.

### А. М. МИНИТАЕВА

(Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва)

# ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ИНТЕРВАЛЬНОГО ЗАДАНИЯ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ЛИЦ, ПРИНИМАЮЩИХ РЕШЕНИЯ

При решении задач принятия решений в условиях наличия неопределенностей необходимо установить уровень анализа и типы рассматриваемых неопределенностей. Выполняя исследования нелинейных нестационарных процессов различной природы, были выявлены наиболее распространенные причины возникновения пропусков во временных рядах данных. В статье представлена общая методика обработки информации при решении задач формирования информационной базы для их исследования, в том числе идентификацию и проработку неопределенностей различных типов при формировании временных рядов входных данных, определены методы и модели для прогнозирования нелинейных нестационарных процессов и пути их реализации в рамках соответствующей информационной базы.

**Введение.** Во введении кратко излагаются: суть проблемы, существующие подходы к ее решению, направление, которому посвящена работа. При этом важно подчеркнуть то новое, что придает ей оригинальность. Введение должно быть согласовано с названием. Его рекомендуется заканчивать фразой, которая поясняет, чему, собственно, посвящен доклад, например: «Предлагаемый доклад посвящен...». Текст доклада должен быть четко структурирован и включать в себя название основной части, заключение, список цитируемых источников.

Необходимо отметить, что в реальных практических задачах принятия решений и системного анализа часто имеются различные виды неопределенностей, которые вместе составляют некоторый комплекс неопределенностей, так называемую системную неопределенность [6]. Например, в задачах прогнозного моделирования целевой переменной с априорно заданным соотношением результатов удаление записей в учебном наборе данных почти всегда приводит к изменению пропорции целевых результатов. Поэтому необходимо после выполнения данной операции повторно формировать обучающую выборку с заданными пропорциями результатов.

Следовательно, в таких задачах исследования развития социальных, экономических, экологических, общественных процессов сталкиваются со следующими неопределенностями [3]:

- информационная неопределенность, заключающаяся в отсутствии, неполноте и неточности информации об определенных характеристиках проектов, о рынках и сферах деятельности, на которые рассчитаны инвестиционные проекты и т. п.;
- неопределенность целей, что обусловлено неясностью определения рациональности способа распределения ресурсов, выбора целей при решении задачи и неопределенностью критериев выбора;
- ситуационная неопределенность: неопределенность природы, которая для задачи распределения инвестиционных ресурсов выражается в неполноте и неточности информации;
- стратегическая неопределенность, выражающаяся в неполноте и неточности информации о целях и намерениях партнеров и конкурентов и т. д.

Очевидно, все процессы, происходящие в социально-экономической, финансовой сфере, экологии, управлении протекают в условиях системной неопределенности, соединяющей все рассмотренные типы неопределенностей.

В настоящее время в теории принятия решений (ТПР) накоплены следующие методы учета неопределенностей при решении задач [9]:

- коррекционный метод;
- анализ чувствительности;
- вероятностный анализ;
- дерево решения;
- методы описания неопределенных и неточных понятий.

Необходимо отметить, что раскрытие неопределенностей является задачей системно согласованного раскрытия разнородных неопределенностей на основе единых принципов, приемов и критериев [2].

Как отмечено выше, большинство проанализированных методов раскрытия и учета неопределенностей в задачах принятия решений имеют существенные специфические недостатки, вследствие чего оценка их результатов ограничена. Необходимо отметить, что на практике в некоторых задачах пытаются пользоваться комбинированным применением нескольких методов, что позволяет получать дополнительные выводы относительно допустимых решений.

Для учета информационной, ситуационной неопределенности, ненадежности ожиданий и стратегической, комбинаторной неопределенности в процессах, протекающих в исследуемых системах, где влияние человеческого фактора достаточно существенно, необходима разработка современных информационных технологий, которые автоматизировали бы процесс формирования вариантов решений, с учетом предположений относительно ожидаемых значений. Выбор в пользу внедрения интеллектуального и вероятностно-статистического анализа данных в информационных системах поддержки принятия решений основывается на том, что такой подход к учету неопределенностей лишен недостатков свойственных другим методам и является пригодным для описания и учета системной неопределенности.

Цель статьи – провести анализ проблемы принятие решений в условиях интервального задания предпочтений лиц, принимающих эти решения.

**Изложение основного материала.** Выполняя исследования нелинейных нестационарных процессов различной природы, были выявлены наиболее распространенные причины возникновения пропусков во временных рядах данных. В проведенных многочисленных экспериментах заполнение пропусков выполнялось во временных рядах социально-экономических и эколого-экономических данных [5]. Временные ряды имели разную длину и разное количество пропусков. В результате была предложена методика, позволяющая прорабатывать временные ряды, пропуски в которых имеют разные механизмы формирования и разное количество пропущенных значений (рисунок).



Методика обработки входной информации на этапе предварительного анализа данных и заполнения пробелов

Как показали выполненные многочисленные эксперименты, при выборе метода заполнения пробелов, нужно определить соответствует ли выбранный метод конкретной аналитической модели изучаемого процесса. Кроме того, заполнение пропусков случайными или детерминированными значениями на основе использования, например аналитической модели или средним по выборке, является искусственным подходом, не позволяющим выявить наличие шума в данных и искажающим представление о характере изучаемого процесса. Поэтому для заполнения пробелов во временных рядах предложено использовать методику на основе аналитической модели, построение и реализация которой осуществляется в два (при необходимости – в

три) этапа. На первом этапе выполняется анализ наличия пропусков в исследуемых временных рядах, на втором — анализ характера возникновения, количества пропусков в данных и выполняется анализ на наличие шаблонов, на третьем — выявление вспомогательных переменных с помощью корреляционного анализа данных и экспертных оценок в области исследования (данный этап выполняется при необходимости). Для определения эффективных методов заполнения пропусков данных выполнен сравнительный анализ существующих методов заполнения пропущенных значений в длинных временных рядах данных и экспериментально проверена эффективность применения различных алгоритмов при разном количестве пропусков.

Для таких бизнес-задач как анализ оттока клиентов, повышение продаж, построение скоринговой карты при кредитовании, разрешаемые методами прогнозного моделирования, наилучшие результаты показали методы заполнения пропусков с использованием прогнозных моделей. Так, при построении скоринговых моделей, сопоставление данных об отклоненных заявках клиентов, на этапе верификации информации и одобрении заявки, с использованием методов нечеткой логики и логистической регрессии для прогнозирования (восстановления) значений отзывов, часто приводит к улучшению качества финальной скоринговой модели. Однако, при обработке эконометрических временных рядов для выявления тренда и сезонности исследуемый временной ряд должен быть достаточно длинным [4].

Восстановление данных позволяет удлинить ряд ретроспективных данных, однако, как показывает практика не для всех методов заполнения пробелов, удлинение ретроспективной выборки приводит к улучшению прогнозных показателей модели. Чаще всего важно наличие большего количества наиболее «свежих» данных.

Для практических задач оценки предпочтений ЛПР задаются в виде интервалов. Приведем классификацию задач принятия решений в зависимости от информации о предпочтениях внутри интервалов [1].

Ситуация 1. К этому классу отнесем задачи принятия решений, когда весовые коэффициенты важности частных критериев заданы количественно, но не точно, а в виде интервалов возможных значений, причем предпочтения внутри интервала неизвестны.

Ситуация 2. Весовые коэффициенты заданы в виде интервала возможных значений, при этом предполагается, что коэффициенты привлекательности являются случайными величинами и внутри интервала распределены по некоторому закону.

Ситуация 3. Весовые коэффициенты заданы в виде лингвистических переменных типа  $(a_i)$  и находятся приблизительно в интервале от b до c или  $a_i$  приблизительно равно d».

Рассмотренные ситуации описывают варианты задач принятия решений в условиях интервальной неопределенности, которые характеризуются различной степенью информированности ЛПР, относительно предпочтений внутри интервала.

Общая конечная цель решения задач принятия решений в условиях неопределенности заключается в выборе из множества допустимых значений единственной альтернативы [7]. Это связано, в конечном счете, со снятием исходной неопределенности информации. Решение этой задачи возможно различными способами, но все они связаны с привлечением неформализованных знаний ЛПР и выработкой на этой основе эвристических или формальных правил выбора решения.

Заключение. В статье представлена общая методика обработки информации при решении задач формирования информационной базы для их исследования, в том числе идентификацию и проработку неопределенностей различных типов при формировании временных рядов входных данных, определены методы и модели для прогнозирования нелинейных нестационарных процессов и пути их реализации в рамках соответствующей информационной базы. Предложена классификация ситуаций принятия решений при интервальном задании значений коэффициентов относительной важности частных критериев в зависимости от информации о предпочтительности значений внутри интервалов. Для случая, когда предпочтения внутри интервалов возможных значений весовых коэффициентов неизвестны, синтезированы модели выбора единственного решения по интервальной информации, основанные на последовательном использовании аддитивной и минимаксной схем компромисса и на идеях теории проверки статистических гипотез.

### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Axak N., Rosinskiy M.D.** MapReduce Hadoop Models for Distributed Neural Network Processing of Big Data Using Cloud Services. Conference on Computer Science and Information Technologies. 2019. P. 387–400.
- 2. **Bidiuk P.I., Prosiankina-Zharova T.I., Terentieev O.M., Lakhno V.A., Zhmud O.V.** Intellectual technologies and decision support systems for the control of the economic and financial processes. Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 2019. Vol. 96. No. 1. P. 71–87. (Scopus Q3).
- 3. **Ding F., Chenb T.** Identification of Hammerstein nonlinear ARMAX systems. Automatica. 2005. №41. P. 1479–1489. URL: http://www.paper.edu.cn/scholar/showpdf/NUT2EN2IMTD0ExeQh.
- 4. Hastie and Tibshirani Generalized Additive Models. New York: Chapman and Hall, 1990. 175 p.
- 5. **Korbicz J., Bidyuk P., Kuznietsova N., Terentiev O., Prosiankina-Zharova T.** Multivariate distribution model for financial risks management. The 9th International Conference "Information Control Systems& Technologies" (ICST2020) (Odessa, Sept. 24–26, 2020). CEUR Workshop Proceedings, 2020. P. 416–429.
- 6. **Quinlan J.R.** C4.5: programs for machine learning. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1993. 302 p.
- 7. **Rykov A.C.** System analysis methods: multi-criteria and fuzzy optimization, modeling and expert estimates. Moscow: Economics, 1999. 1587 p.
- 8. **Zar J.H.** Biostatistical Analysis. Third Edition. New York: Prentice-Hall, Inc., 1996. 662 p.
- 9. Бард Й. Нелинейное оценивание параметров / пер. с англ. Москва: Статистика, 1979. 349 с.

A.M.Minitaeva (Bauman Moscow State Technical University, Moscow). **Decision-making in conditions of interval setting of preferences of decision-makers** 

When solving decision-making problems in the presence of uncertainties, it is necessary to establish the level of analysis and the types of uncertainties under consideration. Performing studies of nonlinear non-stationary processes of various nature, the most common causes of omissions in the time series of data were identified. The article presents a general method of information processing in solving the problems of forming an information base for their research, including the identification and elaboration of various types of uncertainties in the formation of time series of input data, methods and models for predicting nonlinear non-stationary processes and ways of their implementation within the relevant information base.

### Г. А. САИТОВА, А. А. ЕЛИЗАРОВА

(Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа)

## РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ДАННЫХ О РЕЗУЛЬТАТАХ ИСПЫТАНИЙ РАБОТЫ ТУРБОРЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Большое количество параметров работы турбореактивных двигателей не поддается ручной переработке. В целях оптимизации процесса анализа данных с испытаний предлагается использовать интеллектуальный анализ данных блока электронной системы управления. С помощью технических средств и методов искусственного интеллекта можно проанализировать большое количество данных. Результаты интеллектуального анализа данных в дальнейшем предполагается использовать для обоснования принятия решений и автоматизации аналитической деятельности эксперта.

**Введение.** В отрасли авиастроения на сегодняшний день существует проблема обработки большого количества данных с приборов турбореактивного двигателя. При ознакомлении с данной темой была найдена работа: «Интеллектуальная система поддержки экипажа» [1]. Данная система не предусматривает разработку нейронной сети, также отличается объектом. Предполагаемый доклад посвящен разработке интеллектуальной системы анализа данных о результатах испытаний работы турбореактивного двигателя.

Целью работы является разработка интеллектуальной системы анализа данных о результатах испытаний работы турбореактивного двигателя.

Создаваемая система позволит выявлять отклоняющиеся параметры при определенных проблемах в двигателе. Также сократится время обработки данных и ошибки, возникающие из-за человеческого фактора.

**Турбореактивный двигатель и система управления двигателем.** Несмотря на простоту конструкции, турбореактивный двигатель – это сложная система, которой практически полностью управляет «умная» автоматика [2].

Общая схема ТРДД представлена рис. 1. Первый контур вмещает в себя компрессоры высокого и низкого давления, камеру сгорания, турбины высокого и низкого давления и сопло. Второй контур состоит из направляющего аппарата и сопла. Такая конструкция является базовой, но возможны и некоторые отклонения, например, потоки внутреннего и внешнего контура могут смешиваться и выходить через общее сопло, или же двигатель может оснащаться форсажной камерой [3].

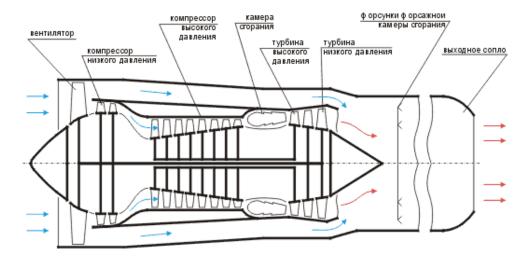


Рис. 1. Общая схема ТРДД

Электронный блок управления на протяжении всего рабочего времени принимает и обрабатывает данные, затем, исходя из этого, управляет системой. Внутренние процессы всей системы оказывают свое влияние на стабильность работы двигателя и второстепенных элементов.

**Синтез нейронной сети.** Для разработки нейронной сети необходимо определить не только вид нейронной сети, но также входные и выходные данные. Адекватность разработанной интеллектуальной системы напрямую зависит от представлений разработчика. Знания о примерных результатах работы сокращают ошибки моделирования и кодирования.

Выбранный режим – максимальный. Причиной выбора являются характеристики рабочего режима. На нем двигатель работает в максимальной мощности, что является интересным в качестве исследования, в отличие от прогрева и малого газа.

Обучение и тестирование нейронной сети производится на данных максимальных, средних и минимальных значениях.

В качестве предмета создания нейронной сети выбран левый двигатель. Разница в двигателях минимальна, так как они одной модели и серии.

Структурная схема нейронной сети с обратной связью представлена на рис. 2.

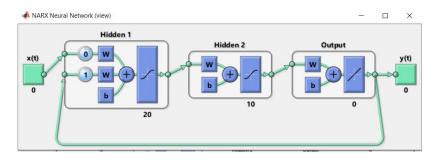


Рис. 2. Структурная схема нейронной сети

Исходя из большого количества данных, обучение прошло полный цикл, все 1000 эпох. Наглядность графика состоит в демонстрации всех влияющих параметров на одной плоскости. График переходного процесса по исходным данным представлен на рис. 3.

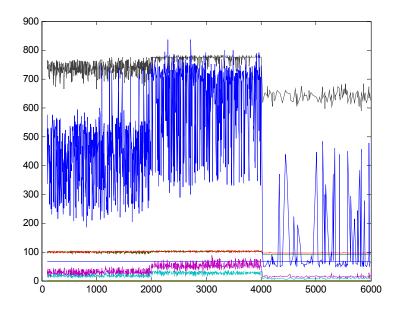


Рис. 3. График переходного процесса по исходным данным (по оси ординат расположено время, по оси абсцисс – параметры двигателя)

Как видно из графика, изначально режим работает на средней мощности, затем переходит в свою максимальную стадию, потом же в минимальную. Данные сдвиги наглядно видны.

После отработки кода на экран выводится переходный процесс уже построенный нейронной сетью. График переходного процесса, построенный нейронной сетью, представлен на рис. 4.

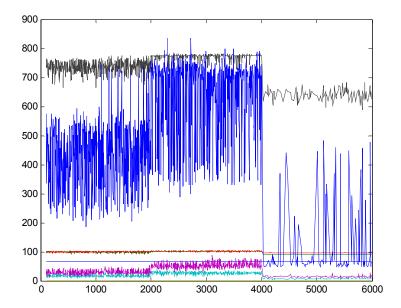


Рис. 4. График переходного процесса, построенный нейронной сетью (по оси ординат расположено время, по оси абсцисс – параметры двигателя)

Графики имеют минимальные различия, поставленная задача идентификации успешно решается с помощью рекуррентной нейронной сети, с достаточно высокой точностью имитирующих (аппроксимирующих) поведение сложной динамической системы.

**Заключение.** Реализована нейронная сеть в пакете *MatLab*. Созданная нейросеть является персептроном, с обратной связью, с двумя скрытыми слоями по 20 и 10 нейронов соответственно. Переходные процессы моделирования показывают, что качество модели достаточно высокое.

Таким образом, разработанная модель обеспечивает высокую точность на интервале, присутствовавшем в обучении нейросети.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1. Пат. РФ № 2541902 / А.Ф. Якушев, А.В. Ясенок, М.И. Минеев, Ю.И. Калинин, В.П. Болин, Ю.М. Павленко, А.Ю. Дрожжина, С.А. Терновский, В.А. Якушев, О.А. Мусихина, Л.В. Фролкина. Интеллектуальная система поддержки экипажа. Опубл. 20.02.2015, Бюл. № 5.
- 2. **Гуревич О.С**. Системы автоматического управления авиационными газотурбинными двигателями. Москва: Торус Пресс, 2010. 264 с.
- 3. **Климентовский Ю.А**. Системы автоматического управления силовыми установками летательных аппаратов: Учебное пособие. Киев: Машиностроение, 2001. 400 с.

G.A.Saitova, A.A.Elizarova, (Ufa State Aviation Technical University, Ufa). Development of an intelligent system for analysis of data on the results of tests of the operation of a turbojet engine

A large number of operating parameters of turbojet engines cannot be manually processed. In order to optimize the process of analyzing data from tests, it is proposed to use data mining of the electronic control system unit. With the help of technical means and methods of artificial intelligence, it is possible to analyze a large amount of data. The results of data mining are supposed to be used in the future to justify decision-making and automate the analytical activities of an expert.

### М. В. ЯШИНА

(Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ); Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ); Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет), Москва)

### Д. А. АФАНАСЬЕВА, В. О. ВАНИН

(Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва)

# ВЕКТОРНЫЙ МЕТОД ВИДЕО-РАСПОЗНАВАНИЯ ТРЭКОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕКРЕСТКОМ

Транспортная инфраструктура является неотъемлемой частью современных городов и регионов. В последнее время сильно увеличился список городов, близких к исчерпанию возможностей экстенсивного развития транспортных сетей. Этот факт свидетельствует о важности качества проектирования автомобильных дорог, эффективности их функционирования и безопасности движения, оптимизации маршрутной сети транспорта. Решение ряда таких задач невозможно без математического моделирования.

- 1. Введение. Транспортная инфраструктура является неотъемлемой частью современных городов и регионов. За последнее время список городов, близких к исчерпанию экстенсивного развития транспортных сетей, сильно увеличился. Данный факт показывает важность качества проектирования автомобильных дорог, эффективность их функционирования и безопасности движения, оптимизация маршрутной сети транспорта. Решение ряда подобных задач невозможно без математического моделирования. Для эффективного управления потоками транспортной сети города и выбора оптимальных решений по проектированию транспортных сетей необходимо учитывать широкий спектр характеристик потока. Возникающие трудности связаны с нестабильностью транспортного потока и противоречивостью критериев качества управления движением. Развитие перечисленных выше идей привело к разработке модели транспортных потоков мегаполиса, созданной исследовательской группой под руководством проф. А.П. Буслаева на примере г. Москвы [1].
- **2. Модель Москвы**. Динамическая модель транспортных потоков представлена в [1]. Транспортная сеть представлена в виде ориентированного нагруженного графа, с ребрами ограниченной длины для обеспечения регулярности численной схемы.

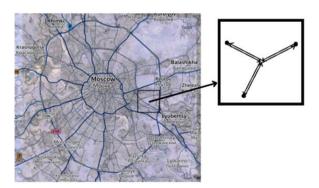


Рис. 1. Граф на карте Москвы

Исходный ориентированный граф G представляет собой совокупность множества вершин  $v_i \in V^0$  и ребер  $e_i \in E^0$ , i = 1,...N, j = 1,...M. В алгоритме динамической модели применяются способ задания графа, использующий матрицу смежности. Полную информацию о составляющих элементах графа представляет набор следующих объектов:

- 1) N число вершин графа G, целое положительное число;
- 2) X и Y векторы  $X \in RN$ ,  $Y \in RN$ , задающие географические координаты вершин графа G; так что пара  $(x_i; y_i)$  координаты вершин  $v_i \in R2$ ;
  - 3) A матрица смежности графа G, описание которой представлено ниже. Рассмотрим матрицу смежности ориентированного графа G.

 $B = ||b_{ij}||$ , где  $1 \le i \le N$ ,  $1 \le j \le M$  и элемент которой равен

$$b_{ij} = \begin{cases} s - & \text{число дуг, выходящих из вершины } \mathbf{v}_{j} \mathbf{B} \ \mathbf{v}_{i} \\ 0, & \text{если вершины } \mathbf{v}_{j} \mathbf{u} \ \mathbf{v}_{i} \text{-не являются смежными} \end{cases}$$

Граф транспортной сети строится таким образом, что число s у всех смежных вершин равно 1. Поэтому целесообразно информацию о структуре графа представить в виде следующей матрицы:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1_{i_{1}}} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ a_{21} & a_{21} & \dots & \dots & a_{2_{i_{2}}} & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \dots & & \vdots & \\ a_{n1} & a_{ns_{2}} & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix},$$
(1)

где  $s_i$  — число вершин, из которых можно попасть в вершину  $v_i$ ;  $a_{ij}$  — номер вершины, из которой можно попасть в вершину  $v_i$ .

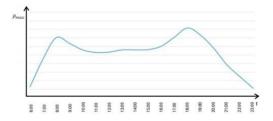


Рис. 2. Заданная функция источника на входном ребре

Рис. 3. Заданная функция стока на ребре в спальном районе

- **3.** Видеофайлы с открытых камер. Всего пару десятков лет назад для получения видеофайлов нужно было записывать их с помощью специального оборудования. Но сейчас в городе Москве развернута интеллектуальная система для анализа интенсивности. В открытом доступе находятся веб-сервисы, которые транслируют изображения городских панорам, сельской местности, городские улицы, а также движение транспорта. В данной работе рассматриваются веб0камеры, которые передают изображения движения транспорта.
- **4. Трэк автомобиля.** Трэком называется кривая, которая состоит их компонент векторов оптического потока.

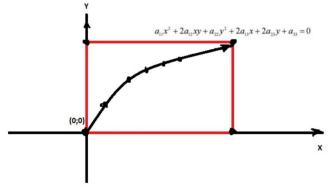


Рис. 4. Граф на карте Москвы

На рис. 4. представлен фрейм с перемещением единичного пикселя по кривой. Координаты каждой такой точки записываются в массив и хранятся в текстовом файле. С каждым перемещением пикселя на n+1 шаг создается 1 вектор с координатами:  $(x_{n+1}-x_n;y_{n+1}-y_n)$ 

**5. Алгоритм Лукаса–Канаде.** Алгоритм Лукаса–Канаде позволяет определять координаты вектора оптического потока и разрешать систему уравнений:

$$\begin{cases} I_{x}(q_{1})V_{x} + I_{y}(q_{1})V_{y} = -I_{t}(q_{1}) \\ I_{x}(q_{2})V_{x} + I_{y}(q_{2})V_{y} = -I_{t}(q_{2}) \\ \dots \\ I_{x}(q_{n})V_{x} + I_{y}(q_{n})V_{y} = -I_{t}(q_{n}) \end{cases}$$

где решением системы будет являться вектор V(x;y), содержащий значения координат по главным осям координат изображения. После получения трэков происходит наложение на схему перекрёстка.

Таким образом, разработан алгоритм обработки трэков для получения матрицы перемешивания транспортных потоков на перекрестке для модели потоков Москвы [1]. Алгоритм будет являться модулем системы для автоматизированного создания матриц в динамике по видеофайлу.

- **6.** Сравнение с ПО TrafficData Land. Компания «Траффик Дата» является российским разработчиком программного обеспечения для видеоанализа транспортных потоков. С помощью данного программного приложения с наземными камерами осуществляется обработка собранного материала, позволяя нам получить следующие данные:
  - 1) Количество транспортных средств, входящих в поток;
  - 2) Количество транспортных средств, выходящих из потока;
  - 3) Состав потока с подробным распределением по 18 видам категорий транспорта;
  - 4) Интенсивность транспортного потока;
  - 5) Скорость автомобилей.

Расстановка створов (детекторов) на видеопотоке:



Рис. 5. Положение трэков в TrafficData



Рис. 6. Алгоритм Лукаса-Канаде

7. Заключение. Таким образом, с помощью векторного метода видео-распознавания были получены траектории движения автотранспортных средств на перекрестке. Полученные результаты смогут поспособствовать снижению трафика на перекрестках и нахождению оптимальных вариантов управления им. Разработанный алгоритм обработки трэков позволит создавать матрицу перемешивания в динамике по входящему потоков видеофайлов.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Луканин В.Н., Буслаев А.П., Трофименко Ю.В., Яшина М.В**. Автотранспортные потоки и окружающая среда: Учеб. пособие для вузов / Под ред. В.Н. Луканина. М.: ИНФРА-М, 1998. 408 с.
- 2. Plyer A., Le Besnerais G. Champagnat F. Massively parallel Lucas Kanade optical flow for real-time video processing applications. *J Real-Time Image Proc* 11, 713–730 (2016). https://doi.org/10.1007/s11554-014-0423-0
- 3. Pospelov P.I., Lavrov O.S., Yashina M.V., Vanin V.O., Savchenkova Yu.S. VideoBased Method of Markovian Matrix Recovery for Road Intersection Control (2022) DOI: 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744090
- 4. Lukanin V.N., Buslaev A.P., Novikov A.V., Yashina M.V. Traffic flows modelling and evaluation of energy-ecological parameters. Part II. *International Journal of Vehicle Design* (2003) 33(4) 400-421.

5. Kozlov V.V., Buslaev A.P., Bugaev A.S., Yashina M.V., Schadschneider A., Schreckenberg M. Preface. In the book: Traffic and Granular Flow 2011 (2013).

M.V.Yashina (Moscow Automobile and Road Construction State Technical University; Moscow Technical University of Communications and informatics; Moscow Aviation Institute (Research University), Moscow), D.A.Afanasyeva, V.O.Vanin (Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow). **Vector method of video recognition of vehicle tracks for intersection control** 

Transport infrastructure is an integral part of modern cities and regions. Recently, the list of cities close to the exhaustion of the extensive development of transport networks has greatly increased. This fact shows the importance of the quality of road design, the effectiveness of their functioning and traffic safety, optimization of the route network of transport. Solving a number of such problems is impossible without mathematical modeling.

П. К. КАЛАШНИКОВ, Р. Л. БАРАШКИН, Д. Н. ЖЕДЯЕВСКИЙ, Д. Г. ЛЕОНОВ, А. С. НУРГУАТОВА, Т. М. ПАПИЛИНА, И. Б. ЦЕХМЕСТРУК, В. В. ЮЖАНИН (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва)

## РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСА ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА МАЛОТОННАЖНОГО СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

Высокий уровень безопасности и энергоэффективности процессов сжижения природного газа обеспечивается наличием достоверных математических моделей технологического процесса, используемых в системах автоматизации и специализированных компьютерных тренажерных комплексах—симуляторах реальных технологических процессов. В данном направлении в отрасли наблюдается критичная зависимость от импортных продуктов. Разработанный междисциплинарной командой импортонезависимый тренажерный комплекс позволяет обучать специалистов в области сжижения природного газа с применением апробированной методики обучения и практико-ориентированного подхода.

Производство сжижения природного газа (СПГ) является одним из востребованных направлений развития нефтегазовой отрасли. В 1 м<sup>3</sup> СПГ содержится примерно 600 м<sup>3</sup> природного газа после регазификации. Основным преимуществом СПГ является возможность транспортировать его на большие расстояния, а также СПГ характеризуется более высоким качеством очистки по сравнению с трубопроводным газом. На рис. 1 представлена принципиальная схема малотоннажной установки сжижения газа со схемой отгрузки СПГ. Технологические процессы производства СПГ могут включать большое количество непрерывно и дискретно изменяющихся технологических параметров, которые необходимо контролировать для обеспечения эффективного режима эксплуатации [1]. При этом одним из наиболее важных критериев функционисистемы является обеспечение безопасности производства квалифицированная (без нарушений) отработка штатных производственных заданий по изменению технологических режимов эксплуатации [2]. Залог успеха выполнения поставленных целей является наличие в работе высококвалифицированных специалистов, обладающих необходимыми умениями и навыками.

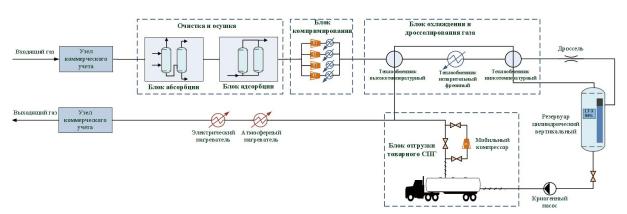


Рис. 1. Принципиальная схема малотоннажной установки сжижения газа

Одним из эффективных инструментов, используемых для подготовки оперативного технологического и обслуживающего персонала установок и производства, являются компьютерные тренажеры. Эффективность применения тренажеров обуславливается возможностью решения практических задач с использованием прикладного инструментария в условиях, близких к реальным. Обучение на данных тренажерах обеспечивает приобретение практических навыков безопасного выполнения работ, предупреждения аварий и ликвидации последствий на реальных объектах управления [3]. Разработка и использование компьютерных тренажеров в образовательном процессе является перспективным направлением при подготовке высококвалифицированных специалистов, повышении квалификации, восстановлении квалификационных навыков инженерно-технических работников промышленных предприятий после длительного перерыва (отпуска, болезни, межвахтовый период и т. п.).

Архитектура разработанного тренажного комплекса состоит из нескольких модулей:

- модуль управления тренажером;
- расчетный модуль;
- модуль оценки;
- модуль отображения результатов.

Модуль управления тренажером позволяет выбрать режим работы в тренажере: редактор или обучающийся. Режим «обучающийся» дает доступ к заданному набору курсов учебнотренировочных задач (УТЗ). Режим «редактор» предоставляет возможность создания, редактирования, удаления УТЗ и курсов.

Расчетный модуль обеспечивает:

- пуск, изменения и сохранения состояния модели;
- получение значений технологических параметров на каждом шаге моделирования;
- передачу управляющих воздействий на исполнительные устройства.

Оценка действий пользователя проводится в автоматическом режиме во время выполнения УТЗ с помощью модуля оценки. Каждое управляющее действие проверяется на соответствие регламентной последовательности. Изменения технологических параметров сопоставляются с заданными рабочими диапазонами на каждом шаге моделирования. При нарушении верной траектории управления и попадания технологических параметров в аварийные диапазоны предусмотрены штрафы [4].

Для обучающихся сразу по завершению прохождения выводится отчет с указанием количества ошибочных управляющих воздействий и нарушений критериев технологического режима, итоговая оценка за выполнение УТЗ.

На рис. 2 представлен пример фрагмента графического интерфейса компьютерного тренажера, который обеспечивает визуализацию расчетной схемы, позволяет выполнять базовые операции в рамках УТЗ, в том числе:

- запуск, приостановку и завершение УТЗ;
- задание значений оперативных параметров и состояний объектов;
- визуализацию текущих расчётных параметров, сводных отчётов и результатов выполнения УТЗ;
- визуализация текущих расчётных параметров в виде графиков.

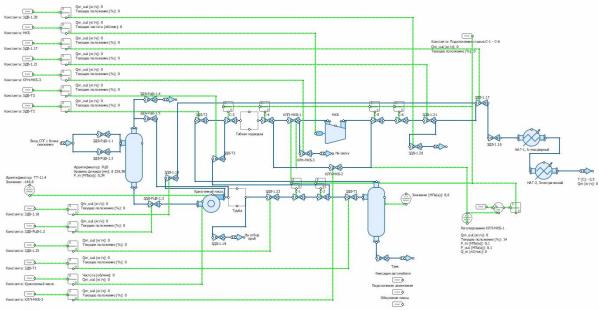


Рис. 2. Пример фрагмента графического интерфейса компьютерного тренажера малотоннажного завода СПГ

Расчетная схема и содержащаяся в расчетном модуле динамическая математическая модель является высокоточным цифровым двойником реального технологического процесса сжижения

природного газа. Цифровой двойник с высокой точностью (отклонение не более 5%) повторяет текущее и прогнозное состояние технологического объекта (технологические параметры состояния внутренних потоков и временные интервалы их изменения) при любых операциях на технологическом объекте в любой последовательности не только в стационарных, но и в переходных режимах эксплуатации.

Предложенный тренажерный комплекс предназначен для разработки и выполнения штатных, нештатных учебно-тренировочных задач, проведения обучения студентов образовательных учреждений высшего образования и специалистов компаний технологиям малотоннажного сжижения природного газа. Номенклатура УТЗ составлена с учетом регламентного набора штатных и внештатных операций, а также с учетом накопленного многолетнего опыта эксплуатации реального технологического объекта. Тренажер позволяет решать УТЗ по управлению технологическими процессами установки сжижения природного газа. В тренажере реализованы функции: формирования и визуализации расчетной схемы непрерывных технологических процессов малотоннажного сжижения природного газа; имитационного моделирования технологических объектов; реализации системы управления; управления пользователями; создания, выбора, запуска и управления УТЗ; оценки действий обучающегося. На сегодняшний день существует возможность подключения к тренажеру через удаленный доступ, и проходить обучение в удобное время. Возможно отображение статистики прохождения УТЗ, доступ к истории выполнений УТЗ с возможностью отслеживания прогресса обучения в табличной форме или графической форме.

Реализация тренажера на импортонезависимых кроссплатформенных решениях с использованием верифицированного цифрового двойника и комплексных инструментов по организации учебного процесса, базирующихся на уникальных наработках Губкинского университета, позволяет стабильно формировать у оперативного персонала требуемый набор знаний и навыков, что в свою очередь повышает уровень безопасности, эффективность эксплуатации, и снижает риск возникновения нештатных и аварийных ситуаций.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Барашкин Р.Л., Маркарян Р.А., Попадько В.**Е. Тезисы доклада «Построение системы управления малотоннажных установок производства СПГ. Региональная научно-техническая конференция «Губкинский университет в решении вопросов нефтегазовой отрасли России». 25-26 сентября, 2017 г., с. 184.
- 2. **Барашкин Р.Л., Калашников П.К., Попадько В.Е., Южанин В.В.** Опыт внедрения «Компьютерного тренажерного комплекса процессов подготовки нефти и газа к транспорту» в образовательный процесс. *Территория Нефтегаз*, №10, М., 2017, 12-19.
- 3. **Барашкин Р.Л., Жедяевский Д.Н., Калашников П.К., Южанин В.В., Попадько В.Е**. Модернизация компьютерного тренажерного комплекса по процессам подготовки газа к транспорту для применения в учебном процессе вуза. *Современная наука: Актуальные проблемы теории и практики. Научные технологии*, №3/2, 2019. С. 5-10.
- 4. **Папилина Т.М., Барашкин Р.Л., Василюк Н.**С. Система автоматической оценки действий обучаемых в компьютерных тренажерных комплексах. Тру∂ы *Российского государственного университета нефти и газа* (НИУ) имени И.М Губкина. 2019. №. 3. С. 150-164. DOI 10.33285/2073-9028-2019-3(296)-150-164.

P.K.Kalashnikov, R.L.Barashkin, D.N.Zhedyaevskij, D.G.Leonov, A.S.Nurguatova, T.M.Papilina, I.B.Cekhmestruk, V.V.Yuzhanin (National University of Oil and Gas "Gubkin University", Moscow). **Development of a computer simulator of production processes of liquefied natural gas** 

A high level of safety and energy efficiency of natural gas liquefaction processes is ensured by the availability of reliable mathematical models of the technological process used in automation systems and specialized computer training complexes – simulators of real technological processes. In this direction, the industry is critically dependent on imported products. The import-independent training complex developed by an interdisciplinary team makes it possible to train specialists in the field of natural gas liquefaction using a proven training methodology and a practice-oriented approach.

### Г. Ф. МАЛЫХИНА, А. И. ГУСЕВА

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург)

И. В. ОБРАЗЦОВ, В. Н. КРУГЛЕЕВСКИЙ

(Научно-исследовательский институт кораблестроения и вооружения, Санкт-Петербург)

## СИСТЕМА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О ВОЗГОРАНИИ НА СУДНЕ, ИСПОЛЬЗУЮЩАЯ АЛГОРИТМЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И СУПЕРКОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Интеллектуализация судовой пожарной системы направлена на раннее обнаружение возгорания, локализацию очага пожара, определение типа горящего материала и быстрого выбора средства тушения. Применение машинного обучения позволяет решить целый ряд задач интеллектуализации, но требует накопления значительного количества данных, получаемых в результате измерения факторов пожара с помощью многопараметрических датчиков. Спецификой разработки противопожарных систем является сложность и высокая цена проведения натурных испытаний, поэтому применение компьютерного моделирования становится важным этапом проектирования систем такого класса. Данные, полученные в результате моделирования, совместно с данными натурных испытаний и эксплуатации необходимо накапливать и использовать для обучения алгоритмов противопожарной системы. Приведены результаты разработки алгоритмов для противопожарной системы, использующие результаты суперкомпьютерного моделирования возгорания на судне.

Введение. Установленные на судах противопожарные системы (ПС), как правило, используют пороговые датчики — извещатели, которые срабатывают, если измеряемые величины температуры, концентрации газов или дыма превышают допустимые значения. Для уменьшения вероятностей ложных срабатываний пороги устанавливают довольно высокими, что приводит к запаздыванию обнаружения возгорания. Замена извещателей многопараметрическими датчиками позволяет измерять факторы пожара, формировать кадры данных и передать их по последовательным интерфейсам в вычислительный блок, который способен выполнять сложную обработку данных, в том числе исследование обстановки, накопление данных и машинное обучение алгоритмов ПС. Система должна учитывать особенности помещения, расположение источников отопления и вентиляции, вероятные источники возгорания и расположение датчиков.

В сложных помещениях судна, например, в машинном отделении, целесообразно иметь автоматическую систему пожаротушения, которая должна применяться при обнаружении возгорания локально, только в месте возгорания, подобно тому, как действует человек.

Для решения этих задач необходимо оптимизировать расположение многопараметрических датчиков, разработать алгоритмы исследования состояния контролируемого помещения, алгоритмы обнаружения места возгорания и типа горящего материала. Последнее необходимо для выбора соответствующего средства тушения.

Моделирование возгорания. Особенностью разработки ПС состоит в сложности и высокой стоимости проведения натурных испытаний, которые проводят на специально сконструированных стендах. Этот факт повышает ценность цифровых моделей [1], которые могли бы заменить натурные испытания. Значимость цифровых моделей возрастает в случае разработки ПС с элементами искусственного интеллекта и с применением алгоритмов машинного обучения, для реализации которых требуется большие наборы данных. На этапе разработки ПС данные требуемого объема могут быть получены путем компьютерного моделирования.

Для выполнения полевого метода моделирования [2, 3] предназначена программа FDS (Fire Dynamics Simulator). Для того чтобы получить достаточный объем данных за приемлемое время, моделирование выполнено на суперкомпьютере с использованием распараллеливания вычислений по нескольким кластерам. Система визуализации [4] позволяет контролировать процесс моделирования пожара.

Полевая модель [5] горения использует уравнение переноса массы:

$$\frac{d\rho}{dt} + \nabla \rho \mathbf{u} = m'_b , \qquad (1)$$

где  $\rho$  – плотность переносимой массы,  $\mathbf{u}$  – скорость, t – время,  $m'_h$  – скорость перенесения массы в выделенном объеме, обусловленная испарением и другими причинами.

Закон сохранения импульса:

шениями:

$$\frac{d}{dt}(\rho u) + \nabla \rho u u + \nabla p = pg + f_b + \nabla \tau_{ij}, \tag{2}$$

где uu — тензор второго порядка,  $f_b$  — внешние силы, вызванные трением с каплями жидкости и другими причинами,  $t_{ij}$  – тензор напряжений, который характеризуется следующими соотно-

$$\tau_{ij} = \mu \left( 2S_{ij} - \frac{2}{3} \delta(\nabla u) \right); \tag{3}$$

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & i = j \\ 0 & i \neq j \end{cases}; \quad S_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{du_i}{dx_i} + \frac{du_j}{dx_i} \right); \quad i, j = 1, 2, 3.$$
 (4)

Уравнение переноса энергии:

$$\frac{d}{dt}(\rho h_s) + \nabla(\rho h_s u) = \frac{Dp}{Dt} + q'' - q''_b - \nabla q' + \varepsilon, \tag{5}$$

где  $h_s$  – явная энтальпия,  $\frac{Dp}{Dt} = \frac{dp}{dt} + u\nabla p$  – материальная производная, q'' – скорость образования тепла в единице объема в результате химических реакций,  $q''_{\ b}$  – скорость поглощения тепла при испарении. Величина  $q^{\prime\prime}$  характеризует тепловые потоки при теплопроводности и излучении:

$$q'' = -k\nabla T - \sum_{\alpha} h_{s,\alpha} \rho D_{\alpha} \nabla Y_{\alpha} + q''_{\alpha}, \tag{6}$$

где  $Y_{\alpha}$  – массовая доля газовой составляющей  $\alpha$ ,  $D_{\alpha}$  – коэффициент диффузии газовой составляющей  $\alpha$ , k – теплопроводность.

Уравнение состояния газовой смеси:

$$p = \frac{\rho RT}{\bar{W}}, \tag{7}$$

где  $\overline{W}$  – средняя молярная масса газовой смеси.

Внешнее давление p(x, y, z) переходит в

$$p(x,t) = \bar{p}(z,t) + \bar{\bar{p}}(x,t); \bar{p}(Z,t) = \rho TR \sum_{\alpha} \frac{Y_{\alpha}}{W_{\alpha}}, \qquad (8)$$

где  $\bar{p}(x,t)$  – давление, возникающее при перемешивании,  $W_{\alpha}$  – молярная масса  $\alpha$  фракции газовой смеси.

Для ускорения моделирования рассмотрены два стандарта для распараллеливания ОрепМР (Open Multi-Processing) и MPI (Message Passing Interface). Распараллеливание в OpenMP выполняется явно путем вызова специальных директив, причем для всех параллельных нитей используется одинаковый код. МРІ предоставляет набор функций, причем взаимодействие параллельных процессов выполняется путем передачи сообщений. Каждый процесс МРІ-программы, как последовательный, так и многопотоковый, выполняется в своем собственном адресном пространстве. Несколько запусков программы показали, что МРІ сокращает время моделирования в несколько раз.

В результате для моделирования было использовано 4 узла, каждый из которых имел по 2 процессора с 12 ядрами. Модель использовала 96 расчетных сеток, что соответствовало 96 ядрам всей системы. Таким образом, удалось разделить нагрузку на все ядра и сократить время расчета. В результате за 48 часов было смоделировано 4 минуты времени пожара и получены более подробные значения факторов в любых интересующих точках пространства [6].

Оптимизация расположения многопараметрических датчиков. Чтобы повысить скорость реакции системы на возгорание, необходимо оптимальным образом расположить датчики. На оптимальную расстановку датчиков оказывают влияние, размеры помещения, наличие вентиляции, распределение вероятностей возникновения возгорания в точках помещения, тип источника возгорания, количество горючих материалов. В условиях, когда некоторые характеристики заданы нечетко, для поиска расположения датчиков использован эволюционный алгоритм [7], который оперирует вектором объектов. Популяция представляет собой набор из N расположений датчиков, расположенных на сетке 10х10 см и измеряющих M факторов пожара.

Фитнесс-функция характеризует зависимость времени обнаружения возгорания от факторов пожара (температуры, концентрации окиси и двуокиси углерода, концентрации дыма). Общий вид которой:  $F(x) = \min_t [Fire(t, \mathbf{Q})], t$  – время реакции, минимизацию которого необходимо

произвести, Q — набор из M-параметрических датчиков. Селекция заключается в отборе расположений датчиков таких, для которых фитнесс-функция минимальна. Скрещивание позволяет генерировать новое расположение датчиков путем вычисления новых координат. Мутация позволяет случайным образом изменять вычисленное расположение некоторых датчиков путем скрещивания их координат.

По сравнению с традиционными методами генетический алгоритм менее чувствителен к локальным оптимумам. В результате для поиска оптимального расположения датчиков температуры удалось уменьшить среднее время обнаружения возгорания.

**Принятие решения о возгорании**. Система, принимающая решение о пожаре, построена на основе рекуррентной искусственной нейронной сети с задержками на входе, которая реализует нелинейную модель авторегрессии-скользящего среднего, которая обучается по методу обратного распространения Левенберга—Марквардта.

**Определение типа источника возгорания.** Для классификации возгорания по типу источника были использованы сиамские нейронные сети [8], архитектура которых показана на рисунке.

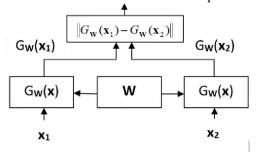


Рисунок. Структура сиамской сети

Оператор  $G_W$  характеризует отображение векторов факторов пожара  $\mathbf{x_1}$ ,  $\mathbf{x_2}$  в пространство низкой размерности, выполняемое нейронной сетью с матрицей весов  $\mathbf{W}$ . Для вычисления расстояния между векторами использованы две нейронные сети с одинаковыми весами. Выходы двух нейронных сетей, имеющих одинаковые синаптические веса  $\mathbf{W}$  для двух входных векторов  $\mathbf{x_1}$ ,  $\mathbf{x_2}$ , обозначим  $G_W(\mathbf{x_1})$  и  $G_W(\mathbf{x_2})$ , причем  $\mathbf{x_1}$  соответствуют отсутствию пожара и  $\mathbf{x_2}$  – наличию возгорания конкретного типа.

Определение места возгорания. Для помещений судов, имеющих перегородки, которые предназначены для изоляции зоны возгорания и для включения специализированных средств тушения пожара, целесообразно определить зону возгорания. Применение многопараметрических датчиков позволяет решить эту важную задачу с использованием специальной нейронной сети. Для обучения сети возможно применение двух типов данных, которые получены путем моделирования и путем натурных испытаний [9].

Предложенные методы были протестированы на данных, полученных в результате моделирования возгораний разной локализации в различных помещениях судна и при разных вариантах расположения датчиков. В результате было установлено, что применение предложенных алгоритмов позволяет локализовать зону возгорания.

**Заключение.** Моделирование пожара на суперкомпьютере позволило исследовать процессы появления и развития пожаров на судне без проведения дорогостоящих натурных экспериментов. Сравнение с натурными экспериментами показало совпадение результатов в начале разви-

тия пожара. Разгоревшийся пожар обычно не моделируют на стендах, поэтому приходится ориентироваться только на данные компьютерного моделирования.

Интеллектуализация пожарной системы основана на машинном обучении с применением нейросетевых алгоритмов, предназначенных для определения места и типа возгорания. Для более точного решения задачи локализации возгорания целесообразно оптимизировать расположение многопараметрических датчиков с использованием генетического алгоритма. Современные алгоритмы машинного обучения требовательны к объему экспериментальных данных, которые могут пополняться как результатами измерения, так и результатами моделирования.

### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Колбин Т.С., Смольников М.И**. Влияние способа задания горючей нагрузки на результаты моделирования пожара. *Техносферная безопасность*. 2014. № 3. С. 35–40.
- 2. Рыжов, А.М., Хасанов, И.Р., Карпов А.В. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях. Методические рекомендации. М.: ВНИИПО МЧС России. 2003.
- 3. **Рыжов А.М.** Математическое моделирование пожаров в помещениях с учетом горения в условиях естественной конвекции. *Физика горения и взрыва*. 1991. № 27 (3). С. 40–47.
- 4. Jones W.W. A Review of Compartment Fire Models. PB-83-208173. 1983.
- 5. Jones W.W., Peacock R.D. Technical Reference Guide for FAST Version 18. Final Report (NIST TN 1216). 1989.
- 6. **Malykhina G., Guseva A., Militsyn A**. Spatial-temporal digital twin models as a direction for the development of crosscutting digital technologies. *Proceedings of the International Scientific-Practical Conference "Business Cooperation as a Resource of Sustainable Economic Development and Investment Attraction"* (ISPCBC 2019). Paris, France: Atlantis Press, 2019.
- 7. **Кныш Д.С., Курейчик В.М.** Параллельные генетические алгоритмы: обзор и состояние проблемы. *Известия Российской академии наук. Теория и системы управления.* 2010. № 4. С. 72–82.
- 8. **Malykhina G., Guseva A.** Application of Siamese Neural Networks for the Type of Emergency Determination. *Proceedings of the XI International Scientific Conference Communicative Strategies of the Information Society.* New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2019.
- 9. **Гусева А.И., Малыхина, Г.Ф., Круглеевский В.Н., Турусов С.Н., Образцов И.В.** Использование нейросетевой модели обработки данных в системах обнаружения пожаров для определения места возгорания. *Морские интеллектуальные технологии.* 2019. том. 2, № 2. С. 93–102.

G.F.Malykhina, V.N.Krugleevskiy, A.I.Guseva, I.V.Obrazcov (Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg). Ship fire warning system using machine algorithms and supercomputer simulation

Intellectualization of the ship's fire system is aimed at early detection of fire, localization of the source of fire, determination of the type of burning material and quick selection of extinguishing agent. The use of machine learning allows solving a number of intellectualization problems, but requires the accumulation of a significant amount of data obtained as a result of measuring fire factors using multi-parameter sensors. The specificity of the development of fire protection systems is the complexity and high cost of field tests, so the use of computer simulation becomes an important stage in the design of systems of this class. The data obtained as a result of modeling, together with the data of full-scale tests and operation, must be accumulated and used to train the fire system algorithms. The results of the development of algorithms for a fire-fighting system, using the results of supercomputer simulation of a fire on a ship, are presented.

С. В. КУЛЕШОВ, И. О. ШАЛЬНЕВ, А. А. ЗАЙЦЕВА, А. Ю. АКСЕНОВ (Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург)

## КОММУНИКАЦИОННАЯ ИНФРАСТРУКТУРА НА ОСНОВЕ АКТИВНЫХ ДАННЫХ В КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В современных распределенных киберфизических системах актуальной является задача эффективной организации межкомпонентного взаимодействия.

Предложенная в работе методология организации взаимодействия между компонентами распределенной системы без явного обращения к коммуникационной инфраструктуре позволяет решать целевые задачи, без непосредственного обращения к низкоуровневым коммуникационным функциям, что обеспечивает динамическое реконфигурирование программного процесса, функционирующего на каждом узле распределенной системы, без необходимости обновления его программного кода и без остановки его работы.

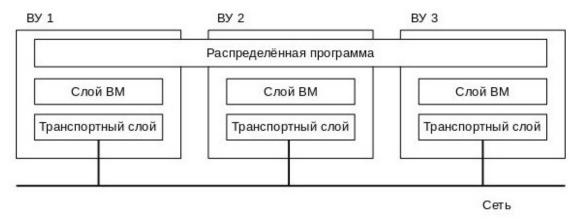
Введение. В современных распределенных киберфизических системах, таких как робототехнические группы, группы БЛА, распределенные системы сбора данных и др. крайне актуальной является задача эффективной организации межкомпонентного взаимодействия. Для решения таких задач до настоящего времени нет универсального способа разработки коммуникационного программного обеспечения. Традиционно взаимодействие между компонентами, находящимися в узлах распределенной киберфизической системы, реализуется программистом путем использования стандартизованных или вновь разработанных средств коммуникационной подсистемы. Модели и методологии взаимодействия для обмена данными между узлами выбираются в зависимости от потребностей конкретной задачи (модель передачи команд, подписка на обновления, «доска объявлений»), но при этом взаимодействие с коммуникационной инфраструктурой, как правило, остается задачей разработчика [1].

Методология разработки распределенных систем на основе распределенной виртуальной машины. В рамках настоящего исследования предлагаются новая методология организации взаимодействия между компонентами распределенной системы без явного обращения к коммуникационной инфраструктуре, а также инструментарий разработки распределенных систем, которые основаны на построении приложений для распределенной виртуальной машины, функционирующей одновременно на всех узлах распределенной киберфизической системы. При этом коммуникационная среда для межкомпонентного взаимодействия реализуется средствами самой виртуальной машины. Технически взаимодействие между вычислительными узлами представлено последовательностью вызовов функций распределённых объектов (фрагментов программного кода на вычислительных узлах) за счет передачи байт-кода, определяющего удалённый вызов этих функций. Сами передаваемые данные (полезная нагрузка) при этом содержатся в параметрах удалённо вызываемых методов. [2]

Передача данных между распределенными объектами происходит на транспортном уровне стандартной модели OSI/ISO, реализованном на базе стандартных сетевых протоколов, применимых для используемой среды передачи данных, названном в предлагаемой архитектуре транспортным слоем. При этом виртуальная машина (слой ВМ), обеспечивающая взаимодействие данных объектов, находится на уровне выше (рисунок). Такая организация слоёв архитектуры обеспечивает изолированность уровней, позволяя осуществлять взаимодействие объектов на вычислительных устройствах (ВУ) уже существующими сетевыми протоколами без непосредственного обращения к низкоуровневым функциям. Это позволяет разработчикам сосредоточиться на решении целевой задачи, уменьшив долю рутинных участков программного кода, не связанных с предметной областью.

Для реализации предлагаемой методологии взаимодействия необходимо определить структуру передаваемых данных, что позволит извлекать получаемые данные на принимающей стороне с минимальными ошибками. Для этого в процедуру отправки в качестве аргумента подаются данные, сформированные в виде последовательности байт (байт-код). Такая технология является усовершенствованным вариантом реализации концепции активных данных, когда передаваемые данные представляются в форме исполнимого кода, который, в свою очередь,

исполняясь на стороне приемника, восстанавливается в исходную форму [2, 3, 5]. Ее преимуществом является то, что контент, составляющий полезную нагрузку, не обязательно должен подвергаться трансформации в форму команд исполнимого кода перед передачей, а может сохраняться в исходном виде, что позволяет избежать основной сложности практического применения активных данных — необходимости разработки кодека под любой тип передаваемых данных.



Архитектура слоев распределённой системы, функционирующей на основе распределенной виртуальной машины

Программное обеспечение распределённой системы при использовании такой методологии должно разрабатываться как единая программная среда, в которой взаимодействие изолированных программных компонентов синтаксически схоже с организацией взаимодействия в классическом (не распределенном) приложении. При этом узлы распределённой системы должны рассматриваться не по отдельности, а как единый вычислительный ресурс [2, 3], соответственно отдельные функции для межкомпонентной синхронизации не требуются. Конкретное распределение функциональных модулей по узлам системы (то есть её конфигурация), может быть различной. Например, графический терминал распределённой системы сам по себе не определяет пользовательский интерфейс, он имеет функционал реализации графических элементов, но структура их расположения в пользовательском интерфейсе и бизнес-логика реализована во внешнем компоненте [4]. Компоненты на узле распределённой системы предоставляют библиотеку предустановленных функций, обеспечивающих необходимый набор моделей и алгоритмов, к которой можно обратиться удалённо. В этом случае данные, передаваемые на удалённый узел, являются последовательностью вызовов удалённых (то есть находящихся на внешнем узле) предустановленных функций.

Приведем пример построения распределенной системы с использованием описанной методологии. Узлами данной системы являются группа БЛА и наземная станция управления. Рассмотрим два варианта реализации алгоритмов движения отдельных БЛА по маршруту. В первом случае в каждом БЛА реализовано множество алгоритмов анализа окружающей обстановки, необходимых для реализации алгоритмов полёта и разработчику программного обеспечения для организации полета БЛА по маршруту фактически достаточно вызвать одну функцию — запуск полета функции полета с параметрами маршрута. Во втором случае на БЛА реализованы низкоуровневые команды управления: движение с заданным курсом на заданное расстояние, простые полетные эволюции, изменение высоты и т.п. При этом алгоритмы, реализующие высокоуровневые функции полета, будут локализованы на вычислителе наземной станции управления, а не на вычислительном устройстве БЛА. В обоих рассмотренных случаях алгоритмы полета будут достаточно эффективно реализованы, но локализация их компонентов зависит от текущих задач и возможностей конкретной распределенной системы. Это является актуальным, когда мощность вычислительного устройства (в данном случае, находящегося на БЛА) ограничена.

Предложенный подход при разработке распределённых киберфизических систем для организации межкомпонентного взаимодействия позволяет выбирать устройства, на которых будут исполняться высокоуровневые алгоритмы, реализующие целевую задачу. Это повышает масштабируемость всей системы в целом, так как устраняет «привязку» исполнимого кода к вы-

числительному устройству, позволяя изменять архитектурные решения не в процессе разработки, а в процессе эксплуатации системы.

Заключение. Предложенный подход при разработке распределенных киберфизических систем для организации межкомпонентного взаимодействия позволяет разработчикам сосредоточиться на решении целевой задачи, устранив непосредственное обращение к низкоуровневым коммуникационным функциям.

Кроме того, становится возможна динамическая модификация поведения изолированного программного процесса (динамическое реконфигурирование), функционирующего на каждом узле распределенной системы, без необходимости обновления его программного кода (фактически кода виртуальной машины и программного кода системного уровня) и без остановки его работы.

Работа проводилась в рамках исполнения Государственного задания, бюджетная тема № FFZF-2022-0005

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Бытачевская Т.Н., Плужникова В.Г.** Дизайн создания и коммуникации киберфизических систем и интернета вещей. *Интеллектуальные технологии и средства реабилитации и абилитации людей с ограниченными возможностями* (ИТСР-2017), 2018.
- Шальнев И.О. Подход к построению распределенной виртуальной машины на основе объектноориентированного программирования. Известия Тульского государственного университета. 2020. №9. С. 40–47.
- 3. **Кулешов С.В., Зайцева А.А., Шальнев И.О.** Подход к реализации распределенной системы виртуальных машин для самоорганизующихся сетей. *Информационно-управляющие системы*, №5, 2019, с. 30-37. doi:10.31799/1684-8853-2019-5-30-37
- Шальнев И.О., Аксенов А.Ю. Генерация пользовательского интерфейса на основе технологии распределенной виртуальной среды. Информационно-измерительные и управляющие системы, 2019. Т. 17. №5 С. 44-50.
- 5. **Кулешов С.В. Цветков О.В.** Активные данные в цифровых программно-определяемых системах. *Информационно-измерительные и управляющие системы*, 2014, №6. С. 12-19.

S.V.Kuleshov, I.O.Shalnev, A.A.Zaytseva, A.Y.Aksenov (SPC RAS, St.-Petersburg). Communication infrastructure based on active data in cyber-physical systems

The problem of effective organization of component interaction is actual in modern distributed cyber-physical systems. The methodology proposed in the paper for organizing interaction between the components of a distributed system without explicitly referring to the communication infrastructure allows solving target problems without directly accessing low-level communication functions. This provides dynamic reconfiguration of the software process that operates on each node of the distributed system, without the need to update its program code and without interrupting his work.

#### Секция 5

# БЕЗОПАСНОСТЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УПРАВЛЕНИИ

#### И. В. КОТЕНКО. И. Б. САЕНКО

(Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург)

# КОНЦЕПЦИЯ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ МАССИВОВ ГЕТЕРОГЕННЫХ ДАННЫХ О СОБЫТИЯХ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ В КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ИНФРАСТРУКТУРАХ

Рассмотрена концепция аналитической обработки больших массивов гетерогенных данных о событиях кибербезопасности, производимой в интересах оценки состояния, поддержки принятия решений и расследования компьютерных инцидентов в критически важных инфраструктурах. Проанализированы подходы к применению суперкомпьютерных вычислений для обработки больших данных по кибербезопасности. Предложена и обсуждена архитектура системы аналитической обработки гетерогенных данных о событиях кибербезопасности в критически важных инфраструктурах.

Введение. Рост объемов собираемых данных о событиях кибербезопасности и развитие средств и методов их надежного хранения привели к повышению актуальности разработки новых методов и алгоритмов анализа больших и сверхбольших наборов данных такого класса. Анализ таких объемов данных о событиях кибербезопасности в современных критически важных инфраструктурах (КВИ) требует привлечения технологий и средств реализации высокопроизводительных (суперкомпьютерных) вычислений [1]. Именно на этом пути необходима разработка с единых системных позиций концептуальных основ (концепции) аналитической обработки больших массивов гетерогенных данных о событиях кибербезопасности [2, 3].

Предлагаемый доклад посвящен рассмотрению концепции, которая призвана сформировать систему взглядов, идей и принципов аналитической (суперкомпьютерной) обработки больших данных в интересах оценки состояния, поддержки принятия решений и расследования компьютерных инцидентов в КВИ [4–6]. Она предназначена для заказчиков, разработчиков и пользователей перспективных систем мониторинга и управления безопасностью КВИ, в которых осуществляется аналитическая обработка больших массивов гетерогенных данных о событиях кибербезопасности в интересах оценки состояния, поддержки принятия решений и расследования компьютерных инцидентов в критически важных инфраструктурах. Концепция является методологической базой нормативно-технических и методических документов, направленных на решение следующих задач: выработку технических заданий на построение систем аналитической обработки больших массивов гетерогенных данных о событиях кибербезопасности в интересах оценки состояния; поддержку принятия решений и расследования компьютерных инцидентов в КВИ; создание систем аналитической обработки больших массивов гетерогенных данных о событиях кибербезопасности; сертификацию систем такого вида.

Подходы к применению суперкомпьютерных вычислений для обработки больших данных по кибербезопасности. Суперкомпьютерные вычисления являются важнейшей технологией для получения технологического лидерства в наукоемких разработках. Это касается самых разных областей деятельности человека, включая машиностроение, медицину, кибербезопасность, экономику, биоинформатику и многие другие. Одновременно с ростом объемов данных развиваются методы и технологии их анализа, в том числе методы извлечения новых знаний из массивов данных. Среди них можно выделить методы искусственного интеллекта, топологического анализа данных, статистического анализа, алгоритмы параллельной обработки данных, технологии потоковой обработки данных, и другие.

Особенностью суперкомпьютерных систем является их ориентация на параллельно-массивную обработку данных и решение масштабных задач [7]. Современные суперкомпьютерные системы построены по кластерной архитектуре, то есть состоят из большого количества вычислителей, мощных серверов с гомогенной или гетерогенной архитектурой. Под гомогенной архитектурой подразумевается наличие процессоров одного типа в одном вычислительном узле, например, Intel или ARM архитектуры. Под гетерогенной архитектурой подразумевается наличие процессоров нескольких типов в одном вычислительном узле, например Intel и GPU одновременно. Все вычислители суперкомпьютерных систем объединены быстрой сетью, например, Infiniband. В отличие от сетей Ethernet, широко применяемых в дата-центрах и облачных системах, Infiniband или аналогичные технологии обеспечивают большую пропускную способность и низкую латентность (менее микросекунды) при обмене информации. Это дает больше возможностей для масштабирования при решении ресурсоемких вычислительных задач. Кроме того, применение гетерогенных вычислителей с использованием GPU или ПЛИС-ускорителей позволяет существенно повысить скорость обработки данных, а также обеспечить решение задач в области машинного обучения.

Задачи обработки больших данных по кибербезопасности можно отнести к следующим категориям: (1) обучение интеллектуальных алгоритмов; (2) масштабная обработка данных; (3) моделирование.

В рамках первой категории необходимо применение гетерогенных высокопроизводительных систем, оборудованных графическими ускорителями для обеспечения процессов обучения. Для решения задач глубокого машинного обучения и применения методов искусственного интеллекта эффективными инструментами являются графические ускорители с поддержкой технологии CUDA. Практически все современные библиотеки, например, TensorFlow, Keras, PyTorch и Theano, поддерживают данную библиотеку.

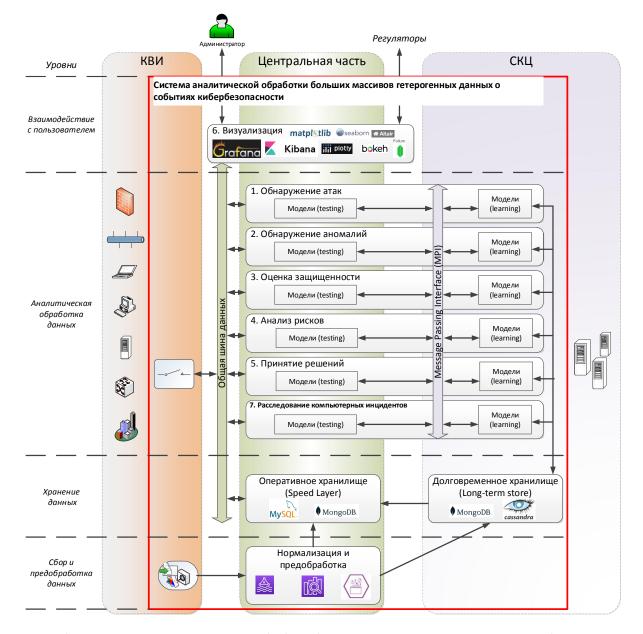
Ко второй категории относятся задачи обработки больших массивов данных с целью их предварительной подготовки для дальнейшего анализа, применения алгоритмов связывания данных, решения ресурсоемких задач по поиску сложных зависимостей в данных. Для эффективной обработки данных необходимо как можно большую их часть загрузить в память системы, чтобы повысить скорость их обработки. Для этой цели применяется кластерная архитектура суперкомпьютерных систем и используется технология MPI (Message Passing Interface). В результате можно построить программную среду с распределенной памятью, в которой обработчики (MPI-процессы) могут работать как со своими локальными данными, так и с данными других процессов, обмениваясь друг с другом сообщениями. Такой подход позволяет построить сложные структуры данных большого объема, в том числе в виде графов.

Третья категория относится к задачам моделирования. Спектр решаемых здесь задач - достаточно широкий, например задачи моделирования для проектирования комплексного применения отдельных компонентов защиты [8]. Отдельно можно выделить задачи имитационного моделирования, которые можно масштабировать [9]. Подход с использованием МРІ позволяет применить акторную модель при моделировании и при этом поместить в каждый актор достаточно ресурсоемкий алгоритм. Кроме имитационного моделирования, актуально применение точных математических, статистических и других моделей для задач обработки, дополнения, восстановления и генерации данных.

Архитектура системы аналитической обработки больших массивов гетерогенных данных о событиях кибербезопасности (САО БМГД СБ). В разработанной архитектуре САО БМГД СБ (рисунок) выделяются следующие функциональные компоненты: (1) обнаружения в реальном времени атак на основе имитационного и графо-ориентированного моделирования; (2) обнаружения в реальном времени аномальной активности и нарушений критериев и политик безопасности; (3) оперативной оценки защищенности информационных, телекоммуникационных и других критически важных ресурсов; (4) оперативного анализа и управления рисками информационной безопасности; (5) оперативной визуализации больших массивов гетерогенных данных о событиях кибербезопасности; (6) принятия решений по защите информационных, телекоммуникационных и других критически важных ресурсов; (7) проведения расследований компьютерных инцидентов на основе аналитической обработки больших массивов гетероген-

ных данных о кибербезопасности; (8) взаимодействия с суперкомпьютерным вычислительным центром (СВЦ). Предлагаемая архитектура обладает следующими особенностями.

- 1. САО БМГД СБ является распределенной системой. Она охватывает: часть защищаемой КВИ; часть оборудования СКЦ; центральную часть (ядро) системы, которое находится на территории СПб ФИЦ РАН.
- 2. Компоненты 1–5 и 7 системы предназначены для решения конкретных задач по анализу событий безопасности и принятию решений по противодействию атакам. Компонент 6 предназначен для визуального анализа событий безопасности, а также представления промежуточных и конечных результатов работы предыдущих компонентов.



Архитектура системы аналитической обработки больших массивов гетерогенных данных о событиях кибербезопасности

- 3. Каждый из функциональных компонентов содержит 3 части оборудования: удаленную на стороне КВИ; удаленную на стороне СКЦ; центральную, находящуюся в СПБ ФИЦ РАН.
- 4. Сбор, предобработка и хранение данных о событиях безопасности происходят на уровнях «Сбора и предобработки данных» и «Хранения данных». На этих уровнях выделить два типа хранилищ данных: оперативное (Speed Layer), которое находится в центральной части, и долговременное (Long-term store), расположенное в СКЦ.

- 5. Обмен между компонентами осуществляется через общую шину данных. Кроме того, общая шина отвечает за доведение данных до администратора и регуляторов.
- 6. Каждый функциональный компонент состоит из двух частей: центральной и удаленной. В центральной части обученные модели применяются для тестирования (т. е. решаются задачи по выявлению атак, аномалий, оценки защищенности и т. д.). В удаленной части происходит обучение моделей. Обмен между центральными и удаленными частями компонентов происходит по технологии MPI.

Заключение. Таким образом, рассмотрены основные положения разработанной концепции аналитической обработки больших массивов гетерогенных данных о событиях кибербезопасности в интересах оценки состояния, поддержки принятия решений и расследования компьютерных инцидентов в КВИ. Эти положения касаются подходов к применению суперкомпьютерных вычислений для обработки больших данных по кибербезопасности и архитектуры САО БМГД СБ. Направления дальнейших исследований связываются с разработкой моделей, методов, алгоритмов и прототипов программных средств аналитической обработки больших данных по кибербезопасности, предназначенных для реализации в соответствующих функциональных компонентах САО БМГД СБ.

Работа проводилась при поддержке гранта РНФ № 21-71-20078

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Yang X., Wu C., Lu K., Fang L., Zhang Y., Li S., Guo G., Du Y. An Interface for Biomedical Big Data Processing on the Tianhe-2 Supercomputer. *Molecules*. 2017. Vol. 22, № 12. Article 2116.
- 2. **Demchenko Y., Ngo C., de Laat C., Membrey P., Gordijenko D.** Big Security for Big Data: Addressing Security Challenges for the Big Data Infrastructure. Lecture Notes in Computer Science. 2014. Vol. 8425. P. 76-94.
- 3. **Jain P., Gyanchandani M., Khare, N**. Big data privacy: a technological perspective and review. *J Big Data*. 2016. Vol. 3, № 25.
- 4. **Агеев С.А., Шерстюк Ю.М., Саенко И.Б., Полубелова О.В.** Концептуальные основы автоматизации управления защищенными мультисервисными сетями. *Проблемы информационной безопасностии. Компьютерные системы.* 2011. № 3. С. 30-39.
- 5. **Kotenko I., Doynikova E.** Security Assessment of Computer Networks based on Attack Graphs and Security Events. *Lecture Notes in Computer Science*. 2014. Vol.8407. P.462-471.
- Браницкий А.А., Котенко И.В. Обнаружение сетевых атак на основе комплексирования нейронных, иммунных и нейро-нечетких классификаторов. Информационно-управляющие системы. 2015. № 4 (77). С.69-77. doi:10.15217/issn1684-8853.2015.4.69.
- 7. **Mei S., Guan H., Wang Q**. An Overview on the Convergence of High Performance Computing and Big Data Processing. *Publication in ICPADS'18: Proceedings of the 2018 IEEE 24th International Conference on Parallel and Distributed Systems* (December 2018). **P.** 1046–1051.
- 8. **Десницкий В.А., Чечулин А.А., Котенко И.В., Левшун Д.С., Коломеец М.В.** Комбинированная методика проектирования защищенных встроенных устройств на примере системы охраны периметра. *Труды СПИИРАН*. 2016. № 5 (48). С. 5-31.
- 9. **Kotenko I., Konovalov A., Shorov A**. Agent-based simulation of cooperative defence against botnets. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, Vol. 24, Issue 6, 25 April 2012. P. 573-588.

I.V.Kotenko, I.B.Saenko (St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg). The Concept of Analytical Processing of Large Arrays of Heterogeneous Data on Cyber Security Events in Critical Infrastructures

The concept of analytical processing of large arrays of heterogeneous data on cybersecurity events, produced in the interests of state assessment, decision support and investigation of computer incidents in critical infrastructures, is considered. Approaches to the use of supercomputing for processing big data on cybersecurity are analyzed. The architecture of a system for analytical processing of large arrays of heterogeneous data on cybersecurity events is proposed and discussed.

# А. А. БАЙБУЛАТОВ, В. Г. ПРОМЫСЛОВ (Институт проблем управления В.А. Трапезникова РАН, Москва)

### О МЕТРИКЕ ДОСТУПНОСТИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Для современных систем управления на промышленных объектах свойство доступности является наиболее важным среди других компонентов, составляющих триаду информационной безопасности. Однако в политиках и программах безопасности обычно более широко освещаются свойства конфиденциальности и целостности, а свойству доступности уделяется сравнительно мало внимания. Более того, для оценки и поддержания безопасности используется целый ряд моделей, но ни одна из них непосредственно не связана со свойством доступности. Стараясь восполнить указанный пробел, в докладе рассматривается свойство доступности в контексте промышленных систем управления. Для идейной характеристики доступности предлагается использовать определение доступности по МЭК 62443, а в качестве количественной меры доступности — задержку передачи сигнала от источника до приемника. Для исследования свойства доступности предложена референтная модель. На основе задержки как меры выведена метрика доступности. Для расчета метрики предложено использовать системный анализ.

**Введение.** При исследовании информационной безопасности промышленных систем управления обычно используется классическая модель, объединяющая три свойства: конфиденциальность, целостность и доступность, каждое из которых обладает своей степенью ценности. Известно, что для систем управления наиболее важным является свойство доступности. В частности, отсутствие доступности компонентов систем управления промышленных объектов важных для безопасности в результате кибератак увеличивает вероятность серьезных нарушений и угрожает безопасности самих объектов и окружающей среды в целом.

При оценке доступности функций промышленных систем управления возникает целый ряд задач. Одна из первых заключается в правильном выборе идейной интерпретации доступности, поскольку разные нормативные документы дают несколько различные определения понятию доступности. Другая проблема — как используя выбранную трактовку подобрать количественный показатель или меру доступности. Следующая проблема — как показатель или целый ряд показателей свести в одну количественную метрику. Одна из заключительных задач — разработать математический метод для расчета метрики.

Предлагаемый доклад посвящен исследованию свойства доступности для промышленных систем управления. Поясняется выбор определения доступности, предложена мера доступности и выведена метрика. Предложена референтная модель доступности и изложена идея для расчета метрики.

**Идея метрики доступности.** *Понямие доступности в международных стандартах.* При исследовании доступности и выборе определения, подходящего для систем управления промышленных объектов важных для безопасности, следует руководствоваться специализированными стандартами ИСО, МЭК, МАГАТЭ. При этом наиболее важными характеристиками, которые следует рассматривать при разработке метрики доступности, являются количественная измеримость и совместимость с системами важными для безопасности. В таблице представлены результаты анализа определений доступности в некоторых стандартах ИСО, МЭК, МАГАТЭ.

Таблица

## Анализ определений доступности

Стандарт	Количественная измеримость	Совместимость с системами важными для безопасности
ИСО/МЭК 27000 [1]	-	+
MAΓATЭ № NP-T-1.13 [2]	+	-
MAΓAΤЭ № SSG-39 [3]	-	+
МЭК 62645 [4]	-	+
МЭК 62443 [5]	+	+

Из проведенного анализа определений [6] следует, что наиболее подходящим является определение доступности согласно МЭК 62443 [5]: «свойство, гарантирующее своевременный и надежный доступ к информации и функциям, относящимся к системе управления, и их использование».

**Мера доступности.** Следуя определению МЭК 62443 в качестве объективного измеряемого показателя, или, другими словами, меры доступности удобно выбрать время передачи сигнала от источника до приемника или задержку. Важное преимущество задержки – количественная измеримость этого показателя: в условиях нормальной эксплуатации задержка является диагностической функцией и измеряется специальным программным обеспечением [7].

**Референтная модель доступности.** На основе задержки как меры доступности можно вывести универсальную метрику для количественной оценки доступности управления. Для этого необходимо построить модель, имея в виду, что доступность для промышленного объекта может быть представлена состоящей из 5-ти уровней [8]: физическое оборудование, организационный персонал, программно-технические средства + вычислительная сеть, организационный процесс, информация. В предлагаемом докладе рассмотрен только уровень программного обеспечения.

Для решения задач, связанных со свойством доступности в контексте промышленных систем управления, в частности, для количественной оценки доступности удобно использовать референтную модель [6] (рисунок). Концепции (домены), которые составляют модель, означают следующее. Метрика доступности — это абстрактная величина, основанная на соответствующих мерах доступности, которая служит для количественной оценки доступности. Функция — это одна из функций, для реализации которой служит рассматриваемая система управления. Под системой понимается архитектура системы. Платформа — это набор объектов, которые нуждаются в защите. Задержка — это измеряемая или оцениваемая величина времени прохождения сигнала с учетом архитектуры системы. Временные параметры — это параметры, для которых измеряется задержка.

	Метрика доступности
СТБ	Функция
гупность	Система
Tyi	Платформа
Дост	Задержка
	Временные параметры

Референтная модель доступности

**Метрика доступности.** При описании доступности системы управления и создании метрики в соответствии с референтной моделью, в первую очередь, необходимо рассмотреть домен Функция. Для простоты расчетов можно выбрать только одну функцию, например, функцию мониторинга. В соответствии с моделью доступность может быть выражена как следующая композиция:

Доступность = 
$$A \circ F \circ S \circ a \circ d(t)$$
,

где A — метрика доступности, F — выбранная функция, S — архитектура системы, a — платформа, d — задержка, t — временной вектор.

Метрика доступности может быть определена следующим образом [6]:

$$A = \begin{cases} 1 - \frac{d}{d_{max}}, & d < d_{max}, \\ 0, & d \ge d_{max} \end{cases}$$
 (1)

где d — измеряемое или оцениваемое значение задержки для рассматриваемых временных параметров,  $d_{max}$  — заданное максимальное значение задержки, например, в соответствии с техническим заданием.

Для того чтобы обобщить метрику (1) и сделать ее более точной, необходимо рассмотреть домен Система, имея в виду, что в реальности задержка зависит от архитектуры системы, т. е. является составной величиной, включающей несколько временных интервалов.

Следуя системному подходу [9], можно применить понятие зависимости к домену Система. Для этого представим систему управления состоящей из совокупности п программных компонентов, т.е. рассмотрим передачу сигналов мониторинга по системе, состоящей из п компонентов.

Для задания показателя зависимости между программными компонентами рассмотрим матрицу зависимости [10]:

$$\begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{pmatrix}, \tag{2}$$

где  $c_{ij}$ =1, если компонент i зависит от компонента j, и  $c_{ij}$ =0 в противном случае.

Тогда показатель зависимости системы управления в целом может быть выражен следующим образом:

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} c_{ij}. \tag{3}$$

Величина (3) особенно важна на этапах проектирования и пуско-наладки, когда проводятся плановые и внеплановые модификации системы.

С использованием показателя зависимости (3) задержка в системе управления может быть рассчитана следующим образом:

$$d = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} c_{ij} d_{ij}, \tag{4}$$

где  $d_{ij}$  означает время передачи сигнала от компонента i до компонента j, если if  $i \neq j$ , и время выполнения компонента i, если i = j.

Из (1) и (4) метрика доступности может быть выражена:

$$A = \begin{cases} 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} c_{ij} d_{ij}}{d_{max}}, & \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} c_{ij} d_{ij} < d_{max} \\ 0, & \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} c_{ij} d_{ij} \ge d_{max} \end{cases}$$
(5)

Выражение (5) позволяет вычислять метрику доступности на основе знания структуры системы с использованием измеряемых временных интервалов прохождения сигналов и заданного максимального значения задержки.

**Заключение.** Выведенная в докладе метрика будет полезной для количественной оценки доступности на всех этапах жизненного цикла промышленных систем управления, поскольку задержка как мера измеряется в штатном режиме на этапе эксплуатации, а величина показателя зависимости может корректироваться на этапах проектирования и пуско-наладки.

#### ЛИТЕРАТУРА

- ISO/IEC 27000 Information technology Security techniques Information security management systems Overview and vocabulary. ISO. 2018, 32 p.
- 2. IAEA Nuclear Energy Series No. NP-T-1.13 «Technical Challenges in the Application and Licensing of Digital Instrumentation and Control Systems in Nuclear Power Plants». IAEA, Vienna. 2015, 68+iv+viii p.
- IAEA Safety Standards Series № SSG-39 «Design of Instrumentation and Control Systems for Nuclear Power Plants». IAEA, Vienna. 2016, 166+xvi p.
- IEC 62645 Nuclear power plants Instrumentation and control systems Requirements for security programmes for computer-based systems. IEC, Geneva. 2014, 93 p.
- IEC 62443-3-3 Industrial communication networks Network and system security Part 3-3: System security requirements and security levels. IEC, Geneva. 2013, 170 p.
- Baybulatov A.A., Promyslov V.G. "Industrial Control System Availability Assessment with a Metric Based on Delay and Dependency," IFAC-PapersOnLine. Elsevier, Amsterdam, vol. 54, issue 13, pp. 472-476, 2021.
- 7. **Promyslov V.G., Masolkin S.I.** "NPP APCS diagnostics implementation as a routine task of APCS," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 42, no. 2, pp. 221-225, 2009.
- 8. **Qadir S., Quadri S.M.K.** "Information Availability: An Insight into the Most Important Attribute of Information Security," *Journal of Information Security*, vol. 7, pp. 185-194, 2016.
- 9. **Avizienis A., Laprie J., Randell B.** "Fundamental Concepts of Dependability," *Proceedings of the 3rd IEEE Information Survivability Workshop* (ISW-2000), pp. 7-12, 2000.

10. **Qadir S.M., Quadri S.M.K.** "Metric for Evaluating Availability of an Information System: A Quantitative Approach Based on Component Dependency," *International Journal of Network Security & Its Applications (IJNSA)*, vol. 9, no. 2, pp. 1-11, 2017.

A.A.Baybulatov, V.G.Promyslov (RAS ICS, Moscow). On availability metric for industrial control systems

For modern control systems at industrial facilities, the availability property is the most important among other components comprising the information security triad. However, in security policies and programs, usually, the properties of confidentiality and integrity are described in detail, while the availability property is not paid much attention. Moreover, for the safety and security assessment and maintaining, a number of models are utilized, but none of them is related directly to availability. Trying to fill this gap, the article considers the availability property in the industrial control systems context. For characterizing availability, the IEC 62443 definition is suggested to use, and for the quantitative measure of availability, the delay of transmitting a signal from the source to the receiver is advocated. For the availability investigation, a reference model is proposed. On the basis of the delay as a measure, an availability metric is derived. For the metric calculation, dependability theory is suggested to utilize.

#### К. Н. ЖЕРНОВА

(Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург)

# КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ЧЕЛОВЕКО-КОМПЬЮТЕРНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ, ОСНОВАННЫХ НА ТЕХНОЛОГИЯХ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ И СЕНСОРНЫХ ЭКРАНОВ

Человеко-компьютерные интерфейсы являются постоянно развивающейся областью. В то же современные типы интерфейсов начинают применяться в приложениях информационной безопасности, и поэтому данные типы интерфейсов требуется защищать от третьих лиц. По этой причине требуется разрабатывать модели человеко-компьютерных интерфейсов, на основе которых можно проектировать алгоритмы и методики защиты интерфейсов от угроз информационной и компьютерной безопасности. В данном докладе предлагается концептуальная модель человеко-компьютерных интерфейсов на основе сенсорных экранов и виртуальной реальности.

Введение. Угрозы человеко-компьютерным интерфейсам делятся на два типа:

- 1) атаки на интерфейс, использующие пути, типичные для интерфейса: атака на видеоканал интерфейса обман системы распознавания лиц [1], атака на аудиоканал использование команд, записанных в ультразвуковом диапазоне [2];
- 2) атаки на пользователя через интерфейс. Некоторые атаки могут наносить ущерб здоровью пользователя [3, 4].

Исследования, посвящённые проблеме защищённости интерфейса, рассматривают методы защиты от конкретной угрозы безопасности человеко-компьютерного интерфейса [5, 6, 7]. Однако для того, чтобы оценить защищённость интерфейса, требуется разработать модели интерфейсов, их уязвимостей, а также алгоритмы для оценивания защищённости интерфейсов. Интерфейсы обладают большим разнообразием, однако, несмотря на разнообразие, имеют общие характеристики. Поэтому была разработана концептуальная модель человеко-компьютерного интерфейса, которая позволит оперировать интерфейсом как набором входных данных для алгоритмов оценивания интерфейсов.

**Описание концептуальной модели.** Концептуальная модель взаимодействия внутри интерфейса «система-оператор» предполагает взаимодействие оператора с интерфейсом и интерфейса с оператором. Интерфейс состоит из компонента визуализации (который отображает обработанные данные) и компонента управления (который позволяет взаимодействовать с этими данными через визуализацию).

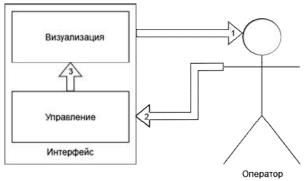


Рис. 1. Кольцо взаимодействия оператора с интерфейсом

Концептуальная модель описывает три основных потока данных при взаимодействии оператора с компьютерной системой: (1) компонент визуализации → оператор, (2) оператор → компонент управления, (3) компонент управления → компонент визуализации. Процесс циркуляции данных при взаимодействии с интерфейсом выглядит следующим образом.

1. Данные, собранные системой, отображаются в виде модели визуализации, которую оператор воспринимает своими органами чувств.

- 2. Далее оператор принимает решение, и на основе этого решения вносит изменения в систему с помощью компонента управления интерфейса.
  - 3. Внесённые изменения отображаются с помощью модели визуализации.

Концептуальная модель интерфейсов может применяться для разных типов визуальных интерфейсов. Ниже будут рассмотрены интерфейсы на основе виртуальной реальности и сенсорных экранов. Данные интерфейсы были выбраны, поскольку они достаточно новые и всё ещё активно развиваются, визуальные интерфейсы выбраны по той причине, что большую часть информации человек воспринимает через зрительный канал.

В ходе работы построена схема петли взаимодействия между оператором и системой. На основе этой схемы может быть выработана модель угроз, которая включает в себя угрозы для пользователя, угрозы для системы и угрозы при их пересечении. Затем на основе этой модели угроз возможно построить вектора атак, которые будут учитывать взаимосвязанность элементов схемы между собой.

*Интерфейс виртуальной реальности*. На рис. 2 представлена схема взаимодействия основных элементов интерфейса виртуальной реальности.

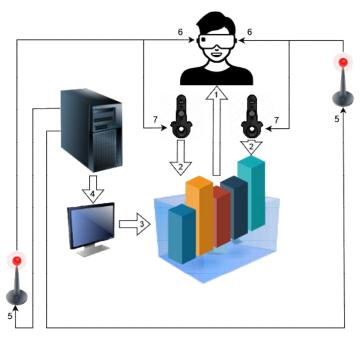


Рис. 2. Схема взаимодействия основных элементов интерфейса виртуальной реальности

Потоки информации на данной схеме обозначены следующим образом.

- 1. Визуализация → очки виртуальной реальности. При помощи очков виртуальной реальности оператор может видеть представляемые системой модели визуализации.
- 2. Контроллеры  $\rightarrow$  визуализация. С помощью контроллеров оператор взаимодействует с визуализацией.
- 3. Монитор → визуализация. Визуализация чаще всего отображается не только очками виртуальной реальности, но и на мониторе.
- 4. Память устройства → монитор. Обработанные данные приложения отображаются на мониторе в виде моделей визуализации.
- 5. Память устройства → базовые станции. Обработанные данные приложения передаются с устройства базовым станциям.
- 6. Базовые станции  $\rightarrow$  очки виртуальной реальности. Базовые станции отслеживают местоположение очков виртуальной реальности для правильного отображения местоположения
  аватара пользователя.
- 7. Базовые станции ↔ контроллеры. Базовые станции отслеживают местоположение контроллеров и принимают команды оператора, отданные с помощью контроллеров.

Соответствие потоков информации в концептуальной модели и потоков информации интерфейса виртуальной реальности представлено в табл. 1:

Таблица 1 Потоки информации в интерфейсе, основанном на технологии виртуальной реальности

Концептуальная модель	Интерфейс виртуальной реальности
Компонент визуализации → оператор	Визуализация → очки виртуальной реальности
	Базовые станции → очки виртуальной реальности
Оператор → компонент управления	Контроллеры → визуализация
Компонент управления → компонент визуализации	Монитор $ ightarrow$ визуализация
	Память устройства $\rightarrow$ монитор
	Память устройства $\rightarrow$ базовые станции
	Базовые станции ↔ контроллеры

*Интерфейс виртуальной реальности*. На рис. 3 представлена схема взаимодействия основных элементов интерфейса для сенсорных экранов.



Рис. 3. Схема взаимодействия основных элементов интерфейса для сенсорных экранов

Потоки информации интерфейса сенсорных экранов обозначены следующим образом.

- 1. Визуализация → оператор. Оператор воспринимает визуализацию на экране сенсорного устройства.
- 2. Контроллеры → визуализация. В качестве контроллеров могут выступать стилус или рука оператора. Оператор вносит изменения и взаимодействует с данными визуализации.
- 3. Монитор → визуализация. Визуализация отображается на мониторе после изменений, вносимых оператором.
- 4. Память устройства → монитор. Обработанные данные приложения отображаются на мониторе в виде моделей визуализации.

Соответствие потоков информации в концептуальной модели и потоков информации интерфейса сенсорных экранов представлено в табл. 2:

Таблица 2 Потоки информации в интерфейсе, основанном на технологии сенсорных экранов

Концептуальная модель	Интерфейс сенсорных экранов
Компонент визуализации → оператор	Визуализация → оператор
Оператор → компонент управления	Контроллеры → визуализация
Компонент управления → компонент визуализации	Память устройства $\rightarrow$ монитор
	Монитор $ ightarrow$ визуализация

На примере интерфейсов виртуальной реальности и сенсорных экранов можно видеть, что данная концептуальная модель подходит для различных видов визуальных интерфейсов. Каждый поток может подвергаться угрозам информационной безопасности. Однако знание о том,

каким потокам в концептуальной модели соответствуют потоки данных рассматриваемого интерфейса, поможет идентифицировать угрозы, которым подвержен интерфейс.

Заключение. В данном докладе представлена концептуальная модель человекокомпьютерного интерфейса, которая позволит оперировать интерфейсом как входными данными для алгоритмов оценки человеко-компьютерного интерфейса. Также данная модель рассмотрена на примерах современных типов интерфейсов, основанных на технологиях сенсорных экранов и виртуальной реальности. Использование предложенной модели в алгоритмах оценки защищённости интерфейсов позволит повысить осведомленность оператора о состоянии информационной и компьютерной безопасности используемой компьютерной системы.

Работа проводилась при поддержке гранта РФФИ 20-37-90130 Аспиранты.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Zhong Y., Deng W**. Towards transferable adversarial attack against deep face recognition. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*. 2020. V. 16. Pp. 1452-1466.
- 2. Song, L., Mittal P. Poster: inaudible voice commands. *Proceedings of the 2017 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security*, pp. 2583–2585 (2017).
- 3. **Sproul J., Ledger S., MacCallum J.** A review of digital media guidelines for students with visual light sensitivity. *International Journal of Disability, Development and Education*. 2021. V. 68. No. 2. Pp. 222-239.
- South L., Saffo D., Borkin M.A. Detecting and Defending Against Seizure-Inducing GIFs in Social Media/ Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. 2021. Pp. 1-17.
- 5. **Rafique M.U., Sen-ching S.C**. Tracking Attacks on Virtual Reality Systems. *IEEE Consumer Electronics Magazine*. 2020. V. 9. №. 2. Pp. 41-46.
- 6. **Mathis F. et al.** Fast and Secure Authentication in Virtual Reality using Coordinated 3D Manipulation and Pointing. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (ToCHI)*. 2021. V. 28. № 1. Pp. 1-44.
- 7. **De Guzman J.A., Thilakarathna K., Seneviratne A**. Security and privacy approaches in mixed reality: A literature survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*. 2019. V. 52. № 6. Pp. 1-37.

K.N.Zhernova, (St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg). Conceptual model of human-computer interfaces based on virtual reality technologies and touch screens

Human-computer interfaces are a constantly evolving area. At the same time, modern interface types are beginning to be used in information security applications, and therefore these interface types need to be protected from third parties. For this reason, it is required to develop models of human-computer interfaces, on the basis of which it is possible to design algorithms and methods for protecting interfaces from threats to information and computer security. This report proposes a conceptual model of human-computer interfaces based on touch screens and virtual reality.

#### М. В. КОЛОМЕЕЦ

(Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург)

# МЕТОДИКА РАЗМЕТКИ МЕТРИК БОТОВ СОЦИАЛЬНЫХ МЕДИА

В данной работе предлагается методика аннотации наборов ботов на основе закупки, которая в отличие от аналогов позволяет не только получить достоверные (ground-truth) лейблы ботов, но и получить ряд характеристик наборов ботов, подходящих для задачи обучения моделей характеризации атак в социальных сетях. В работе также приводится экспериментальная оценка предлагаемой методики на основе социальной сети ВКонтакте, а также корреляционный анализ характеристик ботов, собранных и аннотированных с использованием предлагаемой методики.

Введение. Вредоносные боты являются одним из основных инструментов злоумышленников для проведения атак в пространстве социальных медиа. По этой причине, тематика обнаружения ботов, расчет рисков, а также противодействия атакам в социальных сетях стала одной из актуальных областей информационной безопасности. Для этого исследователи разрабатывают различные методы анализа ботов, большинство которых [1] основаны на методах обучения с учителем. Ключевой проблемой данных методов является проблема формирования корректных наборов данных для обучения [1], так как для аннотации наборов чаще всего привлекаются эксперты [2, 3], способности которых обнаружить и корректно охарактеризовать бота не однозначны, и являются предметом дискуссии [1]. Целью настоящего исследования было разработать методику получения таких наборов, которые не только содержали бы ground-truth лейблы бот/не бот, но и ряд характеристик ботов, с использованием которых можно было бы оценить атаку и выбрать правильную стратегию противодействия. Для этого предлагается формировать наборы методом закупки у продавцов [4] ботов в искусственно созданные сообщества в контролируемых исследователем условиях.

**Методика разметки на основе закупки.** Разработанная методика основана на создании фейкового сообщества, в которое, в контролируемых исследователем условиях, закупаются боты и исключаются реальные пользователи. Данная методика состоит из 5 шагов:

- 1. Создание списка продавцов ботов и их услуг с указанием описания набора ботов от продавца. Как правило, один продавец предлагает на выбор ботов нескольких разных качеств. Список включает:
  - а. название продавца;
  - b. качество ботов, определяемое экспертом на основании описания продавца;
  - с. тип продавца: магазин ботов или биржа ботов; магазин, это площадка, где покупатель приобретает активность у одного единственного продавца, который имеет некоторые наборы ботов различных характеристик; биржа, это площадка, где покупатель размещает заказ, а продавец ботов за комиссию от сделки публикует заказ на своей бирже, где любой человек может его выполнить за деньги такие боты чаще используются для генерации сложного текстового контента;
  - d. вид активности лайк, комментарий и т. д. (зависит от вида социального медиа и предложения продавца);
  - е. цена за единицу активности в рублях на день покупки.
- 2. Создание фейкового сообщества и наполнения его контентом. Сообщество должно удовлетворять двум условиям:
  - а. сообщество должно выглядеть настоящим, чтобы не вызвать у продавца ботов подозрений. Для этого сообщество наполняется контентом (фотографии, посты, другие фейковые пользователи). Некоторые продавцы ботов отказывают в услугах, если в сообществе состоит мало людей, либо у сообщества низкая активность.
  - b. сообщество не должно быть привлекательным для реального пользователя, чтобы исключить вероятность того, что реальные пользователи проявят активность в сообществе. Для этого общество должно обладать абсурдной / непривлекательной тематикой (например, осуществление перевозок между несуществующими городами и т. п.).

- 3. Закупка в сообщество партии ботов (один продавец, одно качество) и сохранение id аккаунтов, осуществивших активность, с сохранением метки продавца и качества для данной партии. При закупке продавцу дается задание, например – поставить N лайков посту X. По завершении закупки также размечается скорость ботов, как разница во времени между моментом оплаты и завершением задачи. Боты, управляемые программными средствами, могут совершить атаку моментально (завершить задание, данное продавцу ботов в течение нескольких секунд). А боты, имитирующие естественное поведение или управляемые людьми, совершают атаку в течение часа или суток. Скорость размечается как категориальная мера:
  - а. задание завершено моментально менее минуты;
  - b. задание завершено за несколько часов;
  - с. задание завершено за сутки и более.
- 4. Удаление активности в сообществе.
- 5. Повторение шага 3 для других продавцов ботов и предоставляемых ими категорий качеств.

В результате формируется набор данных, состоящий из ботов, который имеет следующие метки:

- 1. список id аккаунтов ботов позволяет собрать данные для формирования признаков для обучения;
- 2. название магазина для идентификации продавца и возможного дальнейшего уточнения отдельных характеристик ботов;
- 3. качество ботов, определенное экспертом на основании описания продавца по шкале [НИЗКОЕ, СРЕДНЕЕ, ВЫСОКОЕ];
- 4. тип продавца выражает стратегию управления ботов и включает 2 стратегии: магазин или биржа.
- 5. вид активности какая задача ставилась продавцу (лайк, комментарий и т. д.);
- 6. цена, уплаченная за бот, в рублях выражает стоимость атаки;
- 7. скорость задание завершено моментально / за несколько часов / около суток и более. Выражает скорость атаки, которая зависит от сложности поведения ботов.

Экспериментальная оценка методики и корреляционный анализ. С использованием данной методики были собраны 70 размеченных наборов ботов от 30 компаний в социальной сети ВКонтакте. Экспертное качество было размечено тремя экспертами. В совокупности были собрано 22325 аккаунтов ботов, из которых 18444 аккаунтов являются уникальными. Разница между числом собранных ботов и числом уникальных аккаунтов возникает из-за того, что некоторые продавцы ботов не создают своих собственных ботов, а используют другие магазины как источники ботов, либо собирают наборы ботов для выполнения задания сразу из нескольких источников. Таким образом, был сформирован набор данных, который содержит следующие характеристики, представленные в таблице: цена, скорость, экспертное качество, тип продавца. Также, на основе сканирования аккаунтов ботов была извлечена характеристика заполненности профиля (не является частью методики, и представлена для корреляционного анализа).

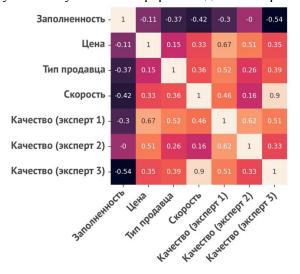
Характеристики ботов, полученные методом закупки

Таблица

Характеристика	Категориальная мера	Диапазон значений
Цена	-	$[0,\infty]$
Тип продавца	{магазин, биржа}	{0, 1}
Скорость	{моментально, час, сутки}	{0, 1, 2}
Экспертное качество	{низкое, среднее, высокое}	{0, 1, 2}
Заполненность	-	[0, 1]

На основе разметки собранных наборов данных, включая разметки от 3-х экспертов, была рассчитана корреляция Спирмена между метриками наборов. Целью анализа является определение возможной мультколинеарности между характеристиками ботов, наличие которой укажет на взаимозаменяемость метрик. Данный корреляционный анализ актуален для социальной сети ВКонтакте на 2022 год. Его результаты представлены на рисунке в виде матрицы и позволяют сделать ряд выводов:

- 1) Корреляция между качеством эксперта и прочими характеристиками выражает то, на что акцентировал внимание эксперт в ходе разметки. Например, эксперт 3 имеет весьма высокую корреляцию со скоростью, поэтому его ответы не информативны.
- 2) Наборы данных, в которых много незаполненных аккаунтов (пустых/заблокированных), чаще приобретены в магазинах, а не на биржах, а боты в них обладают высокой скоростью. Заполненность умеренно коррелирует с прочими характеристиками (по шкале Чеддока).
- 3) Цена, скорость и тип продавца имеют слабую либо умеренную взаимную корреляцию, что говорит об отсутствии мультиколинерарности данных характеристик.



Корреляция метрик ботов

Заключение. Была разработана методика закупки ботов, которая позволяет получить размеченные наборы данных с ground-truth лейблом бот / не бот и рядом характеристик наборов ботов — экспертное качество бота, тип продавца, скорость, цена. С использование данной методики были собраны и размечены 70 наборов ботов от 30 компаний (22325 аккаунтов ботов, из которых 18444 аккаунтов являются уникальными). В результате эксперимента получилось построить метрики характеристик для наборов ботов и провести корреляционный анализ, который показал, что метрики обладают достаточно высокой информативностью, что позволяет на основе наборов данных с полученными метриками обучать модели, которые могут прогнозировать цену атаки, скорость, тип продавца ботов и качество используемых в атаке ботов.

Работа проводилась при поддержке гранта РНФ  $18-71-10094-\Pi$ .

# ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Orabi M., Mouheb D., Al Aghbari Z., Kamel I**. Detection of Bots in Social Media: A Systematic Review. *Information Processing & Management*. 2020. Vol. 57. № 4.
- 2. Subrahmanian V.S., et al. The DARPA Twitter bot challenge. Computer. 2016. Vol. 49. № 6. P. 38-46.
- 3. **Igawa R.A., Barbon Jr S., Paulo K.C.S., Kido G.S., Guido R.C., Júnior M.L.P., da Silva I.N**. Account classification in online social networks with LBCA and wavelets. *Information Sciences*. 2016. Vol. 332. P. 72-83.
- 4. **Kolomeets M., Chechulin A.** Analysis of the Malicious Bots Market. 29th Conference of Open Innovations Association (FRUCT). 2021. Vol. 29. P. 199-205.

M.V.Kolomeets (St. Petersburg federal research center of the Russian academy of science, St. Petersburg). **Technique for labeling of social media bot metrics** 

In this paper, we propose a technique for labeling bot datasets based on the purchase method. This method in comparison with analogs allows one to obtain ground-truth bot labels and a number of bot characteristics, that can be used in training of social media attacks characterization models. The paper also provides an experimental evaluation of the proposed technique based on the analysis of social network VKontakte, as well as a correlation analysis of the bot metrics collected and labeled with the proposed methodology.

#### И. Б. ПАРАЩУК, И. В. КОТЕНКО

(Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург)

# ОПЕРАТИВНАЯ ОЦЕНКА ЗАЩИЩЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ НА ОСНОВЕ ДВУХЭТАПНОЙ ОБРАБОТКИ НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

В докладе предложен подход к реализации двухэтапной процедуры устранения неопределенности (неполноты и противоречивости) оперативной оценки защищенности информационных, телекоммуникационных и других критически важных ресурсов. Рассмотрены различные виды неопределенности исходных данных, необходимых для реализации процесса оценки. Предложенный подход позволяет повысить достоверность оперативного анализа защищенности за счет поэтапного применения методов и алгоритмов обработки неполных, противоречивых и нечетких знаний и данных.

**Введение.** Непростая задача создания и внедрения эффективного комплекса мер по поддержанию высокого уровня защищенности информационных, телекоммуникационных и других критически важных ресурсов страны по-прежнему стоит сегодня перед государством, обществом и конкретными профильными специалистами. Ключевую роль при решении этой задачи играет предварительная или динамическая оперативная оценка защищенности объектов такого класса. Оперативная и достоверная оценка позволяет построить адекватную защиту таких ресурсов, а значит, поставить надежный заслон нарушителям [1–3].

Под информационным ресурсом понимается вся совокупность данных, организованных для эффективного получения достоверной информации в интересах обеспечения бесперебойного функционирования критически важных инфраструктур. Это совокупность отдельных документов и массивов документов, а также множество документов и массивов документов в информационных подсистемах критически важных инфраструктур — библиотеках, архивах, фондах, банках данных и других информационных подсистемах [4, 5].

К телекоммуникационным ресурсам могут быть отнесены все имеющиеся в телекоммуникационных сетях и системах критически важных инфраструктур абонентские номера, адреса доменов, количество и пропускная способность линий связи (проводных, оптических, радио и спутниковых линий), каналов и трактов для передачи информации, маршрутизаторов, коммутационных станций и узлов, а также радиочастотный ресурс [6].

При этом задачи оперативной оценки защищенности информационных, телекоммуникационных и других критически важных ресурсов в условиях неопределенности исходных данных заслуживают особого внимания. Они являются ключевым вопросом теории и практики управления защитой данных в системах такого класса и основой обеспечения их безопасного функционирования.

Весь практический опыт в области получения достоверных оценок защищенности сложных технологических систем, оценок показателей информационной безопасности телекоммуникационных сетей и систем показывает, что объективный и оперативный анализ защищенности невозможен без предварительной обработки исходных данных и, соответственно, получаемых на ее основе выводов в условиях неопределенности, без привлечения алгоритмов анализа противоречивых и динамичных (изменяющихся) данных о текущих значениях параметров безопасности. Использование таких методов и алгоритмов позволяет повысить достоверность оценки защищенности информационных и телекоммуникационных ресурсов за счет дополнительной обработки неполных, противоречивых и нечетких исходных данных, а значит, в конечном итоге, повысить обоснованность принимаемых решений по реализации политики безопасности [7].

Рассматривается гипотеза, заключающаяся в том, что методы и алгоритмы обработки неполных, противоречивых и нечетких исходных данных для задач оперативной оценки защищенности могут быть использованы в комплексе. При этом задача интеграции и объединенного использования моделей, алгоритмов и методов обработки неполных, противоречивых и нечетких исходных данных в интересах устранения неполноты и противоречивости оперативной оценки защищенности информационных и телекоммуникационных ресурсов, решается в такой постановке впервые. Данные исследования являются дальнейшим развитием методологии оценки параметров различных сложных информационно-технических объектов, производственных и телекоммуникационных

процессов, а также процессов принятия решения в условиях различного вида неопределенности. При этом под неопределенностью понимают недостаточную осведомленность людей и подсистем, которые принимают решения на управление. Это неполное или неточное представление о текущих значениях различных параметров защищенности информационных и телекоммуникационных ресурсов, порождаемое различными причинами и, прежде всего, неполнотой или неточностью информации об условиях контроля защищенности [8].

Этапы повышения достоверности оперативной оценки защищенности информационных и телекоммуникационных ресурсов. Обработку неопределенных исходных данных в интересах оперативной оценки защищенности информационных и телекоммуникационных ресурсов предлагается реализовать раздельно для различных типов неопределенности, и на различных этапах, например: с помощью методов теории нечетких множеств [9, 10]; искусственных нейронных сетей [11, 12], либо нейро-нечетких сетей [13–14].

В этой связи особую роль приобретают алгоритмы достоверной, оперативной, многоаспектной и, как минимум, двухэтапной оценки защищенности информационных и телекоммуникационных ресурсов. На основе этих алгоритмов (двухэтапных процедур устранения неопределенности) предлагается обрабатывать неполные, противоречивые или нечеткие исходные данные. Особенность таких алгоритмов в рамках оперативной оценки защищенности информационных и телекоммуникационных ресурсов заключается в том, что анализ осуществляются в условиях неопределенности различного характера и физической природы. Например, в условиях неполноты, противоречивости или нечеткости данных о реальных, истинных текущих значениях параметров защищенности. Другими словами, такие алгоритмы обеспечивают повышение достоверности оценки защищенности на основе обработки неполных, противоречивых и нечетких исходных данных.

Для этого на основе мнений экспертов и аналитических преобразований нечетких и неполных (противоречивых) данных о среде (природная неопределенность), стратегиях противодействия (неопределенность поведения), целях работы (неопределенность цели) и о предпочтениях, оказываемых тем или иным аспектам защищенности, которые необходимо оценить, осуществляется дополнительная обработка исходных данных.

В рамках оперативной оценки защищенности информационных и телекоммуникационных ресурсов на основе двухэтапной обработки неопределенных исходных данных (двухэтапных процедур устранения неопределенности), первым реализуется этап, ориентированный на наличие в исходных данных неопределенности, имеющей характер неоднозначности (нечеткости). Такие задачи обычно решаются на основе математики нечетких множеств.

Процедура преобразования данных на основе математики нечетких множеств подробно описана в работе [9]. Данный («нечеткий») этап подразумевает отказ от применения классических математических методов, ориентированных на стандарты точности и строгости, отказ от языка математики уравнений, а использование математического языка, основанного на понятиях нечетких множеств и лингвистических переменных. На «нечетком» этапе процедуры обработки неопределенных исходных данных на основе мнений, предпочтений экспертов и лиц, принимающих решения, а также на основе аналитических преобразований этих нечетких данных реализуются подэтапы повышения достоверности оперативной оценки защищенности: начиная с формулировки функций принадлежности нечетких множеств, характеризующих нечетко заданные данные для оценки защищенности информационных и телекоммуникационных ресурсов, и заканчивая формулировкой результатов «нечеткой» оценки – выводом классов подобия оценок показателей защищенности ресурсов и полученной системы непересекающихся подмножеств таких оценок.

При оперативной оценке защищенности информационных и телекоммуникационных ресурсов с использованием двухэтапной обработки неопределенных исходных данных, вторым по очереди реализуется этап, ориентированный на наличие в таких исходных данных неопределенности, имеющей характер недостаточности (неполноты). Подобные задачи принято решать на основе математики искусственных нейронных сетей. При этом состояние нейронов входного, промежуточного, либо выходного слоя нейронной сети имеет физический смысл наличия или отсутствия в конкретном наборе исходных данных (например, в конкретном множестве измеренных параметров защищенности) признаков угроз безопасности для конкретных инфор-

мационных и/или телекоммуникационных ресурсов. Механизм преобразований и физический смысл процесса работы с недостаточными (неполными) данными для примера однослойной нейронной сети детально описан в работе [12].

Процедуры второго этапа преобразования неопределенных исходных данных в интересах повышения достоверности оперативной оценки защищенности основаны на возможности обработки неполных и противоречивых данных и экспертных мнений об этих данных с помощью методов теории искусственных нейронных сетей. Для нашего конкретного примера, когда характер информации о наличии или отсутствии в конкретном наборе исходных данных признаков угроз безопасности для конкретных информационных и/или телекоммуникационных ресурсов не связан с лингвистической и физической неопределенностью, одним из действенных и математически корректных подходов к обработке неполной и противоречивой информации является использование нейросетевых алгоритмов идентификации данных. При этом на «нейросетевом» этапе процедуры обработки неопределенных исходных данных на основе нейросетевых методов повышения достоверности реализуются как подэтапы синтеза данных для нейронной сети, генерации входного слоя нейронной сети, так и определение наличия или отсутствия в конкретном наборе исходных данных (например, в конкретном множестве измеренных параметров защищенности) признаков угроз безопасности для конкретных информационных и/или телекоммуникационных ресурсов.

В результате последовательной реализации рассмотренных двух этапов процедуры повышения достоверности оперативной оценки защищенности информационных и телекоммуникационных ресурсов с учетом неопределенности, опираясь на функции принадлежности нечетких множеств и синаптические веса нейронных сетей, сформулированные с учетом анализа исходных данных, предпочтений экспертов и текущих потребностей в количественных оценочных значениях параметров защищенности, могут быть получены варианты непересекающихся множеств оценок параметров защищенности, может быть получен ряд оценок, безусловно характеризующих однозначное наличие или отсутствие в конкретном наборе исходных данных (например, в конкретном множестве измеренных параметров защищенности) признаков угроз безопасности для конкретных информационных и/или телекоммуникационных ресурсов.

Заключение. Таким образом, необходимость решения задач оперативной оценки защищенности информационных и телекоммуникационных ресурсов в среде не только многокритериальности, но и неопределенности, обуславливает актуальность решения задачи повышения достоверности такой оценки с безусловным учетом разнородной и разноплановой неопределенности условий анализа защищенности, вызванной нестационарностью функционирования критически важных инфраструктур, использующих и предоставляющих пользователям эти ресурсы, воздействиями дестабилизирующих (часто антагонистических) факторов, внешней среды, нечеткостью целей и несогласованностью задач оценки защищенности и др. Проведенный анализ показывает, что на современном этапе недостаточно развиты алгоритмы оперативной оценки защищенности информационных и телекоммуникационных ресурсов в условиях нестохастической неопределенности исходных данных, а именно, неоднозначности (нечеткости) и недостаточности (неполноты и противоречивости) исходной информации для объективного контроля.

Предложен подход на основе двухэтапной обработки (двухэтапных процедур устранения неопределенности) данных, он базируется на реализации алгоритмов поэтапного устранения неоднозначности (нечеткости), неполноты и противоречивости исходных данных, необходимых для оперативной оценки защищенности информационных и телекоммуникационных ресурсов. Предложенный подход позволяет повысить достоверность оценки защищенности за счет применения методов и алгоритмов предварительной обработки неполных, противоречивых и нечетких исходных данных.

Возможным направлением предполагаемых дальнейших исследований может быть синтез общей архитектуры системы контроля защищенности сложных информационно-технических систем и генерируемого ими цифрового сетевого контента.

Работа проводилась при поддержке гранта РНФ (проект № 21-71-20078) в СПб ФИЦ РАН.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Котенко И.В., Котухов М.М., Марков А.С.** и др. Законодательно-правовое и организационно-техническое обеспечение информационной безопасности автоматизированных систем и информационно-вычислительных сетей / Под редакцией И.В. Котенко. Санкт-Петербург, 2000. 190 с.
- Котенко И.В., Паращук И.Б. Информационные и телекоммуникационные ресурсы критически важных инфраструктур: особенности интервального анализа защищенности. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2022. №2. С. 33–40.
- 3. Десницкий В.А., Чечулин А.А., Котенко И.В., Левшун Д.С., Коломеец М.В. Комбинированная методика проектирования защищенных встроенных устройств на примере системы охраны периметра. *Труды СПИИРАН*. 2016. № 5 (48). С. 5–31.
- 4. **Блюмин А.М., Феоктистов Н.А.** Мировые информационные ресурсы: Учебное пособие М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2010. 296 с.
- Basch E.M., Thaler H.T., Shi W., Yakren S., Schrag D. Use of information resources by patients with cancer and their companions. Cancer: Interdisciplinary International Journal of the American Cancer Society, 100(11), 2004. P. 2476–2483.
- 6. Bouras C.J. Trends in Telecommunications Technologies. Patras: (Greece), InTech, 2010. 778 p.
- 7. Setola R., Luiijf E., Theoharidou M. Critical Infrastructures, Protection and Resilience. *Managing the Complexity of Critical Infrastructures / Studies in Systems, Decision and Control.* Springer, 2016. pp. 1–18.
- 8. **Паращук И.Б., Башкирцев А.С., Михайличенко Н.В.** Анализ уровней и видов неопределенности, влияющей на принятие решений по управлению информационными системами. *Информация и космос.* №1, 2017. С. 112–120.
- 9. Kosko B. Neural Networks and Fuzzy Systems. A Dynamical Systems Approach to Machine Intelligence. *Englewood Cliffs: Prentice-Hall*, 1992, 346 p.
- Kotenko I.B., Saenko I.B., Ageev S.A., Kopchak Y.M. Abnormal Traffic Detection in networks of the Internet of things based on fuzzy logical inference. XVIII International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM'2015) IEEE Xplore. 2015. P. 5–8.
- 11. Kriesel D. A Brief Introduction to Neural Networks. Cambridge: Cambridge Press, 2010. 226 p.
- 12. **Паращук И.Б., Иванов Ю.Н., Романенко П.Г.** Нейросетевые методы в задачах моделирования и анализа эффективности функционирования сетей связи: Учебно-методическое пособие. СПб.: ВАС, 2010. 103 с.
- 13. **Булдакова Т.И., Миков** Д.А. Оценка информационных рисков в автоматизированных системах с помощью нейронечёткой модели. // Наука и образование. № 11, 2013. // [Электронный ресурс]: http://technomag.edu.ru/doc/645489.html. (дата обращения 16.05.2022).
- 14. Паращук И.Б., Михайличенко Н.В. Нейро-нечеткие модели в интересах управления данными в ЦОД и интеллектуального анализа информации в региональных телекоммуникационных сетях. *Юбилейная XV-ая Санкт-Петербургская Международная Конференция «Региональная информатика-2016 (РИ-2016)»*. Материалы конференции. СПб.: СПОИСУ, 2016г. 599 с., С. 117–118.

I.B.Parashchuk, I.V.Kotenko (St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS), St. Petersburg). Operational assessment of the security of information and telecommunications resources based on two-stage processing of uncertain source data

The report proposes an approach to the implementation of a two-stage procedure for eliminating uncertainty (incompleteness and inconsistency) of the operational assessment of the security of information, telecommunications and other critical resources. Various types of uncertainty of the initial data necessary for the implementation of the evaluation process are considered. The proposed approach makes it possible to increase the reliability of operational security analysis through the phased application of methods and algorithms for processing incomplete, contradictory and fuzzy knowledge and data.

#### К. Е. ИЗРАИЛОВ

(Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича; Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург)

#### П. А. КУРТА

(Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург)

# МОДЕЛИРОВАНИЕ УЯЗВИМОСТЕЙ В ИНТЕРФЕЙСАХ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ УМНОГО ГОРОДА

Доклад посвящен вопросу безопасности Умного города в части ее транспортной инфраструктуры. В результате проведенного исследования предлагается модель обобщенной классификации уязвимостей в интерфейсах инфраструктуры, заданная в аналитическом виде. Для этого вводятся в подсистем транспортной инфраструктуры (с применением аппарата категориального деления), выявляются существующие между ними взаимодействия и выделяются необходимые для этого интерфейсы. Определение основных элементов последних позволяет разделить уязвимости всей транспортной инфраструктуры Умного города на классы, соответствующие их расположению в устройствах интерфейсов.

Введение. Информационные технологии стали неотъемлемой частью жизни любого современного общества, переведя процессы его функционирования на качественно новый уровень. Это дало существенный толчок к развитию новых направлений, одним из которых стала концепция Умного города (далее – УГ) [1]. И, несмотря на то, что целью создания УГ является улучшение качества жизни, оно может также иметь и негативные для жителей последствия. Так, поскольку в данную концепцию включается другая – Интернет вещей, обеспечивающая взаимодействие между объектами реального мира, то нарушение информационной безопасности (далее – ИБ) может напрямую приводить и к физическим угрозам [2]. Одной из наиболее подверженных этому областей является транспортная инфраструктура (далее – ТИ) УГ, поскольку она предназначена для физического перемещения людей и грузов. Нарушения же в работе ТИ УГ могут приводить не только к задержкам доставки грузов, но и к травмам пассажиров или же летальным исходам [3]. Например, ошибка в распознавании максимально разрешенной скорости движения беспилотным транспортным средством на аварийно-опасном участке движения неуклонно приведет к аварии с человеческими жертвами.

Поскольку в принципы функционирования ТИ УГ вложена необходимость сосуществования разнородных участников с недетерминированным поведением (пассажиры, водители, автомобили, шлагбаумы и пр.) в условиях изменяющихся внешних условий (погода, время суток, катаклизмы), то для их взаимодействия требуется соответствующий механизм обмена информацией — *интерфейс* [4]. При этом под последним будем понимать не теоретическое понятие — как границу между функциональными объектам, а практическую реализацию — как программно-аппаратное устройство, передающее (с необходимым преобразованием) информацию от одного объекта к другому.

Одной из основных причин нарушения ИБ считается наличие уязвимостей (или ошибок) в работе соответствующих средств. И если поиску и нейтрализации уязвимостей в отдельно стоящих устройствах от «безопасников» уделяется достаточное количество внимания, то вопросы безопасности интерфейсов, соединяющих такие устройства в единую информационную систему, оставлены практически без внимания. Причиной этого в аспекте УГ в том числе можно считать относительную новизну концепции УГ, не всегда доведенной до практической реализации и не позволяющей провести натурные эксперименты и испытания «в бою». При этом, риск ошибки в случае внедрения в ТИ небезопасных решений, будет иметь критические последствия.

Подытоживая указанные факторы, первоначально требуется теоретическое исследование потенциально опасных последствий применения интерфейсов ТИ УГ. Первым же этапом этого, в условиях общей слабой теоретической проработанности данного вопроса, должно стать

выявление уязвимостей интерфейсов и их обобщенная классификация в виде аналитической модели — что является задачей текущего исследования. Для этого должны быть выполнены следующие шаги: 1) введение классов подсистем ТИ УГ; 2) определение возможных взаимодействий подсистем и классов интерфейсов между ними; 3) выявление элементов интерфейсов взаимодействий; 4) классификация уязвимости интерфейсов в виде модели. Предлагаемый доклад посвящен выполнению указанных шагов, что позволит создать обобщенную классификацию уязвимостей ТИ УГ и представить ее в аналитическом виде.

**Подсистемы инфраструктуры.** На 1-м шаге исследования необходимо разбить достаточно разнородную область ТИ УГ на классы подсистем, имеющие собственное функциональное предназначение. Типичной проблемой такого рода разбиений является сложность выделения областей, которые как не перекрывались бы с другими, так и целиком покрывали всю исходную область. В интересах применим достаточно хорошо себя зарекомендовавший аппарат категориального деления, суть которого заключается в постепенном делении некоторой области (т.е. множества входящих в нее элементов) на две примерно одинаковые подобласти, являющиеся противоположностями по некоторому критерию. Для этого выбирается соответствующая пара категорий-антагонистов (самым ярким примером которой может быть следующая – «положительный» vs «отрицательный»).

Такое деление ТИ УГ на классы подсистем ранее уже производилось авторами путем выбора следующих пар категорий-антагонистов [5]:

- «человек» vs «автомат», поскольку назначение УГ заключается в повышении качества жизни людей за счет (в том числе) автоматизации процессов;
- «эксперт» vs «интеллект», исходя из наличия в УГ возможностей искусственного интеллекта [6];
- «статика» vs «динамика», отражая тем самым применение деления именно к ТИ, состоящей из множества объектов, перемещающихся в среде неподвижных.

Очевидно, что полная комбинация 3-х пар даст 8 классов подсистем ТИ УГ, каждая из которых обладает своими особенностями. Так, например, класс подсистемы, соответствующий элементам «человек + эксперт + динамика» отвечает группе штурманов беспилотного транспортного средства, контролирующей корректность его работы; в противоположность этому класс подсистемы для комбинации «автомат + интеллект + статика» соответствует всем возможным интеллектуальным средствам управления дорожным движением, таким, как умные светофор или пешеходный переход с датчиком пешехода [7].

Взаимодействие подсистем. На 2-м шаге исследования необходимо определить все возможности взаимодействий между классами подсистем ТИ УГ, выделенными на 1-м шаге. В общем случае, каждая из подсистем может взаимодействовать с любой другой. Например, подсистема пассажир потока (комбинация элементов «человек + интеллект + динамика») обменивается информацией (посредством интерфейсов) с подсистемой беспилотных транспортных средств (комбинация элементов «автомат + интеллект + динамика») [8]. Также, поскольку подсистема определяет целый набор входящих в нее устройств, которые взаимодействуют и друг с другом, то информационные потоки могут идти от отдельно взятой подсистемы к ней самой. Например, датчики света передают сигнал к лампам освещения в случае наступления темноты в рамках соответствующей подсистемы (комбинация «автомат + эксперт + статика»).

Общее же количество комбинаций направлений обмена информацией между подсистемами с учетом их направленности составляет  $8 \times 8 = 64$  класса взаимодействия. Очевидно, существует такое же количество классов интерфейсов, каждый из которых предназначен для передачи информации от одного класса подсистемы ТИ УГ к другому (или же к самому себе).

Элементы интерфейса. На 3-м шаге необходимо выделить основные элементы интерфейса (или обосновать их отсутствие, если интерфейс неделим) [9]. Согласно описанной ранее логике, интерфейс предназначен для обеспечения обмена информацией между разнородными классами подсистем ТИ УГ. Следовательно, в интерфейсе должно обеспечиваться преобразование данных, выходящих из одной подсистемы в данные, входящие в другую систему. Таким образом, в любом интерфейсе логично выделить 3 следующих элемента, имеющих последовательно вы-

полняемый функционал: анализатор, распознающий форму входного потока данных (от подсистемы-отправителя); обработик — преобразующий содержимое данных (согласно смысловому предназначению интерфейса); синтезатор — генерирующий выходной поток данных в нужной форме (к подсистеме-получателя). Например, камера распознавания автомобильных номеров вначале преобразует графическое изображение номерного знака к набору графических точек, затем с применением машинного обучения (как правило) переводит их во внутреннее представление записи номера, после чего передает итоговую запись в текстовом виде на сервер управления автоматическим поднятием шлагбаума.

Поскольку устройство интерфейса было разделено на 3 элемента, то общее количество классов таких элементов для всех классов интерфейсов (полученных на 2-м шаге) равно  $64 \times 3 = 192$ .

Важно отметить, что каждый элемент в каждом классе интерфейсов будет отличаться от аналогичного элемента в другом классе, поскольку он входит в интерфейс, имеющий собственное предназначение. Впрочем, элементы, примыкающие к одинаковым подсистемам, будут всетаки близки. Например, анализаторы подсистемы пассажир потока, так или иначе, ориентируются на распознавании различных особенностей человека (лицо, голос, движение); синтезаторы же информации для всех подсистем, связанных с автоматизированными устройствами, будут производить данные в формализованной (т. е. машинно-ориентированной) форме и т. д.

Уязвимости интерфейса. На 4-м шаге необходимо определить основные места в интерфейсах ТИ, где возможно появление уязвимостей, нарушающих общую ИБ УГ. Исходя из этого, можно утверждать, что наличие уязвимости в каждом таком элементе будет приводить к нарушению функционирования интерфейса, за которым последует некорректная передача информации между подсистемами и, значит, общее нарушение функционирования системы (в данном случае – ТИ УГ). Следовательно, можно выделить 192 класса уязвимостей (каждая из которых по месту нахождения соответствует одному из 192 классов элементов интерфейсов). А исходя из принципа введения уязвимостей, можно ввести их формальную классификацию в виде следующей аналитической модели:

$$\begin{cases} y \equiv C_{xyz} \xrightarrow{\Im} C_{xyz} \\ x, y, z \in \{\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3\} \\ \Pi_1 \in \{\text{Человек}, \text{Автомат}\} \\ \Pi_2 \in \{\exists \text{ксперт}, \text{Интеллект}\} \\ \Pi_3 \in \{\text{Статика}, Динамика}\} \\ \ni \in \{\text{Анализатор}, \text{Обработчик}, \text{Синтезатор}\} \end{cases}$$

где У — класс уязвимости;  $C_{xyz}$  — подсистема ТИ УГ, соответствующая элементам категориальных пар x, y, z;  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$  и  $\Pi_3$  — категориальные пары;  $\Theta$  — элемент интерфейса ТИ УГ.

Заключение. Статья описывает теоретическое исследование информационной безопасности транспортной инфраструктуры умного города. Для этого оценивается возможность нарушения информационных потоков между ее подсистемами вследствие уязвимостей в обеспечивающих это интерфейсах. Как результат, предлагается модель обобщённой классификации уязвимостей, состоящей из 192 элементов. Новизна такой классификации заключается в ее абсолютной корректности с позиции необходимости (классы не пересекаются) и достаточности (классы перекрывают все возможные уязвимости). Значимость исследования заключается в том, что превентивное теоретическое предсказание уязвимостей уменьшит их появление в практических решениях концепции умного города [10]. Также необходимо подчеркнуть общее слабое развитие методологического аппарата данной предметной области, что говорит о важности получения любых новых знаний в ней.

Продолжением исследования должно стать создание подхода для прогнозирования конкретных уязвимостей, связанных как с каждым из введенных классов, так и с оцениваемой инфраструктурой.

# Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-29-06099

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Хузмиев И.К., Гассиева О.И.** О «цифровой экономике» и «Умном Smart» городе. Ав*томатизация и ІТ в* энергетике. 2019. № 4 (117). С. 44-50.
- 2. **Izrailov K., Chechulin A., Vitkova L.** Threats Classification Method for the Transport Infrastructure of a Smart City. *The proceedings of 14th International Conference on Application of Information and Communication Technologies* (Tashkent, Uzbekistan, 7-9 october 2020). IEEE, 2020. PP. 1-6.
- 3. **Виткова Л.А., Израилов К.Е., Чечулин А.А.** Классификация уязвимостей интерфейсов транспортной инфраструктуры умного города. *Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании* (АПИНО-2020): сборник научных статей IX Международной научно-технической и научно-методической конференции (Санкт-Петербург, 26-27 февраля 2020 г.). 2020. С. 253-258
- Вострых А.В. Анализ интерфейсов специализированных мобильных приложений для вызова экстренных служб. Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. 2021. № 2 (9). С. 78-82
- Израилов К.Е., Левшун Д.С., Чечулин А.А. Модель классификации уязвимостей интерфейсов транспортной инфраструктуры «Умного города». Системы управления, связи и безопасности. 2021. №5. С. 199-223. DOI: 10.24412/2410-9916-2021-5-199-223
- 6. **Котякова В.А., Мурашкина Е.Н.** Алгоритм взаимодействия пользователя и интеллектуальной транспортной системы «Умного города». *Современные информационные технологии*. 2013. № 17. С. 257-261.
- 7. **Зюрина О.А.** Инновационные методы построения городской логистической системы. *Наука и образование транспорту*. 2018. № 1. С. 143-145.
- 8. **Загидулина А.Д., Николаева Р.В.** Беспилотный транспорт транспорт будущего. Тех*ника и технология транспорта.* 2017. № 4 (5). С. 12.
- 9. **Хрусталев В.И.** Сравнительный анализ структуры технологий человеко-машинного интерфейса. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки.* 2019. № 9. С. 275-279.
- 10. **Израилов К.Е.** Обобщенная классификация уязвимостей интерфейсов транспортной инфраструктуры Умного города. *Информационные технологии*. 2021. Т. 27. № 6. С. 330-336. DOI: 10.17587/it.27.330-336.

K.E.Izrailov (The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg state university of telecommunications, Saint-Petersburg; St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg), P.A.Kurta (The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg state university of telecommunications, Saint-Petersburg). Vulnerability Modeling in Smart City Transport Infrastructure Interfaces

The report is devoted to the security of the Smart City in terms of its transport infrastructure. As a result of the study, a model for a generalized classification of vulnerabilities in infrastructure interfaces, specified in an analytical form, is proposed. To do this, 8 subsystems of the transport infrastructure are introduced (using the categorical division apparatus), the interactions between them are identified and the interfaces necessary for this are identified. The definition of the main elements of the latter allows us to divide the vulnerabilities of the entire transport infrastructure of the Smart City into classes corresponding to their location in the interface devices.

#### Л. А. ВИТКОВА

(Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург)

### ОЦЕНКА УГРОЗ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БОТОВ

Объектом угроз в социальных сетях являются как пользователи, так и организации или общество в целом. При этом пользователи социальных сетей по добровольному согласию с условиями использования социальной сети раскрывают личные данные о себе, такие как статус отношений, дата рождения, школа, адрес электронной почты, номер телефона или геопозиция. Когда такая информация попадает в руки злоумышленника, она используется для нанесения вреда пользователям. В статье предложена систематизация и оценка угроз в социальных сетях, реализованных при использовании ботов.

Введение. Социальная сеть – это информационная система, позволяющая зарегистрированным пользователями размещать информацию о себе, делиться медиа файлами, текстами и устанавливать социальные связи с другими пользователями [1]. Популярность социальной сети напрямую зависит от количества пользователей. Поэтому главной задачей является привлечение как можно большего числа людей за счет дизайна, удобства, функциональности. При этом вопросы безопасности и конфиденциальности уходят на второй план, что приводит к возникновению ряда информационных угроз. Объектом угроз могут выступать как пользователи и организации, так и общество в целом. В соответствии с условиями эксплуатации информационной системы пользователь раскрывает данные о себе. При заполнении профиля по желанию может быть предоставлена дополнительная информация о месте проживания, работе, образовании, религии, интересах и пр. В руках злоумышленника эти сведения могут быть использованы для нанесения ущерба. Известно множество инструментов реализации угроз в социальных сетях, однако в последнее время наиболее популярным способом является использование фейковых аккаунтов или ботов. Бот в классическом понимании термина - это программа, созданная для выполнения однотипных повторяющихся задач в автоматическом режиме. В социальных сетях также используются боты, ключевой особенностью которых является имитация поведения живого пользователя. Данный тип бота называется социальным и активно используется злоумышленниками для совершения мошеннических действий, дезинформации, манипуляций, социальной инженерии [2]. Именно сходство с настоящим аккаунтом позволяет войти в доверие к пользователю. В статье рассматриваются различные угрозы, предложена их классификация и систематизация, а также подход к их оценке.

**Угрозы в социальных сетях при использовании ботов.** Угрозы в социальных сетях при использовании ботов могут быть разделены по классам [3] и связаны с категориями ботов и сценариями их создания.

Классификация угроз:

- 1. Классические угрозы:
  - а. конфиденциальность, объект пользователь, то есть данные пользователя; история жизни, переданная пользователем в постах; интересы пользователя; окружения пользователя.
  - b. целостность, объект данные, то есть неизменность данных при их передаче, хранении или отображении.
  - с. доступность, объект аккаунт, то есть доступ к аккаунту, доступ к связям аккаунта.
- 2. Современные угрозы:
  - а. кликджекинг, объект сервис в сети Интернет. Существуют программные реализации ботов для кликджекинга, при помощи которых бронируются отели, билеты, что приводит к недоступности коммерческого объекта для реальных пользователей.
  - b. фейковый профиль;
  - с. клонирование профиля.
- 3. Совмещенные угрозы:
  - а. манипуляция общественным мнением;
  - b. дезинформация.

- 4. Таргетированные угрозы
  - а. хейтинг;
  - b. буллинг;
  - с. блокировка аккаунта;
  - d. социальный инжиниринг;
  - е. перехват управления аккаунтом.

Классификация сценариев создания бота.

Для оценки угрозы предлагаются следующие сценарии создания бота:

- 1. Автоматический. Данный сценарий подразумевает использование онлайн-сервиса или программы авторегистрации с готовой базой характеристик профиля: ФИО, телефон, электронная почта, медиафайлы. Также возможна аренда «авторег» аккаунта на бирже. Боты, созданные по такому сценарию, чаще всего выполняют функции спама, накрутки статистики и трафика, вброса дезинформации.
- 2. Автоматизированный. Боты по автоматизированному сценарию создаются аналогично первому пункту, но совершенствуются или управляются человеком вручную. При регистрации требуется участие человека для верификации через смс и сохранения информации об аккаунте. Кроме того, возможно ручное заполнение характеристик профиля. Аренда подразумевает покупку верфицированного аккаунта, в том числе взломанного или угнанного, с последующей заменой номера телефона. Такие боты часто используются для выполнения функций дезинформации, манипуляций общественным мнением, троллинга.
- 3. Ручной. Аккаунт создается и управляется вручную. Данный способ самый ресурсозатратный, т. к. помимо заполнения данных профиля, в течение продолжительного времени формируется легенда, добавляются посты, комментарии, формируются социальные связей. Данные боты используются для имитации поведения человека, формирования страницы лидера мнений.

#### Оценка угроз в социальных сетях при использовании ботов

Для формирования показателя используется следующая формула:

$$S = C + I + A + Robotic + Automated + Manual$$
 (1)

где S — это рейтинг (анг. Score), C — это угроза конфиденциальности (анг. confidentiality), I — угроза целостности (анг. integrity), A — угроза доступности (анг. availability).

Для оценки угрозы была проведена экспертная оценка. В оценке участвовали эксперты из рекламных агентств, специалисты кафедры PR факультета журналистики университета СПбГУ, специалисты-эксперты международного центра цифровой криминалистики при СПб ФИЦ РАН. Была сформирована таблица. В таблице на основании исследования ботов и сценариев их создания были отмечены плюсом (+) угрозы конфиденциальности, целостности и доступности, и сценарии создания ботов, через которых могут быть угрозы реализованы. Далее были получены значения путем усреднения голосов экспертов. Среднее значение показателей: (1) автоматический сценарий = 5,45; (2) автоматизированный сценарий = 5,18; (3) ручной сценарий = 4,9. (1) угроза конфиденциальности = 7,48; (2) угроза целостности = 7,2; (3) угроза доступности = 6,63.

Оценка угроз в социальных сетях при использовании ботов

Таблица

Угроза	К	Ц	Д	Авто	Автом	Руч.	Рейтинг
Накрутка лайков	-	+	-	+	-	-	1
Дезинформация	+	+	-	+	+	+	6
Спам	-	+	-	+	+	-	1
Сбор данных	+	-	-	+	+	-	1
Блокировка аккаунтов	-	+	+	+	+	-	2
Хейтинг	+	+	-	-	-	+	10
Буллинг	+	+	-	-	-	+	10
Манипуляция общественным мнением	+	+	-	+	+	+	6
Наведенная активность	+	+	-	+	+	+	6
Социальный инжиниринг	+	+	+	-	+	+	_10
Перехват управления аккаунтом, угон	+	+	+	+	+	-	5
Клонирование профиля	+	-	+	+	+	-	2
Копирование части профиля	+	+	-	+	+	-	2

Рейтинг угроз позволяет оценить ущерб и сложность реализации тех или иных угроз. Так, например, по мнению экспертов опасными и сложными в реализации являются угрозы: (1) Хейтинг, (2) Буллинг, (3) Социальный инжиниринг.

Заключение. Проблема информационной безопасности в пространстве социальных сетей сегодня является актуальной и не решенной. Финансовая мотивация, недобросовестная конкуренция, дезинформация, манипулирование общественным мнением — это лишь часть предпосылок для роста разнообразия атак и появления новых угроз. Социальная сеть, как информационная система, требует от пользователя предоставления конфиденциальной информации в процессе регистрации. Однако часть «чувствительных данных пользователь сам раскрывает в процессе взаимодействия с публикой, с друзьями и подписчиками. Когда такие данные попадают в руки злоумышленников, то они используется для нанесения вреда. Предложенные классификации, систематизация и оценка угроз, реализованных при использовании ботов позволяют оценить ущерб и сложность реализации угроз в социальных сетях.

# Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта РНФ № 18-71-10094-П в СПб ФИЦ РАН.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Виткова Л.А., Кураева А.М., Проноза А.А., Чечулин А.А.** Анализ методов выявления и оценки страниц лидеров мнений в социальных сетях. *Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2019)*: сборник научных статей VIII Международной научно-технической и научно-методической конференции в 4 т. 2019. С. 233-237.
- Gavra D., Namyatova K., Vitkova L. Detection of induced activity in social networks: model and methodology //
  Future Internet. 2021. T. 13. № 11.
- 3. **Fire M., Goldschmidt R., Elovici Y.** Online social networks: threats and solutions. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2014. T. 16. №. 4. C. 2019-2036.
- Sahani R., Randhawa S. Clickjacking: Beware of Clicking. Wireless Personal Communications. 2021. T. 121. №. 4. C. 2845-2855.
- Desai N., Das M.L. DeSAN: De-anonymization against Background Knowledge in Social Networks. 2021 12th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS). IEEE, 2021. C. 99-105.

# L.A. Vitkova (St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg). **Evaluation of threats in social networks using bots**

The object of threats in social networks are users or organizations. At the same time, users of social networks, by voluntary agreement with the terms of use of the social network, disclose personal data about themselves, such as relationship status, date of birth, school, email address, phone number or geolocation. When such information falls into the hands of an attacker, it is used to harm users. The paper proposes the systematization and assessment of threats in social networks implemented using bots.

#### Л. А. ВИТКОВА

(Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург)

# АНАЛИЗ ПРОФИЛЕЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ В ЦЕЛЯХ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В современных информационных войнах почти всегда используются боты в социальных сетях. В процессе распространения информации могут быть задействованы копии оригинальных профилей, вновь созданные страницы. Злоумышленник умышленно создает искусственный профиль схожий с настоящим, с целью обмануть аудиторию, эксперта. В работе предложены дискретные признаки объектов профилей и алгоритм сбора, маркировки дат создания объектов для обнаружения ботов в социальной сети.

Введение. В 21 веке социальные сети постепенно вошли в жизнь общества и к 20-м годам стали неотъемлемой частью человека. Страница в социальной сети (профиль) зачастую является неотъемлемым атрибутом социального взаимодействия. Однако параллельно с цифровизацией межличностных коммуникаций появлялись и развивались информационные угрозы. Одной из таких угроз являются боты, в том случае, если они используются в различных информационных атаках. Сложность обнаружения ботов, то есть искусственно управляемых аккаунтов, велика и растет тогда, когда профиль в социальной сети соответствует экспертному представлению страницы живого человека [1, 2]. По сути, принятие экспертом правильного решения может быть невозможно тогда, когда профиль полностью копирует другой. Так, например злоумышленник может скопировать страницу в одной социальной сети и создать схожую в другой. Эксперт не сможет распознать копию, так как он не видел оригинал. При этом, существующие модели и подходы могут обнаружить бота при условии, если профиль пустой, например совсем не заполнен. В таком случае эксперт также распознает бота. Однако же эксперт без дополнительных признаков не в состоянии отличить поддельный профиль от настоящего в случае создании копии [3, 4]. Задача текущего исследования состоит в том, чтобы выработать и предложить дискретные признаки бота, которые позволят эксперту или модели машинного обучения с большой точностью обнаруживать ботов в социальных сетях.

Дискретные признаки. Возьмем в качестве примера профиль в социальной сети «Вконтакте». Профиль пользователя сети Вконтакте содержит множество характеристик, среди которых: (1) идентификатор профиля; (2) ФИО; (43) дата рождения, пол, город проживания, работа и прочее; (4) фотоальбом; (5) записи на стене профиля (пост, комментарий). Эксперт может видеть информацию, однако он не всегда имеет доступ к дискретным признакам. Рассмотрим таблицу.

Таблица

# Дискретные признаки объектов профиля

Объект Дискретный признак	
Идентификатор профиля	Дата создания (доступна при сборе данных)
Фотография в фотоальбоме	Дата создания медиа файла в альбоме
Раздел в фотоальбоме	Дата создания раздела в фотоальбоме
Пост на стене	Дата создания
Комментарий	Дата создания

В таблице предложены объекты профиля в социальной сети, у которых сохраняется информация о дате создания. Эксперт может не иметь доступа к анализу дат регистрации идентификаторов, дат создания (загрузки фотографий, публикации постов). Однако такие признаки могут быть учтены в моделях машинного обучения. При этом, сами по себе даты создания так или иначе различны, важна близость между дискретными признаками объектов. Для ботов, например, характерно создание и заполнение профиля в короткий срок, тогда как для живого человека характерно длительное управление своим аккаунтом и постепенное заполнение страницы в социальной сети.

**Алгоритм сбора и маркировки дат.** В ходе исследования был разработан алгоритм сбора и маркировки дат регистрации идентификаторов в социальной сети. Алгоритм состоит из двух частей.

На первом этапе производится сбор дат регистрации профилей на основе идентификатора аккаунта:

- Шаг 1. Извлечение идентификатора аккаунта из набора данных.
- Шаг 2. Вызов процедуры для извлечения дат по іd профилей в список. Даты идентификаторов собираются с использованием запроса «vk\_link», который обращается по адресу: «https://vk.com/foaf.php?id=(идентификатор аккаунта). А также с использованием запроса «parsed\_xml», который извлекает со старицы следующие параметры: а) дата регистрации, б) время регистрации.
  - Шаг 3. Запись даты и времени регистрации в набор данных.

На втором этапе производится анализ профилей в социальных сетях по признаку «дата регистрации аккаунта» и добавляется дополнительный признак:

Шаг 4. Разметка дат по двум категориям:

- 0 уникальные даты регистрации;
- 1 повторяющиеся даты регистрации.

На выходе получается набор данных с заполненными датами регистрации идентификаторов аккаунтов с дополнительным признаком (уникальность даты в наборе).

Предложенный алгоритм маркировки дат регистрации применим также к другим схожим дискретным признакам, таким как: дата создания медиа файла, создание поста, комментария. Признак схожести даты создания объекта не является 100 % гарантией того, что аккаунт искусственно управляется злоумышленником и не может быть основой для утверждения «аккаунтбот». Однако отклонение от статистической нормы может являться одним из основных признаков для обнаружения бота.

Заключение. Повсеместная цифровизация, погружение в социальные сети, рост количества информационных атак ставят перед специалистами в области информационной безопасности, перед учеными-исследователями новые задачи. Сегодня множество угроз реализуется с использованием ботов. В работе рассматриваются дискретные признаки, такие как дата создания объекта: пост, комментарий, медиа файл, аккаунт. И предлагается алгоритм сбор дат создания (на примере дат регистрации аккаунтов) и маркировки. В дальнейшем планируется провести экспериментальные исследования с использованием наборов данных из разных социальных сетей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта РНФ № 18-71-10094-П в СПб ФИЦ РАН.

### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Kolomeets M., Chechulin A, Kotenko I.** Bot detection by friends graph in social networks. *Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications* (JoWUA). 2, 12. 2021. pp. 141-159. DOI: 10.22667/JOWUA.2021.06.30.141. URL: http://isyou.info/jowua/papers/jowua-v12n2-6.pdf.
- 2. **Виткова Л.А.** Анализ моделей данных популярных социальных сетей. В сборнике: *Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании*. Сборник научных статей: в 4х томах. Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. Санкт-Петербург, 2021. С. 160-163.
- 3. Gavra D., Namyatova K., Vitkova L. Detection of induced activity in social networks: model and methodology. Future Internet. 2021. T. 13. No. 11.
- 4. **Логинова А.О.** Анализ существующих подходов к классификации и типологии ботов. *Инновационные техно- логии: теория, инструменты, практика.* 2020. Т.1. С. 462-467.

L.A.Vitkova (St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg). Analysis of social media profiles for information security

In modern information wars, bots in social networks are almost always used. Copies of the original profiles and newly created pages may be used in the process of distributing information. The attacker deliberately creates an artificial profile similar to the real one, in order to deceive the audience, or expert. The paper proposes discrete features of profile objects and an algorithm for collecting, marking the dates of creation of objects for detecting bots in a social network

А. Ю. СОЛДАТОВА, Д. П. ЗЕГЖДА, Е. Ю. ПАВЛЕНКО (Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург)

# ОБНАРУЖЕНИЕ МОШЕННИЧЕСТВА С МОБИЛЬНОЙ РЕКЛАМОЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РАБОТЫ ANDROID-ПРИЛОЖЕНИЙ

В рамках доклада на основе исследования схемы работы мобильной рекламы введена модель нарушителя, с помощью которой определен способ реализации, присущий потенциально наиболее опасным нарушителям, — подмена SDK. В результате анализа требований участников схемы к рекламе в приложениях выделено 8 типов мошенничества, 6 из которых реализуется посредством подмены SDK. Для обнаружения мошенничества с рекламой представлен прототип системы обнаружения мошенничества с мобильной рекламой в Android-приложениях, превосходящий по точности аналог на 4 %.

Введение. Высокий рост затрат на мобильную рекламу, выраженный в увеличении объема мирового рынка соответствующей рекламной отрасли с 240 млрд долларов в 2020 году до 290 млрд долларов в 2021 году [1], провоцирует возрастающую активность злоумышленников в данной сфере. Согласно исследованию Juniper Research [2] в 2022 году мировые потери бюджетов цифровой рекламы из-за мошенничества достигнут 68 млрд долларов, что на 59 млрд долларов больше по сравнению с 2021 годом. Жертвами мошенничества с мобильной рекламой становятся как рекламодатели, теряющие прибыль, так и пользователи устройств, скачавшие рекламное ПО или перешедшие на недоверенный сайт вследствие манипулирования с рекламой в приложении. Владельцы программного обеспечения (ПО) и поставщики рекламы, в основном представленные рекламными сетями, несут в связи с мошенничеством репутационные потери, влекущие за собой прямые финансовые убытки.

Для решения указанной проблемы предлагается прототип системы обнаружения мошенничества с рекламой в Android-приложениях, основанный на статическом и динамическом анализе работы приложений. К достоинствам данного прототипа можно отнести определение нескольких типов мошенничества с рекламой, более высокую точность обнаружения мошенничества по сравнению с аналогом.

**Модель нарушителя.** В схеме работы рекламы выделены 4 основных участника взаимодействия: рекламодатель, владелец ПО, пользователь и поставщик рекламы, являющийся посредником между рекламодателем и владельцем ПО. Взаимодействие владельца ПО и пользователя происходит посредством мобильного приложения.

В результате анализа схемы работы рекламы определены возможные нарушители и векторы атак. Пользователь, в отличие от остальных участников схемы, определен как внешний нарушитель, т. к. в основе исследования лежат коммерческие приложения, использование которых не требует особых прав. В качестве внешних нарушителей были выделены террористические/экстремистские группировки, конкурирующие организации и преступные. На основе компетентности, оснащенности, уровня знаний нарушителя каждому сопоставлен уровень возможностей по реализации угроз информационной безопасности на основании проекта [3] и утвержденного [4] методического документа ФСТЭК России «Методика определения угроз безопасности информации в информационных системах». В результате анализа действий нарушителей в отчетах инцидентов информационной безопасности определены способы реализации мошенничества, присущие каждому нарушителю. Разработанная модель нарушителя в контексте мошенничества с рекламой приведена в табл. 1.

Таблица 1 Модель нарушителя в контексте мошенничества с рекламой

Нарушитель	Уровень возможностей	Способы реализации мошенничества			
Пользователи	H1	Взаимодействие с устройством и легальным приложением			
Конкурирующие организации	Н2	Воздействие на каналы связи между участниками схемы. Воздействие на персонал.			
Террористические, экстремист-	H2	Воздействие на каналы связи между участниками схемы			

Нарушитель	Уровень возможностей	Способы реализации мошенничества	
ские группировки			
Преступные группы	H2	Кликовые фермы. Распространение вредоносного ПО (ВПС Воздействие на каналы связи между участниками схеми Воздействие на персонал.  Использование эмуляторов, VPN и ргоху-серверов, бото	
	Н3	Использование уязвимостей кода ПО, SDK. Подмена SDK. Внедрение ВПО	
Владельцы приложений	НЗ	Подмена SDK. Использование не декларированных возможностей ПО	
Поставщики рекламы	НЗ	Подмена SDK	

Согласно модели нарушителя подмена SDK является способом, который могут потенциально реализовать наиболее опасные злоумышленники.

**Типы мошенничества с мобильной рекламой.** Для определения типов мошенничества с рекламой установлены действия, нарушающие требования участников схемы к рекламе. Основными пунктами договоренности между рекламодателем и поставщиком рекламы является требования к рекламодателю по формату файла рекламы, его разрешению, соответствию цензурным и другим ограничениям, невыполнение которых предполагает прекращение взаимодействия. Основные требования к рекламе предъявляют магазины приложений, к реализуемом в нем ПО, и поставщики рекламы к владельцам приложений, применяющих их рекламные модули.

На основе анализа требований 3 самых распространенных рекламных сетей (Google AdMob, Unity Ads, Amazon Mobile Ad Network Program), являющихся поставщиком рекламы, и 2 магазинов приложений (Google Play, Amazon Appstore) выделены 8 типов мошенничества с рекламой: скрытая реклама, наложение рекламы, перехват нажатий, флуд, навязчивая реклама, инъекция нажатий, подмена идентификатора, подмена контента. Фрагмент сопоставления типа мошенничества, требования, которое нарушается, и семейства рекламного ПО, являющегося примером реализации типа мошенничества с рекламой, приведены в табл. 2.

. Таблица 2 Фрагмент сопоставления типа мошенничества требованиям и семейству рекламного  ${\bf HO}$ 

•	•	•	
Тип мошенничества	Пример нарушенного требования магазина-приложений или	Пример семейств реклам-	
тип мошенничества	рекламной сети	ного ПО	
	Запрещается размещение рекламы за пределами дисплея		
Ски прад ракцама	Запрещается использовать рекламу, неотличимую от друго-	OsOneClick, Plague	
Скрытая реклама	го контента в приложении	Osoliceliek, I lague	
	Запрещается размещение рекламы в фоновом режиме		
Фтит	Запрещается использовать сторонние сервисы, генерирую-	Hamob, Judy,	
Флуд	щие показы и нажатия	FakeAdBlocker	
Попомнот наматий	Запрещается считывать нажатия вне рекламы как нажатия	Ghost	
Перехват нажатий	на рекламу	Gilost	

**Типы мошенничества с мобильной рекламой на уровне приложения.** Подмена SDK, являющаяся наиболее частым способом реализации мошенничества согласно исследованию Juniper Research [5] и способом, доступным потенциально наиболее опасными злоумышленниками, реализуется на уровне приложения. Классификация типов мошенничества по уровню реализации представлена в табл. 3.

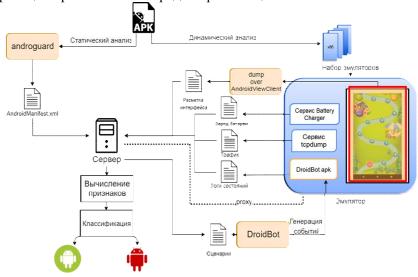
Уровень трафика соответствует модели «фиктивный пользователь — фиктивное действие». Мошенничество на уровне приложения подразумевает применение махинаций с рекламой в приложении, установленном на устройстве пользователя, что соответствует модели «реальный пользователь — реальное действие». Использование реальных устройств в мошенничестве с рекламой относится к уровню устройства, что соответствует модели «фиктивный пользователь — реальное действие».

Таблица 3 Классификация типов мошенничества по уровню реализации

	Уровень реализации				
	Трафик	Приложение	Устройство		
	Флуд нажатий через VPN	Скрытая реклама	Флуд нажатий		
	Флуд нажатий через proxy-	Наложение рекламы	Инъекция нажатий		
	сервера	Навязчивая реклама	Сброс идентификатора		
Тип мошенничества	Подмена идентификатора	Перехват нажатий	устройства		
	приложения	Флуд нажатий			
	Подмена контента	Подмена идентификато-			
		ра приложения			

Таким образом, типами мошенничества, реализуемыми на уровне приложения, являются скрытая реклама, наложение рекламы, навязчивая реклама, перехват нажатий, флуд нажатий, подмена идентификатора приложения.

Предлагаемый прототип системы обнаружения мошенничества с рекламой. Архитектура прототипа состоит из модулей сбора информации, вычисления признаков и классификации. На этапе сбора данных собираются параметры работы приложения, которые затем обрабатываются для определения признаков. В результате анализа приложений, реализующих типы мошенничества на уровне приложений, выделено 6 типов признаков приложений с мошенничеством: сетевой трафик, элементы интерфейса, разрешения, компоненты, события, поведение. Примерами признаков, относящихся к типу «сетевой трафик», являются коэффициент входящего трафика к исходящему без взаимодействия с приложением, коэффициент входящего трафика к исходящему после нажатия на интерфейс. На основе полученных признаков выполняется классификация приложения на предмет реализации в нем мошенничества с рекламой.



Общая схема реализации прототипа обнаружения мошенничества с рекламой на основе анализа работы Android-приложений

В реализации прототипа этап сбора данных состоит из статического и динамического анализа. При статическом анализе исследуется файл AndroidManifest.xml посредством утилиты androguard, из которого определяются разрешения, компоненты и события. Этап динамического анализа состоит в применении эмулятора из пакета Android SDK, на котором исполняется исследуемый файл. В ходе его работы при использовании автоматизированного взаимодействия с помощью DroidBot записываются трафик, изменение заряда батареи, описание интерфейса, фоновые сервисы. Из полученных параметров вычисляется 59 признаков, которые передаются в классификатор. В качестве модели классификатор был выбрал случайный лес с 80 деревьями. Схема реализации прототипа приведены на рисунке.

Результаты тестирования метода обнаружения мошенничества с рекламой демонстрируют высокие значения для введенных типов мошенничества. Стоит отметить, что корректное сравнение точности предложенного метода с другими в настоящее время невозможно по причине отсутствия инструментов, реализующих аналогичный функционал. Однако при использовании предлагаемого прототипа в качестве бинарного классификатора, были получены результаты, превосходящие по точности средство FraudDroid [6] на 4 % по f1-мере (табл. 4).

Сравнение предлагаемого прототипа с аналогом

Таблица 4

Средство	Гочность (ассигасу)	Гочность (precision)	Полнота (recall)	F1-мера
FraudDroid	0,93	0,92	0,94	0,92
Предложенный прототип	0,95	0,96	0,97	0,96

Заключение. В работе представлены типы мошенничества с мобильной рекламой, выделенные на основе анализа требований участником схемы работы рекламы, отчетов об инцидентах информационной безопасности. Предложенный в работе прототип обнаружения мошенничества с мобильной рекламой на основе анализа работы Android-приложений способен с высокой точностью определять приложения, реализующие мошенничество с мобильной рекламой.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Lexi Sydow. The New Normal in 2021: Five Things You Need to Know in Mobile // data.ai URL: https://www.data.ai/en/insights/market-data/2021-five-things-you-need-to-know-in-mobile/ (дата обращения: 09.04.2022).
- 2. Digital advertising spend lost to fraud to reach \$68 billion globally in 2022 // Juniper Research URL: https://www.juniperresearch.com/press/digital-advertising-spend-lost-to-fraud-68-billion (дата обращения: 01.03.22).
- 3. Методика определения угроз безопасности информации в информационных системах. Проект. 2015.
- 4. Федеральная служба по техническому и экспортному контролю. Методический документ. Методика оценки угроз безопасности информации. 2021.
- 5. Ad Fraud Statistics (2022) // Business of Apps [Электронный ресурс]. URL: https://www.businessofapps.com/ads/ad-fraud/research/ad-fraud-statistics/ (дата обращения: 15.05.2022).
- 6. FraudDroid: Automated Ad Fraud Detection for Android Apps // GitHub [Электронный ресурс]. URL: https://github.com/FraudDroid-mobile-ad-fraud/ExperimentResults (дата обращения: 20.05.2022).

A.Y.Soldatova, D.P.Zegzhda, E.Y.Pavlenko (Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg). **Detection of fraud with mobile advertising based on analysis of the work of Android applications** 

The paper presents an intruder model based on the study of mobile advertising scheme, with the help of which SDK spoofing was determined as the implementation method inherent in potentially the most dangerous intruders. As a result of the analysis of the participants requirements for advertising in applications 8 types of fraud were identified, 6 of which are realized by SDK spoofing. A prototype system for mobile advertising fraud detection in Android applications is presented, surpassing the analog by 4 % in f1-score.

### Е. Н. ШКОРКИНА

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург)

# КРИПТОГРАФИЧЕСКИЕ НАБОРЫ ПРОТОКОЛА АУТЕНТИФИКАЦИИ НИЗКОРЕСУРСНЫХ УСТРОЙСТВ В ГРАНИЧНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРЕ

Граничные вычисления, позволяющие достичь обработки информации в режиме реального времени, требуют разработки криптографических протоколов, учитывающих новую архитектуру и имеющих в основе алгоритмы, функционирующие в системе с учетом, установленных в системе возможностей нарушителя, и вычислительных характеристик целевых устройств.

В работе описывается протокол аутентификации устройств в граничной архитектуре с установлением ключей управления. Для него выбраны алгоритмы и протоколы, составляющие криптографические наборы двух уровней стойкости (классического и постквантового).

**Введение.** Обработка и анализ данных в режиме реального времени является неотъемлемой частью современной киберфизической системы. Для обеспечения указанного аспекта были изобретены и развиваются граничные вычисления, предполагающие взаимодействие устройств друг с другом через расположенный в одной локальной сети сервер. Переход к такой вычислительной архитектуре требует разработки новых алгоритмов взаимодействия и механизмов безопасности. Данная работа впервые описывает криптографические наборы протокола аутентификации низкоресурсных устройств двух уровней стойкости.

Аутентификация в граничной вычислительной архитектуре. Иерархическое расположение серверов в логической и физической близости от устройств на границе сети — основной принцип граничных вычислений. При этом данная инфраструктура может быть либо самостоятельной, либо составной частью облачных вычислений, выполняющей предварительную обработку информации перед передачей в облако и принимающей решения для таких задач, как аутентификация. Новые модели взаимодействия предполагают выполнение операций между двумя устройствами или между устройством и облачным сервером только через граничный сервер. Протокол аутентификации, представленный в работе [1], позволяет аутентифицировать одно устройство (управляющее) на другом (управляемом) через граничный сервер (рис. 1). В данной работе рассматривается его модифицированная версия с установлением ключей аутентифицированного управления.



Рис. 1. Модель взаимодействия устройств протокола аутентификации в граничной вычислительной архитектуре

Протокол состоит из двух этапов: сначала выполняется инициализация, а затем аутентификация с установлением ключей управления.

**Инициализация.** На данном этапе выполняется генерация доверенной стороной подписи  $Sign_{ES}$  для идентификационных данных  $ID_{ES}$  граничного сервера, а также предварительное распределение симметричного ключа аутентификации  $K_{auth}$  в управляющее и управляемое устройства.

**Аутентификация с установлением ключей управления**. Протокол состоит из следующих шагов:

- 1. Управляющее устройство инициирует выполнение протокола аутентификации путем отправки серверу сертификатов открытых ключей шифрования и подписи, содержащих сами ключи  $\langle Pk_{Dev_1}^{Enc}, Pk_{Dev_1}^{Sign} \rangle$ .
- 2. При успешной проверке полученных сертификатов граничный сервер формирует и отправляет управляющему устройству шифрограмму вида

$$E_{pk_{Dev}}^{Enc}(Sign_{ES} \oplus r || r), \tag{1}$$

в которой r — случайное число, длина которого совпадает с длиной подписи  $Sign_{ES}$ ,  $\bigoplus$  — операция побитового сложения по модулю 2.

3. Устройство расшифровывает полученное значение с использованием своего закрытого ключа и проверяет подпись  $Sign_{ES}$ . Если подпись корректна, то значение  $Sign_{ES} \oplus r$  сохраняется как ключ взаимодействия с граничным сервером. Далее формируется и отправляется серверу значение

$$E_{auth}^{sym}(Sign_{ES} \oplus r, K_{auth}),$$
 (2)

представляющее собой результат применения алгоритма аутентифицированного шифрования к открытым данным  $K_{auth}$  на ключе  $Sign_{ES} \oplus r$ .

4. Граничный сервер получает и расшифровывает  $K_{auth}$  с проверкой имитовставки. При успешной проверке значение  $Sign_{ES} \oplus r$  сохраняется как ключ алгоритма шифрования для взаимодействия с данным устройством. Далее на ключе  $K_{auth}$  формируется шифрограмма,

$$E_{K_{auth}}^{sym}(Sign_{ES} \oplus q \| q), \tag{3}$$

отправляемая управляемому устройству вместе с открытым ключом подписи  $Pk_{Dev_1}^{Sign}$ .

5. Управляемое устройство расшифровывает полученное зашифрованное значение с помощью ключа  $K_{auth}$  и проверяет подпись  $Sign_{ES}$ . При успешном завершении аутентификация выполнена. Значение  $Sign_{ES} \oplus q$  сохраняется в качестве ключа алгоритма расшифрования сообщений, полученных от сервера, а  $Pk_{Dev_1}^{Sign}$  — в качестве ключа проверки подписи за управляющее сообщение.

**Аументифицированное управление устройством.** Выработанные в результате выполнения протокола ключи  $Sign_{ES} \oplus r$  и  $Sign_{ES} \oplus q$  используются следующим образом:

- 1. Управляющее устройство формирует и отправляет граничному серверу:
  - Значение подписи за управляющее сообщение  $M_{com}$  с использованием ключа  $Sk_{D_1}^{Sign}$ :

$$Sign_{M_{com}} = Sign(Sk_{Dev_1}^{Sign}, M_{com}). \tag{4}$$

• Шифрограмму с имитовставкой с использованием ключа  $Sign_{\mathbb{R}^{\varsigma}} \oplus r$ :

$$E_{auth}^{sym}(Sign_{ES} \oplus r, M_{com} || Sign_{M_{com}}). \tag{5}$$

2. Граничный сервер расшифровывает полученное значение с проверкой имитовставки. При успешном завершении значение,

$$E_{Sig\,n_{ES} \oplus q}^{sym}(M_{com} || Sign_{M_{com}}), \tag{6}$$

представляющее собой шифрограмму команды и подписи на ключе  $Sign_{ES} \oplus q$ , отправляется управляемому устройству.

3. Управляемое устройство расшифровывает полученное значение и проверяет подпись  $Sign_{M_{com}}$  за полученное сообщение команды  $M_{com}$  с использованием открытого ключа подписи, полученного в результате выполнения протокола аутентификации. Если успешно, то команда выполняется.

*Криптографические наборы протокола.* Криптографические алгоритмы, определенные в протоколе аутентификации, должны быть выполнимы за разумное время без потери актуально-

сти передаваемой информации на устройствах. При этом выбор множества, с использованием которого будет функционировать протокол аутентификации, должен быть сделан на основе модели угроз системы. Если возможность выполнения нарушителем эффективного квантового криптоанализа не учитывается, целесообразно использовать набор протоколов классического уровня стойкости, в противном случае – постквантового.

Среди асимметричных алгоритмов классического уровня стойкости целесообразно выбирать протоколы на эллиптических кривых, превосходящие криптосистемы на основе модулярной арифметики, во-первых, по быстродействию при аппаратной и программной реализации, а вовторых, по уровню защищенности в расчете на один бит ключа. Для асимметричного шифрования и цифровой подписи в таком случае следует выбрать соответствующие схемы Эль-Гамаля. Алгоритм симметричного шифрования и аутентифицированного шифрования должен быть подобран на основе результатов функционирования блочного шифра на целевой аппаратной платформе, среди которых должны исследоваться низкоресурсные алгоритмы стандарта ISO/IEC 29192—2:2019, алгоритмы ГОСТ Р 34.12—2018, а также AES-128. Предлагаемый криптографический набор протокола аутентификации классического уровня стойкости приведен в табл. 1.

Таблица 1 Криптографический набор классического уровня стойкости

Обозначение	Тип	Алгоритмы классического уровня стойкости
E/D	Асимметричное зашифрование /	Схема шифрования Эль-Гамаля на эллиптических кривых
	расшифрование	
E <sup>sym</sup> / D <sup>sym</sup>	Симметричное зашифрование /	Блочной шифр PRESENT, «Магма», либо AES-128 в
	расшифрование	режиме счетчика (CTR)
$E_{auth}^{sym} / D_{auth}^{sym}$	Симметричное зашифрование /	Режимы аутентифицированного шифрования: режим МGМ
uum uum	расшифрование с имитозащитой	с использованием блочного шифра «Магма», либо режим
		GCM блочного шифра AES-128 [7]
Sign()/	Формирование/ проверка	Схема подписи Эль-Гамаля на эллиптических кривых
Verify()	цифровой подписи	

Криптографический набор постквантового уровня стойкости должен содержать асимметричные схемы, безопасность которых основана на математической задаче, являющейся предположительно стойкой к квантовому криптоанализу. По результатам конкурса NIST [2], для цифровой подписи рекомендован к использованию алгоритм CRYSTALS-Dilithium, а для инкапсуляции ключа — алгоритм CRYSTALS-Kyber, безопасность которых основана на сложных вычислительных задачах теории решеток. Алгоритмы показали хорошие результаты, в том числе при реализации на низкоресурсных микроконтроллерах семейств ARM Cortex-M3 и ARM Cortex-M4 [3, 4]. Их использование в протоколе аутентификации (рис. 2) предполагает на шаге 1 передачу вместо открытого ключа шифрования соответствующего ключа инкапсуляции  $Pk_{Dev_1}^{Exp}$ , а также выработку на шаге 2 по алгоритму Encaps () общего ключа K, имеющего шифротекст C. Далее формируется шифрограмма  $E_K^{sym}$  ( $Sign_{ES} \oplus r \| r$ ) и передается вместе с шифротекстом (шаги 3—4). Для получения управляющим устройством общего ключа выполняется алгоритм Decaps (). Схема взаимодействия граничного сервера и управляемого устройства остается без изменений.

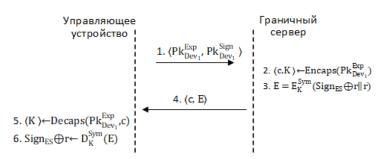


Рис. 2. Внедрение постквантового алгоритма инкапсуляции ключа в протокол аутентификации

С целью сохранения достаточной стойкости к методу криптоанализа с использованием алгоритма Гровера в качестве блочного шифра алгоритмов  $E^{sym}$  и  $E^{sym}_{auth}$ , необходимо выбирать тот, который имеет длину ключа не менее 256 бит. Предлагаемый криптографический набор протокола аутентификации постквантового уровня стойкости приведен в табл. 2.

Криптографический набор постквантового уровня стойкости

Таблица 2

Ооозначение	тип алгоритма	Алгоритмы постквантового уровня стоикости	
Encaps() / Выработка общего ключа		CRYSTALS-Kyber	
Decaps ()			
Sign () / Verify ()	Формирование/ проверка	CRYSTALS-Dilithium	
	цифровой подписи		
$E_{auth}^{sym}/D_{auth}^{sym}$	Симметричное зашифрование /	Режимы аутентифицированного шифрования:	
dan dan	расшифрование с имитозащитой	режим MGM с использованием блочного шифра	
		«Кузнечик» или режим GCM блочного шифра	
		AES-256	
E <sup>sym</sup> / D <sup>sym</sup>	Симметричное зашифрование /	Блочный шифр «Кузнечик» или AES-256 в	
	расшифрование	режиме счетчика (CTR)	

Заключение. Обработка информации с помощью граничных вычислений позволяет функционировать информационным системам в режиме реального времени за счет физической близости серверов к устройствам. Разработанный для данной архитектуры протокол аутентификации с распределением ключей на основе одного из двух криптографических наборов обеспечивает безопасное управление низкоресурсными устройствами.

Исследование выполнено при финансовой поддержке  $P\Phi\Phi U$  в рамках научного проекта  $N \ge 20-37-90110$ .

## ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Aleksandrova E.B., Oblogina A.Y., Shkorkina E.N.** Authentication of Control Devices in the Internet of Things with the Architecture of Edge Computing. *Automatic Control and Computer Sciences*. 2021. V. 55. № 8. P. 1087–1091.
- 2. NIST Announces First Four Quantum-Resistant Cryptographic Algorithms [Электронный ресурс]. 2022. URL: https://www.nist.gov/news-events/news/2022/07/nist-announces-first-four-quantum-resistant-cryptographic-algorithms (дата обращения 10.07.2022).
- 3. **Greconici D.O.C., Kannwischer M.J., Sprenkels D.** Compact dilithium implementations on Cortex-M3 and Cortex-M4. *IACR Transactions on Cryptographic Hardware and Embedded Systems*. 2021. P. 1–24.
- 4. **Botros L., Kannwischer M.J., Schwabe P.** Memory-efficient high-speed implementation of Kyber on Cortex-M4. *International Conference on Cryptology in Africa*. Springer, Cham, 2019. P. 209–228.

E.N.Shkorkina (Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg). Cryptographic suites for intelligent electronic devices authentication protocol in edge environment

Computations that allow real-time processing of information require the development of cryptographic protocols that consider the new architecture. They should also be based on algorithms that operate in the system, taking into account the capabilities of the intruder and the computing characteristics of the target devices.

The paper describes the device authentication protocol in the edge architecture with the establishment of control keys. For it, algorithms and protocols were selected that constitute cryptographic sets of two security levels (classical and post-quantum).

Е. Б. АЛЕКСАНДРОВА, Э. А. КРАШЕНИННИКОВ, А. В. ЯРМАК (Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург)

# СХЕМА КРИПТОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ДОСТУПА К ДАННЫМ ОБЛАЧНОГО ХРАНИЛИЩА НА ОСНОВЕ ИЗОГЕНИЙ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ КРИВЫХ

В рамках доклада представлена схема SIDH-DAC, обеспечивающая защиту от несанкционированного доступа к данным облачного хранилища в условиях недоверенного провайдера облачных услуг. В качестве основы для разработанной схемы была выбрана Crypt-DAC. Особенности используемого математического аппарата изогений эллиптических кривых позволили модифицировать процедуры шифрования и аутентификации. Результаты тестирования программного прототипа показывают, что скорость операций в случае введенных оптимизаций увеличилась в 1,5 – 2,5 раза.

**Введение.** В настоящее время облачные сервисы представляют собой наиболее распространенный способ хранения большого объема информации, что обусловлено отсутствием необходимости развертывания и обслуживания собственной инфраструктуры, меньшими затратами на персонал и ресурсы, возможностью обеспечения быстрого доступа к данным с различных устройств. Провайдеры облачных ресурсов, как правило, предоставляют традиционные инструменты по контролю доступа к информации. Такие программные решения функционируют на доверенном сервере, который хранит данные в открытом виде и по входящему запросу предоставляет информацию пользователю. Однако в случае недоверенного облачного провайдера или компрометации сервера возникает угроза несанкционированного доступа к данным.

Для решения указанной проблемы предлагается схема, обеспечивающая защиту от несанкционированного доступа к данным с использованием криптографических алгоритмов и протоколов. К достоинствам данной схемы можно отнести совместимость с любой классической моделью контроля доступа, хранение данных в облаке в зашифрованным виде, независимость от архитектуры файловой системы серверов облачного хранилища [1]. Безопасность обусловлена сложностью решения задачи поиска изогений эллиптических кривых.

Обоснование выбора основной модели. Среди исследованных классических моделей контроля доступа одновременно гибкостью и масштабируемостью обладает ролевая модель доступа. Кроме того, в схеме криптографического контроля доступа должны поддерживаться функции добавления субъектов (пользователей), ролей, объектов (файлов), назначения ролей пользователя, разрешений ролям, исключения пользователей из ролей, отмены назначенных разрешений.

Среди подходов к криптографическому контролю доступа в облаке выделяют широковещательное шифрование, шифрование на основе атрибутов и гибридное шифрование [2]. Для реализации последнего может быть использована готовая криптосистема с открытым ключом на изогениях, например, SIDH (Supersingular Isogeny Diffie-Hellman) [3], поэтому именно гибридный подход стал основой для разрабатываемой схемы.

Результаты сравнительного анализа схем криптографического контроля доступа [4–7] представлены в таблице. Несмотря на то, что в схеме IBBE-SGX [6] учтена угроза со стороны администратора, защита от неё осуществляется с использованием аппаратной технологии Intel SGX, что накладывает ограничения на аппаратную составляющую. Таким образом, среди рассмотренных схем криптографического контроля доступа можно выделить две конструкции на основе ролей, использующие гибридное шифрование: HCAC-HER [4] и Crypt-DAC [5]. В схеме HCAC-EHR не рассматривается угроза, исходящая от пользователей, права которых были отозваны, поэтому в качестве основы разрабатываемой схемы контроля доступа на основе задачи поиска изогений была выбрана Crypt-DAC.

**Предлагаемая схема криптографического контроля доступа.** В предлагаемой схеме в облачном хранилище в зашифрованном виде размещаются файлы, а также политика безопасности, управление которой осуществляет администратор. Выделяются следующие сущности: пользователи (U), роли (R), файлы (F), таблица FK (FileKeys), связывающая роли и файлы, и

таблица RK (RoleKeys), ассоциирующая пользователи и роли. Для каждого пользователя и роли введена пара открытый/закрытый ключ.

Таблица Сравнительный анализ схем криптографического контроля доступа

Схема		HCAC-HER [4]	Crypt-DAC [5]	IBBE-SGX [6]	C-ABAC [7]
Основная модель		На основе ролей, избирательный	На основе ролей	На основе ролей	Мандатный, избирательный
Криптографическая модель		Гибридная	Гибридная	Широковеща- тельная	На основе атрибу- тов
Угрозы	Внешний злоумышлен- ник	Низкий уровень опасности	Низкий уровень опасности	Низкий уровень опасности	Низкий уровень опасности
	Администратор	Средний уровень опасности	Средний уровень опасности	Низкий уровень опасности	Средний уровень опасности
	Облачный провайдер	Низкий уровень опасности	Низкий уровень опасности	Низкий уровень опасности	Низкий уровень опасности
	Отозванный пользователь	Высокий уровень опасности	Низкий уровень опасности	Низкий уровень опасности	Средний уровень опасности
Дополнительные технологии		Индексация	Ротация ключей	Intel SGX	Атрибуты разных типов

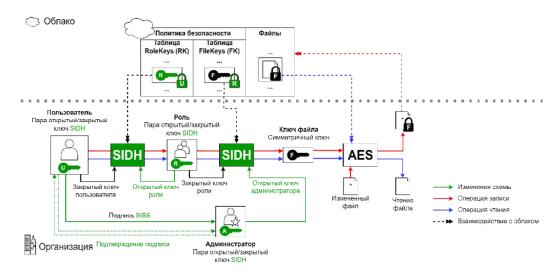


Рис. 1. Схема SIDH-DAC

В схеме Crypt-DAC при операции чтения файла пользователь сначала загружает запись из таблицы RK, в которой хранятся зашифрованные ключи роли. Расшифровать данную запись он может с помощью своего закрытого ключа RSA. Далее пользователь загружает зашифрованный ключ файла из таблицы FK и расшифровывает с использованием полученного ключа роли. Затем он может загрузить, расшифровать и прочесть сам файл. При операции записи пользователь зашифровывает измененный файл, загружает его в облако, а затем отправляет подпись администратору для подтверждения изменений. В предлагаемой схеме SIDH-DAC (Supersingular Isogeny Diffie-Hellman Dynamic Access Control, рис. 1) вместо криптосистемы RSA используется схема шифрования на основе SIDH. Кроме того, введены следующие изменения: для расшифрования данных таблицы RK необходимо использовать закрытый ключ пользователя и открытый ключ роли, а для таблицы FK – закрытый ключ роли и открытый ключ администратора. В качестве протокола электронной цифровой подписи использовалась неоспоримая подпись на изогениях [8], подразумевающая интерактивное взаимодействие с подписывающим.

**Модификация схемы.** В целях оптимизации предложенной схемы, для ускорения операции записи, была разработана схема Simplified SIDH-DAC (S-SIDH-DAC), основная идея которой заключается в том, что для шифрования в таблице FK и аутентификации используется кривая  $E'_r$ , которая известна только администратору и участникам роли. Кривая  $E'_r = E_0/(nP_A + mQ_A)$ 

строится с использованием закрытых показателей n, m, как и кривая  $E_r = E_0/(nP_B + mQ_B),$  являющаяся частью открытого ключа, но закрытые показатели применяются к образующим другой подгруппы группы кручения.

Таким образом, ключи шифрования записей в таблице FK формируются с использованием кривой  $E_r'$  и хэш-значения от имени файла, а аутентификация во время операции записи осуществляется с использованием кривой  $E_r'$  и хэш-значения от измененного файла. Администратор, просмотрев данные аутентификации, может сделать вывод о том, что пользователю известны ключи роли и что пользователь подтверждает внесённые изменения. В результате, используя свойства изогений эллиптических кривых и тот факт, что администратору известен закрытый ключ роли, можно заменить процедуру верификации неоспоримой подписи на проверку знания кривой  $E_r'$ .

Программная реализация и результаты местирования. Прототипы схем SIDH-DAC и S-SIDH-DAC были реализованы в системе компьютерной алгебры SAGEMATH. Оценка трафика производилась путём суммирования объемов данных, необходимых для корректной работы алгоритма через Интернет без учета служебного трафика. Так как в системе SAGEMATH не поддерживается вычисление изогений больших степеней, скорость разработанных прототипов сравнительно невысока и может быть повышена с использованием низкоуровневых оптимизаций. Результаты тестирования представлены на рис. 2.



Рис. 2. Результаты тестирования схем SIDH-DAC и S-SIDH-DAC

В ходе трех тестовых запусков в систему было добавлено 50 пользователей, 5 ролей, 40/20/100 файлов, 50/100/150 записей в таблице FK и 200/100/200 записей в таблице RK. Основное влияние на производительность оказывает количество записей в таблице FK. В среднем скорость S-SIDH-DAC в 1,5–2,5 раза выше, чем SIDH-DAC. Введённая в S-SIDH-DAC оптимизация алгоритма аутентификации повышает производительность примерно в 20 раз.

**Заключение.** Предложенные в работе схемы SIDH-DAC и S-SIDH-DAC позволяют реализовать контроль доступа на основе ролей даже при ограниченном наборе инструментов, представленных облачным провайдером. Применение шифрования на основе изогений эллиптических кривых обеспечивает безопасность хранения данных в недоверенном облачном хранилище даже при условии появления квантового компьютера достаточно высокой кубитности.

Заметим, что операции изменения политики безопасности в предлагаемых схемах могут выполняться достаточно медленно. При исключении пользователя и лишении прав роли необходимо не только удалить записи из таблиц, но и обновить ключи шифрования всех ранее доступных компонент системы. Данная особенность является ограничением не только разработанных схем, но и схемы Crypt-DAC, которая лежит в их основе. Эту проблему можно решить различными способами в зависимости от требований политики безопасности организации, например, за счет хранения дополнительных ключей и делегирования операций повторного шифрования облачному провайдеру.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минцифры России (грант ИБ) в рамках научного проекта № 12/21-к

#### ЛИТЕРАТУРА

- Kayem A. V. D. M., Akl S. G., Martin P. Adaptive cryptographic access control. Springer Science & Business Media. 2010. Vol. 48.
- 2. Contiu S. Applied Cryptographic Access Control for Untrusted Cloud Storage. Université de Bordeaux, 2019. 124 p.
- 3. **Jao D., Feo L. D.** Towards quantum-resistant cryptosystems from supersingular elliptic curve isogenies. International Workshop on Post-Quantum Cryptography. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. Pp. 19-34.
- 4. Chinnasamy P., Deepalakshmi P. HCAC-EHR: hybrid cryptographic access control for secure EHR retrieval in healthcare cloud. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. 2022. Vol. 13. № 2. Pp. 1001-1019.
- 5. Qi S., Zheng Y. Crypt-DAC: cryptographically enforced dynamic access control in the Cloud. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*. 2019. Vol. 18. №. 2. C. 765-779.
- 6. **Contiu S. et al.** IBBE-SGX: Cryptographic group access control using trusted execution environments. 2018 48th Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN). IEEE, 2018. Pp. 207-218.
- 7. **Zhu Y. et al.** Cryptographic attribute-based access control (ABAC) for secure decision making of dynamic policy with multiauthority attribute tokens. *IEEE Transactions on Reliability*. 2019. Vol. 68. № 4. Pp. 1330-1346.
- 8. **Jao D., Soukharev V.** Isogeny-based quantum-resistant undeniable signatures. International Workshop on Post-Quantum Cryptography. Springer, Cham, 2014. Pp. 160-179.

E.B.Aleksandrova, E.A.Krasheninnikov, A.V.Yarmak (Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg). Isogeny-based scheme of cryptographic access control in the cloud

The paper presents the SIDH-DAC scheme, which ensures security against unauthorized access to cloud storage data. Crypt-DAC was chosen as the basis for the developed scheme. The isogenies' features made it possible to modify the encryption and authentication procedures. The results of software prototype testing show that the speed of operations in the case of the introduced optimizations increased by 1.5–2.5 times.

#### А. А. ШТЫРКИНА

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург)

# ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В докладе рассматривается задача обеспечения безопасности киберфизических систем на основе анализа структурных свойств графа, моделирующего систему. Структура графа может оцениваться с помощью его спектра. В докладе представлено исследование вида спектров различных сетевых топологий, которые используются при построении современных киберфизических систем.

Введение. Обеспечение безопасности киберфизических систем (КФС) является актуальной задачей в силу их повсеместного внедрения в критические области деятельности человека. Задача обеспечения безопасности КФС является нетривиальной, а существующие методы не носят универсальный характер. Для ее решения предлагается моделировать КФС с помощью графа и строить системы безопасности, основываясь на математическом аппарате спектральной теории графов, с учетом структурных свойства исследуемой системы. Для разработки такого подхода необходимо понимание структурных свойств существующих КФС. В докладе представлено исследование свойств КФС с точки зрения структуры моделирующего их графа.

Структурные свойства графов киберфизических систем. Киберфизические системы являются неотъемлемой основой для разработки инновационных решений в различных сферах деятельности человека, начиная от области здравоохранения и заканчивая автоматизацией сложных технологических процессов в критической инфраструктуре. Обеспечение безопасности таких систем осложняется рядом факторов, среди которых можно выделить отсутствие единой стандартизации, что связано с большим числом используемых устройств и протоколов взаимодействия, высокой сложностью организации КФС и большим объемом данных, циркулирующих в системе. Перечисленные проблемы диктуют создание универсального подхода, который будет учитывать инвариантные относительно области применения характеристики КФС.

КФС характеризуется наличием физических и информационных компонентов, взаимодействие которых позволяет оптимизировать процессы управления и принятия решений. Ключевой особенностью КФС является нетривиальная структура, которая усложняется вместе с ростом количества и качества решаемых задач. Тогда процесс функционирования КФС, учитывающий ее структурные особенности, может быть смоделирован с использованием теории графов [1]. Атакующие воздействия на систему отражаются на моделирующем графе: они могут выражаться как в изменении количества компонентов и связей, так и в изменении их характеристик. Таким образом, безопасность КФС сводится к анализу структурных свойств моделирующего графа.

Одним из направлений теории графов, которое исследует структурные свойства, является спектральная теория графов. Спектр графа представляет собой собственные значения матрицы, задающей граф (матрица связности, матрица Лапласа). Для графов, обладающих похожей структурой, распределение значения спектров также похожи. Такая особенность позволяет использовать спектр графа как инвариант для задачи сравнения графов. Спектр также отражает структурные свойства. Например, второе наименьше собственное значение матрицы Лапласа показывает алгебраическую связность графа.

Для разработки подхода к обеспечению безопасности КФС был выполнен обзор структурных особенностей графов, моделирующих современные КФС.

*Классификация КФС*. Большое разнообразие реализаций киберфизических систем приводит к сложности их единой классификации. Известны различные критерии классификации таких систем.

Одним из критериев классификации КФС является область применения [2]: коммуникации, энергетика, строительство, здравоохранение, производство, военная сфера, робототехника, транспортная инфраструктура. Классификация по такому критерию может включать в себя меньшее число потенциальных типов КФС [3]: сферы, связанные с человеком (здравоохранение, коммуникации); сферы, связанные автономными процессами (робототехника (MANET), производство); сферы, связанные с окружающей инфраструктурой (умный город, умные сети энергоснабжения).

С точки зрения структуры КФС, важным критерием является сложность выполняемых операций: чем нетривиальнее выполняемые задачи, тем большие требования накладываются на число устройств и качество их взаимодействия.

Сложность решаемых КФС задач может определяться видом используемых данных и методами их обработки [4]:

- на уровне соединения: система использует данные из разнородных источников;
- на уровне преобразования: система использует данные после их предварительной обработки и агрегации;
- на кибернетическом уровне: система использует данные от других КФС для обогащения собственной базы знаний;
- на когнитивном уровне: система использует проанализированные с помощью интеллектуальных методов данные для отслеживания собственного состояния;
- на уровне конфигурации: система способна выполнять переконфигурацию и адаптироваться к деструктивным воздействиям.

# Сетевые топологии КФС

Любая КФС представляет собой интеграцию физических и информационных процессов, которая реализуется с помощью телекоммуникационного оборудования. К построению таких систем применимы топологии из теории сетей [5]:

1. Топология «звезда» (рис. 1) представляет собой множество прямых соединений, объединенных одним концентратором. Такая топология используется для Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth. Спектр топологии «звезда» характеризуется высокой частотой нулевого собственного значения матриц смежности и Лапласа.

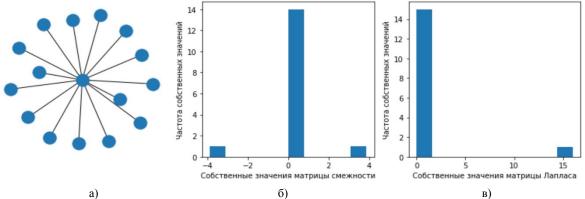


Рис. 1 a) изображение топологии «звезда», б) спектр матрицы смежности, в) спектр матрицы Лапласа

2. Топология «кольцо» (рис. 2) может использоваться для последовательной передачи данных в изолированном сегменте КФС. Спектр при небольшой размерности графа характеризуется относительно равномерной частотой собственных значений. Однако с увеличением числа вершин (начиная от 20) наибольшие по абсолютной величине собственные значения начинают обладать наибольшей частотой.

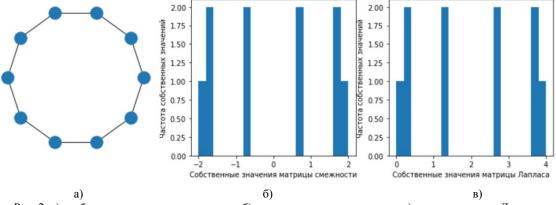


Рис. 2. a) изображение топологии «кольцо», б) спектр матрицы смежности, в) спектр матрицы Лапласа

3. Топология «шина» (рис. 3) используется для передачи информации от равноправных агентов информационного обмена по мультиплексному каналу передачи данных. Такой тип распространен для датчиков низкоскоростной промышленной автоматизации (RS-485). Для отображения топологии «шина» использовался полносвязный граф, показывающий связь между всеми участниками сети.

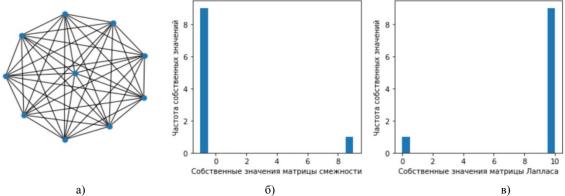


Рис. 3 a) изображение топологии «шина», б) спектр матрицы смежности, в) спектр матрицы Лапласа

4. Гибридная сеть представляет собой объединение сетей различных топологий. На рис. 4 изображена гибридная сеть, состоящая из топологий «звезда» и «кольцо». Как видно, результирующий спектр имеет лишь отдаленные общие черты со спектрами составляющих топологий. Однако изменение числа вершин в использованных топологиях влияет на величину наиболее частого собственного значения.

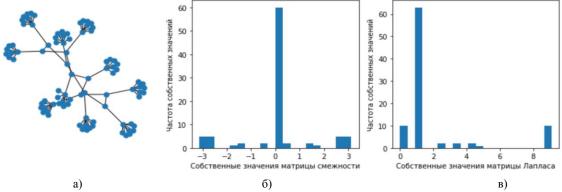


Рис. 4 а) изображение гибридной топологии, б) спектр матрицы смежности, в) спектр матрицы Лапласа

5. Ячеистая топология (рис. 5) является одной из самых многообещающих топологий для организации КФС. В такой топологии устройства равноправно могут взаимодействовать друг с другом. Как правило, такой тип сетей используется для беспроводных приемопередатчиков (ZigBee, 6LoWPAN, LoRa-mesh). Сети ячеистой топологии в ряде работ моделируются с помощью графов со свойством «малого мира» [6]. Спектр таких графов не описывается аналитической функцией и в зависимости от числа вершин может иметь одно или два пиковых значений частоты.

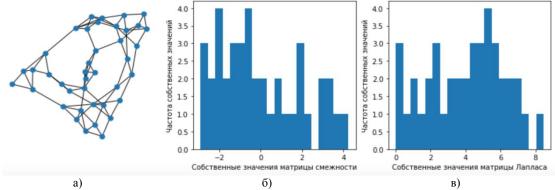


Рис. 5 а) изображение ячеистой топологии, б) спектр матрицы смежности, в) спектр матрицы Лапласа

С увеличением сложности решаемых КФС задач усложняется и топология сети: для сбора информации с датчиков достаточно топологии «звезда» или «шина», для решения более нетривиальных задач сеть системы усложняется за счет добавления дополнительных сенсоров, агрегаторов и модулей аналитики данных.

Примеры сложных реальных КФС:

1. Граф сетей энергоснабжения западных штатов США [7]. Сети энергоснабжения, в том числе «умные», обладают нетривиальной топологией. В ряде исследований было показано, что сети таких систем моделируются с помощью графов со свойством «малого мира». На рис. 6а представлено характерное для таких графов распределение спектра.

Графы с таким свойством характеризуются небольшой длиной кратчайшего пути и высоким коэффициентом кластеризации.

Алгебраическая связность графа равна 0,00075. Такое низкое значения для графа со свойством «малого мира» объясняется большим числом вершин графа и сравнительно небольшой средней степенью.

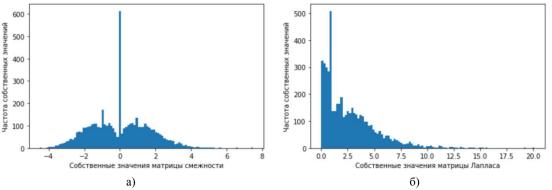


Рис. 6 а) спектр матрицы смежности, б) спектр матрицы Лапласа

2. Граф системы Интернета Вещей, представляющей собой датчики температуры, подключённые к плате Intel ATLASEDGE и Beagle (BeagleBone Blue), которые обмениваются данными по протоколу Bluetooth (рис. 7) [8]. Спектр матрицы смежности моделирующего графа является симметричным относительно нуля с «хвостом» справа, что напоминает спектр случайного графа.

Алгебраическая связность полученного графа равна 121,2312. Такое высокое значение связности говорит о том, что число вершин и принцип их соединения делает граф высокосвязным, а значит более отказоустойчивым при выведении из строя компонентов сети.

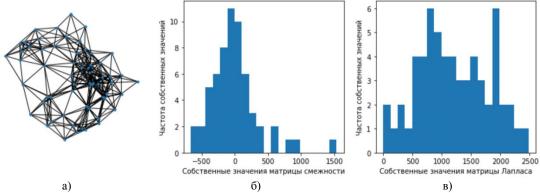


Рис. 7 а) графы системы Интернета Вещей, б) спектр матрицы смежности, в) спектр матрицы Лапласа

Заключение. В приведенном докладе проведено исследование спектральных свойств графов, моделирующих КФС. Киберфизические системы классифицированы в соответствии с областью применения, а также со сложностью выполняемых функций. Необходимость выполнять нетривиальные задачи провоцирует усложнение структуры системы, а значит и ее сетевой топологии. Показано распределение спектров графов, задающих как простые, так и сложные реальные КФС. Для сети энергоснабжения спектр показал близость к графу со свойством «ма-

лого мира», для системы Интернета Вещей распределение спектра оказалось близким к распределению спектра случайного графа.

Работа проводилась при финансовой поддержке  $P\Phi\Phi U$  в рамках научного проекта № 20-37-90109.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Штыркина А.А**. Обеспечение устойчивости киберфизических систем на основе теории графов. *Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы.* 2021. №2. С. 145-150.
- 2. **Rajkumar R. et al.** Cyber-physical systems: the next computing revolution. *Design automation conference*. IEEE, 2010. Pp. 731-736.
- 3. **Dong G. et al.** Graph Neural Networks in IoT: A Survey //arXiv preprint arXiv:2203.15935. 2022.
- 4. **Cardin O.** Classification of cyber-physical systems developments: Proposition of an analysis framework //International Workshop on Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing. Springer, Cham, 2016. Pp. 25-33.
- 5. **Shukalov A.V., Zharinov I.O., Zharinov O.O**. Network communication and identification of the cyber-physical systems. 2021.
- Verma C.K. et al. A realistic small-world model for wireless mesh networks. *IEEE Communications Letters*. 2011.
   Vol. 15. No. 4. Pp. 455-457.
- Watts D.J., Strogatz S.H. Collective dynamics of 'small-world' networks. Nature. 1998. V. 393. No. 6684. Pp. 440-442
- 8. **Guo X. et al.** Deep multi-attributed graph translation with node-edge co-evolution. 2019 IEEE International Conference on Data Mining (ICDM). IEEE, 2019. Pp. 250-259.

A.A.Shtyrkina (Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg). **Research of structural properties of cyber-physical systems** 

The report considers the problem of ensuring the security of cyber-physical systems based on the analysis of the graph structural properties. The structure of the graph can be estimated using the spectrum. The report presents a study of the type of spectra of various network topologies that are used in the construction of modern cyber-physical systems.

#### Т. М. ТАТАРНИКОВА, Ф. БИМБЕТОВ

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург

# МОДЕЛЬ МОНИТОРИНГА РАСХОДА ТРАФИКА УСТРОЙСТВОМ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Обсуждается проблема обнаружения аномального трафика на устройстве интернета вещей — умном устройстве. Разработано приложение, представляющее собой информационную систему анализа статистических характеристик трафика, исходящего от умного устройства. Приложение устанавливается на умное устройство. Предложены характеристики, применяемые для идентификации аномалии сетевого трафика. Приведено описаний типов аномалий и характеристики, свидетельствующие о наличии аномалии в сетевом трафике.

Введение. Устройства интернета вещей (ІоТ-устройства) подвержены киберугрозам, способным привести к выводу устройства из работы, перехвату управления и другим. Самые популярные из киберугроз — это DDos-атаки и кража личных данных [1]. В первом случае, атаки становятся возможными благодаря цепочке подключенных устройств к интернету и заражении каждого из них вредоносной программой, которая позволяет удерживать полный контроль над устройством без согласия владельца. Во втором случае, речь идет о данных, получаемых с различных датчиков и гаджетов пользователя, которые в случае кражи могут дать похитителю информацию личного характера. Например, датчик движения, установленный в системе умного дома, может быть использован для получения информации о присутствии или отсутствии в доме людей [2].

Большинство современных гаджетов не способны противостоять атакам и краже данных по ряду причин [3]:

- Круглосуточная работа устройств позволяет даже в случаях частичного внешнего контроля обойти систему защиты.
- Полный контроль со стороны пользователя отсутствует.
- Сами владельцы редко замечают, что их устройства подвержены атаке или краже данных.

Очевидно, что все причины связаны с тем, что внешний контроль пользователя отсутствует или очень слаб.

Система контроля за расходом трафика. Для усиления контроля за расходом трафика предлагается приложение, интегрированное в интернет-устройство. Приложение представляет собой информационную систему с функциями учета расхода трафика, контроля потребляемых ресурсов и прогнозирования объемов трафика и ресурсов, которая укажет пользователю на аномальные случаи. Таким образом, пользователь будет предупрежден о возможных угрозах и краже.

В приложении анализируются несколько характеристик трафика, полученного от интернетустройства, такие как частота пакетов, передаваемых по определенному типу протокола, количество пакетов трафика за установленное время и т. д. [4].

Для идентификации сетевой аномалии используются следующие характеристики:

- $x_1$  интенсивность отправки пакетов;
- $x_2$  интенсивность отправки пакетов с портом, указанным протоколом используемого IoT-устройства;
- $x_3$  интенсивность отправки пакетов с адресом, в котором отправителем числится IoTустройство;
- $x_4$  интенсивность отправки пакетов с адресом, в котором получателем числится сервер с системой контроля.
- $x_5$  интенсивность получения пакетов с неправильной контрольной суммой.
- $x_6$  интенсивность отправки пакетов по определенному протоколу (UDP/TCP/MQTT).

После обнаружения аномалий система способна распознать угрозы. Для этого предложен трехуровневый идентификационный алгоритм, в котором анализируются характеристики, приведенные в таблице.

Таблица

#### Типы сетевых атак

Название типа	Описание аномалии	Изменения в трафике	Свидетельствующая
аномалии	Описание аномалии	нэменения в графике	характеристика
			î î
DoS-, DDoS- атака	Распределённая атака типа отказ в обслуживании на одну жертву	Выброс в представлении трафика пакеты/с, потоки/с, от множества источников к одному адресу назначения. Высокая заметность	Увеличение пакетов с одним адресом назначения. В случае ІоТ-устройств, подключенных к одному получателю, то это просто резкое увеличение количества отправки пакетов
Перегрузка	Необычно высокий спрос на один сетевой ресурс или сервис	Скачок в трафике по потокам/с к одному доминирующему ИБадресу и доминирующему порту. Обычно кратковременная аномалия.	Кратковременное увеличение пакетов с одним адресом назначения и одним портом. Отличие от DoS- и DDos-атак заключается в кратковременности и воздействии на один порт
Сканирование сети/портов	Сканирование сети по определённым открытым портам или сканирование одного хоста по всем портам с целью поиска уязвимостей	Скачок в трафике по потокам/с, с несколькими пакетами в потоках от одного доминирующего IP-адреса	Кратковременное увеличение пакетов с одним адресом отправления
Деятельность червей	Вредоносная программа, которая самостоятельно распространяется по сети и использует уязвимости ОС	Выброс в трафике без доминирующего адреса назначения, но всегда с одним или несколькими доминирующими портами назначения	Увеличение пакетов с одним портом назначения от разных источников
Точка- мультиточка	Распространение контента от одного сервера многим пользователям	Выброс в пакетах, байтах от доминирующего источника к нескольким назначениям, все к одному хорошо известному порту	Увеличение пакетов с одним портом назначения от одного источника
Отключения	Сетевые неполадки, которые вызывают падение в трафике между одной парой источникназначение	Падение трафика по пакетам, потокам и байтам обычно до нуля. Может быть долговременным и включать все потоки источник-назначение от или к одному маршрутизатору	Сильное уменьшение количества пакетов от IoT-устройства
Переключения потока	Необычное переключение потоков трафика с одного входящего маршрутизатора на другой	Падение в байтах или пакетах в одном потоке трафика и выброс в другом. Может затрагивать несколько потоков трафика	Сильное уменьшение количества пакетов в одном потоке и резкое увеличение в другом
Пакеты с ошибками	Неполадки, которые вызывают повреждение пакетов	Выброс в трафике повреждённых пакетов	Увеличение пакетов, в которых контрольная сумма не подтверждает содержимое пакета

В работе реализован статистический метод в режиме Semi-Supervised anomaly detection (режим распознавания частично с учителем). В качестве самого метода выбран критерий согласия  $\chi^2$ . В качестве аппроксимации выбран метод среднеквадратичного приближения. Непосредственно коэффициенты для аппроксимирующей функции можно получить с помощью функции scipy.optimize.curve\_fit() из библиотеки SciPy языка Python, на котором реализовано приложение. Функция основана на выбранном ранее методе среднеквадратичного приближения.

Основными параметрами, передаваемыми в функцию scipy.optimize.curve fit(), являются:

- 1) Функция f, которая отвечает за то, какую функцию нужно приближать к исходным данным. В параметры самой функции f передаются: дискретная выборка аргументов и коэффициенты. Сама функция f определяется отдельным методом.
  - 2) Дискретные значения, для которых ищутся коэффициенты аппроксимации.

На выходе функция scipy.optimize.curve\_fit() на первом месте выдаст искомый массив коэффициентов.

На последнем этапе с помощью функции f и полученных коэффициентов находятся интересующие дискретные значения от аппроксимирующей функции.

Графики этапов работы функции изображены на рис. 1–4.

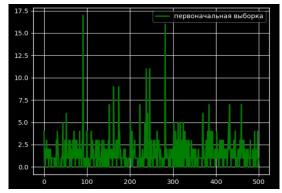


Рис. 1. Выборка не аномального трафика

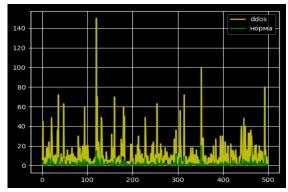


Рис. 2. Аномальный и не аномальный трафик

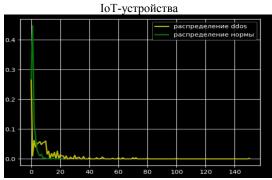


Рис. 3. Функция распределения аномального и не аномального трафика

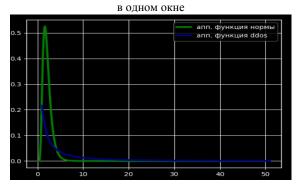


Рис. 4. Аппроксимирующие функции распределений аномального и не аномального трафика

Разработанный метод chi\_square() принимает две выборки и возвращает сумму квадратов разности от этих двух выборок. Далее остается только сравнить значение.

Заключение. Эффективными способами борьбы с киберугрозами является постоянный мониторинг и анализ трафика. Поскольку сфера применения устройств интернета вещей постоянно расширяется, то периодически появляется новое вредоносное программное обеспечение, характеристики которого могут стать известными уже после реализации атаки. Поэтому важно отслеживать именно аномалии в трафике, а не делать упор на идентификацию угрозы.

В работе предложено приложение, которое устанавливается в устройство интернета вещей, способствующее предупреждению атаки на устройство и кражу личных данных.

# ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Tatarnikova T.M.** Restricting data leakage through non-obvious features of Android 5 smartphone. *Informatsionno-Upravliaiushchie Sistemy*. 2019. Vol. 5. P. 24–29. doi: 10.31799/1684-8853-2019-5-30-37.
- 2. **Sovetov B.Y., Tatarnikova T.M., Cehanovsky V.V.** Detection System for Threats of the Presence of Hazardous Substance in the Environment. *2019 XXII International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM)*, St. Petersburg, Russia, 2019. P. 121-124. doi: 10.1109/SCM.2019.8903771.
- 3. **Bogatyrev V.A., Vinokurova M.S.** Control and Safety of Operation of Duplicated Computer Systems. *Communications in Computer and Information Science, IET 2017.* 2017. Vol. 700. P. 331-342.

4. **Татарникова Т.М., Бимбетов Ф., Богданов П.Ю.** Выявление аномалий сетевого трафика методом глубокого обучения. *Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ*. 2021. № 4. С. 36-41.

T.M.Tatarnikova, F.Bimbetov (Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", St. Petersburg). Monitoring model of traffic consumption by the internet of things device

The problem of detecting anomalous traffic on an Internet of Things device, a smart device, is discussed. An application has been developed, which is an information system for analyzing the statistical characteristics of traffic coming from a smart device. The application is installed on a smart device. The characteristics used to identify network traffic anomalies are proposed. Descriptions of the types of anomalies and characteristics indicating the presence of an anomaly in network traffic are given.

# А. О. ИСХАКОВА (Институт проблем управления В.А. Трапезникова РАН, Москва)

## А. В. ЦАРЕГОРОДЦЕВ

(Московский государственный лингвистический университет, Москва)

# АНАЛИЗ ПРОЯВЛЕНИЙ КИБЕРУГРОЗ В СОВРЕМЕННОЙ ЦИФРОВОЙ СРЕДЕ И ПОДХОДОВ К ИХ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ

Доклад посвящен анализу киберугроз, связанных с воздействием на социальные процессы в Интернете. В результате проведенного анализа были выработаны методологические основы детектирования проявлений киберугроз в цифровой среде. При этом, были учтены не только текстовые формы представления информации, но и различные формы мультимедиа. Доклад является частью исследования по разработке поливекторной методики обнаружения, локализации и нейтрализации мультимодальных проявлений киберугроз в современной цифровой среде.

Введение. Понятие киберугроз в цифровой среде охватывает широкий пласт условий и факторов, представляющих опасность нарушения информационной безопасности виртуального пространства. Такие угрозы могут быть направлены на достижение материального обогащения, а также политических, социальных или иных целей [1]. Стремительное развитие цифровой среды, наблюдаемое обществом в последние 20 лет, повсеместная информатизация всех сфер нашей жизни обусловливает необходимость постоянного совершенствования не только аппаратных средств и программных решений для обеспечения стабильной работы вычислительной инфраструктуры, но и вызывает серьезную озабоченность, связанную с отставанием существующих методов, средств и научно-технических решений в области защиты информации [2].

Предлагаемый доклад посвящен сегменту киберугроз, связанных с воздействием на социальные процессы в Интернете. Была проведена систематизация киберугроз посредством ретроспективного анализа ландшафта за последние 10 лет, изучения основных предпосылок и векторов проявления АРТ-атак, а также проведен обзор основных трендов рынка кибербезопасности и защиты информации для ближайшей перспективы.

В результате проведенного анализа были выработаны методологические основы детектирования проявлений киберугроз в цифровой среде (интернет-контенте) с помощью современных методов машинного обучения. При этом, были учтены не только текстовые формы представления информации, но и различные формы мультимедиа.

**Киберугрозы в цифровой среде.** Задачей исследования в целом является формирование поливекторной методики обнаружения, локализации и нейтрализации мультимодальных проявлений киберугроз в современной цифровой среде. Задачей настоящего доклада является систематизация и анализ актуальных киберугроз и трендов кибербезопасности для дальнейшего формирования методического и программного комплекса противодействия.

Распределенные атаки типа «Отказ в обслуживании». Мощность DDoS-атак, которой подвергаются российские компании в 2022 году, выросла в несколько раз. Взрывные показатели эксперты связывают с деятельностью так называемых хактивистов, которые вовлекают в атаки пользователей сети в угоду политическим или финансовым интересам. Одним из основных площадок для «хактивизма» является мессенджер Telegram, где с помощью чатов и каналов распространяются инструкции по организации DDoS-атак. С их помощью любой пользователь может стать участником киберинцидента. Например, 26 февраля 2022 г. с мощнейшей атакой в своей истории столкнулся портал «Госуслуги»; 2 и 3 марта из-за DDoS-атак некоторое время часть пользователей не могли загрузить страницы «Газеты.Ru», «Известий», РБК. Эти примеры характеризуют уязвимость крупных информационных систем, однако более незащищенные ресурсы сталкиваются с подобными действиями злоумышленников практически ежедневно.

**Атаки на системы искусственного интеллекта.** Тематика обеспечения безопасности технологии искусственного интеллекта стала как никогда актуальной из-за первых, официально

подтвержденных киберпреступлений, связанных с технологией Deep Fake. С помощью технологии Deep Fake, позволяющей придать некоему компьютерному «фантому» образ конкретного человека. Имитация человеческих действий может быть использована для усиления атак социальной инженерии [3]. Следующий шаг — создание голосовых и видеоприложений, которые могут пройти биометрический анализ, компрометируя системы аутентификации, таких как голосовые отпечатки или распознавание лиц.

Как известно, небольшие целенаправленные изменения в изображении способны «сломать» систему машинного обучения, так что она ошибочно распознает недостоверные объекты. Такие «троянские» картинки называются «состязательными примерами» (adversarial examples) и представляют собой одно из известных ограничений глубинного обучения.

Самый яркий случай Deep Fake – обман государственной системы Китая, которая принимала налоговые документы, подтвержденные фальшивой биометрией. По некоторым данным, злоумышленники подделывали личные данные жертв с 2018 года. Если раньше для реалистичной подмены лица и мимики на видео требовалось использовать большие вычислительные мощности, то сегодня практически на любой смартфон можно установить подобные приложения. Таким образом, развитие этой технологии может стать хорошим подспорьем для злоумышленников.

*Критерии методики выявления киберугроз.* Для формирования поливекторной методики обнаружения, локализации и нейтрализации мультимодальных проявлений киберугроз в современной цифровой среде были сформированы основные критерии, а также выделены основные используемые подходы на основе текущего состояния научно-технического прогресса. Формализация задачи определения киберугроз в цифровой среде в рамках исследования сводится к изучению контента различных классов, определению признакового пространства для классификации, выбору вычислительного аппарата и разработке необходимого методического и алгоритмического обеспечения для автоматизации процесса.

Для формирования признакового пространства предлагается исследовать следующие свойства материалов (в формате текстового, графического, аудио- и видеоматериалов):

- рубрикация материалов и анализ соответствия рубрики более ранним материалам автора или ресурса;
- анализ наличия ключевых слов, выделенных для искомых материалов, частоты их упоминания, соответствия классу;
- оценка проявления эмоциональных компонент в материале, в том числе резко негативных, резко позитивных, агрессивных, оскорбительных и т. д.;
- выявление массово порожденных текстов, сгенерированных автоматически с применением специальных алгоритмов и программных средств;
- анализ параметров медиаматериалов звукового ряда, видеоряда, изображений для определения наличия встроенных шумов, использования неблагоприятных для человека шумов, неприятных для глаза изображений и пр.

Заключение. В настоящем докладе приведены основные дестабилизирующие факторы и угрозы информационных систем с примерами их реализаций. На основании проведенного анализа сформированы критерии планируемой поливекторной методики обнаружения, локализации и нейтрализации мультимодальных проявлений киберугроз в современной цифровой среде. Создание такой методики подразумевает под собой разработку инструмента анализа разнородного медиаконтента с целью выявления различных форм злоумышленных действий. Предполагается, что анализ текстовой информации, графического, а также аудио- и видеоматериалов с применением специальных алгоритмов позволит выявлять и, соответственно, устранять действия злоумышленников в сети Интернет.

Исследование выполнено в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук (проект MK-3172.2021.1.6)

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Шкодинский С.В., Дудин М.Н., Усманов Д.И.** Анализ и оценка киберугроз национальной финансовой системе россии в цифровой экономике. *Финансовый журнал.* 2021. Т. 13. № 3. С. 38-53.
- 2. **Жукавин В.А.** Анализ средств обеспечения защиты автоматизированных систем управления от киберугроз. Студенческая наука для развития информационного общества. Сборник материалов XI Всероссийской научнотехнической конференции в онлайн формате (посвящается светлой памяти профессора Николая Ивановича Червякова). Ставрополь, 2020. С. 452-457.
- 3. **Фомичева В.А.** Статистический анализ актуальных киберугроз в период мировой пандемии. Решетневские чтения. Материалы XXV Международной научно-практической конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева. В 2-х частях. Под общей редакцией Ю.Ю. Логинова. Красноярск, 2021. С. 462-463.

A.O.Iskhakova (ICS RAS, Moscow), A.V.Tsaregorodtsev (MSLU, Moscow). Analysis of manifestations of cyber threats in today's digital environment and approaches to neutralizing them

The report is devoted to the analysis of cyber threats related to the impact on social processes on the Internet. As a result of the analysis we developed a methodological framework for the detection of cyber threats in the digital environment. At the same time, not only textual forms of information presentation, but also various forms of multimedia were taken into account. The report is a part of research on development of polyvector methodology of detection, localization and neutralization of multimodal manifestations of cyberthreats in modern digital environment.

# Р. В. МЕЩЕРЯКОВ, А. Ю. ИСХАКОВ (Институт проблем управления В.А. Трапезникова РАН, Москва)

С. Ю. ИСХАКОВ («Промсвязьбанк», Москва)

# ПРОАКТИВНОЕ ВЫЯВЛЕНИЕ АТАК В КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В докладе рассматривается подход к применению проактивных алгоритмов выявления атак на киберфизические системы, основанный на анализе динамически обновляемых индикаторов компрометации. Приводится обзор современных исследований, посвященных моделям угроз и выявлению аномалий в различных автоматизированных системах. Рассматривается возможность применения индикаторов компрометации и предлагается подход к их использованию в киберфизических системах.

**Введение.** Отсутствие общих точек между исследованиями в области методов аутентификации и проактивного поиска угроз формирует проблему расширения модельнометодологического аппарата методов адаптивной аутентификации за счет применения алгоритмов выявления ранее неизвестных атак. Политики безопасности, основанные на статических правилах однофакторных и многофакторных алгоритмов проверки, не только приводят к строгим ограничениям, затрудняющим оперативное управление киберфизическими системами, но и отличаются использованием ряда характеристик для аутентификации субъекта доступа, которые могут быть скомпрометированы стороной злоумышленника.

**Проактивный поиск угроз.** Одним из наиболее актуальных направлений защиты киберфизических систем является безопасность конечных ее узлов, в том числе выявление злоумышленников не только по сигнатурному анализу, но и по аномальному использованию легитимных инструментов и управляющих команд. Цель подобного процесса — обнаружение ранее неизвестных атак, которые не могут быть выявлены традиционными средствами защиты, в т.ч. антивирусным программным обеспечением. Такой подход называется проактивным поиском угроз (threat hunting). Он позволяет выявлять новые угрозы и предотвращать сложные таргетированные атаки. Основа подхода заключается в поиске и анализе индикаторов компрометации как с применением ручных методов, так и с помощью машинного обучения.

Проактивный поиск угроз является непрерывным процессом, продолжающимся на протяжении всего жизненного цикла системы, поскольку атака на систему может произойти в любой момент. Подход основан на регулярном формировании гипотез о компрометации той или иной части системы и их проверки. В случае подтверждения гипотезы необходимо принять меры по реагированию, а полученную информацию преобразовать в индикаторы и использовать в дальнейшем процессе. Накопление подобной экспертизы и обмен индикаторами компрометации составляет основу проактивного подхода и может быть использован для расширения существующих методов аутентификации и выявления ранее неизвестных атак. На сегодняшний день отсутствует прямая взаимосвязь исследований в этих отраслях знания, что, несомненно, является одним из стоп-факторов развития научно-методологического аппарата.

*Научный обзор.* В исследовании [1] предложен вариант решения проблемы выявления злоумышленников на основе поведенческих характеристик, создания паттерна (иначе – профиля) субъекта доступа, сбора и анализа набора его цифровых отпечатков. Авторами предлагается суммирование вероятностей рисков нарушения нормального функционирования пользователя в системе по ряду факторов, позволяющее обнаружить аномальную активность и выявить злоумышленника. Выдвинутое предположение о рассмотрении различных индикаторов риска и их пересечения как единый блок позволяет значительно повысить точность и своевременность обнаружения злоумышленника.

В работе [2] предлагается использовать подход на основе теории графов. Авторы описывают некоторый фреймворк, где характеристики поведения пользователя являются многомерными объектами — узлами взвешенного неориентированного двумерного графа. В качестве вершин такого графа предлагается использовать элементы множеств всех субъектов доступа и всех

устройств системы. Ребра предлагаемого авторами графа описывают взаимодействие пользователей с устройствами. При этом граф формируется на основе исходных гетерогенных данных, полученных из различных источников, таких как журналы безопасности, сервисные журналы, электронная почта, отметки пользователей в служебных подсистемах, записи протоколов и пр.

В статье [3] показано формализованное представление подхода для аудита и внутренних угроз информационной системы. Авторами предлагается использовать метод вероятностного моделирования, а также поэтапной обработки и объединения результатов. На подготовительном уровне подход подразумевает фиксацию возможных нелегетимных намерений злоумышленного пользователя, далее рассчитывается вероятность нарушения информационной безопасности за счет реализации данной угрозы. Таким образом, действие пользователей раскладывается на составные части: намерение и риск информационной безопасности, а далее – эта пара оценивается по степени риска для системы.

Задача оценки рисков информационной безопасности в специфических системах с наличием ярко выраженной периодичности в задачах была рассмотрена в работе [4]. Примерами таких систем часто являются системы государственного значения, киберфизические системы, отвечающие за выполнение критически важных операций в определенные интервалы времени. Авторы в данном случае рассмотрели особенности таких систем и учли их для формирования подхода к обнаружению угроз. Предлагаемая ими модель оптимизирована для интервальных задач и оценивает действия пользователя в комбинации с точки зрения заданных инструкций.

В работе [5] авторами предлагается метод обнаружения угроз информационной безопасности, на основе применения контролируемых и неконтролируемых алгоритмов обучения. Предлагается анализировать общедоступные датасеты и обучать систему для дальнейшей классификации событий в системе на основе применения методов машинного обучения. Необходимо отметить, что данный подход, несмотря на использование современных алгоритмов, крайне неустойчив к восприятию новых угроз. Приведенные в работе результаты вычислительных расчетов показывают различия различных алгоритмов — часть алгоритмов лучше справляется с поставленной задачей, что может означать положительную перспективу данного подхода в целом, при этом оценивается возможность визуализации данных при применении данных программных инструментов анализа.

В качестве продолжения направления использования машинного обучения в задачах обнаружения атак информационной безопасности авторы работы [6] исследовали применение неконтролируемой системы машинного обучения в информационной системе. Из-за того, что решаемая задача относится к слабоформализуемым, подбор характеристик классификации не всегда можно оценить как успешный. Результат исследования показал высокие значения для ложно отрицательных и ложно положительных срабатываний.

Работа по имитационному моделированию злоумышленных действий субъектов доступа приведена в работе [7]. Авторами разработан подход на основе формирования виртуальных действий пользователя с дальнейшим распознаванием системой их намерений и формированием реакции. Имитация происходит на основе зафиксированных реальных действий с использованием специального алгоритма. При этом исследователи делают акцент на том, что функционирование таких виртуальных пользователей внутри сети может не нарушать нормальной работы, но, тем не менее, должно быть зафиксировано службами мониторинга и анализа угроз.

Комплексный подход на основе применения множества описанных выше инструментов предлагается в [8]. В данном случае авторы учитывают как положительные, так и негативные факторы применения каждого из подходов и предлагают объединить их и ранжировать по результаты по специальной комплексной оценке, зависящей, в том числе, от особенностей системы. Уточняется, что предполагается более точная настройка конфигурации в случае внедрения такого подхода, учитывающая индивидуальные показатели защищаемой структуры, однако также делается предположение о том, что это может повысить уровень защищенности.

Применение индикаторов компрометации. Индикаторы компрометации различаются по ряду свойств: структура и формат данных, источник и способ их получения, значимость в совокупной оценке, степень корреляции со значениями других индикаторов и пр. Например, в исследовании [9] предложена модель, показывающая связь между двумя структурами: множеством индикаторов компрометации и множеством действий по выявлению и предотвращению действий злоумышленника. Данная модель позволяет судить о последствиях применения тех

или иных действий злоумышленника, необходимых индикаторах компрометации, а также о применяемых мерах защиты в каждом случае.

В качестве исследуемого объекта была выбрана действующая геораспределенная ИТ-инфраструктура, в состав которой входит также несколько робототехнических комплексов. При подборе источников индикаторов компрометации были использованы платформы свободно распространяемых индикаторов. Для сокращения разрыва между успешными случаями проведения атак и возможностями их обнаружения необходимо не только опираться на различные типы индикаторов компрометации, но и использовать потенциальные источники обогащения данных. В данном случае были использованы журналы событий подсистем аутентификации. На исследуемом объекте был внедрен прототип системы класса SOAR, который позволил объединить индикаторы, выявляя значимость каждого сигнала системы в контексте общей ситуации. В ходе анализа полученных результатов рассмотрена возможность применения индикаторов компрометации и предложен подход к их применению в системах аутентификации.

Заключение. На основании проведенного анализа работ предложен подход к применению методов проактивного поиска угроз в киберфизических системах, посредством анализа динамически обновляемых индикаторов компрометации и их применения в модулях аутентификации, а также формированию новых индикаторов на основе существующих алгоритмов аутентификации. Для разработки алгоритмов корректировки параметров аутентификации по полученным индикаторам предлагается формировать базу знаний тактик и процедур, методы анализа инцидентов, методы ситуационного управления.

Работа проводилась при поддержке гранта РНФ 22-21-00846

#### ЛИТЕРАТУРА

- Fagade T., Tryfonas T. Malicious Insider Threat Detection: A Conceptual Model. Security and Protection of Information. 2017. P. 31-44.
- 2. Anagi G.A., Li S., Serdar B. Graph Based Framework for Malicious Insider Threat Detection. *Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*. 2017.
- 3. Chen T. A probabilistic analysis framework for malicious insider threats. International Conference on Human Aspects of Information Security, Privacy, and Trust. *Springer*. 2015. P. 178-189.
- 4. Oh J., Kim T., Lee K. Advanced insider threat detection model to apply periodic work atmosphere. *Transactions on Interactive Intelligent Systems*. 2019. Vol. 13. Iss 3. P. 1722-1737.
- Kotenko I., Kuleshov A., Ushakov I. Aggregation of Elastic Stack instruments for collecting, storing and processing of security information and events. IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computed, Scalable Computing & Communications, Cloud & Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation. 2017. P. 1550-1557.
- 6. Bishop M. A risk management approach to the "insider threat". Springer. 2010. P. 115-137.
- 7. Dumitras T., Shou D. Toward a Standard Benchmark for Computer Security Research: the Worldwide Intelligence Network Environment (WINE). *Proceedings of the First Workshop on Building Analysis Datasets and Gathering Experience Returns for Security*. 2011. P. 89-96.
- 8. **Ушаков И.А., Котенко И.В.** Модель обнаружения внутренних нарушителей на основе использования технологий больших данных. *Региональная информационная безопасность*. 2017. С. 253-254.
- 9. Al-Mohannadi H., Awan I., Hamar J., Cullen A., Disso J., Armitage L. Cyber Threat Intelligence from Honeypot Data Using Elasticsearch. *IEEE 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA)*. 2018, P. 900-906.

R.V.Meshcheryakov, A.Y.Iskhakov (ICS RAS, Moscow), S.Y.Iskhakov (Promsvyazbank, Moscow). Threat hunting in cyber-physical systems

The report discusses an approach to the use of proactive algorithms for detecting attacks on cyber-physical systems, based on the analysis of dynamically updated indicators of compromise. An overview of modern research on threat models and anomaly detection in various automated systems is given. The possibility of using indicators of compromise is considered and an approach to the use of such indicators is proposed.

# КРУГЛЫЙ СТОЛ

# ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ: СОВРЕМЕННОЕ СОДЕРЖАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ОБУЧЕНИЯ

## А. М. ПОЛОНСКИЙ

(Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения; OAO «НИИ Электромера», Санкт-Петербург)

# В. М. КОСМАЧЕВ, А. Г. СТЕПАНОВ

(Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург)

# СПЕЦИФИКА ИПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ

Целью настоящего доклада является описание текущей ситуации, связанной с необходимостью замены используемого для обучения в высшей школе в настоящий момент программного обеспечения на отечественные аналоги, а также обсуждение возможных альтернатив. Основные информационные процессы в высшей школе обеспечиваются, в первую очередь, операционными системами и офисными технологиям. Так как большинство зарубежных производителей программного обеспечения заявили о прекращении продаж и продлении срочных лицензий на использование своей продукции для пользователей нашей страны. Бессрочные лицензии также могут быть заблокированы под видом обновлений, что сделает наше программное обеспечение уязвимым для актуальных угроз безопасности.

Основные информационные технологии, например, подготовки текстовых документов, офисных вычислений, подготовки презентаций, создания и ведения баз данных, офисной связи, создания чертежей и другой конструкторской документации и т.п. как последовательности действий, необходимых для достижения целей производственной деятельности, сохраняются. Поскольку они же используются в практической деятельности большинства других предприятий и организаций, они являлись предметом обучения, например, в курсах Информатика и тому подобных, и в разных объемах преподавались всем направлениям подготовки высшей школы, обеспечивались необходимой учебной литературой и другими методическими материалами. Кроме этого, в зависимости от направления подготовки, широко использовались и специализированные программные средства, ориентированные на решение самых разнообразных прикладных задач. Как следствие, становится актуальным вопрос об организации импортозамещения именно программного обеспечения, так как существенных изменений в самой методике обучения не ожидается.

В докладе обсуждаются операционные системы Astra Linux, РЕД ОС, РОСА «XPOM», Alt Linux, а также офисные пакеты LibreOffice, МойОфис, Р7-Офис. Кроме этого, отмечается необходимость внедрения отечественного пакета шрифтов, например, XO Fonts, в практику деятельности, в том числе, и в нормативную конструкторскую документацию.

В качестве основного результата отмечается, что высшая школа России в состоянии достаточно быстро выполнить операцию импортозамещения. Основная задержка определяется только отсутствием определенности в выборе программных средств предприятиями и ведомствами, в интересах которых осуществляется подготовка специалистов.

#### E. E. KOTOBA

(Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург)

# УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ПРОЦЕССОМ В ИНТЕГРИРОВАННОЙ СРЕДЕ: ТРАДИЦИИ И E-LEARNING

Рассматривается развитие систем обучения и тенденция организации учебного процесса в интегрированной, гибридной среде. Переход от традиционного обучения к онлайн-дистанционному существенно влияет на различные аспекты образовательной практики и организацию образовательной среды. Растущий объем исследований подтверждает, что гибридная среда меняет управленческие и организационные задачи в направлении индивидуализации и адаптации процессов обучения с ориентировкой на персонализацию и учет личностных потребностей обучающихся.

**Введение.** Развитие цифровых технологий привело к изменениям в образовательной сфере. За последнее 50-летие внедрения компьютерных средств в области образования разработаны фундаментальные аспекты теории, исследований и практики образовательных технологий, которые охватывают различных пользователей, контексты и условия. Подтвердилось предположение, что практика электронного обучения достигнет такого уровня, который сделает ее центральной частью будущего образования [1].

Такие понятия, как онлайн обучение, веб-обучение и электронное обучение, практически стали к настоящему времени взаимозаменяемы при описании среды обучения, которую характеризуют и как систему управления обучением, систему управления курсами, виртуальную среду обучения, и даже, как систему управления знаниями, сейчас сложно провести границу между этими классами систем [2, 3 и др.].

Вместе с тем в современных публикациях особое внимание уделяется различиям между образовательными моделями «традиционного образования» и «открытого дистанционного цифрового образования (open, distance digital education, ODDE)», а также характер «трансформации» как традиционной, так и дистанционной моделей образования (например, [4]).

Доклад посвящен вопросам развития образовательных систем, трансформации образовательного процесса, основным задачам управления в интегрированной/гибридной образовательной среде.

Тенденции развития компьютерных обучающих систем. К началу 21 века во многих публикациях анализируется развитие и обсуждаются перспективы электронного обучения [5 и др]. Всплеск публикаций на тему дистанционного образования начался ориентировочно с 2004 года [6]. В работе [7] автор рассматривает 25-летний период развития образовательных технологий и педагогики дистанционного обучения, начиная с 1994 года. Примерно с 2005 года, когда онлайнвозможности стали более популярными, термин «дистанционное образование» все чаще стал использоваться для описания синхронной практики обучения, распространяемой через Интернет [4]. В обзоре литературы проведен SWOT-анализ «цифрового преобразования в онлайн-обучение». Авторы делают вывод, что эффективность онлайн-формата с точки зрения успеваемости учащихся по сравнению с традиционным образованием до сих пор остается предметом споров и требует исследований [8]. Авторы статьи [9] предостерегают организации, занимающиеся образовательной деятельностью от «поспешного» перехода в онлайн среду в период пандемии, определяя в этом случае онлайн-обучение как «слабый вариант» («as a weak option»), но, в то же время отмечая, что переход к онлайн-обучению может обеспечить гибкость преподавания и обучения в любом месте и в любое время. Авторы даже предложили новый термин «экстренное дистанционное обучение» («emergency remote teaching»), как альтернативный термин, используемый исследователями онлайн-образования, чтобы подчеркнуть явный контраст с «высококачественным онлайнобразованием» [9].

Эффективное онлайн-обучение требует тщательного проектирования и планирования обучения с использованием моделей разработки с учетом среды. Тенденцию изменений и направлений развития образовательных систем можно предположить, например, на основе информации, представленной в аналитической системе публикационных источников Google Books

Ngram Viewer. Интерес представляет развитие области электронного обучения, смешанного обучения Blended learning, массовых открытых онлайн курсов, адаптивных систем обучения. Фрагменты полученной информации по запросам «Blended learning», «E-learning», «MOOC», «Moodle», «Adaptive learning» изображены на рис. 1–4 (визуализация представлена на основе данных https://books.google.com/ngrams/).

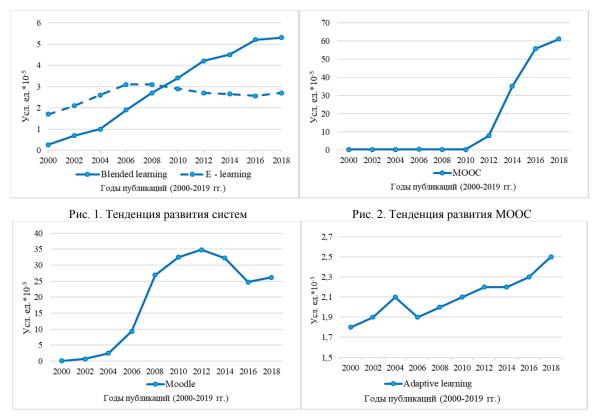


Рис. 3. Тенденция применения системы Moodle

Рис. 4. Тенденция развития адаптивных систем

Из графиков можно предположить, что к настоящему времени стабильно поддерживается область E-learning (рис. 1), однако активно развивается направление смешанных подходов к обучению, Blended learning (сплошная линия на рис. 1), где студенты могут взаимодействовать с преподавателями и друг с другом как онлайн, так и в автономном режиме. Это также подтверждается в публикациях и аналитических обзорах рынка образовательных систем (например, [10] и др.). Термин «гибридное обучение» (Hybrid learning) используется в качестве синонима «смешанного обучения» [11]. В основе смешанного обучения представляется модель на основе интеграции аудиторной и внеаудиторной деятельности студентов и преподавателей/инструкторов.

Достаточное развитие и практическое применение, наибольшее в 2010–2016 годы, получили массовые открытые онлайн курсы обучения, МООС, рис. 2. Публикациями подтверждается популярная среди разработчиков среда обучения Moodle (рис. 3). Подобные исследования подтверждают развитие компьютерных систем. Вместе с тем, несмотря на то, что к настоящему времени заложены базовые подходы, основные направления развития современного образования связаны с поиском, разработкой, исследованием и внедрением новых методов, основанных на цифровых и интеллектуальных технологиях. Можно заметить (рис. 4), что к настоящему времени развиваются системы адаптивного обучения – Adaptive Learning Systems.

**Системы адаптивного обучения**. Системы адаптивного обучения относятся к классу интеллектуальных систем, и, несмотря на быстрое появление, все еще находятся на экспериментальной стадии разработки [12].

Управление программой обучения в гибридной среде (программой смешанного обучения), требует больше усилий, чем управление всем курсом в одной форме обучения – традиционной

или электронной. В аспекте управления также рассматриваются такие вопросы, как регистрация, уведомление, планирование различных элементов учебного контента [10].

Задачи управления учебным процессом в таких системах сводятся к проектированию и поддержке интегрированной образовательной среды, ресурсной поддержке дифференцированного обучения, поддержке оперативной обратной связи на индивидуальном уровне учащихся.

Адаптивные системы обучения предназначены для динамической адаптации дидактических ресурсов в зависимости от способностей или навыков отдельного учащегося таким образом, чтобы была возможность регулировать темп обучения и подход к обучению для оптимизации потребностей каждого учащегося, а также когнитивную нагрузку с целью повышения результативности как за счет автоматизированного вмешательства, так и за счет вмешательства преподавателя/инструктора. В некоторых исследованиях предлагается учитывать стили обучения — отмечается необходимость разработки адаптивных систем обучения на основе стилей обучения [13]. Эффективность и результативность процесса обучения могут различаться в зависимости от форматов информации и характеристик учащихся.

Нерегулируемый в отношении нагрузки информационный контент может привести к информационной перегрузке учащихся. Информационная перегрузка возникает в ситуациях, когда объем представляемой информации превышает когнитивные способности человека для ее обработки, например, информация представлена в разной модальности [14] или в условиях переизбытка релевантной информации, которую невозможно усвоить из-за нехватки времени [15].

Несмотря на то, что технологии доступны для персонализации обучения, по-прежнему отсутствует единое соглашение о том, какие компоненты необходимо учитывать для динамического персонализированного подхода к обучению, который должен обеспечить уникальный и эффективный учебный опыт для каждого учащегося [16].

Обобщенная модель когнитивной деятельности в основе адаптивного управления. В нашей работе в основе адаптивного управления предложена обобщенная модель когнитивной деятельности, учитывающая вопросы информационной нагрузки, которая различается при традиционном аудиторном обучении и самостоятельном онлайн освоении учебной программы и личностные когнитивные характеристики обучающихся [17]. Основные положения концепции информационной нагрузки в основе обобщенной модель когнитивной деятельности следующие:

- необходимо учитывать количество и модальность информации, требуемой для выполнения задачи (сложность задачи),
- способности человека обрабатывать информацию, индивидуальные когнитивные характеристики,
- время, отведенное на выполнение задач, существенно влияющее на результативность.

Обобщенная множественная регрессионная модель когнитивной деятельности включает ключевые показатели: перцептивно-когнитивных процессов обработки визуальной информации; активных процессов, характеризующих визуальное внимание (например, в случае решения задач на компьютере, предполагающих принятие решений) и Hs — понятийной организации области знаний.

$$T = mH_K + b ID + zH_S,$$
  
$$ID = \log_2\left(\frac{D}{W} + 1\right),$$

где  $H_K$  – алгоритмическая энтропия когнитивной нагрузки; ID – фактор сложности активных процессов (например, моторной деятельности, косвенно характеризующей визуальное внимание); D и W – характеризуют значения позиции элементов выбора (например, расстояния до «цели», или до элементов выбора на экране компьютера и размера «цели», например, ширины элементов выбора);

 $H_S$  — фактор энтропии понятийной организации предметной области; m, b, z — коэффициенты регрессии; m — средний темп обработки информации,

 $\mathit{m} = \mathit{m}_{_{0}} \mathit{H}_{I} \: \mathit{I}^{-\alpha}$  ,  $\mathit{m}_{_{0}}$  — темп обработки информации в элементарных задачах бинарного выбора;

I — фактор полноты изображения (от 0 до 1);  $\alpha$  — константа, характеризующая крутизну гиперболического затухания (например, среднее число попыток при решении задачи);  $H_I$  — информационная энтропия когнитивной нагрузки.

Воспринимаемая сложность задачи связана не только с объективными характеристиками задачи, но и с индивидуальными различиями, такими как знание предметной области и индивидуальные когнитивные характеристики. Поэтому в модель когнитивной деятельности введен фактор, который мы назвали фактором «понятийной организации области знаний» [17].

Для использования преимущества модели когнитивной деятельности требуется собрать множество данных о процессе обучения каждого учащегося, то есть ключевых показателей деятельности – KPI (Key Performance Indicator), чтобы на основе анализа данных с применением методов ИИ, применяя вычислительные алгоритмы или модели для предоставления учащимся немедленной обратной связи, предложить в дальнейшем эффективные стратегии управления.

**Заключение.** Необходимо отметить существенные различия в организации и управлении традиционной и виртуальной сред обучения.

Персонализированные системы обучения быстрыми темпами развиваются по мере развития цифровых технологий. Системы адаптивного обучения можно рассматривать как особый вид интеллектуальных систем обучения.

Гибридная среда дает возможность быстро управлять и настраиваться на потребности контингента обучающихся. Тем более, что сейчас в виду объективных обстоятельств, в одной студенческой группе учатся студенты, официально нуждающиеся в дистанционной форме обучения. Требуется организация гибридной/интегрированной среды, позволяющей при необходимости управлять процессом как в лаборатории (аудитории), так и в виртуальном классе. Интегрированная учебная среда может обеспечить интеллектуальную поддержку адаптивного управления индивидуальным процессом обучения.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Nichols M. A theory for eLearning. //Journal of Educational Technology & Society. 2003 No. 6(2):1-0.
- 2. Spector J.M., ed. Finding Your Online Voice: Stories Told by Experienced Online Educators. Psychology Press. 2007. 206 p.
- Moore J.L. at al. e-Learning, online learning, and distance learning environments: Are they the same? The Internet and higher education. 2011. Vol. 14. No. 2. Pp. 129-135.
- 4. **Nichols M**. Transforming Conventional Education through ODDE. In Handbook of Open, Distance and Digital Education 2022. Singapore: Springer Singapore. Apr 1. Pp. 1-17.
- 5. Rosenberg M.J. E-learning: Strategies for delivering knowledge in the digital age. 2001. 344 p.
- Amoozegar A., Khodabandelou R., Ale Ebrahim N. Major trends in distance education research: A combination of bibliometric and thematic analyze. *International Journal of Information Research and Review*. 2018. Vol. 5. No. 2. Pp. 5352-5359.
- 7. WellerM. 25 Years of Ed Tech. Canada: Athabasca University Press. 2020. 225 p.
- 8. **Talib M.A.**, **Bettayeb A.M.**, **Omer R.I**. (2021). Analytical study on the impact of technology in higher education during the age of COVID-19: Systematic literature review. *Education and Information Technologies*. 2021. Pp. 1–28.
- 9. **Hodges C.B.** at al. The Difference Between Emergency Remote Teaching and Online Learning https://er.educause.edu/articles/2020/3/the-difference-between-emergency-remote-teaching-and-online-learning
- Singh H. Chapter 2. Building Effective Blended Learning Programs. In Challenges and Opportunities for the Global Implementation of E-Learning. 2021. Pp. 15-23.
- 11. Bonk C.J., Graham C.R. The handbook of blended learning: Global perspectives, local designs. John Wiley&Sons. 2012. 624 p.
- 12. Pugliese L. Adaptive learning systems: Surviving the storm. Educause review. 2016. 10(7).
- 13. **Hwang G.-J.** et al. A learning style perspective to investigate the necessity of developing adaptive learning systems. *Journal of Educational Technology & Society*. 2013. Vol. 16. No. 2: Pp 188-197.
- 14. Mayer R.E. Using multimedia for e-learning. Journal of Computer Assisted Learning. 2017. Vol. 33. No. 5. Pp. 403-423.
- 15. **Eppler M.**, **Mengis J**. The concept of information overload: A review of literature from organization science, accounting, marketing, MIS, and related disciplines. Information Society, 2004. Vol. 20. No. 5. Pp. 325-344.
- 16. **Shemshack A., Spector J.M.** A comprehensive analysis of personalized learning components. *Journal of Computers in Education*, 2021. Vol. 8. No. 4. Pp. 485-503.
- 17. **Pisarev A.**, **Kotova E.**, **Pisarev I**. Generalized model of cognitive activity taking into account uncertainty in an information-saturated environment. 2022 XXV International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). IEEE. Pp. 133-137.

E.E.Kotova (Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", Saint Petersburg). Management of the educational process in an integrated environment: traditions and E-learning

The development of learning systems and the trend of organizing the educational process in an integrated, hybrid environment are considered. The transition from traditional to online distance learning significantly affects various aspects of educational practice and the organization of the educational environment. A growing body of research confirms that the hybrid environment is changing managerial and organizational tasks in the direction of individualization and adaptation of learning processes with a focus on personalization and taking into account the personal needs of students.

# А. С. ПИСАРЕВ, Е. Е. КОТОВА, И. А. ПИСАРЕВ (Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург)

# ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ АГЕНТЫ, ИМИТИРУЮЩИЕ РЕШЕНИЕ СЛОЖНЫХ ЗАДАЧ

Разработаны интеллектуальные программные агенты, способные имитировать перцептивные и когнитивные функции человека при решении задач выбора в условиях визуальной неопределенности. В автоматическом режиме получено точное решение серий перцептивно-когнитивных задач на основе методик Л. Терстоуна и Дж Кагана. Интеллектуальные программные агенты применяются в области проведения научных исследований и сфере обучения, а также при разработке и анализе новых методик, в которых основное внимание уделяется интеграции сенсорных и когнитивных способностей человека в киберфизических системах.

**Введение.** Когнитивные агенты относятся к вычислительным системам нового типа (cognitive computing system, CCS), которые способны решать перцептивно-когнитивные задачи и имитировать когнитивные функции человека (Human-Like Computing, HLC) [1, 2]. Комплексные исследования в этой области представляют третью волну искусственного интеллекта (3AI, 2020–2030-е гг.) [3].

Одним из направлений исследований является разработка интеллектуальных программных агентов, способных имитировать процессы восприятия зрительных сигналов, когнитивного выбора и моторных действий [4, 5]. При этом, часто рассматриваются задачи обнаружения объектов в изображениях на основе алгоритмов глубокого машинного обучения с применением конволюционных нейронных сетей [3]. Однако, вопросы автоматизации процессов выбора объектов в изображениях при отсутствии больших наборов априорных данных, исследованы еще недостаточно [6].

В статье представлены результаты дальнейшего развития и апробации метода решения интеллектуальными агентами серии перцептивно-когнитивных задач на примере модифицированной методики МFFT Дж. Кагана [7, 8]. Проведено сравнение производительности разработанного интеллектуального агента с производительностью студентов и получена сравнительная характеристика когнитивных потенциалов. Результаты сравнения позволяют сделать вывод о перспективности применения разработанного метода и интеллектуального агента при решении и анализе когнитивных задач с визуальной неопределенностью в учебном процессе, а также при разработке новых методик представления информации в визуальной форме, интеграции сенсорных и когнитивных способностей человека и программных агентов в киберфизических системах для развития технологий Industry 4.0.

**Метод.** Продолжено развитие подхода к оценке производительности при решении задач выбора на основе разработанной ранее авторами обобщенной модели когнитивной деятельности (КД) с факторами когнитивной нагрузки (КН) [7, 9-11]:

$$T = mH_K + b ID + zH_S , \qquad (1)$$

где  $H_K$  — фактор визуальной неопределенности условий выбора; ID — индекс сложности моторных действий;  $H_S$  — фактор количества энтропии модели понятийной организации предметной области (освоенных знаний) человеком; m, b, z — коэффициенты регрессии.

В методе анализа точности решения задач на основе методики Л. Терстоуна [12] используется регрессионная модель среднего числа ошибок в процессах перцептивной и когнитивной обработки графической информации, поступающей по визуальному каналу:

$$N_e = e H_K \quad , \tag{2}$$

где e – среднее число ошибок при единичной визуальной когнитивной нагрузке.

Точность модели (2) может быть повышена за счет учета дополнительного фактора  $H_{\rho}$ :

$$N_{\rho} = e_1 H_K + e_2 H_{\rho} \,, \tag{3}$$

где  $H_e$  — фактор неопределенности выбора варианта ответа, вычисляемый по шкале приоритетов стимулов с применением интеллектуального агента [13].

Ранее авторами разработаны алгоритмы интеллектуального агента для решения задачи мультиномиального выбора, отличающиеся последовательным ранжированием и масштабированием показателей подобия изображений эталона и вариантов ответа с использованием шкал: 1- шкалы показателей степеней подобия; 2- нормированной шкалы показателей степеней подобия; 3- шкалы приоритетов вариантов ответов по методам Я. Коэна и парных сравнений Т. Саати [13]. Четвертая шкала включает нормированные значения приоритетов вариантов ответов из третьей шкалы, превышающие порог равновероятного выбора (1/N). Шкалы второго и третьего типов применены при решении серии из 49 перцептивно-когнитивных задач модифицированной компьютерной методики Л. Терстоуна. При использовании второй шкалы получено 96 % верных решений в 87 % задач. Применение шкалы третьего типа при решении задачи множественного выбор показало 100 % точности. Алгоритм принятия решения позволяет осуществить мультиномиальный выбор вариантов ответов, приоритеты которых превышают значение порога равновероятного выбора. Например, для задач Л. Терстоуна с N=4 вариантами выбора, порог принимает значение 1/4.

Проведение имитационных экспериментов с помощью интеллектуальных агентов с различными типами шкал выбора позволяет проверять гипотезы о механизмах восприятия и принятия решения студентами. Так, использование второй шкалы предполагает доминирование сценария когнитивного выбора, основанного на оценке максимального подобия при сравнении каждого варианта ответа только с эталоном. Имитация процессов выбора с применением третьей и четвертой шкал реализует сценарий, в котором в дополнение к сравнению с эталоном производится попарное сравнение вариантов ответов. При объяснении механизмов сравнения объектов человеком применяется закон сравнительных суждений и метод парных сравнений, впервые предложенный Л. Терстоуном [14].

В разработанной методике по каждой задаче оценивается подобие шкал выбора интеллектуального агента и частоты вариантов ответа студентов. Для сравнения распределений используются показатели корреляции, дивергенции и расстояния Кульбака—Лейблера (Kullback— Leibler Divergence, KL divergence) и Йенсена—Шеннона (Jensen—Shannon divergence).

В 12 задачах Дж. Кагана, в отличие от 49 задач Л. Терстоуна, задано только одно верное решение среди 8 вариантов ответа. Поэтому, в модифицированном алгоритме принятия решения осуществляется выбор варианта ответа с максимальным приоритетом.

**Резульматы.** Проведена апробация метода решения серии перцептивно-когнитивных задач интеллектуальными агентами на примере модифицированной методики МFFT Дж. Кагана [8]. Проведен сравнительный анализ результатов выполнения серии задач Дж. Кагана студентами и интеллектуальным агентом.

**Решение серии задач** Дж. Кагана интеллектуальным агентом. С помощью интеллектуального агента САРТСНА-Е [13] получены точные решения всех 12 задач. Общее время выполнения модифицированной методики МFFT Дж. Кагана интеллектуальным агентом составило 0.2 с. на персональном компьютере с 4-х ядерным процессором с частотой 2.3 ГГц и оперативной памятью 4 Гб, без использования графического процессора.

*Сравнительный анализ производительности студентов и программного агента.* Группе студентов (37 человек, возраст от 18 до 20 лет) было предложено выполнить модифицированную компьютерную методику Дж. Кагана.

В зависимости от результатов (числа ошибок и времени первого ответа) студенты классифицированы на 4 подкласса когнитивного стиля «импульсивность-рефлективность» (И-Р, Impulsivity-Reflectivity, I-R): 1 класс – «быстрый и неточный», 22.5 %; 2 – «медленный и точный», 50 %; 3 – «быстрый и точный», 20 %; 4 – «медленный и неточный», 7.5 %

Показатель И-Р характеризует индивидуальные различия студентов в решении когнитивных задач в условиях высокой степени неопределенности [15]. По некоторым данным, рефлективные учащиеся чаще достигают более высоких академических результатов, чем импульсивные [16, 17].

На рис. 1 представлены усредненные значения времени решения серии задач (точки). По оси абсцисс указаны кумулятивные значения визуальной когнитивной нагрузки. Аппроксимация экспериментальных данных с помощью модели (1) показана на рис. 1 линией. Точность аппроксимации характеризуется коэффициентом детерминации  $R^2 = 0.99$ .

Средние значения числа ошибок представлены нарастающим итогом на рис. 2 в виде точек, аппроксимация (линия) моделью (2) с коэффициентом детерминации  $R^2 = 0.99$ .

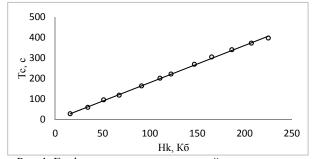


Рис. 1. График кумулятивных значений времени решения серии задач, полученных из эксперимента (точки) и предсказанных моделью (1) (линия)

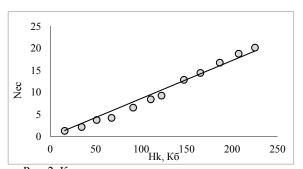


Рис. 2. Кумулятивные экспериментальные значения числа ошибок в серии задач (точки) и значения, предсказанные моделью (2) (линия)

Сравнение гистограмм частот выбора вариантов ответов «импульсивными» и «рефлективными» студентами со шкалами выбора интеллектуального агента показало более высокую корреляцию и меньшую дивергенцию со шкалами №3 и №4 по сравнению со шкалой №2, что может свидетельствовать о преобладании стратегии использования «точными» и «рефлективными» студентами механизма сравнительных суждений, основанных на парных сравнениях.

Большее число ошибок у «импульсивных» и «медленных—неточных» студентов может объясняться особенностями процессов зрительного восприятия, когнитивного выбора и когнитивного контроля в условиях воздействием случайных факторов.

Пример гистограммы с частотами первого выбора вариантов ответа в задаче «точными» студентами приведен на рис. 3. С первой попытки верный ответ (№7) выбрали 75 % студентов. Часть студентов допустили ошибки и выбрали варианты ответов №3 и №8.

Третья шкала приоритетов выбора интеллектуального агента, основана на применении метода парных сравнений (рис. 4). Значения приоритетов по шкале 4, превышающие порог равновероятных ответов, показаны на рис. 5.

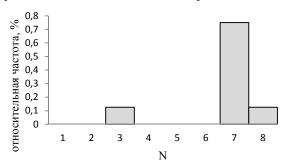


Рис. 3. Гистограмма относительных частот выбора вариантов ответов в подгруппе «быстрых и точных»

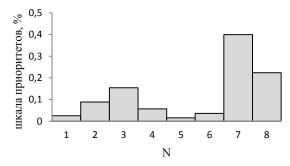
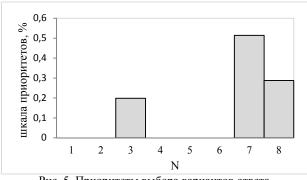


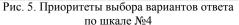
Рис. 4. Приоритеты выбора вариантов ответа по шкале №3

Визуальное сравнение рис. 3 и рис. 5 показывает наличие совпадений, что подтверждается вычисленными значениями показателей: коэффициент корреляции R= 0.92, дивергенция Кульбака-Лейблера KL= 0.175 бит, дивергенция Йенсена—Шеннона JS= 0.214 бит.

Значения фактора неопределенности выбора варианта ответа  $H_e$ , вычисляемые по шкалам приоритетов стимулов, применены в модели (3) для предсказания числа ошибок в серии задач.

Кумулятивные средние значения числа ошибок «быстрых и точных» студентов (точки на рис. 6) аппроксимированы (линия) двухфакторной моделью (3) с коэффициентом детерминации  $R^2 = 0.99$ . Относительные погрешности предсказания по модели (3) общего числа ошибок в серии задач для «быстрых—точных» и «рефлективных» студентов составляют:  $\delta = 0.0$  %, а по модели (2)  $\delta = 0.82$  % (все студенты).





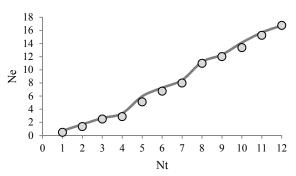


Рис. 6. Число ошибок «быстрых» студентов в серии задач (точки) и предсказанные моделью (3) (линия)

Таким образом, по сравнению с предсказанием числа ошибок для всех студентов по однофакторной модели (2), применение двухфакторной модели (3) позволяет повысить точность предсказания для «быстрых—точных» и «рефлективных» студентов.

Сравнение результатов выполнения серии задач Дж. Кагана студентами и интеллектуальным агентом показало превосходство агента в производительности в 2000 раз относительно студентов (среднее время выполнения серии задач студентами 400 с, агентом 0.2 с), что при отсутствии ошибок позволяет характеризовать перцептивно-когнитивный потенциал интеллектуального агента по шкале И-Р как «быстрый—точный».

Заключение. Разработаны алгоритмы интеллектуальных агентов для имитации решения сложных задач выбора с визуальной неопределенностью. Автоматизированы процессы обработки экспериментальных данных, формирования базы данных показателей когнитивностилевого потенциала (КСП) студентов, прогнозирования результатов когнитивной деятельности, отличающиеся применением моделей когнитивной нагрузки (КН), когнитивно-стилевого потенциала (КСП, И-Р) и когнитивной деятельности (КД), что позволяет оперативно выполнять анализ и предсказание результатов когнитивной деятельности студентов.

Полученные с использованием модели (3) результаты косвенно свидетельствуют об имитационном потенциале когнитивной модели интеллектуальных агентов.

В дальнейшем планируется продолжить исследования производительности студентов в учебном процессе с применением интеллектуальных агентов, моделей когнитивной деятельности и когнитивной нагрузки с учетом индивидуальных когнитивно-стилевых различий.

### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Russell S. Human compatible: Artificial intelligence and the problem of control. Penguin. 2019. 352 p.
- Schuetz S., Venkatesh V. The rise of human machines: How cognitive computing systems challenge assumptions of user-system interaction. Journal of the Association for Information Systems. 2020. vol. 21. no. 2. Pp. 460-482.
- 3. Muggleton S., Chater N. Human-Like Machine Intelligence. Oxford University Press. 2021. 544 p.
- 4. Russell S., Norvig P. Artificial intelligence: a modern approach. Pearson. 2020. 1166 p.
- Sreedevi A. G., Harshitha, T. N., Sugumaran, V., Shankar, P. Application of cognitive computing in healthcare, cybersecurity, big data and IoT: A literature review. *Information Processing & Management*. 2022. vol. 59. no. 2. Pp. 102888.
- 6. Weinhaus F. Accelerated template matching using local statistics and fourier transforms. 2014.
- Kotova E.E., Pisarev I.A. Researching cognitive tasks solving taking into account visual uncertainty. Proceedings of 2021 24th International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2021. 2021. Pp. 127-130. DOI: 10.1109/SCM52931.2021.9507145
- 8. **Kagan J.** Reflection-impulsivity: The generality and dynamics of conceptual tempo. *Journal of abnormal psychology*. 1966. Vol. 71. No. 1. Pp. 17-24.
- 9. **Имаев Д.Х., Котова Е.Е.** Компьютерная имитация процесса обучения в условиях периодического контроля успеваемости. *Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ*. 2014. № 1. С. 74-79.
- Kotova E.E., Pisarev A.S. Adaptive prediction of student learning outcomes in online mode. Proceedings of 2017 IEEE 2nd International Conference on Control in Technical Systems, CTS 2017. 2017. Pp. 138-141. DOI: 10.1109/CTSYS.2017.8109509
- 11. **Pisarev A.S., Kotova E.E., Pisarev I.A.** Generalized Model of Cognitive Activity Taking into Account Uncertainty in an Information-saturated Environment. *2022 XXV International Conference on Soft Computing and Measurements* (SCM). IEEE, 2022. Pp. 133-137. DOI: 10.1109/SCM55405.2022.9794831
- 12. **Thurstone L.L.** A factorial study of perception. University of Chicago Press.1944.

- 13. **Писарев А.С., Котова Е.Е.** Интеллектуальный программный агент для решения задач выбора в условиях неопределенности. Проектирование и обеспечение качества информационных процессов и систем. Сборник докладов Международной конференции. Санкт-Петербург, 2022. С. 152-156.
- 14. Thurstone L.L. A law of comparative judgment. Scaling. Routledge, 2017. Pp. 81-92.
- 15. **Rozencwajg P., Corroyer D.** Cognitive processes in the reflective-impulsive cognitive style. *The Journal of genetic psychology*. 2005. vol. 166. no. 4. Pp. 451-463.
- Barrett D.E. Reflection-impulsivity as a predictor of children's academic achievement. Child Development. 1977. Pp. 1443-1447.
- 17. **Zelniker T., Jeffrey W.E.** Attention and cognitive style in children. Attention and cognitive development. Springer, Boston, MA. 1979. Pp. 275-296.

A.S.Pisarev, E.E.Kotova, I.A.Pisarev (Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", Saint Petersburg). **Intelligent agents that simulate the solution of complex problems** 

Intelligent software agents have been developed that can imitate the perceptual and cognitive functions of a person when solving choice problems under conditions of visual uncertainty. An exact solution of a series of perceptual-cognitive tasks was obtained in automatic mode based on the methodology of L. Thurstone and J. Kagan. Intelligent software agents are used in the field of scientific research and education, as well as in the development and analysis of new methods that focus on the integration of human sensory and cognitive abilities in cyber-physical systems.

#### Н. Н. КЛЕВАНСКИЙ

(Саратовский государственный аграрный университет имени Н.Н. Вавилова, г. Саратов)

## В. П. ГЛАЗКОВ

(Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, г. Саратов)

#### В. С. МАВЗОВИН

(Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва)

# МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЦЕНТРАЛИЗОВАННОМ ФОРМИРОВАНИИ РАСПИСАНИЙ

В докладе представлено применение многокритериальных методов ранжирования в централизованном формировании расписаний различных типов. Ресурсо-ориентированные стратегии централизованного формирования расписаний базируются на критериях использования ресурсов. Каждая стратегия включает два правила приоритетов. Первая стратегия преобразует множество заявок в начальное расписание. Вторая стратегия оптимизирует начальное расписание. Правила приоритетов в обеих стратегиях используют разные виды методов многокритериального ранжирования. Представлены полученные расписания различных типов

Введение. Автоматизированные системы управление сложными технологическими процессами (ТП) [1, 2] содержат средства формирования расписаний (календарных графиков) выполнения различных операций технологической подготовки производства [3, 4, 5]. Проблемы расписаний связаны с формированием и оптимизацией процесса обслуживания конечного множества заявок на осуществление действий в системе с ограниченными ресурсами. Различия задач связаны с природой связей между действиями расписаний и, соответственно, связями между заявками. Множество заявок может: быть множеством независимых заявок (тип 1), состоять из подмножеств векторов заявок (тип 2) или подмножеств сетевых структур заявок (тип 3). Последние два типа связей между заявками наиболее характерны для расписаний АСУТП [3, 4]. Формирование расписания для известного заранее множества заявок может быть реализовано централизованно, что также характерно для АСУТП. Многие исследователи отмечают NP-трудность и многокритериальный характер задач расписаний, а также необходимость применения эвристик во избежание операций полного перебора. Предлагаемый доклад посвящен применению и реализации многокритериальных методов ранжирования в эвристиках централизованного формирования расписаний для двух упомянутых выше типов связей между заявками.

Задача исследования – включение и анализ многокритериальных методов ранжирования в разработанные общие подходы к централизованному формированию расписаний [6] типов 2 и 3.

**Методы ранжирования в централизованном формировании расписаний.** В докладе последовательно будут представлены описание общих походов к централизованному формированию расписаний различных типов, краткая характеристика использованных методов ранжирования, решение тестовых заданий визуализация полученных результатов.

**Централизованное** формирование расписаний. В основе предложенных ресурсоориентированных стратегий [6] находятся концепции загруженности и равномерности, реализуемые с помощью соответствующих оценок, критериев и правил приоритетов. Переопределяемые оценки загруженности формируют критерии загруженности, представляющие потребности совокупностей заявок в ресурсах системы. Переопределяемые оценки равномерности
формируют критерии равномерности, определяющие характер потребления ресурсов системы в
интервале расписания. Будут различаться критерии равномерности действий или совокупностей действий расписания и критерии равномерности всего расписания. Последний критерий
рассматривается как интегральная оценка расписания. При формировании начального расписания и его оптимизации интегральные оценки могут быть различными. Начальное расписание —
любое расписание, удовлетворяющее заданному множеству заявок и обеспечивающее выполнение всех обязательных ограничений и части желательных ограничений.

Для централизованного формирования расписаний предложено использование двух последовательно реализуемых стратегий [7]:

- конструктивная стратегия цикличное формирование начального расписания;
- оптимизирующая стратегия одно- или многопроходная цикличная оптимизация расписания, начиная с начального.

Каждая стратегия включает два правила приоритетов, концепция которых заимствована из практики мультипроектного планирования [8. 9]. Правило приоритетов — задаваемая последовательность приемов и методов определения очередности конкурирующих совокупностей заявок. Приоритетами в контексте данного исследования выступают критерии загруженности и равномерности.

В начале каждого цикла конструктивной стратегии для не включенных в начальное расписание совокупностей заявок осуществляется переопределение оценок загруженности заявок и критериев загруженности. Затем подходящим видом ранжирования критериев загруженности определяется самая загруженная совокупность заявок. После этого подходящим видом ранжирования переопределяемых интегральных оценок начального расписания в интервале возможных таймслотов определяется таймслот включения.

В начале каждого цикла оптимизирующей стратегии осуществляется переопределение оценок равномерности действий и критериев равномерности совокупностей действий расписания. Затем подходящим видом ранжирования критериев равномерности определяется самая неравномерная совокупность действий расписания. После этого подходящим видом ранжирования переопределяемых интегральных оценок расписания в интервале возможных таймслотов определяется таймслот перестановки, что, по крайней мере, не ухудшает интегральную оценку расписания.

**Методы ранжирования.** Критерии загруженности и равномерности в зависимости от предметной области расписания и его типа могут иметь сложную структуру, в виду чего в правилах приоритетов необходимо применение различных многокритериальных методов ранжирования. Используемые в данном исследовании методы ранжирования основаны на работах автора [10]. Предложенные в этих работах методы многокритериального, многовекторного и гипервекторного ранжирования образуют иерархию включения [11], что упростило разработку программного обеспечения.

**Результаты** формирования расписаний. Для демонстрации возможностей применения многокритериальных методов ранжирования в задачах формирования расписаний представлены результаты

решения двух задач. Расписание для векторов заявок (тип 2) представлено расписаниями движения пассажирских поездов в железнодорожной сети. В качестве примера расписаний для сетей заявок (тип 3) используется мультипроектное планирование.

Расписания железнодорожной сети, включающей 100 станций, 128 перегонов между ними. Расписаниями железнодорожной сети являются расписания движения поездов по перегонам и расписания станций. Тестовое задание содержало 4573 заявки для недельных расписаний движения 471 поезда 100 пассажирских маршрутов. Маршрут - множество поездов с одинаковыми последовательностями станций и времени прохождения через них в разные дни интервала расписания. Маршруты могут быть ежедневными, через день, раз в три дня или раз в неделю. Критерии загруженности маршрутов включают две векторные компоненты и одну скалярную. Самый загруженный маршрут определяется с помощью многовекторного ранжирования критериев загруженности.

Для визуализации расписаний сети (рис. 1, рис. 2) использованы представления, в которых ось времени является спиралью с отсчетом от ее начала, а длина спирали соответствует интервалу расписания. Виток спирали — наименьший период расписания, в данном случае одни сутки. Пометками на спирали фиксируется прибытие/отправление поездов. Равномерность расписаний железнодорожной сети обеспечивается выравниванием промежутков между событиями. Критерии равномерности многовекторные.



Рис. 1. Начальное расписание самой загруженной станции [12]



Рис. 2. Расписание самой загруженной станции после оптимизации [12]

Интегральная оценка начального и оптимизируемого расписаний – среднеквадратичное отклонение промежутков между событиями от средних значений.

Мультипроектное планирование. В качестве примера рассмотрено планирование 15 произвольно выбранных проектов из библиотеки тестовых задач PSPLib [13]. Каждый проект содержит 30 работ, связанных отношениями следования/предшествования. Каждой работе необходимо потребление задаваемых объемов четырех типов ресурсов (R1, R2, R3, R4). Проектам выделяются заданные объемы четырех типов ресурсов. Время задано тактами планирования.

Все проекты предварительно агрегированы, то есть, определены относительные начальные времена выполнения каждой работы в пределах интервала расписания проекта. На рис. 3 и рис. 4 показаны результаты мультипроектного планирования. Основной результат - календарные графики, представлен диаграммами Гантта в верхней части рисунков. В нижней части рисунков находятся диаграммы потребления проектами ресурсов на каждом такте планирования. Цифрами в диаграммах потребления ресурсов представлены максимальные значения тактового потребления ресурса и среднеквадратичное отклонение от среднего значения в %%. Выбор наиболее загруженного по требуемым ресурсам проекта применено гипервекторное ранжирование критериев загруженности проектов [14]. Оценки равномерности начального и оптимизируемого календарных графиков образуют интегральные оценки расписаний в форме векторов скалярных компонент. Количество скалярных компонент определяется количеством видов ресурсов системы. Для

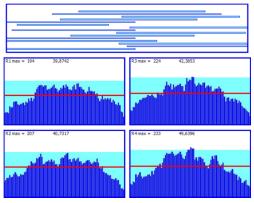


Рис. 4. Начальный календарный график [12]

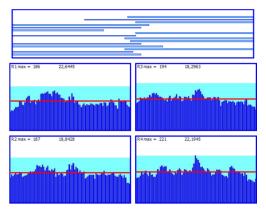


Рис. 3. Оптимизированный календарный график [12]

начального календарного графика значениями скалярных компонент являются максимальные значения тактового потребления каждого ресурса. Для оптимизируемого календарного графика этими значениями являются среднеквадратичные отклонения от средних величин. Получаемые наборы интегральных оценок обеспечивают решение оптимизационных задач с помощью многокритериального ранжирования.

**Анализ и обсуждение.** Рассмотренные примеры формирования расписаний типа\_2 и типа\_3 показали работоспособность многокритериальных методов ранжирования и эффективность их применения в конструктивной и оптимизирующей стратегиях формирования расписаний.

**Заключение.** Многокритериальные методы ранжирования могут быть рекомендованы для подсистем планирования АСУ сложными объектами. Для решения задач оперативного планирования необходима разработка методов децентрализованного формирования расписаний.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Орешкин С.А., Спесивцев А.В., Дайманд И.Н., Козловский В.Г., Лазарев В.И.** Синтез интеллектуальных автоматизированных систем управления сложными ТП. *Автоматизация в промышленности*. 2013. № 7. С. 3-9.
- 2. **Костин Е.В., Спесивцев А.В., Писарев А.И.** Алгоритмическое обеспечение управления сложными технологическими системами на основе нейросетевых моделей. *Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям.* 2013. Т. 2. С. 76-81.
- 3. **Загидуллин Р.Р.** Оптимизация построения расписаний для машиностроительных цехов с помощью векторного функционала в системах класса MES. *Технология машиностроения*. 2020. № 3. С. 59-66.
- 4. **Майбородин А.Б., Крамаренко К.Д., Васильев В.А.** Исследование особенностей календарного планирования и организации работ по подготовке производства к выпуску новых образцов авиационной техники. *Технология машиностроения*. 2021. №9. С. 51-57.

- Загидуллин Р.Р. Обоснование горизонта планирования при составлении расписаний в автоматизированных системах. В сборнике: Современные тенденции в технологиях металлообработки и конструкциях металлообрабатывающих машин и комплектующих изделий. Материалы VII Всероссийской научно-технической конференции. 2017. С. 110-116.
- 6. **Клеванский Н.Н., Красников А.А., Петрова Т.Ю.** Общие подходы к решению проблемы централизованного формирования расписаний. В сборнике: Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве): AS'2021.Труды XIII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). Новокузнецк, 2021. С 253-260.
- 7. **Клеванский Н.Н.** Парадигма формирования расписаний. *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 2017. № 6. С. 70-75.
- 8. **Browning T.R., Yassine A.A.** Resource-Constrained Multi-Project Scheduling: Priority Rule Performance Revisited. *International Journal of Production Economics*. 2010. №126 (2). P. 212-228.
- 9. **EIFiky H., Owida A., Galal N.M.** Resource constrained multi-project scheduling using priority rules. Application in the Deep-water Construction Industry. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. Dubai, UAE. March 10-12. 2020. P. 353-363.
- Сафронов В.В. Основы системного анализа: методы многовекторной оптимизации и многовекторного ранжирования. Саратов: Научная книга, 2009. 329 с.
- 11. **Клеванский Н.Н., Красников А.А., Сапаров Е.К.** Иерархия методов ранжирования. В сборнике: Экономикоматематические методы анализа деятельности предприятий АПК. *Материалы V Международной научно-практической конференции* / Под редакцией С.И. Ткачева. Саратов, 2021. С. 113-123.
- 12. **Klevanskiy N.N., Antipov M.A., Krasnikov A.A.** Cognitive aspects of timetable visualization: support decision making. В сборнике: Cep. "12th International Symposium Intelligent Systems, INTELS'2016". 2017, № 103. P.йlibrary", *European Journal of Operational Research*, 1996, Vol. 96, pp. 205-216.
- 13. **Kolish R., Sprecher A.** "PSPLIB A project scheduling library", *European Journal of Operational Research*, 1996, 1996, Vol. 96, pp. 205 216.
- Клеванский Н.Н., Ткачев С.И., Красников А.А. Гипервекторное ранжирование в мультипроектном планировании. Современные наукоемкие технологии. 2017. № 5. С. 30-34.

N.N.Klevanskiy, (Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov, Saratov), V.P.Glazkov (Saratov State Technical University named after Yu. A. Gagarin, Saratov), V.S.Mavzovin (National Research Moscow State Construction University, Moscow). **Multi-criteria decision-making methods in centralized scheduling** 

The report presents the use of multi-criteria ranking methods in the centralized formation of schedules of various types. Resource-oriented strategies for centralized scheduling are based on resource utilization criteria. Each strategy includes two priority rules. The first strategy transforms multiple bids into an initial schedule. The second strategy optimizes the initial schedule. The priority rules in both strategies use different kinds of multi-criteria ranking methods. The received schedules of various types are presented.

#### Н. Н. КЛЕВАНСКИЙ

(Саратовский государственный аграрный университет имени Н.Н. Вавилова, г. Саратов)

## В. П. ГЛАЗКОВ

(Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, г. Саратов)

# В. С. МАВЗОВИН

(Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва)

# ИНТЕГРИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ УЧЕБНЫМ ПРОЦЕССОМ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

В докладе представлены подходы к интегрированному управлению учебным процессом вуза. По результатам концептуального моделирования представлена модель интегрированной системы вуза, включающая ключевые, вспомогательные и дополнительные агрегации. Иерархия ключевых агрегаций определяет все этапы управления, начиная от стратегического планирования вплоть до задач текущего планирования, организации и контроля учебного процесса. Описание бизнес-процессов управления представлено функциональной моделью с разными уровнями декомпозиции.

Введение. Высшее учебное заведение является сложным объектом, и управление его функционированием требует эффективных управленческих решений. Основным видом деятельности вуза является учебный процесс – его планирование, организация, контроль и т. д. Эффективность управления учебным процессом, во многом определяется его поддержкой на разном уровне организационном, материально-техническом, информационном и т. д. К особенностям управления учебным процессом вуза относится разный характер реализуемых бизнес-процессов. Часть из них может и должна выполняться централизованно, в автоматическом режиме. Часть бизнеспроцессов выполняется децентрализовано, в интерактивном режиме. Информационные технологии должны учитывать все аспекты учебного процесса и обеспечивать их поддержку. Для приобретаемого или самостоятельно разрабатываемого программного обеспечения необходима единая концепция комплексной поддержки управления учебным процессом. Лучшим решением обеспечения комплексной поддержки является интегрированный подход, включающий единую, централизованную базу данных и сформированные на ее основе приложения (модули) по реализации бизнес-процессов. Все это требует тщательного концептуального и функционального моделирования. Концептуальное моделирование определяет структуру моделируемой системы, свойства её элементов и причинно-следственные связи, присущие системе. Концептуальный уровень ориентирован на интегрирование концептуальных спецификаций структуры, функциональности, распределения и интерактивности. Результатами концептуального проектирования являются схема базы данных, последовательность выполняемых действий. Детализация выполняемых действий обеспечивается функциональным моделированием на разных уровнях декомпозиции.

Задача исследования – разработка подходов к моделированию процессов управления учебным процессом вуза.

Предлагаемый доклад обобщает и представляет разработанные авторами концептуальную и функциональную модели интегрированной системы управления учебным процессом вуза.

**Общие подходы к интегрированному управлению учебным процессом вуза.** Управлению учебным процессом вуза посвящено большое количество публикаций, например, [1, 2], в том числе публикации с использованием функционального моделирования [3, 4].

Функционально управление учебным процессом вуза [5], как любой вид управления, должно включать: планирование, организацию, контроль, оперативное регулирование, мотивацию [6]. Планирование связано с принятием конкретных решений по обеспечению эффективного функционирования и развитию организации. В зависимости от уровня принятия решений различают стратегическое и текущее планирование. Термин «стратегическое планирование» введен для различия между текущим планированием на уровне организации и планированием на высшем уровне. Необходимость включения задач стратегического планирования отмечена автором [2], а некоторые соображения об этом представлены в [7].

Концептуальное моделирование определяет относительную структуру объектов базы данных [8]. Для этого возможно использование в концептуальной модели абстракций баз данных - обобщения и агрегации [9]. Наиболее важной для проектирования баз данных является агрегация [10], соответствующая декартовому произведению первичных ключей объектов предметной области. В реляционных базах данных агрегация представляет связь «многие-ко-многим» между сущностями. Агрегация может иметь реальный физический смысл в виде объекта. Определение и анализ абстракций базы данных проектируемой информационной системы зависят от ментальных способностей разработчиков [11]. Данное исследование иллюстрирует использование агрегаций в концептуальном моделировании.

На основе анализа предметной области [12] определены пять ключевых агрегаций: «Рабочий учебный план», «Учебная нагрузка», «Индивидуальная нагрузка», «Учебное поручение», «Занятие/экзамен расписания», три дополнительные агрегации: «Поток, группа, подгруппа», «ППС кафедры», ««Сетка» расписания» и три вспомогательные агрегации: «Структура вуза», «Дисциплина-поток», «График учебного процесса» [13]. Там же, в [13] приведено описание всех агрегаций.

Агрегации концептуальной модели интегрированной системы управления учебным процессом вуза в виде диаграмм UML приведены на рис. 1 и на рис. 2.

Несмотря на выход нашей страны из Болонского процесса возможность студентов обучаться по индивидуальным образовательным траекториям (ИОТ) очевидно сохранится. Так как ИОТ состоит из фрагментов утвержденных учебных планов [14], то ИОТ могут входить в состав агрегации «Рабочий учебный план» совместно с учебными планами. Для поддержания актуальности содержимого этой агрегации необходим большой объем информации обо всех студентах вуза и их связях с учебными планами или ИОТ. Эта информация позволит также осуществить предварительное формирование:

- подмножеств (псевдогрупп) студентов по каждой дисциплине ИОТ;
- содержимого дополнительной агрегации «Поток, группа, подгруппа», объем которой существенно увеличится псевдогруппами студентов и при необходимости псевдопотоками и псевдоподгруппами.

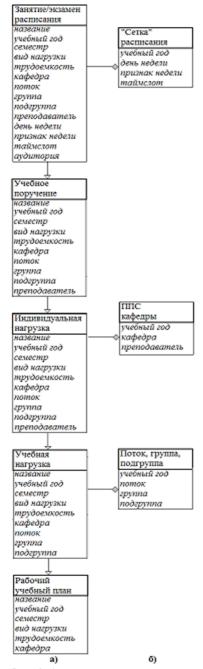


Рис. 1. Агрегации концептуальной модели интегрированного управления учебным процессом вуза: a) – ключевые; б) – дополнительные



Рис. 2. Вспомогательные агрегации концептуальной модели интегрированного управления учебным процессом вуза

Наличие ИОТ в составе агрегации «Рабочий учебный план» и учет ИОТ в дополнительной агрегации «Поток, группа, подгруппа» позволяет осуществить заполнение агрегации «Учебная нагрузка». Остальные агрегации концептуальной модели инвариантны по отношению к типу организации учебного процесса.

Методология функционального моделирования или структурного анализа, названная разработчиком Structured Analysis and Design Technique (SADT) [15] первоначально предназначалась для разработки функциональных спецификаций про-

граммного обеспечения. Позже SADT стала использоваться в структурном анализе систем средней сложности [16], к которым может быть отнесена система управления учебным процессом вуза.

На рис. 3 и на рис. 4 представлены контекстные диаграммы разработанной функциональной модели. Декомпозиция диаграмм различных уровней представлена в презентации доклада.

**Анализ и обсуждение**. Представленные концептуальная и функциональная модели достаточно адекватны интегрированному управлению учебным процессом вуза



Рис. 3. Контекстная диаграмма А-0 функциональной модели

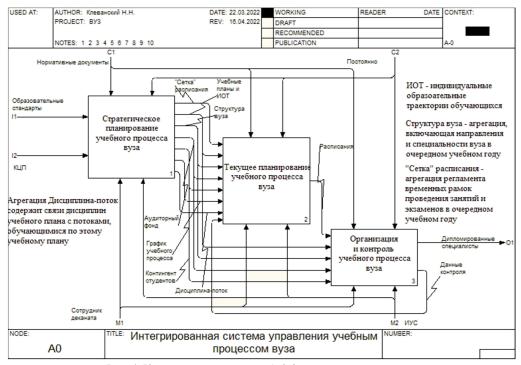


Рис. 4. Контекстная диаграмма А-0 функциональной модели

**Заключение.** Представленные концептуальная и функциональная модели могут быть рекомендованы для разработчиков интегрированных систем управления учебным процессом вуза.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Ананьев П.И., Кайгородова М.А.** Развитие единого информационного пространства как стратегическое направление в управлении образовательной организацией. *Южно-сибирский научный вестник*, 2020. № 1(29). С. 29-33.
- 2. Дочкин С.А. Автоматизированная система планирования учебного процесса вуза: сущностные проблемы внедрения. Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2015. № 5 (111). С. 148-154.
- Максимяк И.Н. Применение методологии IDEF0 для создания функциональной модели управления образовательной деятельностью высшего учебного заведения. Прикладная математика и вопросы управления. 2020. № 2. С. 125–143.
- Полубояров В.В. Функциональное моделирование управления учебным процессом в Волгоградском государственном университете с использованием систем «1С. Университет проф». Казанский экономический вестник. 2015. № 4(18). С. 109-116.
- 5. **Клеванский Н.Н., Глазков В.П., Сапаров Е.К., Воронкова И.В.** Интеграция задач управления учебным процессом вуза. *Современные наукоемкие технологии*. 2020. № 8. С. 44-50.
- 6. **Петранева Г.А.** Экономика и управление в сельском хозяйстве: Учебник / Г.А. Петранева, Н.Я. Коваленко, А.Н. Романов, О.А. Моисеева; под ред. проф. Г.А. Петраневой. М. ИНФРА-М, 2019. 288 с.
- 7. Клеванский Н.Н., Глазков В.П., Петрова Т.Ю. Задачи стратегического планирования в интегрированной системе управления учебным процессом вуза. В сборнике Экономико-математические методы анализа деятельности предприятий АПК. VI Международная научно-практическая конференция. Саратов, 2022. С. 186-195.
- 8. Тальхайм Б. О концептуальном моделировании. Интеллектуальные системы. 2006. Т. 10. № 1-4. С. 303-342.
- Smith J.M., Smith D.C.P. Database Abstractions: Aggregation and Generalization. ACM Transactions on Database Systems, Vol. 2, No. 2, June 1977, pp. 405-413.
- 10. **Smith J.M., Smith D.C.P.** Principles of Database Conceptual Design, Lecture Notes in Computer Sciences, 132, 1982, 114-146. Springer Verlag, 1982. (Дж. Смит, Д. Смит. Принципы концептуального проектирования баз данных. В сб. Требования и спецификации в разработке программ: С. 165-198. Пер. с англ. М., 1984, 344 с.)
- 11. Mayr H.C., Thalheim B. The triptych of conceptual modeling. Softw Syst Model, 2021. № 20. P. 7–24.
- 12. Ткачев С.И., Клеванский Н.Н., Глазков В.П., Воронкова И.В. Интегрированная система управления учебным процессом вуза: анализ агрегаций проекта. В сборнике: Экономико-математические методы анализа деятельности предприятий АПК. Материалы V Международной научно-практической конференции / Под редакцией С.И. Ткачева. Саратов, 2021. С. 267-276.
- 13. **Клеванский Н.Н., Глазков В.П., Воронкова И.В., Мавзовин В.С.** Абстракции баз данных в концептуальном моделировании интегрированной системы управления учебным процессом вуза. *Современные наукоемкие технологии*. 2021. № 8, С. 94-100.
- Комаровская Е.П., Пивоваров В.А. Моделирование индивидуальной образовательной траектории студентов в образовательном процессе вуза. Известия Воронежского государственного университета. 2020. № 2(287). С. 16-19.
- 15. **Росс Л.** Структурный анализ (SA): язык для передачи понимания. Требования и спецификации в разработке программ /Пер. с англ. М., 1984. С. 240-284.
- Марка Давид, МакГоуэн Клемент. Методология структурного анализа и проектирования /Пер. с англ. Москва, 1993. 240 с.

N.N.Klevanskiy (Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov, Saratov), V.P.Glazkov (Saratov State Technical University named after Yu. A. Gagarin, Saratov), V.S.Mavzovin (National Research Moscow State Construction University, Moscow). **Integrated educational process management of higher education** 

The report presents approaches to the integrated management of the educational process of the university. Based on the results of conceptual modeling, a model of the integrated system of the university is presented, including key, auxiliary and additional aggregations. The hierarchy of key aggregations defines all management steps, ranging from strategic planning to the tasks of current planning, organization and monitoring of the educational process. The management business processes are described in a functional model with different levels of decomposition.

В. И. БУДЗКО, В. И. МЕДЕННИКОВ, И. В. СОЧЕНКОВ (Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, Москва)

# **ЦИФРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ В РОССИИ**

Рассматривается динамика объемов и структуры информационных научно-образовательных ресурсов, отраженных на сайтах аграрных вузов и НИИ, под влиянием пандемии COVID-19 и введенных санкций с целью выработки цифрового инструмента для адекватной реакции регулирующих органов на возникшие новые запросы общества, бизнеса. Для чего рассматривается формализованное представление эффективности выполнения указанными ресурсами триединой роли: коммуникационная среда ученого сообщества, образовательная, трансферная указанных ресурсов в экономику.

Введение. Научные знания на всем протяжении развития человечества выполняли триединую роль с различным акцентом на их приоритеты во временном разрезе: совершенствование и поиск новых направлений самих научных исследований путем развития различных средств коммуникации (конференции, печатные издания трудов, открытая переписка и пр.); повышение уровня образованности различных слоев жителей за счет трансформации научных знаний в образовательные, поскольку научные знания способны выполнить функции стимулирования научно-технологического прогресса лишь при достижении населением либо ее частью некоторого уровня интеллектуального потенциала; трансфер научных знаний в экономические инновации. В эпоху всеобщей цифровизации человечества для каждой из них начали формироваться свои цифровые инструменты, зачастую, онтологически, информационно и инструментально никак не связанные между собой. Хотя современные цифровые технологии способны осуществить интеграцию научных знаний в единую цифровую платформу. Масштабные исследования указанных ролей их показало значительное пересечение этих знаний, которые назовем информационными научно-образовательными ресурсами (ИНОР), а цифровую платформу сокращенно – ЦПИНОР [1, 2]. Предлагаемый доклад посвящен разработке цифрового инструмента эффективного управления выполнением ИНОР триединой роли при ограниченности выделенных средств, адекватно реагирующего на возникшие новые запросы общества, бизнеса, связанные с пандемией и последствиями тотальных санкций.

Математическая модель эффективности выполнения ИНОР триединой роли. Как видно из изложенного, интегральная эффективность использования ИНОР зависит от эффективности использования их в каждой конкретной роли, структура ИНОР в которых одна и та же: разработки, публикации, консультационная деятельность, нормативно-правовая информация (НПИ), дистанционное обучение (ДО), пакеты прикладных программ (ППП), базы данных (БД) [1, 2]. Тогда выбор наилучшего значения интегральной эффективности использования ИНОР будет следствием решения оптимизационной трехкритериальной задачи при финансовых ограничениях на инвестиции на развитие ролей ИНОР. Для чего сведем данную задачу к виду, удобному для рассуждений в терминах оптимизационной многокритериальной задачи, пригодной для оценки эффективности использования ИНОР с последующим стимулированием развития их ролей уже каждой конкретной организации. При этом для того, чтобы уйти от большого количества форм представления ИНОР на сайтах, путем онтологического моделирования содержимого сайтов НИИ и вузов введем некоторые цифровые стандарты форм хранения их в следующем виде: неупорядоченный каталог (список), упорядоченный каталог, неупорядоченное полноформатное представление и упорядоченное полноформатное представление. После чего введем выражения:

```
i – код роли ИНОР, i=1, 2, 3; m – номер ВУЗа, m \in M; n – код вида ИНОР, n = (1, 2,, 7); j – код формы хранения ИНОР, j = (1, 2, 3, 4); f_i^m(x) – функция эффективности i-ой роли ИНОР m-го вуза;
```

 $x=(x_{mnij})$ , где  $x_{mnij}$  — объем n-го вида ИНОР m-го вуза для i-ой роли в j-ой форме хранения ИНОР,  $x_{mnij}\in X_{ni}\subset X_n$  ,  $X_n=\bigcup_i X_{ni}$  ;

G(x) – выделенные инвестиции на развитие ролей ИНОР для всех вузов;

 $Z_{i}^{m}$  — выделенные инвестиции на развитие *i*-ой роли ИНОР *m*-му вузу при ограничениях

$$\sum_{mi} Z_i^m \leq G(x) . \tag{1}$$

Будем считать, что при оптимизации по Парето, как наиболее развитому подходу, руководство каждого вуза стремится к увеличению функций  $f_i^m(x)$ . Для поиска приемлемого решения обычно используют так называемую свертку критериев путем сведения многокритериальной задачи к скалярной. Опишем наиболее популярную из них, а именно свертку методом взвешивания. В этом случае общий по m-му вузу критерий  $W^m$  выглядит так

$$W^{m} = \max \sum \alpha^{i} f_{i}^{m}(x), \text{ по } x \text{ при } \sum \alpha^{i} = 1, \ 0 \le \alpha^{i},$$
 (2)

то есть функции  $f_i^m(x)$  в общий критерий входят с определенными весами  $\alpha^i$ . Тогда распределение инвестиционных средств может быть осуществлено пропорционально величинам  $W^m/\Sigma W^m$ . Поскольку содержание каждого вида ИНОР для всех трех ролей должно отличаться по смыслу, то для кластеризации множеств  $X_{ni}$  при формировании ЦПИНОР можно было бы воспользоваться системами интеллектуального анализа текстов (text-mining) [3, 4]. В качестве такой технологии может выступать Цифровая платформа агрегации и анализа научного контента, с применением элементов которой реализованы и функционируют ряд систем информационной поддержки научно-технической деятельности на базе НИЦ «Институт им. Н.Е. Жуковского» (Экспертная информационная система поиска, анализа и учета знаний в авиастроении) и ФИЦ ИУ РАН («ИАС Приоритеты», Цифровая платформа информационно-аналитической поддержки научно-исследовательской деятельности в области аграрно-промышленного комплекса). Перечисленные решения обладают следующим набором функций, реализованных на интегрированных источниках данных:

- 1. Поиск текстовой информации по запросу пользователя с поддержкой фасетного поиска по метаданным (как текстовым, так и нетекстовым) в режимах семантического, вопросноответного, концептного, а также поиска по отдельным ключевым словам.
- 2. Быстрое ознакомление с темой документов с помощью автоматически генерируемых по тексту ключевых словосочетаний.
- 3. Эксплоративный поиск документов (тематически похожих на эталонный документ).
- 4. Поиск смысловых текстовых заимствований.
- 5. Формирование, сопоставление и тематический анализ пользовательских коллекций документов (тематическая кластеризация, построение тематических словосочетаний и т. п.).

Эти инструменты позволяют анализировать документные полнотекстовые коллекции с метаданными, включая научные статьи, препринты, патентную информацию, авторефераты, курсовые работы, научно-образовательные материалы (выпускные квалификационные и курсовые работы, учебно-методические пособия и т. п.) и осуществлять мониторинг и выявление тенденций в наукоёмких областях с опорой на репрезентативные данные (по состоянию на весну 2022 г. в системных индексных базах данных содержится индексы свыше 100 млн документов на русском и английском языках) [5]. Таким образом, имеющийся задел может быть положен в основу создания промышленного решения – ЦПИНОР.

Анализ мониторинга контента ИНОР. На основании приведенной модели можно дать более ясное и подробное пояснение влияния размеров инвестиций на ту или иную роль ИНОР. Казалось бы, при возникших новых запросов общества, бизнеса при ограничивающих их деятельность последствий пандемии, до конца еще неосознаваемых последствий тотальных санкций, в результате которых произошло изменение структуры спроса на образовательные услуги, на потребительские товары из-за снижения покупательной способности населения, из-за нарушений в производственно-логистических цепочках, ужесточения санитарных норм, накладывающих определенный отпечаток на материальный, образовательный и трудовой рынок, а

также на доходность предприятий, Минобрнауки должен был бы кардинально изменить структуру инвестиций на разработку цифровых инструментов ролей ИНОР путем изменения весов  $\alpha^i$ , адекватно отражающих новые реалии. Например, вместо финансирования отправки публикаций научными сотрудниками в зарубежные издания направить средства на разработку упомянутой выше ЦПИНОР, предназначенной для наиболее эффективного исполнения триединой роли ИНОР. Итог же текущих приоритетов Минобрнауки виден в представленных ниже данных, отражающих динамику изменения качества и объемов ИНОР на сайтах аграрных вузов и НИИ в течение трех этапов мониторинга вузов и двух этапов НИИ, последний из которых был произведен в конце  $2021\ \Gamma$ . [1,2].

Так, у НИИ число разработок снизились с 18806 до 5410, публикаций – с 43718 до 8274, БД – с 238 до 124, число консультантов – с 231 до 14. У вузов число разработок снизились с 4660 до 3359, БД – с 675 до 0, число консультантов – с 259 до 76. В то же время на сайтах ВУЗов произошел всплеск числа публикаций с 19401 до 41001, что связано с переходом их на удаленный формат обучения. Однако реализация их вызывает много вопросов к технологиям размещения на сайтах. Прежде всего, несистемный подход к внедрению большого количества (свыше 10) электронных библиотечных систем (ЭБС), обнаруженных на сайтах вузов, онтологически никак несвязанных друг с другом, дублирующих контент, ведет к значительным финансовым издержкам, как учебных организаций, так и государства. При этом в условиях эпидемии инвестиции в ДО в виде внедрения специальных закрытых сервисов сопровождаются ликвидацией данного ИНОР из открытого контента сайтов.

Заключение. Исследования показали, что существующий цифровой разрыв между современным состоянием и потенциалом технологий разработки и наполнения содержимым сайтов продолжает стремительно увеличиваться, что демонстрирует слабую методологическую роль Минобрнауки по формированию цифрового инструмента эффективного управления ИНОР в интересах всех потребителей этих ресурсов с адекватной реакцией на возникшие новые запросы общества, бизнеса в настоящее время. А пока в работе продемонстрирована отрицательная корреляция требований общества и рынка с результатами регулирующих усилий Минобрнауки, что проявилось в тенденции резкого снижения количества и качества ИНОР на сайтах всех аграрных вузов и НИИ.

Работа поддержана грантом Министерства науки и высшего образования  $P\Phi$ , внутренний номер 00600/2020/51896, договор № 075-15-2022-319.

# ЛИТЕРАТУРА

- 1. **Меденников В.И., Муратова Л.Г., Сальников С.Г.** Методика оценки эффективности использования информационных научно-образовательных ресурсов. М.: Аналитик, 2017. 250 с.
- 2. **Меденников В.И., Муратова Л.Г., Сальников С.Г., Луппов В.В., Личман А.А.** Эффективность использования информационных интернет-ресурсов научно-исследовательских учреждений аграрного направления. М.: Аналитик. 2018. 237 с.
- 3. **Ядринцев В.В., Клюбина К.В., Тихомиров И.А., Гершельман А.Ф.** Выбор серверного решения для цифровой платформы поиска и анализа текстов. *Системы и средства информатики*. 2018. Т. 28. № 3. С. 26-38.
- 4. Volkov S., Devyatkin D., Tikhomirov I., Sochenkov I. Data Driven Detection of Technological Trajectories. International Conference on Data Analytics and Management in Data Intensive Domains. Springer, Cham, 2020. Pp. 204-215.
- Belenkov V.G., Budzko V.I., Devyatkin D.A., Kan A.V., Mikhailin I.S., Sochenkov I.V., Tikhomirov I.A., Shap-kin V.S. Methodology for identifying centers of excellence in aviation science based on publication and patent activity. Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS (Proceedings of ISP RAS). 2020. V. 32. No. 4. Pp. 21-40.

V.I.Budzko, V.I.Medennikov, I.V.Sochenkov (Federal Research Center "Computer Science and Control" of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia). Digital tool for scientific and educational resources management in Russia

The dynamics of the volume and structure of information scientific and educational resources reflected on the websites of agricultural universities and research institutes, under the influence of the COVID-19 pandemic and the imposed sanctions, is considered in order to develop a digital tool for an adequate response of regulatory authorities to new demands from society and business. Why is a formalized representation of the effectiveness of the specified resources fulfilling a triune role: communication among the scientific community, educational, transfer of these resources to the economy.