

◆ СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ ◆

УДК 629.12.053
DOI 10.17285/0869-7035.2018.26.4.096-104

Б. С. РИВКИН

**ПЕРВЫЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ
КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ГРАЖДАНСКИХ СУДОВ**

Статья посвящена истории создания первых отечественных навигационных комплексов (НК) «Бриз-Н» и «Бирюза-НК» для судов Министерства морского флота (ММФ) СССР. Приводятся их состав, перечень основных решаемых задач и результаты испытаний.

Ключевые слова: НК, автоматизация, радионавигация, автопрокладчик, счисление, комплексирование.

Введение

В конце 60-х гг. прошлого века правительство СССР приняло решение о создании системы комплексной автоматизации процессов навигации, управления движением судна и грузовых операций «Бриз-1». Она предназначалась прежде всего для оснащения первых отечественных супертанкеров типа «Крым» водоизмещением 180000 т, строившихся в Керчи на заводе «Залив». Следует отметить, что в ту пору развитые системы автоматизации процессов навигации, например, имели лишь США, Норвегия и Япония, причем лидирующую позицию, на мой взгляд, занимала система Data Bridge разработки фирмы Norcontrol (Норвегия).

ТЗ на систему «Бриз» формировалось в стенах Центрального научно-исследовательского института морского флота (ЦНИИМФ) в отделе, который возглавлял А. А. Якушенков, и Управления связи и электрорадионавигации ММФ в отделе во главе с Ю. Г. Зурабовым, выполнявшим, по сути дела, функции представителя заказчика.

Головной организацией по разработке системы был определен НИИ «Квант» (Киев), а главным ее конструктором назначен В. Ю. Лапий, бывший на тот момент глав-



В. Ю. Лапий

Ривкин Борис Самуилович. Кандидат технических наук, начальник Центра компетенций в области навигации, АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» (С.-Петербург). Действительный член международной общественной организации «Академия навигации и управления движением». Член правления Международной ассоциации институтов навигации (IAIN).

ным инженером «Кванта». На «Квант», кроме общего руководства, возлагалось решение задач управления движением судна (с активным подключением группы сотрудников ИПУ РАН во главе с Н. А. Кузнецовым, впоследствии академиком РАН), включая задачи расхождения судов и автоматизации грузовых операций. «Квант» же разрабатывал и информационно-вычислительный комплекс (ИВК), в котором размещалось программное обеспечение (ПО) системы в целом. Автоматизация решения навигационных задач была поручена ЦНИИ «Электроприбор» и реализовывалась в рамках входившего в состав системы НК «Бриз-Н».

НК «Бриз-Н»



Я. Г. Остромухов

Учитывая, что ЦНИИ «Электроприбор» не имел опыта проектирования НК для судов ММФ, первым делом следовало разобраться в том, какие процедуры, традиционно выполняемые гражданскими штурманами, следует автоматизировать и в каком объеме. С этой целью главный конструктор НК Я. Г. Остромухов предложил разработать некий опросник и разослать его по всем пароходствам. Каково же было удивление разработчиков НК, когда на добрую половину из более 30 заданных вопросов (дело было новое) были получены взаимоисключающие ответы!

Следующую попытку навести порядок в умах разработчиков сделал Ю. Г. Зурабов, порекомендовав организовать встречу последних с капитанами ряда пароходств у стендов проходившей в Ленинграде международной выставки «Инрыбпром». Одной из целей этой встречи был выбор навигационных средств, которые предполагалось включить в состав НК.

Когда осмотр выставки был завершен, А. А. Якушенков, возглавлявший делегацию ММФ, спросил, какое из увиденных средств местоопределения судна присутствующие считают наиболее надежным. После значительной заминки наиболее представительного вида капитан ответил: «Якорь.



П. Г. Усачёв

Когда я в прибрежных водах теряю место, я прежде всего бросаю якорь, а уж потом начинаю выяснять, где я нахожусь».

Поняв, что коллегиальное информационное обеспечение разработчиков НК терпит фиаско, ММФ поручило эту работу капитану-наставнику Новороссийского морского пароходства П. Г. Усачёву, и лучшего выбора оно сделать не могло. Петр Григорьевич отличался редким даром доходчиво разьяснять неопитам детали практической морской навигации.

Состав НК

В состав НК «Бриз-Н» входили [1]:

- 1) малогабаритный резервированный гирокурсоуказатель (ГКУ) «Вега-К», работающий в режимах гирокомпас и гироазимута;
- 2) магнитный компас «Сектор-К» с дистанционной передачей величины курса;
- 3) индукционный электронный лаг «Угра-К», измеряющий продольную скорость судна относительно воды;

- 4) приемоиндикатор (ПИ) «Пирс-1М», работающий по сигналам радионавигационной системы (РНС) Десса и выдающий данные по трем линиям положения (ЛП);
- 5) ПИ, выдающий отсчеты по трем ЛП РНС Omega;
- 6) ПИ, позволяющий последовательно определять данные по одной из ЛП РНС Logan-A и Logan-C;
- 7) визуальный радиопеленгатор «Румб»;
- 8) автоматический прокладчик (АП) пути судна на картах меркаторской проекции;
- 9) приборы питания, трансляции и сигнализации, а также репитеры курса и скорости.

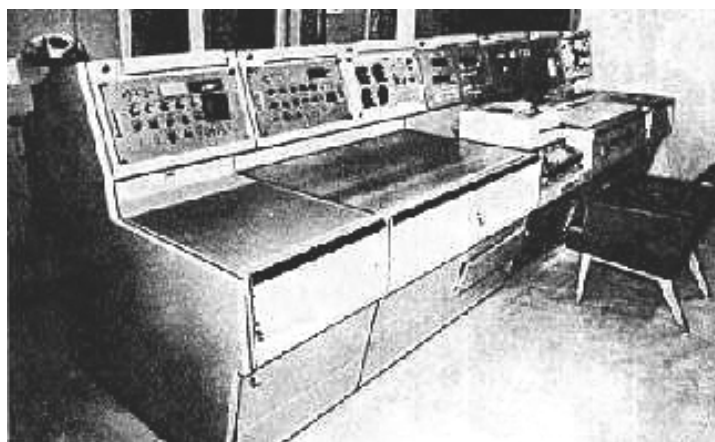
Входившие в состав НК изделия по пунктам 1–7 были обязательными для комплектования навигационного вооружения судов в соответствии с требованиями существовавшего тогда Регистра СССР. Кроме того, в НК использовались данные от:

- 1) гидроакустического лага, измерявшего продольную и поперечную составляющие скорости движения носа и кормы судна относительно грунта на глубинах до 150 м;
- 2) двухдиапазонной (3 и 10 см) навигационной радиолокационной станции (НРЛС) «Бриз-Е» разработки НИИ «Квант», входившей в состав системы «Бриз-1».

Все перечисленные датчики навигационной информации (кроме «Румба») были сопряжены с ИВК, с помощью которого не только решались все навигационные задачи, но и осуществлялось управление работой АП.

Большая часть аппаратуры НК, и прежде всего все ее панели управления, размещалась в пульте НК. Там же был установлен и телетайп, служивший устройством ввода данных в ИВК. При этом вновь проектировались АП, приборы, упомянутые в пункте 9, и собственно пульт. Остальные изделия были покупными.

АП представлял собой принципиально новый прибор, имевший вместо обычной для АП, поставлявшихся ВМФ, червячной передачи шарико-винтовую (ШВП). Размер рабочего поля АП – 680 × 930 мм. Он обеспечивал прокладку на картах масштабов от 1: 10 000 до 1: 1000000. Применение ШВП снизило суммарную погрешность отображения координат места судна на карте до 0,8 мм и позволило резко сократить время перегона узла, отмечающего положение судна на карте.



Пульт НК

С нуля пришлось разрабатывать пульт НК, выполненный в виде унифицированных секций двух типоразмеров, которые могли использоваться на судах различных типов и тоннажа. Больше всего пришлось повозиться с телескопическими устройствами подсветки рабочего поля пульта (на фото они находятся в нерабочем положении) и замками для фиксации ящиков для карт, которые никак не хотели работать при испытаниях на вибрацию.

Наибольший вклад в создание этих изделий внесли Г. Н. Полковников, руководивший разработкой АП и пульта НК в целом, и конструкторы Н. И. Погодин, спроектировавший ШВП и возглавлявший процесс конструирования пульта, и В. Л. Иванов – создатель рабочих чертежей АП.

Что касается разработки аппаратной части НК в целом и эксплуатационной документации на него, то следует выделить З. П. Бойцову, отвечавшую за организацию и увязку всех выполняемых работ, а также Т. А. Клевцову и Л. Б. Куприянову.

Задачи, решаемые НК

НК «Бриз-Н» был предназначен для измерения скорости и курса судна (и трансляции их потребителям), определения места судна и отображения его на карте, а также для обеспечения вождения судна по заданной траектории. При этом с использованием ИВК решались следующие задачи [2]:

- 1) счисление с оценкой точности;
- 2) прокладка с выдачей информации на АП;
- 3) определение места с помощью РНС Decca, Omega, Loran-A и Loran-C по измерениям высот «навигационных» звезд, а также по данным о пеленге и дальности до неподвижного ориентира с известными координатами, вырабатываемым НРЛС;
- 4) выработка маршрутных координат;
- 5) выработка судового и гринвичского времени;
- 6) проведение специальных расчетов (данные для плавания по дуге большого круга, поправка компаса, угол ветрового дрейфа, время восхода и захода Солнца, расстояние и время плавания до точки с известными координатами, прогноз координат судна по известным значениям курса, скорости и времени плавания).

Разработка математического обеспечения (МО), реализующего решение перечисленных задач, сопровождалась следующими особенностями:

- 1) использование в качестве устройства ввода данных в ИВК телетайпа, мало пригодного для этой операции, требовало проведения тщательного моделирования решения всех задач с целью определения минимального объема вводимых данных;
- 2) учитывая, что разработка МО велась в Ленинграде, а программисты, создававшие ПО ИВК, находились в Киеве, было необходимо сформировать контрольные примеры, фиксирующие величины вырабатываемых параметров по всем ветвям алгоритмов;
- 3) ПИ, входившие в состав НК, вырабатывали не обсервованное место по соответствующим РНС, как это делается в современной аппаратуре, а лишь ЛП, предполагая одновременное использование соответствующих РНС-карт.

Отличительными особенностями разработанного МО следует признать следующие. Во-первых, это автоматизация ввода в оперативную память ИВК координат любой точки карты. Для этого достаточно было совместить с нею от-

мечающее устройство АП, затем после нажатия на АП кнопки «ввод» в ИВК поступали отстояния по двум осям выбранной точки от центра рабочего поля АП, по которым и вычислялись ее координаты. Эта процедура использовалась при вводе как данных ориентиров в НРЛС, так и координат точек поворота в задаче выработки маршрутных координат, а также координат точки отшествия в задаче счисления, что практически исключило субъективную ошибку судоводителя при вводе этих данных вручную.

Во-вторых, очень эффективным при прибрежном плавании оказался режим коррекции счислимых данных по данным от НРЛС. При его реализации на карте выбирался ориентир (не только точечный типа маяка, но и, например, оконечность острого мыса при движении по траверсу к нему), координаты которого передавались в НЛРС по только что описанному алгоритму. После этого НРЛС осуществляла захват этого ориентира и выдачу в задачу коррекции счислимого места, величин пеленга на ориентир и дальности до него.

Наконец, и это главное, задача коррекции счислимого места судна по данным РНС, НРЛС и звезд решалась с использованием субоптимального фильтра Калмана (СОК) [3]. При этом при обработке данных РНС Десса и НРЛС (эти задачи решались непрерывно с темпом 3 и 1 мин соответственно) вырабатывались поправки как в счислимые координаты, так и в скорость, вырабатываемую относительным лагом, а в остальных случаях, когда коррекция проводилась эпизодически, – только в координаты. Учитывая, что на тот момент у разработчиков не было какого-либо опыта использования СОК в реальных условиях, была предусмотрена и возможность решения задачи коррекции с использованием традиционного алгоритма пересечения ЛП.

Курировали разработку МО НК сотрудники сектора ЦНИИМФ во главе с Е. В. Якшевичем (см. фото, сделанное уже в наше время), среди которых следует прежде всего выделить А. Н. Каяндера. Разработка МО всех задач, включая и алгоритмы их решения, кроме задачи СОК, созданной совместно с А. Н. Каяндером и Г. В. Тюменевой (ЦНИИ «Электроприбор»), была выполнена автором этих строк, бывшим одновременно заместителем главного конструктора НК.



Е. В. Якшевич

Испытания НК

Испытания НК проводились в два этапа. На первом этапе выполнялось тестирование ПО задач, решаемых НК, на стенде НИИ «Квант». При этом по каждому алгоритму проверялось совпадение величин, полученных специалистами ЦНИИ «Электроприбор» при разработке контрольных примеров с помощью моделирования на ЭВМ, и соответствующих величин, выработанных ИВК.

Важность этой работы, длившейся почти полгода, трудно переоценить, учитывая тот факт, что МО и ПО НК разрабатывались разными фирмами, расположенными в разных городах, причем в те годы, когда какие-либо автоматизированные средства разработки и отладки МО и ПО попросту не существовали. Достаточно сказать, что алгоритмы решения задач передавались разработчикам ПО в виде схем, вычерченных на миллиметровке.

Тщательность выполнения этой работы принесла свои плоды. Когда ИВК и аппаратура НК, поставляемая ЦНИИ «Электроприбор», были впоследствии

состыкованы на объекте, то уже через четыре часа удалось не только запустить решение всех задач, но и осуществить прокладку пути судна на карте. Последнее вызвало неподдельный восторг у председателя госкомиссии А. А. Якушенкова, до того считавшего, что на это потребуются недели, если не месяцы.

Важнейшим был, естественно, этап морских испытаний. При обсуждении порядка их проведения Ю. Г. Зурабов сразу предупредил, что никакая аппаратура не будет поставлена на танкер без предварительной проверки в море. С этой целью было выбрано учебно-производственное судно «Профессор Ухов», принадлежавшее ЛВИМУ имени адмирала С. О. Макарова, которое и было переоборудовано под размещение системы «Бриз-1».

Испытания проводились в период с 11.11.75 по 02.01.76 по маршруту Ленинград – Охус – Гевле – Питео – Барселона – Неаполь – Марина-ди-Каррара – Гамбург – Ленинград. В Гевле нас посетил один из основных разработчиков Data Bridge Ф. Филхайм, специально приехавший, чтобы ознакомиться с НК, который был буквально потрясен тем, что нам удалось с нуля создать в весьма сжатые сроки (разработка и изготовление НК заняли три года). Его особое внимание привлек АП, отсутствующий на торговых судах, строящихся на Западе.



Учебно-производственное судно «Профессор Ухов»

Не меньше был удивлен и лоцман, осуществлявший проводку судна по Эльбе при входе в Гамбургский порт, в районе которого ЛП РНС Десса пересекались практически под прямым углом, обеспечивая наивысшую точность местоопределения. Он никак не мог взять в толк, каким образом нам удавалось оповещать его в процессе движения о наличии у борта очередного буя, размечавшего фарватер, не глядя в иллюминатор. Нам эту информацию поставлял АП, на котором мы установили карту масштаба 1:10000.

Единственной проблемой для нас, впрочем ожидаемой, явилась реализация задачи СОК. В ряде случаев при работе по сигналам РНС Десса мы наблюдали развал нашего фильтра и были вынуждены переходить на алгоритм пересечения ЛП. Особенно огорчало это П. Г. Усачёва, который весь рейс только и занимался изучением фильтра Калмана.

В итоге было выяснено, что фильтр работает неустойчиво, когда мы входим в зону действия РНС Десса с «хорошей геометрией» с большой невязкой и задача комплексной обработки становится нелинейной. По возвращении в Ленин-

град мы доработали задачу СОК [4], используя так называемые локальные итерации, предложенные А. Язвинским (Andrew H. Jazwinski). В итоге уже в середине 1976 г. мы впервые в практике морских приложений в СССР получили устойчиво работающий фильтр Калмана. При наличии непрерывной коррекции счислимых координат места по данным НРЛС и РНС Деcca (в зоне с «хорошей геометрией») погрешность определения поперечного смещения судна относительно заданного пути не превышала 20-30 м.

В целом испытания на «Профессоре Ухове» и опыт эксплуатации НК на танкерах типа «Крым» показали, что по объему решаемых задач и уровню их реализации он не уступает лучшим зарубежным образцам тех же лет разработки. Впоследствии этот НК устанавливался и на контейнеровозах типа «Капитан Смирнов» и танкерах типа «Победа».

НК «Бирюза-НК»

Несмотря на то что НК «Бриз-Н» был высоко оценен представителями ММФ, ему были присущи следующие недостатки:

- 1) в силу того что его ПО размещалось в ИВК системы «Бриз-1», где одновременно решались задачи предупреждения столкновений, регистрации всех данных системы, обеспечения грузовых операций и т.д., он не имел автономной поставки;
- 2) в нем отсутствовал ПИ спутниковой навигационной системы (СНС);
- 3) величины широты и скорости вводились в резервный канал ГКУ вручную;
- 4) отсутствовала возможность оперативного ввода поправок в показания относительного лага и ГКУ.

Все эти недостатки были устранены в НК второго поколения «Бирюза-НК» [5], разработанного в рамках создания для ММФ системы автоматизации «Бирюза». В его составе по сравнению с «Бриз-НК» произошли следующие изменения:

- 1) были вновь введены в состав:
 - информационно-управляющий комплекс (ИУК) «Бирюза-ИУ», где вместо телетайпа в качестве устройства ввода использовался уже выполненный на электронно-лучевой трубке дисплей, что существенно упростило реализацию диалога «человек–машина». Если ИВК системы «Бриз-1» строился на базе ЦВМ «Карат» третьего поколения, то ИУК, разработанный НИИ «Квант», представлял собой микропроцессорную систему, основанную на БИС серии K580;
 - ПИ «Шхуна», работающий по сигналам отечественной СНС «Цикада»;
 - ПИ «Бирюза-СН», работающий по сигналам СНС Transit (США). При этом программисты НИИ «Квант» (разработчика этого ПИ), не мудрствуя лукаво, просто скопировали в нем ПО приемника Magnavox;
 - двухкомпонентный радиодоплеровский лаг РДЛ-3, позволяющий определять скорости переднего и заднего хода судна не только относительно воды, но и относительно границы раздела «вода–лед» при плавании во льдах;
- 2) заменены:
 - магнитный компас «Сектор-К» – на «КМ-145»;
 - относительный лаг «Угра-К» – на индукционный электронный лаг ИЭЛ-2М;
 - ПИ, работающий по сигналам РНС Logan-A и Logan-C, – на ПИ, принимающий сигналы РНС Logan-C и «Тропик-2» и вырабатывающий не ЛП, а обсервованное место.

Одновременно были доработаны пульт, в котором размещалась аппаратура НК, система электропитания, приборы трансляции и индикации, курсограф и репитеры. Модернизированы были МО и ПО НК, что в первую очередь было связано с заменой целого ряда навигационных датчиков и появлением задач коррекции счислимых координат по данным СНС.

Наибольшие изменения претерпела задача коррекции по данным НРЛС «Бриз-Е». При переходе к прибрежному плаванию, а особенно при прохождении узкостей, была обеспечена возможность автоматизированного ввода координат до 10 ориентиров. Затем в вычислителе ИУК по счислимым координатам рассчитывались пеленг П и дальность Д до ближайшего из них, по которым в НРЛС осуществлялся поиск и захват ориентира, после чего уже по измеренным П и Д вычислялись поправки к координатам.

При появлении в поле обзора НРЛС (для установленной шкалы дальности) второго ориентира осуществлялся и его захват, после этого задача коррекции решалась по дальностям до двух ориентиров, что повышало точность вырабатываемых невязок. При использовании трех реперных точек задача коррекции решалась с большей эффективностью не только за счет избыточности измерений дальности, обрабатываемых по методу наименьших квадратов, но и за счет повышения контроля за процессом автосопровождения в НРЛС целей.

В разработке МО и алгоритмов НК «Бирюза-НК» активное участие приняли Ю. Д. Гольдин, В. Я. Кулик и Г. В. Тюменева, а в создании НК в целом – А. Ю. Жарновский.

Сопоставляя НК «Бриз-Н» и «Бирюза-НК», можно сделать следующие выводы:

- 1) наличие собственных вычислительных средств сделало возможной автономную от системы «Бирюза» поставку НК «Бирюза-НК»;
- 2) была обеспечена возможность поставки НК на суда ледового класса, для чего предусмотрено курсоуказание в режиме гирокомпаса в широтах до 85° с.ш. и введен в состав РДЛ;
- 3) существенно повышена эффективность задачи определения места судна в океане за счет введения в состав НК двух ПИ сигналов СНС, работающих к тому же по сигналам двух различных систем, что сокращало интервал между наблюдениями.

Как и в случае с НК «Бриз-НК» государственные испытания «Бирюзы-НК» проводились на судне «Профессор Ухов» и были завершены в 1984 г. НК был спроектирован для установки на лихтеровозах типа «Алексей Косыгин» и «Севморпуть», атомных ледоколах типа «Россия» и танкерах типа «Победа».

Разработка систем комплексной автоматизации процессов навигации, управления движением судна и грузовых операций «Бриз-1» и «Бирюза» и входивших в их состав НК были высоко оценены правительством, и в 1985 г. группа разработчиков этих изделий, включая главного конструктора НК «Бриз-Н» и «Бирюза-НК» Я. Г. Остромухова, была награждена Государственной премией СССР в области науки и техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Жарновский А.Ю., Остромухов Я.Г., Ривкин Б.С.** Автоматизированный навигационный комплекс «Бриз-Н» // Судостроение. 1980. № 3. С. 41–43.
2. **Каяндер А.Н., Ривкин Б.С., Якович Е.В.** Алгоритмизация счисления и прокладки пути судна // Труды ЦНИИМФ. 1975. Вып. 200.
3. **Каяндер А.Н., Ривкин Б.С., Тюменева Г.В.** Субоптимальные алгоритмы фильтрации в системах коррекции местоположения объекта // Известия ВУЗОВ. Приборостроение. 1975. №1. С. 80–85.

4. Гольдин Ю.Д., Каяндер А.Н., Кулик В.Я., Ривкин Б.С. Исследование алгоритма обработки данных от радионавигационных систем при нелинейном характере обрабатываемого сигнала // Вопросы судостроения. Серия «Общетехническая». 1977. Вып. 26.
5. Гольдин Ю.Д., Остромухов Я.Г., Ривкин Б.С., Тюменева Г.В. Навигационный комплекс «Бирюза-НК» // Судостроение. 1986. №12. С. 20–22.

Rivkin, B.S. (State Scientific Center of the Russian Federation Concern CSRI Elektropribor, JSC, St. Petersburg, Russia)
Russia's First Integrated Navigation Systems for Commercial Vessels, *Giroskopiya i Navigatsiya*, 2018, vol. 26, no. 4 (103), pp. 96–104.

Abstract. The paper is dedicated to the history of Russia's first integrated navigation systems (INS) Briz-N and Biryuza-NK developed for the vessels of the USSR Ministry of the Maritime Fleet (MMF). Composition of these systems, as well as the list of the main tasks and testing results are presented in the paper.

Key words: INS, automation, radio navigation, autoplotter, dead reckoning, integration.

REFERENCES

1. Zharnovskii, A.Yu., Ostromukhov, Ya.G. and Rivkin, B.S., Automated integrated navigation system Briz-N, *Sudostroenie*, 1980, no. 3, pp. 41–43.
2. Kayander, A.N., Rivkin, B.S. and Yakshevich, E.V., Algorithm presentation for dead reckoning and plotting of vessel track, *Proceedings of CNIIMF*, 1975, no. 200.
3. Kayander, A.N., Rivkin, B.S. and Tyumeneva, G.V., Suboptimal filtering algorithms in systems of ship's position correction, *Izvestiya VUZov. Priborostroenie*, 1975, no. 1, pp. 80–85.
4. Gol'din, Yu.D., Kayander, A.N., Kulik, V.Ya. and Rivkin, B.S., Studying the algorithm of processing the data from radio navigation systems with processed signal nonlinearity, *Voprosy sudostroeniya. Obshchetekhnicheskaya seriya*, 1977, no. 26.
5. Gol'din, Yu.D., Ostromukhov, Ya.G., Rivkin, B.S. and Tyumeneva, G.V., Integrated navigation system Biryuza-NK, *Sudostroenie*, 1986, no. 12, pp. 20–22.

Материал поступил 20.07.2018