КОРПОРАЦИЯ
МОРСКОГО
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

№2 (35) 2023

МОРСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ и ТЕХНОЛОГИИ

Научно-технический журнал судостроительной промышленности

Проблемы диверсификации в области морского приборостроения России и подходы к их решению

Результаты разработки стереотаксического комплекса для малоинвазивных нейрохирургических вмешательств

Принципы обеспечения отказоустойчивости в вычислительных системах

Журнал АО «Корпорация Морского приборостроения»

ISSN 2308-8281

СОДЕРЖАНИЕ

02
СЛОВО РЕДАКТОРА

04
ПРОБЛЕМЫ ДИВЕРСИФИКАЦИИ МОРСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ В РОССИИ
Вернигора А.П., Ханычев В.В., Дворников К.А.

14
ТЕХНОЛОГИИ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ПОДВОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
Соков А.В., Римский-Корсаков Н.А., Островский А.Г.

40
ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ КАК ЭЛЕМЕНТ ВОЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РФ
Шатохин А.А., Селезнев И.А., Ивакин Я.А.

52
ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ПРОНИКНОВЕНИЯ КОНТРАФАКТНЫХ КОМПЛЕКТУЮЩИХ И ЭКБ В КОРПОРАТИВНЫЕ КООПЕРАЦИОННЫЕ ЦЕПОЧКИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И ПРОИЗВОДСТВЕ СИСТЕМ В И ВТ. АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА.
Храмов М.Ю., Новиков Е.С., Андреева О.Н., Ковалев Б.М.

70
«ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ «ЯДЕРНЫЙ ОСТРОВ» В СИСТЕМАХ АВТОМАТИКИ АО «КОНЦЕРН «НПО «АВРОРА»
Сурин С.Н., Кузин А.М., Мартышенков В.Е.

82
РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ СТЕРЕОТАКСИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ МАЛОИНВАЗИВНЫХ НЕЙРОХИРУРГИЧЕСКИХ ВМЕШАТЕЛЬСТВ
Бондаренко В.О., Холявин А.И., Беляев Я.В., Мягков А.М., Епифанов Д.О., Яворовская Н.Л., Лазарев В.Ю., Песков В.А.

92
ОБЗОР МЕТОДОВ И ПОДХОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К БЕСПИЛОТНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ
Смолин А.Л., Кутахов В.П., Захарова А.А., Мещеряков Р.В., Климаков В.С.

98
ПРИНЦИПЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ
Андреева О.Н., Стальнов А.Н.

114
«ЭЛЕКТРОПРИБОР» ОТКРЫЛ ЕМУ БОЛЬШУЮ ДОРОГУ. К 110-ЛЕТИЮ АКАДЕМИКА КУЗНЕЦОВА В.И.
Пешехонов В.Г.

116
25 ЛЕТ РАЗВИТИЯ КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «НАВИГАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ»
Литвиненко Ю.А., Степанов О.А., Тарановский Д.О., Яшникова О.М.

126
БЛИЖЕ К ПРЕКРАСНОМУ

128
АКТУАЛЬНЫЕ СОБЫТИЯ

131
ПО СТРАНИЦАМ ЗАРУБЕЖНЫХ ЖУРНАЛОВ

ОТ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Уважаемы коллеги!
1 апреля 2020 года АО «Корпорация морского приборостроения» вступила в четвертый год своей деятельности. Три года — дата не совсем круглая. Но значимая.

Конечно, существует много мнений, что считать днём рождения организации. Например, день приёма на работу первого сотрудника (в 2021 год Корпорация вступила имея в своём штате одного сотрудника — генерального директора). Проведение первого заседания Совета директоров Корпорации- 26 января 2021 года. Необходимые корпоративные процедуры по передаче и оформлению акций дочерних обществ вообще были завершены только в прошлом году.

Тем не менее, мы считаем днём рождения Корпорации именно 1 апреля 2020 года. День, когда Президент Российской Федерации, «в целях совершенствования системы управления организациями морского приборостроения, сохранения и развития их научно-производственного потенциала», принял решение по очередному шагу в интеграции предприятий оборонно-промышленного комплекса России.

Объединение Концернов позволяет нам лучше распределить компетенции, снизить затраты и себестоимость продукции, сконцентрировать научные коллективы на решении задач гособоронзаказа, военно-техническом сотрудничестве и диверсификации, сосредоточить и специализировать производственные мощности.

За прошедших три года нами немало сделано в этом направлении.

Определенный вклад в решение стоящих перед Корпорацией задач вносит и наш корпоративный журнал, очередной номер которого я вам и представляю.

В четвертом выпуске за 2022 г. было опубликовано несколько статей, посвященных проблемам диверсификации. В своей колонке редактора я обещал, что эта тема будет продолжена.

В этом выпуске мы публикуем статью «Проблемы диверсификации морского приборостроения в России», в которой высказан ряд предложений в этом направлении концептуального характера. Считаю, предложения, высказанные авторами, будут нами внимательно рассмотрены.

В определенной мере эту тему продолжает статья группы авторов наших коллег из Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН во главе с директором института, членом-корреспондентом РАН А. В. Соковым. Статья посвящена современным техническим средствам проникновения человека в глубины океана с исследовательскими и технологическими целями.

Рынок морского приборного исследовательского оборудования, конечно, не слишком велик, но высоко технологичен. Подводные аппараты, гидролокаторы, использующие сложные сигналы, другие технологии подводных исследований, описанные в статье-это как раз те ниши, в которых ученые и специалисты Корпорации имеют наиболее высокие компетенции в стране да и в мире.

Конкретный пример диверсификации изложен в статье группы авторов из АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» и Института мозга человека им. Н. П. Бехтеревой РАН, посвященной результатам разработки стереотаксического комплекса для малоинвазивных нейрохирургических вмешательств. Целый ряд наших предприятий с разным успехом пытаются продвинуть свои разработки на рынок медицинской техники. Рынок этот глубоко специфичен. И, видимо, пора объединить наши уселия в рамках отдельной рабочей группы или специализированного совета.

Усиливающееся санкционное давление ещё более обостряют старую проблему — поставки комплектующих и ЭКБ. Практикующиеся схемы «серого импорта» не всегда эффективны и таят риски поставок контрафактной продукции. Оказывается, подобные проблемы характерны и для наших западных теперь уже «не партнеров». В статье группы авторов АО «Концерн «Моринсис-Агат» проведен анализ зарубежного опыта, выявлены меры предпринимаемые нашими западными теперь уже «не партнерами» для предотвращения проникновения контрафактных комплектующих и ЭКБ в корпоративные кооперационные цепочки при разработке и производстве систем В и ВТ. Считаю этот опыт достоин тщательного изучения и на предприятиях Корпорации, и в её центральном аппарате.

В недавно утвержденной Стратегии развития АО «КМП» миссия Корпорации определена как обеспечение обороноспособности и безопасности Российской Федерации. В статье группы авторов АО «Концерн «Океанприбор» проанализированы различные аспекты развития гидроакустического приборостроения как элемента военно-экономической безопасности РФ.

Логическим продолжением опубликованной в прошлом выпуске статьи «Опыт разработки судовых систем управления для морских объектов с ЯЭУ в АО «Концерн «НПО «Аврора» является публикуемая в этом номере статья тех же авторов «Опыт применения концепции «Ядерный остров» в системах автоматики АО «Концерн «НПО «Аврора».

Думаю, вызовут интерес у читателей статья группы авторов из ФГБУ «НИЦ «Институт имени Н. Е. Жуковского», Института проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН и «Рязанского гвардейского высшего воздушно-десантного училища им. В. Ф. Маргелова» с обзором методов и подходов решения задач маршрутизации транспорта применительно к беспилотной транспортной системе и статья от АО «Концерн «Моринсис-Агат», посвященная обеспечению отказоустойчивости в вычислительных системах.

Однако не только морским приборостроением единым живет корпорация. На страницах журнала не раз публиковались отчеты о спартакиадах, других культурно- массовых мероприятиях.

В прошлом году АО «КМП» было приглашено к информационной поддержке релиза фильма «1941.Крылья над Берлином» и к распространению информационных материалов кинокартины среди сотрудников предприятий АО «КМП». А в начале этого года к руководству АО «Концерн «Океанприбор»» обратилась кинокомпания «РУССКИЙ СЕВЕР» с просьбой оказать содействие в проведении консультаций для производства художественного фильма «Северный полюс».

17 июля прошлого года мы отметили шестидесятилетие знаменательного события. В этот день атомная подводная лодка К-3 впервые в истории отечественного подводного флота достигла подо льдом Северного географического полюса. О значимости этого достижения свидетельствует тот факт, что по возвращении 21 июля 1962 года экипаж К-3 встречало руководство страны во главе с Н. С. Хрущевым.

В этом достижении огромная заслуга и предприятий Корпорации. Представители наших предприятий принимали участие в этом историческом походе. И вот киношники запустили картину об этом событии. На экранах фильм появится в 2024 г.

Полагаю, для наших читателей просмотр фильма будет представлять особый интерес.

Так же как и знакомство с данным выпуском корпоративного журнала.

Главный редактор журнала Стругов Л. В.

Ханычев В.В.,
к.т.н., генеральный директор
АО «ЦНИИ «Курс»

Вернигора А.П.,
заместитель генерального директора АО «КМП»

Дворников К.А.,
заместитель генерального директора
АО «ЦНИИ «Курс»

Аннотация: В статье рассматриваются системные проблемы диверсификации производства организаций ОПК судостроительной промышленности и предлагается вариант преодоления данных проблем.

Авторы: ХАНЫЧЕВ В.В., ВЕРНИГОРА А.П., ДВОРНИКОВ К.А.

ПРОБЛЕМЫ ДИВЕРСИФИКАЦИИ В ОБЛАСТИ МОРСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ РОССИИ И ПОДХОДЫ К ИХ РЕШЕНИЮ

В соответствии с поручениями Президента Российской Федерации В.В. Путина от 5 декабря 2016 года № Пр-2346 отечественным предприятиям оборонно-промышленного комплекса (далее — ОПК) предписано диверсифицировать производство и увеличить долю высокотехнологичной продукции гражданского и двойного назначения (далее — ВТПГДН[1]) к 2025 году — до 30%, к 2030 году — 50%.

Данное указание было обусловлено необходимостью обеспечения потребностей отечественных потребителей в качественной и доступной продукции, выпуск которой можно наладить на незагруженных производственных мощностях предприятий ОПК.

В условиях санкций, применённых в отношении Российской Федерации, особенно после февраля 2022 года, а также ухода с российского рынка многих зарубежных поставщиков из стран, присоединившихся к санкционной политике, а также осторожного отношения поставщиков из традиционно «дружественных» стран, данное поручение, несмотря на зачастую увеличившийся объем ГОЗ, не только сохраняет свою актуальность, но и выходит на новый уровень становясь не просто механизмом обеспечения финансовой устойчивости организаций ОПК, а стратегически важной задачей обеспечения технологического суверенитета России.

Следует отметить, что морское приборостроение является наиболее высокотехнологичной, трудоемкой и при этом одновременно обладающей наибольшей гибкостью к заказчику отраслью.

В статье речь пойдет о возможных путях развития диверсификации производства акционерного общества «Корпорация морского приборостроения» (далее — АО «КМП», КМП), созданного в соответствии с Указом Президента Российской Федерации № 235 от 01.04.2022 и входящих в его состав предприятий в целях совершенствования системы управления организациями морского приборостроения, сохранения и развития их научно-производственного потенциала.

Представленные далее проблемы и возможные пути решения в целом соответствуют специфике предприятий ОПК и применимы не только в области морского приборостроения, но и в других организациях с существенной долей государственного участия, поскольку упомянутые выше поручения касаются таких предприятий.

[1] *К ВТПГДН относится как продукция гражданского назначения (ПДН), так и продукция двойного назначения (ПДН), выпускаемая предприятиями ОПК, отнесенными к высокотехнологичным, в соответствии с приказом Росстата от 15.12.17 № 832 [5] с дополнениями, учитывающими специфику ОПК.*

На сегодняшний день гражданский сегмент рынка морского приборостроения можно определить 3-мя основными сегментами [2]:

- навигационные продукты и сервисы (Navigation);
- подводные решения и сервисы (SubSea);
- телекоммуникационные сервисы (Telecommunication).

В указанных сегментах существенную долю рынка занимают 4 основных концерна морского приборостроения, а именно:

- АО «Концерн «Моринсис-Агат»;
- АО «Концерн «НПО «Аврора»;
- АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»;
- АО «Концерн «Океанприбор».

ГРАЖДАНСКАЯ И ВОЕННАЯ ПРОДУКЦИЯ МОРСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ. ОСНОВНЫЕ ОТЛИЧИЯ И ПОДХОДЫ ПРИ ДИВЕРСИФИКАЦИИ.

Ключевым требованием к продукту, обеспечивающим возможность его коммерческого успеха на гражданском рынке, является соответствие его параметров основным ожиданиям заказчика.

Основными потребителями гражданской продукции в области морских интеллектуальных систем, создаваемых предприятиями морского приборостроения, являются:

- Судовладельцы/судопроектанты/верфи;
- Нефтесервисные компании;
- Ресурсодобывающие компании.

Следует отметить, что критериями, которыми оперируют названые выше заказчики при выборе того или иного продукта, являются:

- Стоимость изделия и его эксплуатации;
- Удобство внедрения изделия и его эксплуатации.

Для более полного понимания структуры и влияния данных критериев, необходимо разобраться, что они из себя представляют.

СТОИМОСТЬ ИЗДЕЛИЯ И ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ.

Не секрет, что принцип, широко используемый сегодня в массовом сегменте рынка, заложенный когда-то ранее фирмой «Gillette», основанный на продаже по изначально заниженной цене основного продукта, с дальнейшей компенсацией расходов при продаже вспомогательных товаров и услуг (до 65% прибыли компании получают в рамках оказания сервисных услуг и ремонта), сегодня прекрасно известен как поставщикам, так и заказчикам, которых, к слову, не так легко провести.

Заказчик старается оценить объем затрат, который он понесет не только при закупке изделия, но также при его эксплуатации, а именно:

- Сервисное обслуживание и ремонт;
- Расходы на подготовку персонала;
- Общие расходы на монтаж оборудования (в случае ремонта или модернизации судна).

Как правило, предприятия отечественного ОПК предлагают изделия, с изначально высокой стоимостью, которая нивелируется существенно более низкими затратами при дальнейшей их эксплуатации. Это обусловлено требованиями их традиционного заказчика — Министерства обороны Российской Федерации (далее — МО РФ). Однако, не учитывается тот факт, что изделия, поставляемые в МО РФ, весь свой жизненный цикл находятся на балансе у одного собственника, а суда гражданского флота за свой «жизненный путь» успевают сменить по 5–6 и более владельцев и, как следствие, заказчика судна интересует, в первую очередь, именно стоимость образца.

Следует также отметить, что заказчику предпочтительнее получить оборудование с унифицированными интерфейсами управления и составными элементами. Это, помимо банального повышения удобства для экипажей при работе с оборудованием, позволяет также снизить расходы на обучение экипажа, и, в значительной степени, снизить затраты на сервисное обслуживание и ремонт, поскольку будет обслуживаться меньшая номенклатура оборудования.

Зачастую, радиоэлектронное оборудование на гражданском судне, в отличии от военного корабля, не является системообразующим элементом. Таким образом, проектирование судна не организуется преимущественно вокруг данного оборудования, а, следовательно, должна быть обеспечена необходимая простота монтажа и унификация с другими изделиями.

УДОБСТВО ВНЕДРЕНИЯ ИЗДЕЛИЯ И ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ.

Поскольку на сегодняшний день большая часть судового радио и навигационного оборудования поставляется от зарубежных поставщиков[2], то операторы данных систем уже привыкли к их использованию. Таким образом, чем привычнее будет работа для операторов на отечественном импортозамещающем оборудовании, чем меньше им придётся переучиваться, тем проще будет убедить заказчика (судовладельца) на применение отечественного оборудования. Следует отчётливо понимать, что значительное влияние на принятие решения может оказать команда корабля и его капитан.

Препятствия для организаций ОПК на гражданском рынке

Нельзя не отметить, что в рамках вектора, направленного на поддержку малого и среднего предпринимательства в России, значительная часть конкурсных процедур проводится исключительно среди субъектов малого и среднего предпринимательства, что автоматически исключает участие большинства предприятий ОПК в них. Предприятиям ОПК необходимо выработать механизмы решения этой проблемы, в противном случае они становятся попросту неконкурентными на данном рынке и теряют существенную его долю.

Другим серьёзным препятствием развития ВТПГДН на предприятиях ОПК является отсутствие «свободных» оборотных средств. Предприятия ОПК, работающие в рамках ГОЗ ограничены требованиями 275-ФЗ, 223-ФЗ, 44-ФЗ[3] [4], которые предписывают порядок оборота денежных средств и его контроля, а также порядок выполнения закупочных процедур.

Требования 275-ФЗ существенно ограничивают возможности предприятия по распоряжению средствами. Предприятие вправе тратить на ВТПГДН только часть прибыли, которая распределяется советом директоров в конце года. Требования 223-ФЗ и 44-ФЗ предписывают для предприятий с долей государственного участия осуществлять закупки на конкурсной основе, что на стадии развития ВТПГДН и вывода на рынок новых продуктов существенно затягивает данный процесс и может попросту сделать его невыгодным.

«Идеальная диверсификация»

Основным механизмом, заложенным в идее диверсификации производства, является загрузка имеющихся производственно-технологических мощностей, высвобождающихся вследствие снижения загрузки по ГОЗ, производством ВТПГДН, что должно позволить предприятию повысить рентабельность и финансовую устойчивость. Однако, зачастую, с целью формального выполнения поручений президента по увеличению доли ВТПГДН в выручке, на предприятиях начинают создаваться новые производства, проводится техническое переоснащение, единственной задачей которого является только выпуск ВТПГДН. Такой подход имеет право на существование, однако он противоречит базовой идее диверсификации, поскольку не создает дополнительной загрузки уже существующих мощностей, а просто обеспечивает дополнительный выпуск ВТПГДН на новых мощностях. Загрузка производственных мощностей при различных подходах приведены на рисунке 1. Нельзя не учитывать тот факт, что производственные технологии в приборостроении достаточно быстро (5–7 лет) меняются и, как следствие, современное производственно-технологическое оборудование достаточно быстро устаревает. Таким образом, обеспечить приемлемую окупаемость оборудования можно лишь обеспечив его максимальную загрузку. Идеальным вариантом была бы работа на нём в 3 смены. Однако ГОЗ такой стабильной загрузки предложить не может.

ГРАЖДАНСКИЙ РЫНОК, В ОТЛИЧИЕ ОТ ГОЗ, НЕ ИМЕЕТ ЖЕСТКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И ПО РЯДУ ПОЗИЦИЙ УСТУПАЕТ В ЧАСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАГРУЗКИ ПРОИЗВОДСТВА, ОДНАКО, ПРИ ДОСТАТОЧНОЙ МАССОВОСТИ ПРОДУКТА И ЕГО УНИФИКАЦИИ С ДРУГИМИ ПРОДУКТАМИ, А В БОЛЬШИНСТВЕ СЛУЧАЕВ СУДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭТО ОБЕСПЕЧИВАЕТСЯ, МОЖЕТ ОБЕСПЕЧИТЬ СУЩЕСТВЕННОЕ УВЕЛИЧЕНИЕ ДОЛИ ЗАГРУЗКИ МОЩНОСТЕЙ.

---

[2] Несмотря на введение санкций в отношении множества компаний из РФ, многие иностранные поставщики, в том числе из недружественных стран, находя каналы организации «параллельного» импорта в РФ, что в свою очередь вносит некоторую тактическую стабильность на рынке судового комплектующего оборудования, однако в средне и долгосрочной перспективе не может быть ориентиром для развития отрасли.

[3] В настоящее время рассматривается внедрение моратория на применение 44-ФЗ, однако его введение не означает полного преодоления указанных проблем.

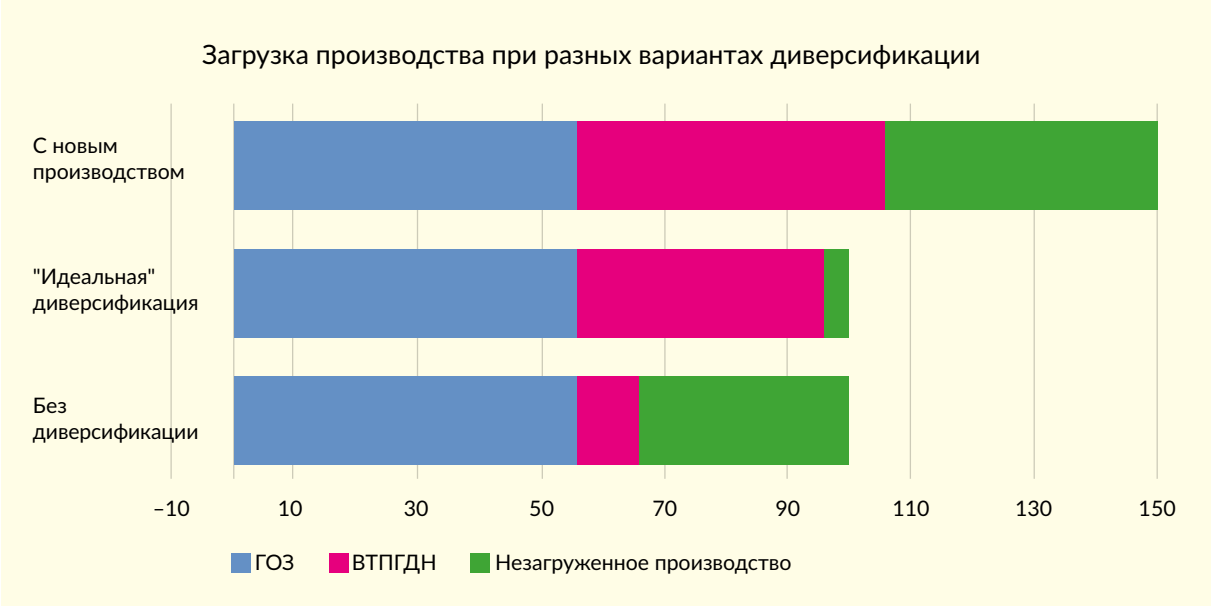


Рис. 1. Загрузка производства при различных подходах производства

Организация работ по диверсификации

Для того чтобы разобраться в подходах к решению проблемы диверсификации интегрированных структур следует сперва определить из каких основных элементов состоит деятельность организации по диверсификации. Общая структура деятельности по диверсификации приведена на Рисунке 2.

Анализируя предложенный список задач, обеспечивающих достижение целей диверсификации, можно условно разделить их 2 основные группы:

- Производственные, т.е. те, которые непосредственно связаны с созданием гражданского продукта;
- Обеспечивающие, т.е. те, которые обеспечивают выведение на рынок нового продукта и поддержку его продвижения на нём.

Поскольку развитие любого сложного мероприятия начинается с общей координации и исследований объекта, в данном случае рынка продаж, то начнем с обеспечивающих задач.

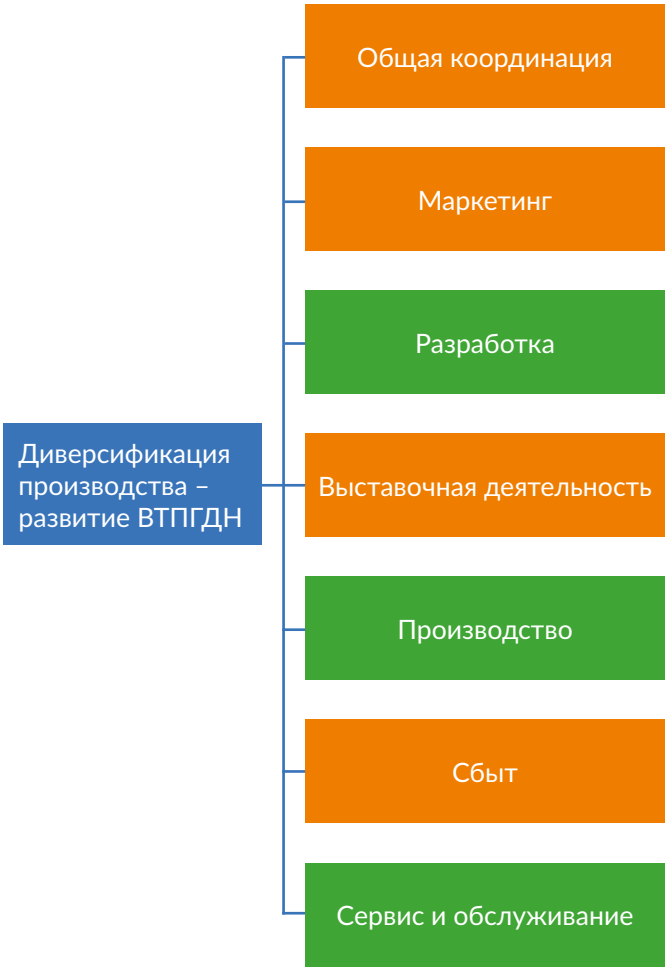


Рис. 2. Структура работ по диверсификации

При организации работ по диверсификации следует иметь ввиду, что при достаточно разной номенклатуре продукции, выпускаемой предприятиями, она преимущественно направлена на использование на оснащение судов и морских объектов, т.е. имеется общий заказчик, следовательно, общие мероприятия, проводимые для организации работ (маркетинговые исследования рынка, определение требований заказчика, проведение рекламных и выставочных мероприятий, и т.д.), в целом идентичны.

Принимая во внимание данную особенность, для АО «КМП» целесообразно организация единого органа, реализующего обеспечивающие задачи диверсификации. В АО «КМП» создан такой орган — Центр управления диверсификацией (далее — ЦУД).

Центр управления диверсификацией

Целью создания ЦУД является обеспечение развития производства ПГН и ПДН обществами Группы КМП в части увеличения объёмов её производства и увеличения её доли в общем объёме производства.

В своём составе, учитывая специфику гражданской продукции предприятий, преимущественно обусловленную направлениями по основной тематике, а также смежными освоенными технологиями, необходимо сформировать рабочие группы по основным крупным направлениям работ по гражданской продукции. Для АО «КМП» это:

- Оборудование радио и навигации, а также средства судовой автоматизации и энергетики;
- Средства мониторинга и исследования океана;
- Морская робототехника;
- Холодильное камбузное оборудование;
- Медицинская техника и товары народного потребления.

Принимая во внимание специфику поставок различным заказчикам, в ЦУД были сформированы 11 рабочих групп по направлениям, которые представлены на Рисунке 3.

КАЖДУЮ РАБОЧАЯ ГРУППА ЗАКРЕПЛЕНА ЗА ОДНИМ ИЗ КОНЦЕРНОВ, КОТОРЫЙ ОСУЩЕСТВЛЯЕТ ОБЩУЮ ОРГАНИЗАЦИЮ РАБОТЫ ГРУППЫ. РАБОЧАЯ ГРУППА ВОЗГЛАВЛЯЕТСЯ ПРЕДСЕДАТЕЛЕМ ОТ ГОЛОВНОГО КОНЦЕРНА, А В ЕЁ СОСТАВ ВХОДЯТ ПРЕДСТАВИТЕЛИ ПРЕДПРИЯТИЙ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИХ РАЗРАБОТКИ И ПОСТАВКИ ТЕХНИКИ ПО НАПРАВЛЕНИЮ РАБОЧЕЙ ГРУППЫ.

ЦУД АО «КМП»

Рабочая группа 1
Комплексный проект «Интегрированная мостиковая система»
АО «Коцнерн «НПО «Аврора»

Рабочая группа 2
Комплексный проект «Автоматизированная система управления техническим средствами»
АО «Концерн «НПО «Аврора»

Рабочая группа 3
Комплексный проект «Судовая энергетика, автоматика и КИП»
АО «Концерн «НПО «Аврора»

Рабочая группа 4
Комплексный проект «Оборудование рыбного промысла и товарного рыборазведения»
АО «Концерн «НПО «Аврора»

Рабочая группа 5
Комплексный проект «Оборудование разведки и обеспечения добычи полезных ископаемых»
АО «Концерн «Океанприбор»

Рабочая группа 6
Комплексный проект «Морская робототехника»
АО «Концерн «НПО «Аврора»

Рабочая группа 7
Комплексный проект «Комплексные системы безопасности морских и прибрежных объектов»
АО «Концеон «Мооинсис-Агат»

Рабочая группа 8
Комплексный проект «Подводные волоконно-оптические линии связи»
АО «Концерн «Моринсис-Агат»

Рабочая группа 9
Комплексный проект «Оборудование для изучения геопотенциальных полей с целью поиска полезных ископаемых на шельфе»
АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»

Рабочая группа 10
Комплексный проект «МАЯК: Автономное судовождение»
АО «Концерн «Моринсис-Агат»

Рабочая группа 11
«Общепромышленное оборудование»
АО «ЦНИИ «Курс»

Рис. 3. Структура Центра управления диверсификацией

Предложенный подход организации ЦУД с одной стороны позволяет сократить расходы, путем исключения дублирования на различных предприятиях ряда общих функций, снизить уровень внутрикорпоративной конкуренции, обеспечить выход к заказчику с комплексным предложением, с другой стороны обеспечивает активное участие и вовлеченность предприятий Корпорации в процесс диверсификации.

Производственные проблемы
Помимо решения обеспечивающих задач, для реализации эффективной диверсификации необходимо комплексное решение производственных проблем, среди которых основными являются качество производства, учёт требований потребителей в продукции, стоимость продукции.

В КАЧЕСТВЕ ЭФФЕКТИВНОГО ВАРИАНТА ПРЕОДОЛЕНИЯ УКАЗАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОБЛЕМ МОЖНО ПРЕДЛОЖИТЬ СОЗДАНИЕ ИННОВАЦИОННО-ИНЖИНИРИНГОВОГО ЦЕНТРА, ПОСТРОЕННОГО ПО ПРИНЦИПУ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО КЛАСТЕРА.

Целью создания инновационно-инжинирингового центра является повышение конкурентоспособности Корпорации на внутреннем и международном рынках на основе обеспечения инновационного развития Корпорации, содействия разработке и внедрению передовых технических решений.

Основные задачи инновационно-инжинирингового кластера:

1. Поиск инновационных решений развития для коренного улучшения конкурентных позиций Корпорации, включая:
   - Выявление передовых технических решений в области морского приборостроения, формирование предложений по их реализации на основе кооперации усилий предприятий Корпорации, мониторинг рынка морского приборостроения (научно-технический маркетинг), анализ научно-технических достижений и перспективных разработок (в том числе, зарубежных) по основным направлениям деятельности Корпорации;
   - Формирование базы знаний по инновационным разработкам Корпорации, координация этих разработок, выработка предложений по созданию условий для их развития и коммерциализации.
2. Координация исследований и разработок, включая:
   - Координация НИОКР, выполняемых Концернами, в т.ч. по государственным программам, координация подготовки предложений Корпорации по новым НИОКР;
   - Оценка эффективности возможного трансфера технологий, выработка предложений по покупке лицензий, «know-how», инженерных услуг и технологического оборудования;
   - Разработка предложений по созданию центров коллективного пользования по ключевым для развития Корпорации технологиям.
3. Формирование предложений по реализации в рамках Корпорации системы сквозного планирования реализации инновационных проектов в области морского приборостроения:
   - Идея–разработка–внедрение–производство–сбыт, реализация принципа проектирования изделия под заданную стоимость и в заданный срок как части процесса управления стоимостью жизненного цикла изделия (на 2-м этапе реализации Стратегии развития Корпорации);
   - Организация централизованного взаимодействия с ВУЗовской наукой, формирование базы знаний основных компетенций ВУЗовской наукой в области отраслевых знаний;
   - Обеспечение централизованного взаимодействия с инновационными структурами ВПК и в гражданской сфере;
   - Разработка предложений по созданию кооперации со смежными предприятиями в интересах реализации совместных проектов и выхода на новые сегменты рынка;
   - Разработка предложений по внедрению модельно-ориентированного подхода создания изделий, в том числе с использованием «цифровых двойников» продукции (на 2-м этапе реализации Стратегии развития Корпорации).

4. Формирование единого информационного пространства процессов исследования, проектирования и разработки в Концернах (на 3-м этапе реализации Стратегии развития Корпорации);
5. Координация работ по внедрению элементов искусственного интеллекта в процессы исследования, проектирования и разработки в Концернах (на 3-м этапе реализации Стратегии развития Корпорации);
6. Координация и управление крупными инновационными проектами, включая:
   - Разработка предложений по реализации системных «межконцерновых» проектов, руководство и координация этих проектов.
   - Координация работ по созданию единых комплексных многофункциональных платформенных систем, сочетающих в себе все качества основной продукции, производимой Концернами самостоятельно, для модернизации существующих и оснащения перспективных кораблей и судов (условное наименование «Единая корабельная (судовая) платформа управления»);
   - Координация разработки производственных и управленческих технологий (в том числе цифровое моделирование, «облачные» вычисления, использование «цифровых двойников» изделий и процессов, индустриальный интернет, управление исследованиями и разработками, производством и ресурсами);
   - Разработка предложений по общекорпоративным технологиям сервисного и гарантийного обслуживания, ремонта и модернизации (в том числе технологий интернета вещей и предиктивной аналитики);
   - Координация разработки технологий проведения испытаний и оценки качества продукции, ориентированных на снижение затрат по созданию и содержанию испытательных стендов, сокращение сроков проведения испытаний без снижения их качества (в том числе виртуальные испытания);
   - Формирование проектного подхода выполнения таких работ в Концернах в первую очередь при реализации комплексных проектов в области судового приборостроения;
   - Разработка требований по унификации продукции, в том числе внутренних стандартов Корпорации, регулирующих внутреннюю кооперацию и специализацию;
   - Формирование элементов единого информационного пространства процессов исследования, проектирования и разработки в Концернах;
   - Цифровизация опыта и компетенций специалистов-разработчиков («биржа компетенций»).
7. Координация и развитие производственных технологий, включая:
   - Формирование базы знаний по производственному, уникальному и стендово- испытательному оборудованию на предприятиях корпорации и коэффициентам их загрузки;
   - Разработка предложений по рациональному использованию производственного, уникального и стендово- испытательного оборудованию при выполнении научно-производственных программ Корпорации, формирование кооперации в интересах реализации этих программ;
   - Создание центров коллективного пользования Корпорации уникального и стендово- испытательного оборудования;
   - Анализ и изучение рынка передовых промышленных технологий морского приборостроения, технологических услуг и оборудования, выработка предложений по их внедрению на предприятиях Корпорации, организация научно-технической кооперации и координации дочерних обществ Корпорации при разработке и внедрении передовых технических решений;

– Разработка предложений по диверсификации продуктовой линейки Корпорации и выхода на новые сегменты рынка;
– Разработка единых технологий изготовления типовой продукции (приборные стойки, модули, блоки и т.п.), в том числе проведение каталогизации деталей, деталей сборочных единиц, приборов, сменных модулей, функциональных узлов для обеспечения организации взаимных поставок;
– Разработка предложений по оптимизации структуры производственных мощностей и производственных технологий, разработка предложений по созданию центров коллективного пользования по ключевым для развития Корпорации технологиям;
– Разработка предложений по созданию кооперации со смежными предприятиями, передачи отдельных технологических операций на аутсорсинг.

Следует подчеркнуть, что при реализации своих функций инновационно-инжиниринговый центр не подменяет и не дублирует функции административного аппарата КМП, а формирует основы для инновационного развития корпорации и, в тесном взаимодействии с ним, готовит научно-методические обоснования для принятия управленческих решений.

ВЫВОДЫ

На сегодняшний день, решение задачи диверсификации производства ОПК из необходимой задачи по выполнению поручений Президента Российской Федерации Владимира Путина переросла в общенациональную задачу по обеспечению технологического суверенитета России.

При всех ограничениях, имеющихся в нашей стране, обеспечить правильную (разумную) диверсификацию можно только путем создания альянса из предприятия, обеспечивающего исследования и разработки новых гражданских продуктов и производственной площадки, которая будет обеспечивать выпуск на своих имеющихся мощностях высокотехнологичную продукцию гражданского и двойного назначения. При этом площадки могут и должны быть разными, а потенциал разработчиков, целесообразно сконцентрировать, ввиду наличия множества междисциплинарных пересечений между технологиями, используемыми в различных видах оборудования. Эффективным механизмом формирования подобного альянса является создание профессионального кластера.

НАПРИМЕР, В РАМКАХ СОЗДАННОЙ В 2020 ГОДУ КОРПОРАЦИИ МОРСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ, ЦЕЛЕСООБРАЗНО ФОРМИРОВАНИЕ НАУЧНО-ИННОВАЦИОННОГО КЛАСТЕРА НА ОСНОВЕ УЖЕ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ, ИМЕЮЩЕЙ НАУЧНЫЕ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ.

Наиболее целесообразным выглядит следующий вариант: ядром и координатором данного кластера сделать АО «ЦНИИ «Курс», который был создан как базовая организация Минсудпрома СССР по координации работ в области корабельного РЭВ, а в настоящее время также выполняет функции Центра управления диверсификацией АО «КМП», и вокруг него сконцентрировать отдельные профильные научные коллективы по направлениям. Очевидно, что в данный кластер войдут АО «АКИН», НИИ «Атолл» и научные подразделения других организаций Корпорации. Для обеспечения эффективного функционирования данного кластера, в него должны также войти и производственные мощности. Например, свои производственные площадки будут предоставлять все предприятия Корпорации. Вовлечение в совместную деятельность должно осуществляться путем заключения «рамочных» договоров, а выполнение конкретных научно-технических задач по отдельному частному техническому заданию (ЧТЗ), а отдельных производственных задач по спецификации. При этом данный центр должен строится как гибкая система и, следовательно, нецелесообразно фактически объединять организации, поскольку это приведет к потере гибкости, крайне необходимой на рынке гражданской продукции, а также, как показывает практика, к ликвидации уникальных научных школ, сформированных на предприятиях. Важно обеспечить консолидацию научного потенциала Корпорации для решения задач обеспечения диверсификации, а именно вывода на рынок новых конкурентоспособных продуктов в области ПГН.

Список литературы

1. *"Перечень поручений по итогам совещания по вопросу диверсификации оборонно-промышленного комплекса" (утв. Президентом РФ 18.12.2018 N Пр-2423)*
2. *А.С. Пинский. Мировой рынок морских интеллектуальных систем.*
3. *Л.В. Стругов. Корпорация морского приборостроения. Первоочередные задачи и направления развития (Морское оборудование и технологии. № 3 (28) 2021).*
4. *К.Ю. Шилов. Морское приборостроение – шаг вперед, (Морское оборудование и технологии. № 3 (28) 2021)*
5. *Приказ Росстата от 15.12.17 № 832 "Об утверждении Методики расчета показателей "Доля продукции высокотехнологичных и наукоемких отраслей в валовом внутреннем продукте" и "Доля продукции высокотехнологичных и наукоемких отраслей в валовом региональном продукте субъекта Российской Федерации"*

Соков А.В.,
Директор Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, член-корреспондент РАН

Римский-Корсаков Н.А.,
Заместитель директора Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, доктор технических наук

Островский А.Г.,
Заведующий Лабораторией Акустики океана, кандидат географических наук

Аннотация. Статья посвящена современным техническим средствам проникновения человека в глубины океана с исследовательскими и технологическими целями, которые создавались и эксплуатировались в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Рассмотрены технические и физиологические аспекты разработок и экспериментов в области водолазных методов подводных исследований, а также технологии океанологических измерений и визуальных наблюдений с использованием подводных аппаратов. Анализируются перспективы развития этих технологий. Отмечены возможные пути развития комплексных технологий и элементной базы океанологических исследований.
Ключевые слова: Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, технологии океанологических измерений, подводные аппараты.

Annotation. The article is devoted to modern technical means of human penetration into the depths of the ocean with research and technological purposes, which were created and operated at the P. P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences. The technical and physiological aspects of developments and experiments in the field of diving methods of underwater research, as well as the technology of oceanological measurements and visual observations using underwater vehicles are considered. The prospects for the development of these technologies are analyzed. Possible ways of development of integrated technologies and element base of oceanological research are noted.
Keywords: P. P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, technologies of oceanological measurements, underwater vehicles.

Авторы: СОКОВ А.В., РИМСКИЙ-КОРСАКОВ Н.А., ОСТРОВСКИЙ А.Г.

ТЕХНОЛОГИИ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ПОДВОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Институт океанологии РАН им. П. П. Ширшова создан 31 января 1946 г. на базе существовавшей с 1941 г. при Отделении геолого-географических наук АН СССР Лаборатории океанологии. В задачи Института входили: исследования теоретических проблем океанологии, комплексное изучение физических, химических, биологических и геологических процессов в морях и океанах в их взаимосвязи и взаимодействии.

В 1949 г. Институт получил в свое распоряжение первое научно-исследовательское судно (НИС) «Витязь III», которое в течение 18 лет было флагманом экспедиционного флота СССР.

Впоследствии научно-исследовательский флот Института пополнился новыми НИС: «Академик Курчатов», «Дмитрий Менделеев», «Академик Мстислав Келдыш», «Профессор Штокман». Позже появился новый НИС «Витязь IV» и суда «Академик Сергей Вавилов» и «Академик Иоффе», оборудованные современной акустической аппаратурой. В настоящее время в составе научного флота ИО РАН находятся шесть НИС, базирующихся в Калининграде, а также два глубоководных обитаемых аппарата (ГОА) «Мир» с глубиной погружения до 6 км.

Сочетание теоретической и экспериментальной базы, а также наличие уникальных экспериментальных установок позволяют Институту успешно решать многие задачи на мировом уровне.

Рис. 1. Здание Гипербарического Центра (1-ая очередь) в Южном Отделении ИО РАН в Голубой бухте (г.Геленджик). Вид со стороны моря.

Современные технические средства проникновения человека в глубины океана с исследовательскими и технологическими целями, которые создавались и эксплуатировались в ИО РАН [41, 42], можно классифицировать следующим образом:

- водолазные средства, позволяющие человеку вести визуальные наблюдения в условиях воздействия на организм внешнего гидростатического давления;
- обитаемые подводные аппараты (ПОА и ГОА) — автономные средства доставки, сохраняющие при этом для человека нормальные условия жизнедеятельности;
- телеуправляемые необитаемые подводные аппараты (ТНПА) — дистанционно управляемые по кабелю связи самодвижущиеся устройства;
- буксируемые необитаемые подводные аппараты (БНПА) — дистанционно управляемые по кабелю устройства, не имеющие собственного движительного комплекса;
- автономные необитаемые аппараты (АНПА) — подводные БПЛА;
- автономные буйковые и донные станции (АБС и АДС) различного назначения — устройства долговременного сбора гидрофизических, гидрохимических, геофизических данных о гидросфере на фиксированных станциях в океане.

Рис. 2. Зал барокамер Гипербарического комплекса в начале 90-х годов.

По всем этим направлениям с середины 60-х гг. в ИО РАН велась интенсивная деятельность по разработке технических средств и внедрению новых технологий в практику океанологических исследований и прикладных работ.

Водолазные технологии наиболее интенсивно развивались в период с 1968 по 1989 г.

С 1968 по 1974 гг. в Южном отделении (ЮО) ИО РАН (Геленджик) проводились комплексные исследования шельфа Черного моря с использованием, созданной в ИО РАН, подводной лаборатории «Черномор» на глубинах от 10 до 31 метра,.

В 1975 г. на территории ЮО ИО РАН в развитие подводных исследований ИО РАН в 1967–1974 гг. был построен гипербарический комплекс ГКК-ДП-350/450 — симулятор водолазных спусков до глубины 450 м (рисунки 1 и 2). Комплекс выведен из строя в 1989 году.

В эти же года на базе судов «Акванавт», «Гидробиолог», а также НИС «Витязь IV» (рисунок 3) осуществлялось проведение различных научно-исследовательских работ в легководолазном и в гелиокислородном водолазном снаряжении на глубинах до 200 метров из режима насыщения.

В конце этого периода в ОКБ ОТ ИО РАН был создан обитаемый аппарат (рисунок 4) с водолазным отсеком (lockout) — «Осмотр» (рабочая глубина 200м), с использованием которого была проведена серия испытательных водолазных и технических рабочих погружений.

В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ РЕГУЛЯРНАЯ ВОДОЛАЗНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В ИО РАН НЕ ВЕДЕТСЯ. ПОМЕЩЕНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ЮО ИО РАН ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕНИРОВОК И УЧЕНИЙ В МОРСКИХ УСЛОВИЯХ ВОДОЛАЗОВ ИЗ СЛУЖБ РАЗЛИЧНЫХ ВЕДОМСТВ.

Рис. 3. Средства водолазных работ и исследований: вверху – НИС «Витязь IV» и водолазный колокол водолазного комплекса ГВК250 с рабочей глубиной до 250 м; внизу – НИС «Гидробиолог» и водолазный колокол ГВК100 с рабочей глубиной до 100м

Рис. 4. Обитаемый подводный аппарат с выходом водолазов в воду (lockout) «Осмотр» перед спуском на воду в Южном отделении ИО РАН на Черном море в Голубой бухте. 2/3 прочного корпуса ОПА занимает водолазный отсек для 3 водолазов для работ на глубине до 200м. Управляют ОПА два пилота.

Подводные обитаемые аппараты. В 1970 г. в Академии наук СССР была сформулирована концепция решающего значения приближения исследователя к объекту изучения в Океане. Особо это относится к работам в глубоком Океане, где принятие решений человеком-исследователем, исходя из важности наблюдаемых объектов и явлений, в условиях новизны, не может быть заменено никакими программируемыми автоматами.

В 1972–1976 годах по техническому заданию и при научном руководстве ИО РАН в Канаде были построены первые три исследовательских аппарата на глубину до 2000 м («Пайсис» — рисунок 5). Один аппарат по требованию США был оставлен в Канаде, а два — получены ИО РАН. Аппараты погружались во всех точках земного шара с борта научно-исследовательских судов ИО РАН «Дмитрий Менделеев», «Академик Курчатов, «Профессор Штокман», «Рифт» и «Академик Мстислав Келдыш». Дважды организовывались работы аппаратов «Пайсис» на озере Байкал. С начала 90-х годов аппараты выведены из эксплуатации. Один аппарат находится в музее Мирового океана в г. Калининград. Второй — в Байкальском музее Иркутского научного центра в поселке Листвянка на Байкале.

Рис. 5. Обитаемый подводный аппарат «Пайсис-XI», Индийский океан, 1980 год.

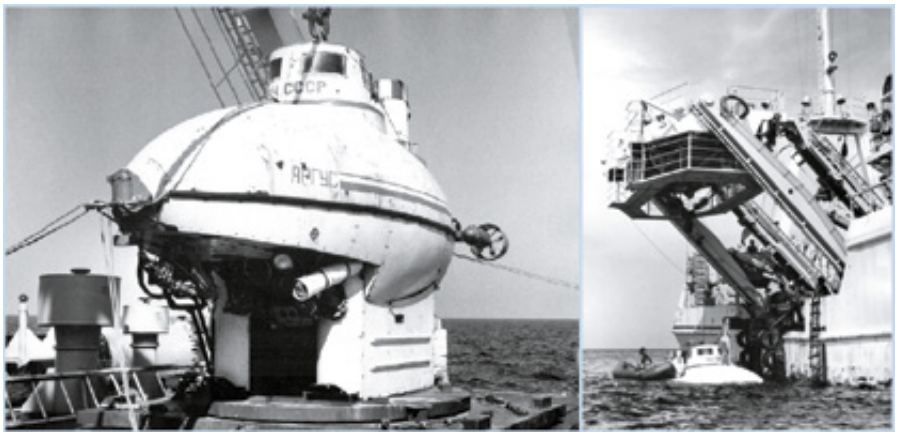


Рис. 6. ОПА «Аргус»: слева - перед погружением над палубой; справа – на плаву перед подъемом на борт НИС «Рифт».

Одновременно с эксплуатацией аппаратов «Пайсис» в ОКБ Океанологической техники (ОКБ ОТ) ИО РАН был разработан, создан и в 1977 году введен в эксплуатацию обитаемый аппарат «Аргус» (рисунок 6) с рабочей глубиной 600 метров, экипаж 3 человека. С 1977 по 1994 год было осуществлено более 500 погружений аппарата «Аргус» в Черном, Красном и Средиземном морях, в Атлантическом океане и Карибском море до максимальных глубин. С 1995 года аппарат не эксплуатируется, законсервирован и находится на хранении в Южном отделении ИО РАН.

В 1982 году ОКБ ОТ был построен, испытан и введен в эксплуатацию подводный обитаемый аппарат «Осмотр» с водолазным отсеком, для выхода водолазов в воду и для последующей декомпрессии, с рабочей глубиной погружения 200 м (рисунок 4).

В конце 80-х годов было принято решение о постройке для ИО РАН отечественного обитаемого подводного аппарата «Рифт» с глубиной погружения 4000 м. Разработка была поручена ОКБ ОТ РАН. Был сделан проект и изготовлены два уникальных прочных титановых корпуса для обитаемого отсека аппарата. Однако в связи со сложившейся трудной финансовой обстановкой проект был заморожен. Уникальные титановые корпуса и несущие рамы находятся в распоряжении ИО РАН и хранятся на территории Института в Москве.

Рис. 7. Глубоководные обитаемые аппараты «Мир-1» и «Мир-2» во время погружения с борта НИС «Академик Мстислав Келдыш»

В 1987 году по техническому заданию и при научном руководстве Академии наук на финской фирме «Раума Репола», были созданы и испытаны в Атлантике на рекордной тогда глубине 6170 и 6120 метров широко известные теперь исследовательские глубоководные обитаемые (ГОА) аппараты «Мир-1» и «Мир-2» (рисунок 7). С использованием этих ГОА в течение более 30 лет были проведены важнейшие исследования по многим направлениям изучения Мирового океана. Сравнение их технических данных с зарубежными аналогами показывает несомненное преимущество ГОА «Мир», обладающих наибольшей энерговооруженностью и высокой скоростью. В 2000 году международными экспертами эти аппараты были признаны лучшими в мире — «аппаратами 21 века». Именно эти аппараты позволили выполнить ответственные работы по обнаружению и предотвращению утечки радиоактивности затонувшей АПЛ «КОМСОМОЛЕЦ» и оперативному обследованию АПРК «КУРСК».

В 2007 году ИО РАН принял участие в организации и проведении высокоширотной глубоководной арктической экспедиции с погружениями ГОА «Мир-1» и «Мир-2» в точке географического Северного полюса. За эту операцию командиры ГОА, А. М. Сагалевич и Е. С. Черняев удостоены звания Герой Российской Федерации.

С 2012 года ГОА «Мир» законсервированы в виду прекращения финансирования исследований с их участием. Аппарат «Мир-1» установлен в специальном зале Музея Мирового океана в Калининграде. Аппарат «Мир-2» находится также в Калининграде в ангаре Атлантического отделения Института океанологии. Специальная инженерная группа ИО РАН ведет круглогодичное регламентное обслуживание и при необходимости ремонт систем обоих ГОА.

Телеуправляемые необитаемые подводные аппараты (ТНПА) — английское название Remote Operated Vehicle (ROV) — имеют под водой плавучесть, близкую к нулевой и собственные движители. Упрощенно ТНПА можно представить в виде следующего набора элементов: телевизионная камера, размещенная в герметичном корпусе, движители для маневрирования и кабель, соединяющий аппарат с поверхностью, по которому передается электроэнергия, видеосигнал и осуществляется механическая связь. [4, 41].

ТНПА МАНЕВРЕННЫ ПО ВСЕМ НАПРАВЛЕНИЯМ, ЧТО ЯВЛЯЕТСЯ ИХ ГЛАВНЫМ ДОСТОИНСТВОМ, А НЕДОСТАТОК СОСТОИТ В ТОМ, ЧТО СВОБОДНОЕ МАНЕВРИРОВАНИЕ ТНПА ВОЗМОЖНО В ОГРАНИЧЕННОЙ ЗОНЕ, ГДЕ ВЛИЯНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ КАБЕЛЯ НА ДВИЖЕНИЕ АППАРАТА МИНИМАЛЬНОЕ.

ТНПА получили в морской практике наибольшее применение для выполнения подводных работ на донных объектах, место которых точно известно. К настоящему времени это наиболее востребованный класс подводных аппаратов при обслуживании подводного оборудования на нефтепромыслах, прокладке и контроле подводных кабелей и продуктопроводов, выполнении прочих инженерных морских работ. ТНПА также широко используются в ВМФ для поисковых и аварийно-спасательных работ, для скрытной долговременной разведки и боевого охранения стоящих кораблей и морских стационарных сооружений, для участия в постановке или в уничтожении донных целей и объектов, и в первую очередь в минировании и разминировании, для осмотра кабельных и трубопроводных трасс с целью контроля их технического состояния, а в ряде случаев для установки или ликвидации подслушивающего оборудования.

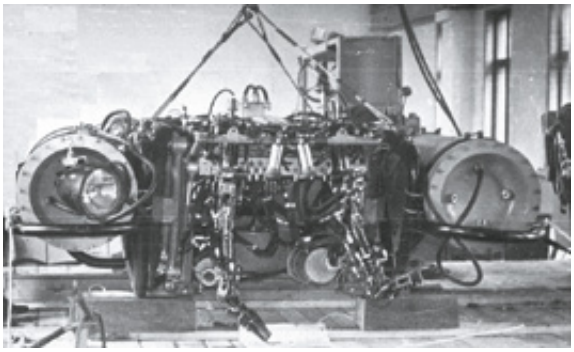


Рис. 8. ТНПА ВМУ, разработанный и построенный по заказу Аварийно-спасательной службы ВМФ (1965 год).

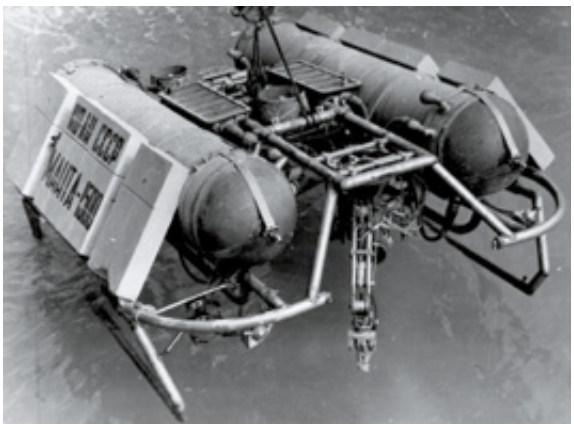


Рис. 9. ТНПА «Манта-1.5», с глубиной погружения 1500 м, разработанный и построенный для научных исследований ИО РАН (1982 год).

В 1990г в США, на разработку военных ТНПА было выделено более 300 миллионов долларов. В 2000 г. это финансирование удвоилось для придания их каждому тральщику и подводной лодке. Общее количество только различных типов ТНПА, разработанных за рубежом превышает тысячу наименований. ТНПА подразделяются на классы: микро массой до 2 кг, мини — от 5 до 30 кг, малые — от 30 до 100кг, средние — от 100 до 1000кг, большие свыше 1000кг.

Один из первых отечественных образцов ТНПА «ВМУ» с глубиной погружения 200м был создан в Лаборатории техники подводных исследований ИО РАН под руководством В. С. Ястребова (впоследствии директора ИОРАН) в конце 60-х — начале 70-х годов в рамках НИОКР Аварийно-спасательной службы ВМФ (рисунок 8).

Упрощенным гражданским аналогом ТНПА «ВМУ» был аппарат «Манта-0.2» созданный в ИО РАН для научных исследований. Параллельно тем же коллективом ИО РАН был создан ТНПА «Краб» с глубиной погружения 2000м не имевший двигателей. Аппараты использовались в ряде экспедиций в Средиземное море на НИС ИО РАН «Сергей Вавилов».

РАЗВИТИЕМ СЕРИИ ТНПА ИО РАН ЯВИЛСЯ ТНПА «МАНТА-1.5» С ГЛУБИНОЙ ПОГРУЖЕНИЯ 1500М, СОЗДАННЫЙ В ЛАБОРАТОРИИ ПРОФЕССОРА В. С. ЯСТРЕБОВА В 1976 ГОДУ (РИСУНОК 9). АППАРАТ ИСПОЛЬЗОВАЛСЯ ДЛЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И МЕТОДИЧЕСКИХ РАБОТ В ЧЕРНОМ, КРАСНОМ И СРЕДИЗЕМНОМ МОРЯХ. СЛЕДУЕТ ОТМЕТИТЬ, ЧТО ТНПА «МАНТА-1,5» УЖЕ В 80-Е ГОДЫ СОЧЕТАЛ В СЕБЕ ВСЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ХАРАКТЕРНЫЕ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ТНПА.

В 90-х годах образцы ТНПА были утрачены.

Новый толчок в развитии технологии создания и эксплуатации ТНПА в ИОРАН (с конца 90-х годов) был связан с потребностью обследования объектов на морском мелководье и во внутренних водоемах в интересах нефте- газо- добывающих и транспортирующих фирм, в интересах МЧС в связи с контролем подводных потенциально опасных объектов, а также для биоэкологических исследований, проводимых ИО РАН на Черном, Балтийском и Белом морях. Одним из основных параметров к востребованным ТНПА являлся малый вес и габариты, позволяющие вести работы с неспециализированных плавсредств вплоть до моторных лодок. Период разработки новых ТНПА совпал с бурным развитием микропроцессорной техники, что во многом позволило удовлетворить упомянутые требования к ТНПА.

На этом этапе в мире преобладала тенденция к минимизации, упрощению конструкции и обеспечению надежности. В результате был создан ряд малогабаритных (весом до 30 кг) и простых ТНПА, представляющих собой дистанционную управляемую подводную телевизионную установку с движителями. Представителями таких ТНПА можно назвать: «Delta-100» фирмы Q-1 Incorporated, «Trio» фирмы Intersub Pyromeca Technologies S. A., линейку ТНПА фирмы SeaEye Marine Ltd, «Mini ROVER-Mk2b» и «Mk3» фирмы Benthos, «SeaOtter» фирмы J. W. Fishers, SEAMOR и др.

Круг возможностей этих аппаратов был ограничен обзорными функциями. В то же время промышленные и научные задачи, в первую очередь нефтедобыча на шельфе, требовали расширения функциональных возможностей — оснащения манипуляторами, гидролокаторами, измерителями параметров среды, пилотажными приборами и системами навигации и т.д.

Такая работа была начата в Лаборатории подводной видеотехники ИО РАН под руководством к.т.н. Б.Я. Розмана. В 2001 году было создано инновационное предприятие, которое получило грант от Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Фонд содействия инновациям). Это помогло реализации нового направления подводной робототехники — разработки и продвижения на рынок сверхлегких и легких подводных аппаратов-роботов под фирменным названием «ГНОМ».

Испытания первых макетов аппаратов определили главные направления их технологического совершенствования. Приходилось изобретать и разрабатывать практически все — от системы цифрового управления электромоторами и передачи видеоизображения и команд управления по единому силовому кабелю до регулирования плавучести и изготовления плавающего кабеля.

С тех пор и по настоящее время в ИО РАН разработан и постоянно совершенствуется класс недорогих ТНПА «ГНОМ», предназначенных для выполнения осмотровых и поисковых работ на шельфе и морском мелководье и во внутренних водоемах на глубинах до 500м [5, 19].

ОДНОЙ ИЗ ПЕРВЫХ ЗНАЧИМЫХ РАБОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭТИХ ТНПА СТАЛО СОТРУДНИЧЕСТВО С МЧС РОССИИ НА БАЙКАЛЕ ВО ВРЕМЯ ПОИСКА И КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ЗАТОНУВШИХ ОБЪЕКТОВ — СУДОВ И АВТОМАШИН, УШЕДШИХ ПОД ЛЕД. ЗАТЕМ ПОСЛЕДОВАЛИ РАБОТЫ С МЧС НА БАЛТИКЕ И НА ЧЕРНОМ МОРЕ.

С 2007 года и по настоящее время ТНПА серии «ГНОМ» являются основным инструментом радиационного контроля подводных объектов в экспедициях ИО РАН в Арктике, в частности захоронений радиоактивных отходов (РАО) в заливах новой Земли и в Новоземельской впадине Карского моря. Используемый для этих исследований ТНПА «ГНОМ Супер» (рисунок 10) оборудован подводным гамма-спектрометром РЭМ-35–2. Технические характеристики и опции ТНПА детально рассмотрены в источнике [5].

Рис. 10. Телеуправляемый необитаемый подводный аппарат (ТНПА) осмотрового класса «ГНОМ Супер» с гамма-спектрометром РЭМ-35-2 (показан желтой стрелкой) на палубе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в экспедиции по контролю состояния объектов захоронений радиоактивных отходов в Карском море.

Для надежного обнаружения нарушений защитных барьеров (оболочек) РАО, отделяющих радиоактивные вещества от окружающей среды, необходимо целенаправленное использование спектрометрического метода в процессе визуального контакта с исследуемом объектом [1]. В 2004 году для доставки гамма-спектрометров к подводным объектам было предложено использовать отечественный ТНПА «ГНОМ» [28]. На рисунке 10 представлен ТНПА «ГНОМ Супер» с подводным гамма-спектрометром РЭМ-35–2, который выполнен на основе монокристалла BGO 75x75 мм с низкофоновым ФЭУ типа R6233–01. Гамма-спектрометр разработан в НИЦ «Курчатовский институт» [12, 13].

В процессе измерения радиоактивности объектов с помощью РЭМ-35–2, установленном на ТНПА, регистрируемые спектры в режиме реального времени отображаются на дисплее ПЭВМ, что позволяет корректировать перемещение ТНПА в зависимости от наличия и интенсивности техногенных гамма-излучателей в морской среде [7,15]. В процессе работы оператор ТНПА может наблюдать подводный ландшафт и объекты измерений, визуально идентифицировать и регистрировать видеоизображения объектов или их элементов, являющихся источниками радиоактивного излучения.

Пример представления информации, получаемой с помощью комплекса «ГНОМ-РЭМ» в реальном времени приведен на рисунке 11.

Технология радиационных измерений с помощью ТНПА с гамма-спектрометром рассмотрена в литературе [11 и 44] на примере исследования реакторного отсека (РО) АПЛ К-19 (рисунок 18), затопленного в окрестностях залива Абросимова на Новой Земле.

В ТНПА серии «ГНОМ» использованы последние достижения микрокомпьютерной и телекоммуникационной техники, современные материалы и датчики, что позволило при меньших массогабаритных параметрах достичь тактико-технических характеристик не уступающих, а по ряду параметров и превосходящих известные зарубежные аппараты данного класса. Производство линейки ТНПА «ГНОМ» (см. рисунок 12) налажено инновационным предприятием «Подводная робототехника» [5].

ТНПА серии «Гном» успешно эксплуатируются в экспедициях ИО РАН при проведении широкого спектра научных исследований, требующих визуальных наблюдений подводных объектов и целенаправленного отбора образцов. С помощью ТНПА «ГНОМ» выполнены многочисленные исследования и подводно-технические работы в интересах МЧС России, МО РФ, Росатома, компаний нефтегазового комплекса в Арктических морях России, на Байкале, Балтийском, Белом и Черном морях, а также во внутренних водоемах [3]. Более сотни комплексов ТНПА «Гном» разных модификаций приобретены и широко используется государственными организациями и частными компаниями в России и за рубежом.

Гибкость микрокомпьютерной архитектуры ТНПА и системы телекоммуникации ТНПА серии «Гном», позволяет использовать их, в условиях доступности современной элементной базы, как основу для создания в короткие сроки ТНПА любого класса. Постоянно и успешно осуществляется перевод конструкции аппаратов на отечественную элементную базу.

Рису. 11. Процесс исследования ППОО с борта судового катера с помощью гамма-спектрометра, установленного на ТНПА «ГНОМ Супер»: на заднем плане – оператор ТНПА и дисплей подводного телевидения; на переднем плане – оператор гамма-спектрометра и дисплей с изображением онлайн спектра.

В 2022 году разработана конструкция, изготовлен действующий образец и проведены натурные испытания глубоководного ТНПА с удаленным сетевым управлением, предназначенного для работы на глубине до 3000м с борта подводного носителя, оборудованного промежуточным звеном — гаражом с подводной лебедкой. Радиус действия ТНПА 200м. На рисунке 13 представлен ТНПА в момент испытаний совместно с «гаражем». Аппарат оснащен 2 видео камерами высокого разрешения, 6 светодиодными осветителями, 6 движителями, схватом-манипулятором, гидролокатором секторного обзора, автопилотом и гидроакустической навигационной системой. Масса аппарата 42 кг.

Буксируемые необитаемые подводные аппараты (БНПА) перемещаются в толще воды за счет движения обеспечивающего судна (буксировщика), т.е. такие подводные аппараты не содержат в своем составе средств движения — они инертны.

Эти аппараты буксируются судном на грузонесущем кабель-тросе, по которому осуществляется их управление, а так же энергопитание. БНПА имеют, основное применение на первом, самом длительном и дорогом этапе подводно-технических работ — в поисковых и инженерных работах с помощью гидролокационных, визуальных (телевизионная и маршрутная фото съемка), а также магнитометрических средств на маршрутах и на площадях практически на любых глубинах.

Рис. 12. Современные ТНПА серии «ГНОМ» [5, 19].

Толчок к бурному развитию в ИО РАН технологий комплексного обследования дна океана с помощью БНПА был дан в 1978 году контрактом между ИО РАН (головной исполнитель) и Главным управлением навигации и океанографии МО на создание глубоководного буксируемого комплекса для Гидрографической службы ВМФ.

Созданный комплекс БНПА был оборудован ГБО, акустическим профилографом, стерео-фотосистемой, телевизионной сверхчувствительной камерой, протонным магнитометром, пилотажными датчиками, гидроакустической системой навигации, автоматизированной системой сбора и обработки получаемой информации на базе современной по тому времени ЭВМ СМ1420.

В выполнении НИОКР принимало участие более 20 соисполнителей из разных регионов страны. В конце 90-х годов комплекс был утрачен, судно сдано в металлолом.

В период работы над БНПА для ВМФ в ИО РАН был создан целый ряд БНПА серии «Звук» до глубин 4000–6000м, оборудованных ГБО, видеосистемами и др. устройствами. Практически вся эта техника утрачена в 90-х годах.

В 2000-х годах направление БНПА в ИО РАН сохранилось благодаря востребованностью проведения исследований поверхности дна внутренних водоемов в интересах нефте- газо- транспортных предприятий, проведения инструментального контроля морских захоронений химического оружия, взрывчатых веществ и радиоактивных отходов в территориальном море Российский Федерации в интересах МЧС, а также исследований мобильности осадочных форм рельефа в водотоках крупных рек, в том числе литологических исследований в низовьях Волги финансируемых РФФИ.

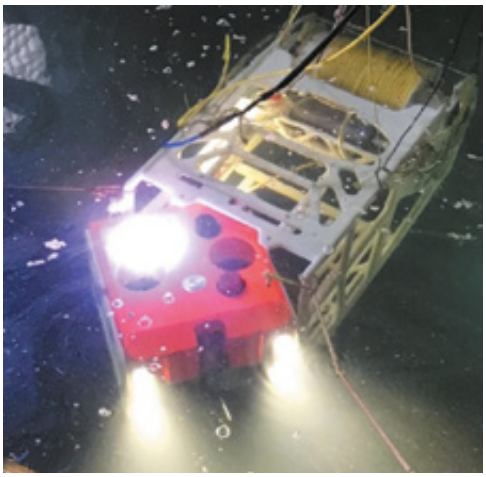


Рис. 13. Выход ТНПА из «гаража» в процессе испытаний.

Рис. 14. Буксируемый глубоководный носитель ГБО «Мезоскан-М»/«Мезоскан-Т» с рабочей частотой 85 кГц:
1 – прочный корпус (труба) бортового электронного блока;
2 – антенна ГБО;
3 – груз-утяжелитель;
4 – узел подвески;
5 – стабилизатор;
6 –кабель-трос;
7 – герметичный ввод.

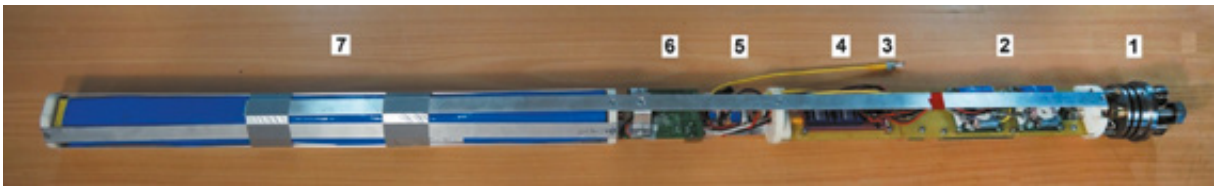


Рис. 15. Подводный электронный блок ГБО «Мезоскан-Т»:
1 – крышка прочного корпуса (консоль БЭБ) с герметичными разъемами антенн и вводом оптоволокна;
2 – усилители мощности левого и правого каналов ГБО;
3 – вывод оптической жилы;
4 и 5 – вторичные источники питания;
6 – оптоволоконный модем;
7 – литий-ионная батарея емкостью 60 Ач напряжением 12В.

Рис. 17. БНПА «Видеомодуль» во время спуска под воду с борта НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Карском море в июле 2019 года: слева в корме БНПА – цилиндрические прочные корпуса для электронных блоков и источников электропитания, красный корпус – фотокамера высокого разрешения; справа вверху – перспективная видеокамера, справа внизу обзорная аналоговая и цифровая HD камера.

Рис. 16. Шельфовый ГБО с рабочей частотой 240 кГц

Таблица 1. Основные технические характеристики БНПА «Видеомодуль»

Характеристика	Значение
Масса, кг	550
Габариты, м	2.1 x 1.0 x 0.7
Максимальная рабочая глубина, м	6000
Тип буксирной линии	Кабель-трос КГ1х3Е-70-60-3
Информационный канал связи	Оптическое волокно (3 шт)
Энергосистема	Бортовой аккумулятор 200 Ачас
Телекамера 1	Цв. цифровая IP HD BeWard BD3270Z
Телекамера 2 и 3	Цв. аналоговая Pal EC-007A
Источник заливающего света (ИЗС)	Светодиодная матрица Epistar XY-J45
Электрическая мощность ИЗС, Вт	180 = (30х6шт)
Фотосистема	На базе SONY ILCE 7RM2
Импульсный светильник	Godox AD200 (200 Вт)
Гидролокатор «ГБО-ВМ» (ИО РАН)	240 кГц
Датчик давления глубомера	MLH 08KPSB01A Honeywell
Альтиметр (эхолот)	На базе Mark-4 Lawrence Inc.
Система лазерного масштабирования	M65051 US-Lasers

В ИО РАН разработкой технологий океанологических исследований с использованием БНПА и буксируемых гидролокационных средств занимается созданная в 1988 году Лаборатория гидролокации дна (ЛГД) — заведующий д.т.н. Н.А. Римский-Корсаков. В Лаборатории создана линейка ГБО с рабочими частотами в диапазоне от 70 до 500 кГц. Разработки Лаборатории в этой области включают конструкции подводных носителей и гидроакустических антенн, приемо-передающих цифровых модулей и формирователей зондирующих сигналов, в том числе использующих частотную модуляцию несущей. Разработана технология передачи широкополосных информационных сигналов, в том числе телевизионных и гидроакустических с борта подводных носителей на борт обеспечивающего судна, а также команд управления в обратном направлении по многокилометровой оптоволоконной линии связи. Разработаны малогабаритные энергоемкие устройства автономного электропитания бортовой аппаратуры подводных носителей на основе литий-ионных элементов. Создана программная база систем сбора, обработки и представления гидролокационной, видео и навигационной информации, а также систем дистанционного управления работой буксируемых приборов и БНПА разного типа [26, 34, 35, 36, 43, 20, 37, 18, 38].

Для решения фундаментальных и прикладных задач исследования природы Мирового океана и подводных объектов в ЛГД созданы и постоянно эксплуатируются в экспедициях глубоководные ГБО «Мезоскан-М», «Мезоскан-Т» (рисунок 14 и 15), шельфовый ГБО «Микросаунд» (рисунок 16), глубоководный — «ГБО-ВМ», функционирующий в составе БНПА «Видеомодуль» (рисунок 17) [29, 31, 33, 32].

Отдельно следует отметить БНПА «Видеомодуль» (рисунок 17), созданный в связи с актуальностью исследований морских животных и растений, населяющих арктические и глубоководные районы Мирового океана, а также исследований подводных техногенных объектов и региональной экологии районов массовых захоронений радиоактивных отходов в Карском море. БНПА являются эффективным средством визуальных глубоководных наблюдений, в процессе маршрутных, в том числе поисковых и многоцелевых съемок. В этой связи в ИОРАН был разработан БНПА «Видеомодуль», который с 2015 года, постоянно эксплуатируется в океанских, в том числе Арктических экспедициях Института (рисунок 17).

Аппарат представляет собой пространственную раму из нержавеющей стали, внутри которой на кронштейнах закреплены акустические антенны, навигационные и измерительные сенсоры, а также прочные корпуса с электронным оборудованием, элементами питания, фото- и видеокамерами, импульсные и заливающие источники света. Опционально могут быть установлены и подключены в информационную сеть дополнительные приборы, такие как, гидрофизический зонд SBE, подводный гамма-спектрометр РЭМ-26, маяк-ответчик ГАНС и т.п. Корпуса соединены между собой подводными кабелями с герметичными электрическими разъемами. Рама имеет узел регулируемой подвески БНПА к кабель-тросу и 12 грузов для его устойчивого заглубления и балансировки по дифференту. Фотография аппарата приведена на рис. 17, основные технические характеристики — в таблице 1. Конструкция и техническое описание аппарата даны в работах [3, 30, 16, 47, 29, 31].

Для изучения макробентоса методом маршрутной фотосъемки БНПА «Видеомодуль» оснащен фотосистемой [31] на базе фотокамеры высокого разрешения SONY ILCE7RM2, позволяющей получать изображения разрешением 7952 на 5304 пикселя, а также импульсным осветителем на основе источника освещения Godox AD200 мощностью 200 Вт. Источник света закрыт прочным стеклоколпаком, имеющим внешний параболический рефлектор с зеркальным покрытием для формирования направленного освещения места съемки. Электронный и программный интерфейс камеры совмещен с интерфейсом системы телеуправления БНПА, что позволяет дистанционно управлять параметрами фотосъемки (светочувствительностью, значениями диафрагмы и выдержки) и ее режимом: задавать временной интервал между отдельными снимками, либо производить съемку вручную в требуемый момент времени. Фото изображения передаются по волоконно-оптической линии связи и автоматически загружаются на жесткий диск судовой ЭВМ комплекса БНПА.

Технология комплексного применения БНПА «Видеомодуль» рассмотрена в литературе [39] на примере поиска и идентификации реакторного отсека (РО) АПЛ К-19 в Карском море, представляющего собой ядерный радиационно опасный объект (ЯРОО). На первом этапе было выполнено синхронное исследование РО с помощью высокоразрешающего гидролокатора «ГБО-ВМ» и HD-видеосистемы, установленных на БНПА [16, 47]. В результате были получены гидролокационные (рис. 18-а) и видео (рис. 18-б) изображения объекта, которые позволили однозначно определить объект, как отсек АПЛ.

Следующей стадией подводной операции была идентификация объекта, методом целенаправленных видео наблюдений и синхронными измерениями радиоактивности. Работы выполнялись с судового катера ТНПА «ГНОМ Супер», с гамма-спектрометром «РЭМ-35–2», [1, 2, 27]. Таким образом, было установлено, что объект № 35 есть РО АПЛ К-19 с невыгруженным ОЯТ.

По той же технологии в 2020 году в 81 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» был обследован понтон с экранной сборкой и частью отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) атомного ледокола (ЭС АЛ) «Ленин», представляющий собой мощный потенциально опасный источник радиоактивного загрязнения окружающей среды. Полученные гидролокационные изображения (рисунок 19), а также видеоматериалы (рисунок 19–1) позволили сделать вывод об общей целости конструкции понтона и кессона, внутри которых размещена РС.

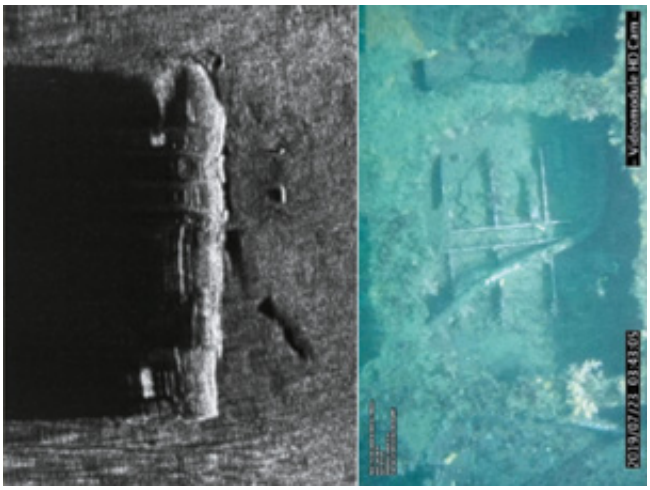


Рис. 18. Реакторный отсек АПЛ К-19. На рисунке: а – гидролокационное изображение РО АПЛ, полученное с помощью ГБО-ВМ БНПА «Видеомодуль», б – кадр видеоизображения фрагмента палубы РО АПЛ в месте разрушения легкого корпуса.

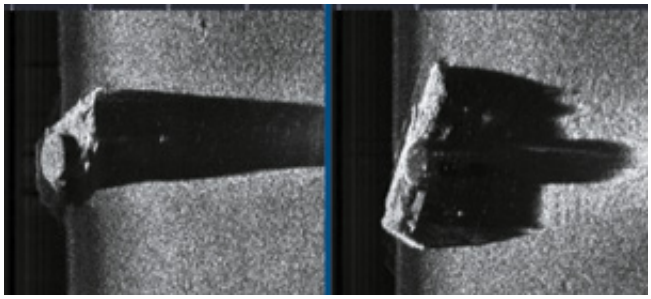


Рис. 19. Исследование понтона с экранной сборкой ядерного реактора атомного ледокола (ЭС ЯР АЛ) «Ленин», затопленной на Новой Земле в заливе Цивольки. На рисунке справа и слева (соответственно вид со стороны левого борта и вид со стороны кормы) гидролокационные изображения понтона с ЭС ЯР АЛ «Ленин», полученные с помощью гидролокатора ГБО-ВМ БНПА «Видеомодуль».

Рис. 19-1. Стоп-кадр видеосъемки крышки центрального люка понтона над контейнером с отработавшим ядерным топливом и экранной сборкой ЯР АЛ «Ленин», выполненной с помощью HD камеры БНПА «Видеомодуль».

ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТА С ПОМОЩЬЮ ТНПА «РОВБИЛДР» (РОССИЯ) С ГАММА-СПЕКТРОМЕТРОМ РЭМ-26 ПОКАЗАЛИ, ЧТО РАДИАЦИОННОЕ СОСТОЯНИЕ ОБЪЕКТА, ПО СРАВНЕНИЮ С ПОСЛЕДНИМ ОБСЛЕДОВАНИЕМ В 2015 ГОДУ, НЕ ИЗМЕНИЛОСЬ. ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫЕ ГАММА-СПЕКТРЫ СВИДЕТЕЛЬСТВУЮТ О ЦЕЛОСТНОСТИ ЗАЩИТНЫХ РАДИАЦИОННЫХ БАРЬЕРОВ.

Рассмотренные операции по обследованию ЯРОО в Карском море относятся к мелководным. Наибольшая же (по массе) часть захоронений радиоактивных отходов сделана в Новоземельской впадине на глубинах 300–400 м. Наиболее опасным объектом является аварийный ядерный реактор (ЯР) левого борта АПЛ К-140 (заказ № 421) с не выгруженным отработавшим ядерным топливом. «Белая книга-2000» [44] указывает на то, что реактор помещен в свинцовую оболочку и затоплен вместе с баржей типа МБСН.

В экспедиции 85 рейса «Академик Мстислав Келдыш» [40], в результате исследований почти 200 квадратных километров поверхности дна в течение восьми суток непрерывной съемки с помощью гидролокатора бокового обзора (ГБО) «Мезоскан-Т» [29], был наконец обнаружен новый объект, однозначно идентифицированный как затонувшее или затопленное судно.

Детальные исследования были продолжены с помощью БНПА «Видеомодуль» [29]. Полученные гидролокационные (рисунок 20-а) и видеоизображения (рисунок 20-б) палубы, люков, бортов и надстройки судна, сопоставленные с имеющейся информацией о габаритах и типе судна, а также типе захороненного ЯР, позволили с полной уверенностью утверждать, что экспедиция обнаружила баржу МБСН с ЯР АПЛ К-140.

Автономные необитаемые подводные станции и аппараты (АНПА) предназначены для мониторинга водной толщи в ключевых географических точках в акваториях морей и океанов. В задачи мониторинга входят регулярные и частые (не реже 1 раза в сутки) зондирования водной толщи с целью получения данных о состоянии морской среды, накопление длинных временных рядов и передача собранных данных потребителю по каналам спутниковой или мобильной телефонной связи. Для проведения измерений АНПА оснащаются океанологическими датчиками, позволяющими измерять давление, температуру и электропроводность воды, скорость течения, рассеяние звука, содержание растворенного кислорода, взмученность, флуоресценцию хлорофилла-а и другие характеристики морской среды. Важно, что с помощью таких АНПА измерения выполняются одним набором датчиков во всем зондируемом столбе воды с вертикальным разрешением порядка 0.1 м. Для изучения морских экосистем и их реакции на внешние, в том числе на климатические воздействия, зондирования выполняются с интервалом от 1 до 6 часов в течение длительных периодов времени, как правило, от 1 до 6 месяцев.

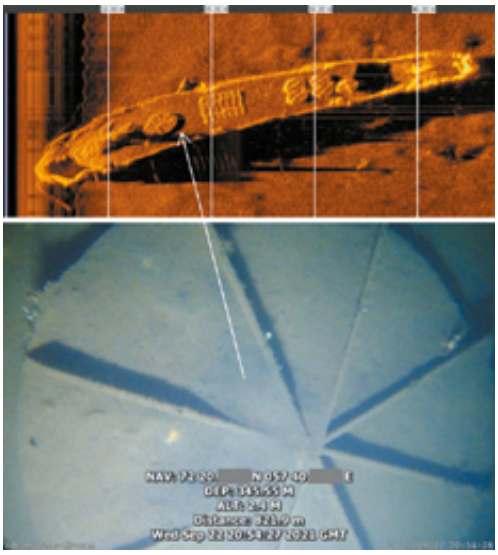


Рис. 20. Затопленное судно, обнаруженное на полигоне «Впадина-Юг» в Новоземельской Впадине в Карском море: а) гидролокационное изображение, полученное с помощью гидролокатора бокового обзора ГБО-ВМ (ВЧ ЧМ) БНПА «Видеомодуль»; б) круглая крышка люка трюма с ребрами жесткости - стоп-кадр видеозаписи, сделанной с помощью БНПА «Видеомодуль» при проходе над палубой обнаруженного судна

На протяжении почти 20 лет в ИОРАН разрабатываются АНПА различного типа, как свободно плавающие за счет изменения собственной плавучести, так и перемещающиеся за счет работы электромеханических приводов.

В рамках этих работ создаются микропроцессорно-контролируемые устройства элементной базы АНПА: электроприводы, в том числе оснащенные магнитными муфтами; подводные лебедки; гидравлические балластные системы переменного объема. Разрабатываются и внедряются коррозионностойкие прочные корпуса из современных конструкционных пластиков и аккумуляторные сборки повышенной емкости на основе стандартных литий-йонных источников тока. Создаются унифицированные средства навигации и связи для передачи данных, и единая аппаратно-программная платформа управления со встроенной энергонезависимой памятью для накопления собранных данных. Последние разработки обеспечивают переход к новым для отечественной подводной океанологической техники системам управления и позиционирования и связи. Создается общая библиотека алгоритмов и программ, легко адаптируемых в соответствии с особенностями АНПА каждого типа. Данные АНПА поступают по каналам спутниковой/мобильной связи и доступны на серевере для авторизованных пользователей. Пользователь сервера имеет возможность дистанционно вносить изменения в план миссии АНПА.

ОПЫТНЫЕ ОБРАЗЦЫ АНПА ИО РАН ПРОХОДЯТ ИСПЫТАНИЯ НА БАЗЕ ЮЖНОГО ОТДЕЛЕНИЯ ИО РАН (Г. ГЕЛЕНДЖИК) В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ, ГДЕ ЕСТЬ ДОСТАТОЧНО ШИРОКИЙ ШЕЛЬФ ГЛУБИНОЙ ДО 100 М, КРУТОЙ КОНТИНЕНТАЛЬНЫЙ СКЛОН И ОТНОСИТЕЛЬНО РОВНАЯ ГЛУБОКОВОДНАЯ ЧАСТЬ (ДО 1100 М) В ОТКРЫТОМ МОРЕ [14].

В 2006–2008 гг. в ИО РАН был разработан глубоководный зонд-профилограф АНПА Аквазонд, предназначенного для автоматизированного профилирования водной толщи на заякоренной буйковой станции [21]. Наработки по изделию Аквазонд, легли в основу создания заякоренного мобильного профилирующего аппарата Аквалог [22, 23, 54, 48] (рисунок 21).

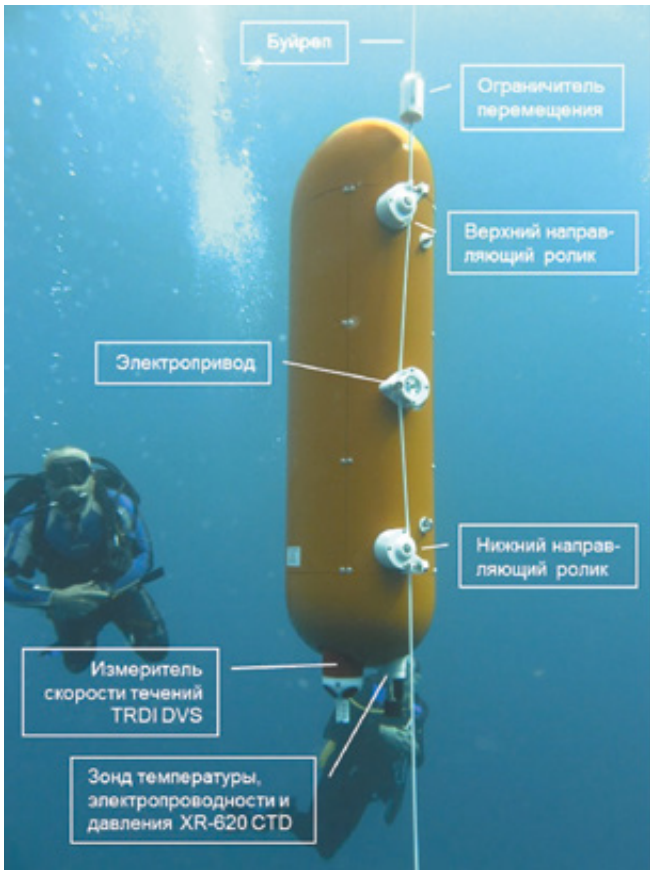


Рис. 21. Профилограф Аквалог в Красном море, 2011 г. [23].

Аппарат Аквалог предназначен для долговременной до 1 года автономной работы,— регулярному циклированию с заданной скоростью по буйрепу буйковой станции в рабочем диапазоне глубин 5–1000 м между подповерхностной плавучестью и донным якорем (рисунок 22). При работе аппарат поддерживает стабильную ориентацию относительно направления течения [8].

Основные части аппарата конструктивно объединены на раме, служащей также для установки удобообтекаемого кожуха (рисунок 23). Ядром конструкции служит специальный экономичный электропривод. Аппарат снабжен микропроцессорным модулем управления движением в прочном аппаратурном корпусе.

Важнейшей задачей, которая решалась в процессе разработки АНПА «Аквалог», стал поиск таких конструкторских решений, которые обеспечивают минимизацию энергопотребления аппарата с целью увеличения ресурса его автономной работы. Эта цель достигается благодаря следующим особенностям конструкции: минимизации плавучести носителя; повешению КПД электропривода; обтекаемость формы; использованию магнитных трансмиссионных муфт; улучшению сцепления с ходовым тросом.

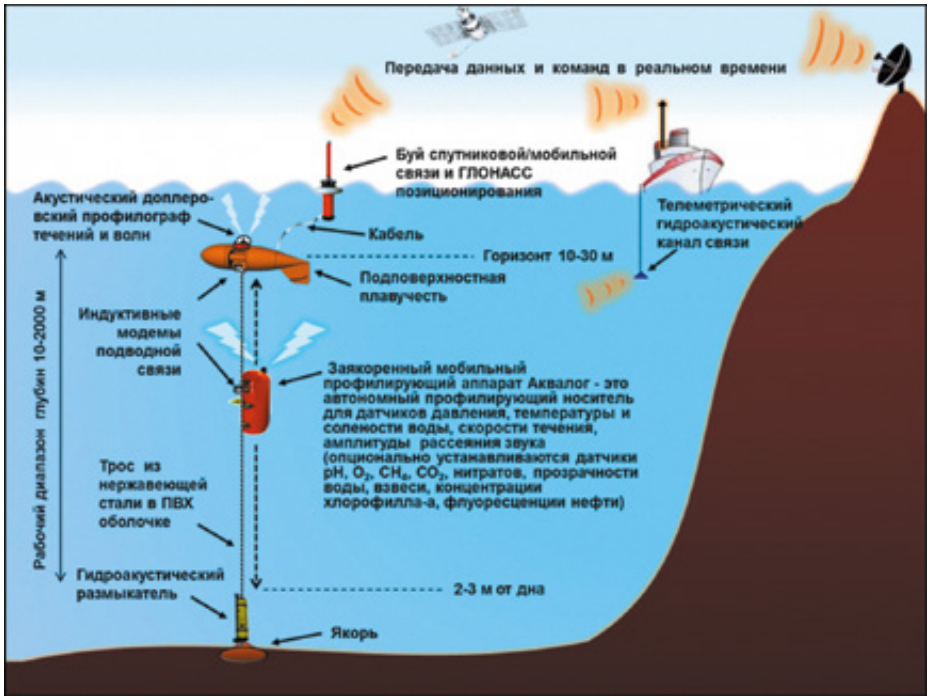


Рис. 22. Схема притопленной буйковой станции, с профилографом Аквалог [23].

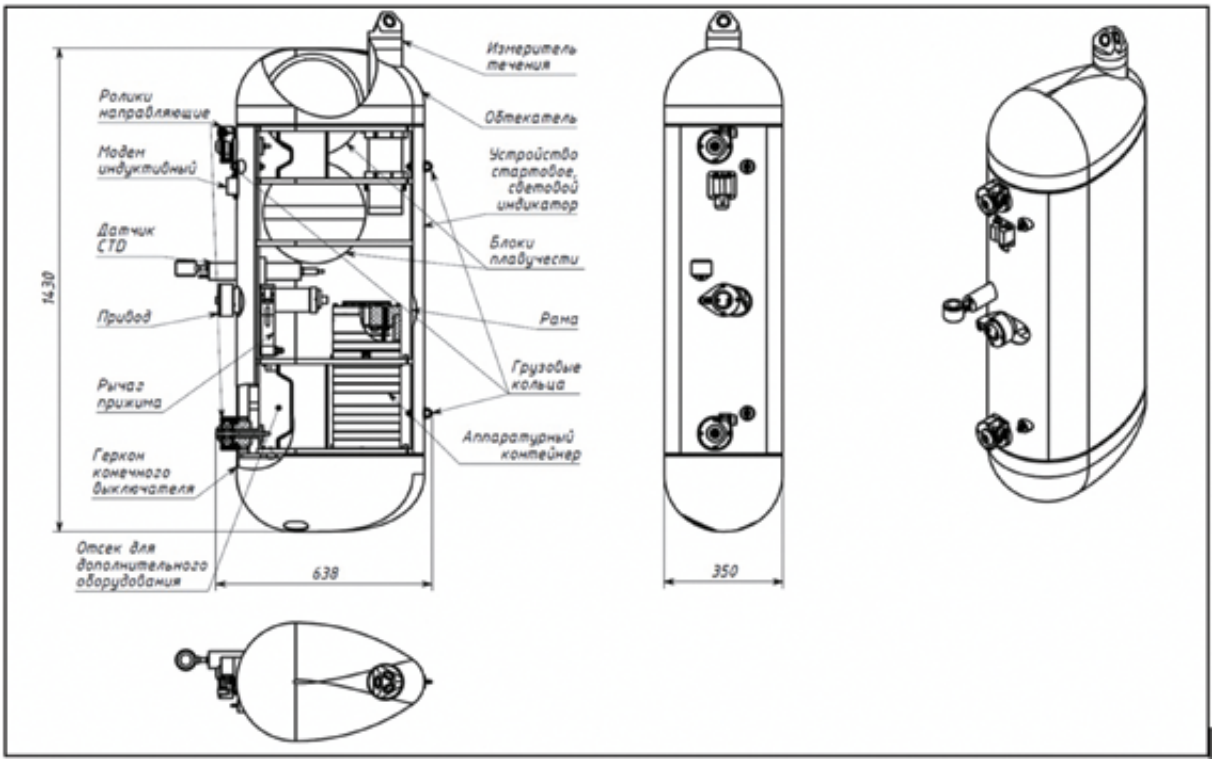


Рис. 23. Чертеж общего вида зонда-профилографа «Аквалог» с навесным оборудованием: измерителем течений и зондом электроводности, температуры и давления воды (обозначен как «Датчик CTD»).Центральный микроконтроллер по заданной программе управляет электроприводом, используя датчик давления, а также контролируя состояние электронной аппаратуры.

В ходе работ на Черном море было доказано, что при использовании комплекта литиевых первичных источников тока общая протяженность хода Аквалога за одну постановку достигает 720 км. Как правило, в условиях умеренных течений (до 0.5 м/с), когда длина пути на один цикл профилирования составляет 1 км, емкости блока литиевых (Li/SOCl2) батарей хватает на выполнение 2 циклов профилирования ежедневно в течение 6 месяцев. Типичное значение удельного расхода энергии на 1 км профилирования состаяляет 3.22 Вт час. Для сравнения электромобиль Tesla-3 затрачивает 147 Вт·час/км, а электрический скутер Levy около 8.2 Вт·час/км. В целях экономии и уменьшения загрязнения природной среды для аппарата Аквалог были разработаны и успешно внедрены сборки вторичных литий-йонных источников тока типоразмера 21700 (аккумуляторных батареек) большой емкости (рисунок 24).

В первых версиях аппарата Аквалог батарея электропитания и электронный модуль управления располагались в общем прочном контейнере. В новой версии Аквалога электронный модуль управления и батарея электропитания помещены в отдельные прочные корпуса (рисунок 25), соединенные кабелем, что повышает надежность аппарата и упрощает обслуживание аккумуляторной батареи.

Аппарат Аквалог представляет собой платформу для проведения измерений таких параметров, как соленость и температура воды, а также скорость течения. На аппарате предусмотрено крепление различных современных измерителей в зависимости от условий мониторинга и поставленной задачи. Профилограф Аквалог может комплектоваться акустическими доплеровскими измерителями течений Doppler Volume Sampler (RDI Teledyne, США) или Aquadopp (Nortek, Норвегия). На аппарате также интегрированы СТД зонды XR620 и CTDConcerto (RBR, Канада), SBE19plus, SBE49, SBE52-MP (Sea Bird Electronics, США), Citadel (RDI Teledyne, США), CTD48M (Sea and Sun, Германия). Причем зонды СТД могут доукомплектовываться оптическими датчиками кислорода, флуоресценции и мутности компаний SeaBird, Wet Labs или Sea Point (США). По требованию исследователей Аквалог комплектуется измерителем обратного акустического рассеяния AQUAScat 1000 (Aquatech, Великобритания) и другими датчиками.

Рис. 24. Аккумуляторная батарея аппарата Аквалог.

Рис. 25. Зонд-профилограф Аквалог образца 2019 г.: 1 – прочный герметичный корпус электронного модуля управления аппаратом, 2 – прочный герметичный корпус батареи электропитания

Профилограф оснащается буем с индуктивным модемом или гидроакустическим модемом, техническими средствами мобильной (GSM/GPRS) и спутниковой связи (ARGOS, Iridium, «ГОНЕЦ»), а также устройствами УКВ радиосвязи. Таким образом профилограф Аквалог, позволяет проводить мониторинг среды в режиме реального времени.

С 2010 г. зонд-профилограф Аквалог используется для научных исследований в Балтийском, Карском, Красном, Мертвом, Средиземном, и Черном морях [23, 53, 9, 10, 24, 49, 14, 55, 62, 60]. На рис. 6 представлена информация о научных исследованиях, которые проводились с помощью профилографа Аквалог в морях, омывающих Европейский континент (рисунок 26).

Рис. 26. Научные исследования, которые проводились с помощью профилографа Аквалог в морях, омывающих Европейский континент.

Рис. 27. Аппарат Аквалог покрытый коркой соли после 2-х недельной постановки в Мертвом море

Натурные исследования проводились в различных климатических условиях, например в Японском море в акватории частично покрытой льдом в зимних условиях в феврале 2010 г., когда температура воды опускалась ниже –1 °С [50]. Важнейшими с точки зрения проверки живучести зонда-профилографа стали экспериментальные работы в Мертвом море при высочайшей солености воды 300–400 единиц практической солености в 2012–2013 гг., которые продемонстрировали лучшие качества прибора по коррозионностойкости (рисунок 27). Также аппарат продемонстрировал надежность при работе под водой в прибрежной акватории глубиной до 40 м в Восточно-Китайском море в условиях сильнейшего атмосферного воздействия при прохождении тайфунов в 2016–2020 гг. [61]. По данным многолетних измерений растворенного кислорода с помощью аппарат Аквалог было по существу опровергнуто заключение европейских коллег о том, что в Черном море запас кислорода убывал в течение последних 15 лет [56, 51]. Также было экспериментально установлено, что колебания глубины залегания звукорассеивающих слоев мезозоопланктона строго «отбиваются» по положению изоксиген (изолиний равных значений растворенного кислорода) [57].

В 2015 г. была проведена долговременная постановка в зоне Приморского течения в Японском море, по результатам обработки данных которой была написана серия статей [9,10], [17, 45, 46, 58].

В ИОРАН разработан автоматический подледный зонд-профилограф, представляющий собой автономную гидрометеорологическую обсерваторию, базирующуюся на дрейфующем или припайном льду (рисунок 28). В состав станции входят:

- подводный носитель с СТД-зондом и акустическим доплеровским профилографом течений, перемещающийся вверх-вниз по тросу с грузом на конце и передачей данных с носителя, на плавучий ледовый модуль с помощью индуктивной врезки в ходовой трос.
- метеостанцию с датчиками температуры воздуха и атмосферного давления, оснащенную системой спутниковой связи Гонец-М или Iridium и навигации GPS/ГЛОНАСС на плавучем буе-держателе, размещенном на льду.

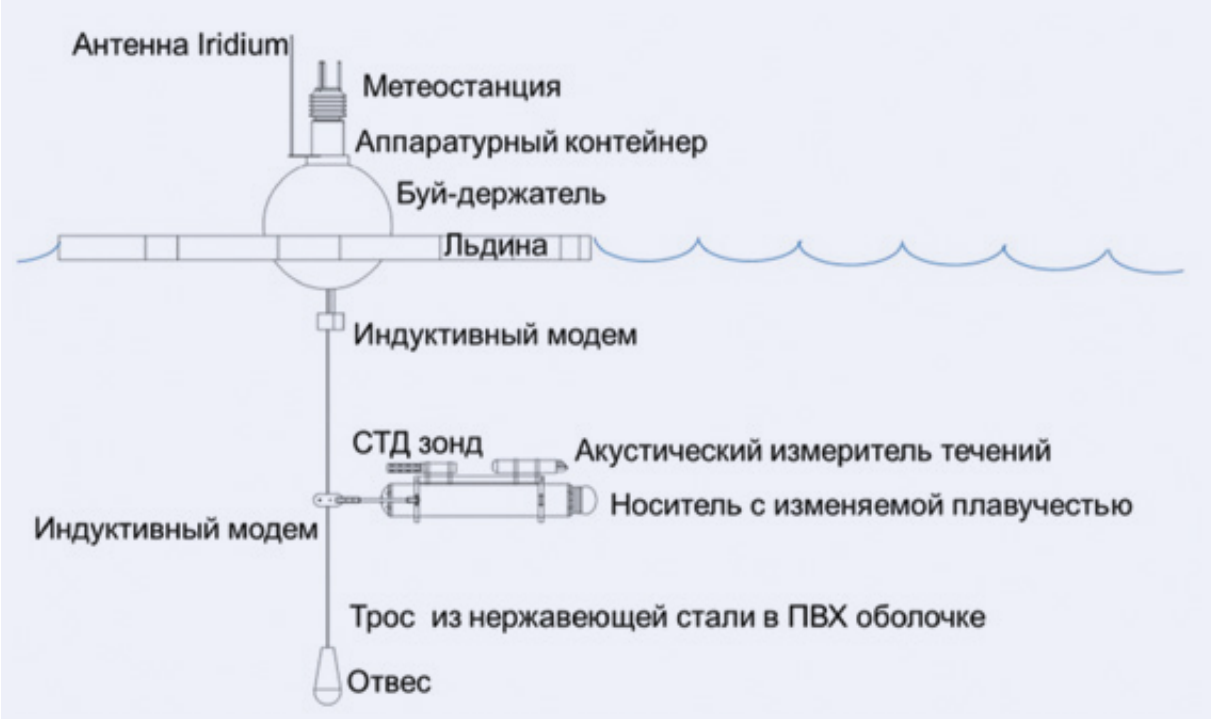


Рис. 28. Схема автономной гидрометеорологической ледовой обсерватории для наблюдений за ледяным покровом, приводным слоем воздуха и деятельным слоем океана в акваториях покрытых льдом

К настоящему времени для обсерватории разработан опытный образец АНПА [25] (рисунок 29). Этот образец, оснащенный измерительными датчиками и системой передачи данных, должен автоматически передвигаться вверх-вниз по тросу, который вывешен с грузом с плавучего буя-держателя на льду.

В дополнение к тем функциям, которые имеют зарубежные аппараты аналогичного назначения Cyclesonde [64] и ITP [52], новый подледный профилирующий аппарат должен: а) обеспечивать измерения глубины осадки льда, б) обеспечивать измерения вертикального профиля скорости течения с условием минимизации измерительного щума из-за вибрации троса. Аппарат должен иметь ресурс батарей для автономной работы по продолжительности, сопоставимой с зондирующей системой ITP, т.е. до 1 года. Причем, рабочая глубина зонда должна быть не менее 800 м. Для нового аппарата с переменной плавучестью была выбрана горизонтальная схема подвеса, аналогичная той, что была применена в Cyclesonde. Причем подвес носителя сконструирован так, что при движении нет постоянного контакта деталей аппарата с тросом, т.е. трос проходит свободно через каретку на раме подвеса и, следовательно, колебания аппарата под воздействием вибрации троса должны уменьшаться. Горизонтально расположенный аппарат хорошо обтекаем в потоке воды и его легче стабилизировать.

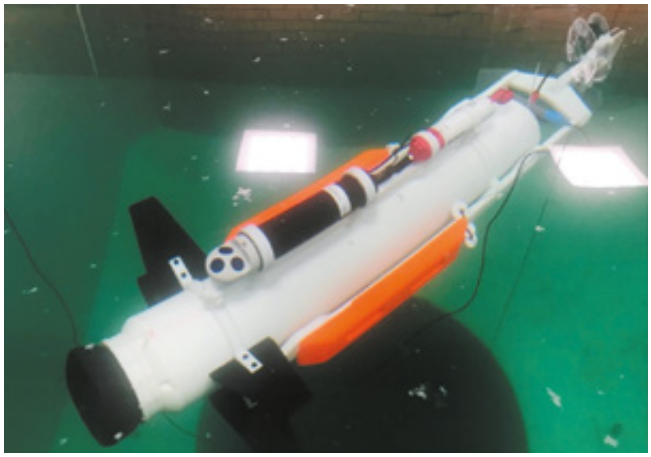


Рис. 29. Опытный образец автономного подледного зонда-профилографа разработки ИОРАН в опытовом бассейне.

Оборудование носителя размещено в цилиндрическом корпусе. Корпус имеет двухслойную конструкцию: в герметичный контейнер из полиацетали вставлена тонкостенная гильза из алюминиевого сплава, что обеспечивает его прочность до глубины 1000 м. Сверху на корпусе устанавливаются гидрофизические измерительные приборы: акустический доплеровский профилограф течений и СТД-зонд.

На задней крышке корпуса установлена наружная расширительная емкость. При перекачке балласта в системе плавучести смещаются как центр массы, так и центр вытеснения зонда (точка приложения архимедовой силы). Для компенсации наклона зонда в вертикальной плоскости в носителе предусмотрена система дифферента, позволяющая быстро перемещать массивную аккумуляторную батарею внутри корпуса параллельно продольной оси аппарата.

Океанологические измерительные приборы (на рисунке 30 это СТД-зонд RBR CTD и акустический доплеровский профилограф течений Nortek Aquadopp HR ADCP) установлены на кронштейнах сверху на носителе. Оба прибора имеют небольшие габариты и массу (использован Aquadopp HR ADCP в укороченном корпусе). Оба подключены к системе управления зондом. Обработка этих данных акустического доплеровского профилографа течений совместно с данными датчика давления СТД-зонда RBR CTD позволяет определить заглубление нижней кромки льда, построить распределение скорости течения и эхограмму в координатах глубина–время. Кроме того, совместная обработка данных измерений вертикального распределения скорости течения и плотности воды позволяет рассчитать значения числа Ричардсона и коэффициента вертикального турбулентного обмена массой.

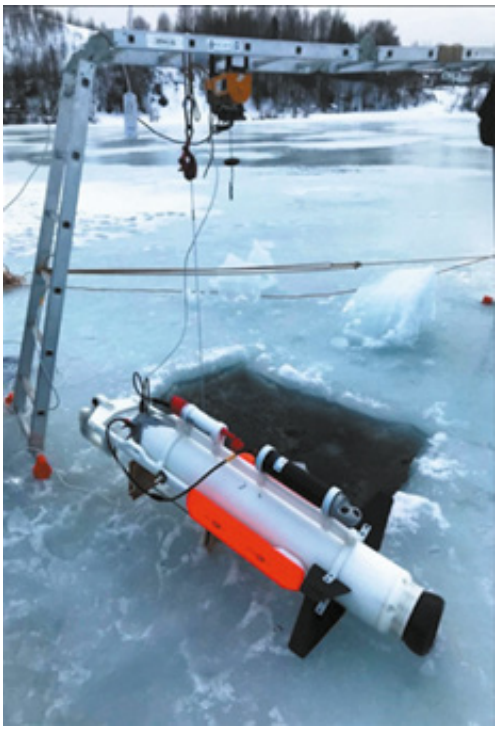


Рис. 30. Подледный зонд-профилограф на озере Глубокое в Московской обл.

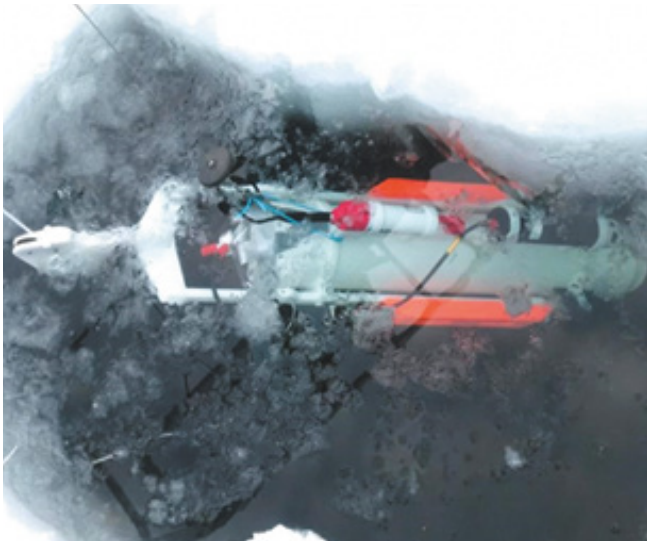


Рис. 31. Глубоководные испытания испытания автономного подледного зонда-профилографа. Момент погружения.

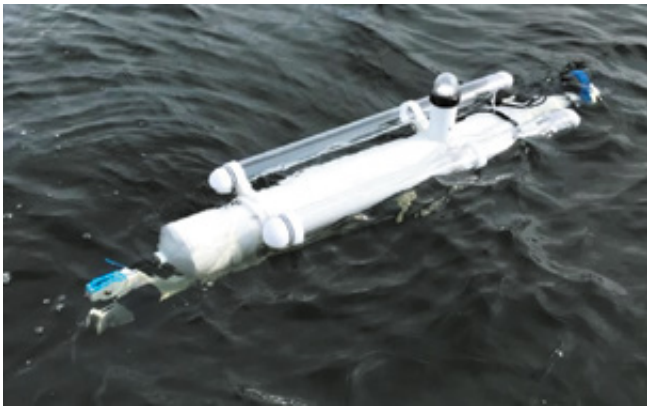


Рис. 32. Опытный образец автономного мелководного зонда-профилографа Винчи во время натурных испытаний на полигоне ИОРАН «Геленджик» в октябре 2021 г.

Предварительные испытания автономного подледного зонда-профилографа были проведены в опытовом бассейне. Предварительные натурные зимние испытания были проведены со льда в водоеме глубиной около 25 м в Подмосковье (рисунки 30 и 31).

Испытания в целом подтвердили заявленные характеристики автономного подледного зонда-профилографа. Общие затраты энергии на время выполнения цикла погружение/всплытие, работу системы дифферентовки, а также работу СТД-зонда составили около 3.8 Вт час. Скорость перемещения зонда вниз составила 0.11 м/с, вверх — 0.05 м/с. Качка аппарата была незначительной — в пределах 5°.

В ИОРАН также разработан мелководный привязной зонд-профилограф Винчи (рисунок. 32) для работ в области морского шельфа, бухт и заливов. По сравнению с известным аналогом Automatic Elevator System Type 3 производства Nichiyu Giken Kogyo Co., Ltd., Япония [63], зонд-профилограф Винчи имеет небольшие габариты и меньший вес (примерно 40 кг против 200 кг), что значительно облегчает его установку в море. Однако рабочая глубина аппарата Винчи составляет 60 м, что меньше, чем максимальная глубина (300 м) у аналога [63].

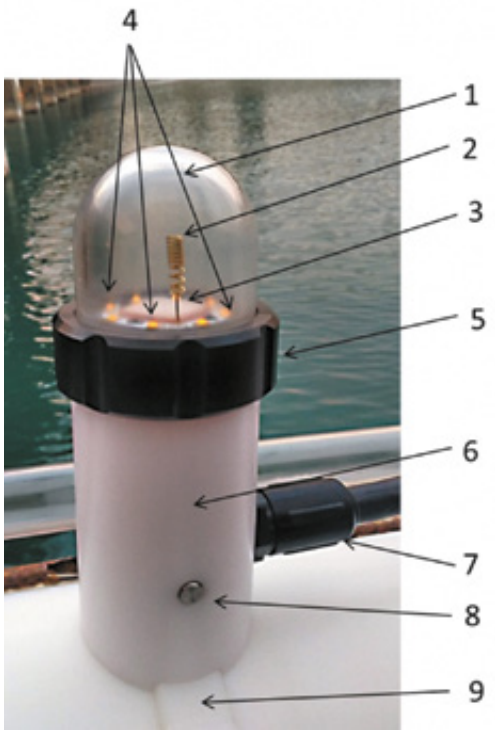


Рис. 33. Внешний вид коммуникационного модуля.
1 – прозрачный колпак из акрила,
2 – антенна GSM (спираль),
3 – навигационная антенна,
4 – 8 светодиодов,
5 –прижимная гайка,
6 – прочный корпус,
7 – коммуникационный разъем,
8 – датчик всплытия,
9 – крепежный хомут

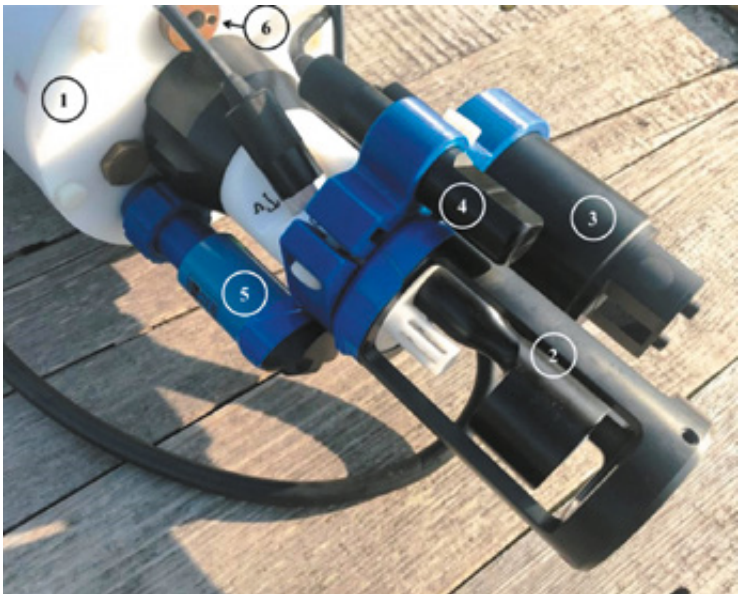


Рис. 34. Океанологические датчики в головной части аппарата Винчи:
1 – крышка прочного корпуса,
2 – логгер RBRconcerto C.T.D++,
3 – флуориметр Seapoint SCF,
4 – измеритель взмученности Seapoint Turbidity Meter,
5 – датчика растворенного кислорода Aanderaa 4831F,
6 – порт датчика давления.

Аппарат Винчи спроектирован так, чтобы стабилизировать его положение в потоке воды. Конструктивная схема тримарана включает главный цилиндрический корпус массой 30 кг (вместе с океанологическими датчиками) размером ~1.4×0.2×0.2 м с двумя присоединенными цилиндрическими поплавками меньшего диаметра, которые предназначены для придания остойчивости (рисунок 32). Аппарат обладает положительной плавучестью и стремится поддерживать горизонтальное положение благодаря хвостовому стабилизатору и системе подвеса. В мокром отсеке главного корпуса располагается барабан электрической лебедки, на который намотан кевларовый трос, соединенный другим концом с донным якорем или притопленным буем. Разматывая трос с барабана, аппарат всплывает под действием собственной положительной плавучести, а наматывая трос на барабан, аппарат двигается вниз к опоре, к которой привязан трос [23]. Барабан установлен на валу, соединенном через сальник с валом электропривода, размещенного в сухом отсеке главного корпуса.

В хвостовой части главного корпуса установлен поисково-коммуникационный модуль (рисунок 33). Этот модуль включает GSM модем с радиоантенной, приемник GPS/ГЛОНАСС, проблесковый маяк, а также датчик поверхности раздела вода-воздух.

Помимо электропривода в сухом отсеке главного корпуса зонда-профилографа установлены: аккумуляторная батарея, микропроцессорная система управления движением и сбором информации. Зонд-профилограф оснащен датчиками для контактных измерений гидрофизических и биооптических параметров (рис. 34).

Мелководный зонд-профилограф Винчи планируется использовать в режиме частых измерений на внутреннем шельфе на глубинах до 50 м с целью оперативного мониторинга гидрофизических факторов, влияющих на цикл углерода в морской воде [59].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эффективность океанологических исследований, как и других исследований природных сред, основывается на их автоматизации и комплексном подходе. В этой связи неоценим опыт Института океанологии в создании как обитаемых, так и необитаемых и автономных технических средств и технологий подводных исследований.

Несмотря на возможность доставки исследователя непосредственно к объекту изучения на уровень визуального контакта, обитаемые аппараты и водолазные технологии в настоящее время не в состоянии конкурировать с дистанционно управляемыми и автономными устройствами и приборами в части стоимости оборудования и обеспечения работ, а также безопасности личного состава. Так в настоящее время регулярная водолазная деятельность в ИО РАН не ведется, а помещения и оборудование в Южном отделении используется для обеспечения тренировок и учений водолазов специализированных служб. ГОА «Мир» находятся в рабочем состоянии, хотя с 2012 года законсервированы, однако их ввод в эксплуатацию потребует затрат существенных денежных средств на замену устаревшего (за 10 лет простоя) оборудования и восстановления береговой и судовой эксплуатационной инфраструктуры.

ИО РАН является безусловным лидером в России в части технологии мини телеуправляемых подводных аппаратов (ТНПА). Достигнут мировой уровень в части создания микрокомпьютерных и телекоммуникационных структур ТНПА типа «ГНОМ», позволяющих в короткие сроки создавать ТНПА любого класса. В короткие сроки с использованием этих технологий можно обеспечить ВМФ и другие заинтересованные ведомства широким спектром ТНПА для выполнения осмотровых, разведывательных и аварийно-спасательных работ.

В ИОРАН сохранен высокий уровень разработок подводных буксируемых аппаратов и комплексов (БНПА). С помощью БНПА, созданных в последнее время в ИО РАН, в комплексе с мини ТНПА ведутся интенсивные работы в интересах МЧС, ВМФ и компаний нефтегазового комплекса. Существующий уровень разработок и квалификация специалистов ИО РАН с привлечением соответствующей производственной базы достаточна, для обеспечения ВМФ и гражданских организаций современными глубоководными комплексами для поиска и обследования техногенных и природных подводных объектов на предельных глубинах в океане.

На современном этапе развития науки об океане остро стоит задача автоматизации океанологических измерений, в том числе с целью позиционного мониторинга подводной обстановки. Для вертикального профилирования водной толщи разрабатываются подводные автономные беспилотные зонды-носители океанологических датчиков, как для скрытной работы под водой, так и с возможностью подъема на поверхность для передачи данных измерений, определения своего географического положения и получения команд управления. В ИОРАН разработана линейка АНПА как для глубоководных, так и мелководных акваторий, в том числе с учетом специфики работы в Арктике в условиях ледового покрова. Опыт разработок ИО РАН может быть использован для организации серийного выпуска АНПА для позиционного мониторинга гидросферы: освещения подводной обстановки в интересах ВМФ и Министерства природных ресурсов, МЧС и Минрыбхоза, научных и контролирующих организаций.

Важной частью процесса разработки и создания подводных технических средств является наличие составляющей их элементной базы. С одной стороны общее количество различных типов подводных аппаратов и подводных робототехнических комплексов, разработанных в мире составляет тысячи. К настоящему времени их разработкой, в том числе и в России занимаются в основном только фирмы с многолетним опытом работы. Таких фирм не много, и их основная задача состоит в разработке общей конструкции аппаратов и архитектуры микропроцессорной системы управления. Эти фирмы выполняют сборку и отладку аппарата из готовых и тщательно отработанных элементов, выпуском которых занимаются более мелкие специализированные фирмы, которые в России практически отсутствуют. К этим элементам подводной техники относятся: движители, манипуляторы, подводные видео и телекамеры, герметичные электро разъемы, глубомеры (датчики давления), альтиметры (эхолоты), гидролокаторы, элементы плавучести, вращающиеся токосъемники, светильники и пр.

Россия — великая морской держава, и значимость создания подводной техники кроме научных открытий и экономических ресурсных перспектив определяется во многом геополитическими соображениями. Страна обретает первоочередное право предстоящего в ООН деления дна Мирового океана между странами. Очевидными представляются военно-стратегические требования контроля дна любой точки Мирового океана, что может быть обеспечено только созданием собственной разнообразной подводной техники.

Список литературы

1. *Анисимов И.М., Римский-Корсаков Н.А., Тронза С.Н. Глубоководный автономный цифровой гидролокатор бокового обзора // Сборник трудов Пятнадцатой Всероссийской конференции и «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» 25–29 мая 2020 г. С.-Петербург, Россия, с. 95–98.*
2. *Анисимов И.М., Римский-Корсаков Н.А., Тронза С.Н. Комплексирование гидроакустической и видео информации // Сборник трудов Пятнадцатой Всероссийской конференции и «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» 25–29 мая 2020 г. Санкт-Петербург, Россия, с. 99–102*
3. *Вялышев А.И., Добров В.М., Долгов А.А., Римский-Корсаков Н.А., Нерсесов Б.А. Экологический мониторинг окраинных морей России. Монография,— М.: ФГБНУ «Аналитический центр, 2019. 240 с*
4. *Войтов Д.В.. Телеуправляемые необитаемые подводные аппараты. Книга+CD.— М.: МОРКНИГА, 2012.— 506 с.*
5. *ГНОМ — телеуправляемый подводный аппарат // (https://gnomrov.ru/)*
6. *ГОСТ 19.701–90 ЕСПД. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения. Москва: Издательство стандартов, 1991. 26 с.*
7. *Гапонов И.А., Казеннов А.Ю., Королев А.В., Васюхно В.П., Нетеча М.Е., Орлов Ю.В., Игнатьев Д.Л. Проведение радиационного мониторинга АПЛ Б-159. Безопасность окружающей среды (ISSN1997–6992). № 1. 2009, с. 98–101.*
8. *Деревнин В.А., Зацепин А.Г., Островский А.Г., Швоев Д.А. Аквазонд Циклирующего режима. // Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам РФ, 2008, Патент на изобретение № 2325674.*
9. *Зацепин А.Г., Островский А.Г., Кременецкий В.В., Пиотух В.Б., Куклев С.Б., Москаленко Л.В., Подымов О.И., Баранов В.И., Корж А.О., Станичный С.В. О природе короткопериодных колебаний основного черноморского пикноклина, субмезомасштабных вихрях и реакции морской среды на катастрофический ливень 2012 г. // Физика атмосферы и окена. 2013. Т. 49. № 6. С. 717–732.*
10. *Зацепин А.Г., Островский А.Г., Кременецкий В.В., Низов С.С., Пиотух В.Б., Соловьев В.А., Швоев Д.А., Цибульский А.Л., Куклев С.Б., Куклева О.Н., Москаленко Л.В., Подымов О.И., Баранов В.И., Кондрашов А.А., Корж А.О., Кубряков А.А., Соловьев Д.М., Станичный С.В. Подспутниковый полигон для изучения гидрофизических процессов в шельфово-склоновой зоне Черного моря. // Физика атмосферы и окена. 2014. Т. 50. № 1. С. 16–29.*
11. *Казеннов А.Ю., Кикнадзе О.Е., Королев, А.В., Степеннов Б.С. Экологическая реабилитация территорий и акваторий Арктического региона России // Сборник докладов VI международного форума «Арктика: настоящее и будущее». г. С.-Петербург, 5–7 декабря 2016 г. С. 44–51*
12. *Казеннов А.Ю. Радиационный мониторинг состояния затопленных объектов и контроль радиационного загрязнения акваторий. В кн. «Подводные технология и средства освоения мирового океана». М. 2011. Изд. Дом «Оружие и технологии». С. 440–451*
13. *Казеннов А.Ю., Лысцов В.Н., Нежданов Г.А. Экспресс-обследование заливов архипелага Новая Земля с помощью высокочувствительного погружного гамма- спектрометра. Доклад на международном семинаре «Природные условия Баренцева и Карского морей 27.02–01.03 1995 г.» ААНИИ, 1995.*
14. *Клювиткин А.А., Островский А.Г., Новигатский А.Н., Лисицын А.П. Мультисциплинарный эксперимент по изучению короткопериодной изменчивости осадочного процесса в северо-восточной части Черного моря. // Доклады РАН. 2016. Т. 469. № 3. С. 356–360.*
15. *Казеннов А.Ю., Гапонов И.А., Пименов А.Е. Методика оперативных радиационных обследований акваторий береговых баз флота с помощью погружных гамма-спектрометров // Атомная энергия. М. 2010. Т. 109, вып. 2. С. 100–108.*
16. *Кузнецов О.Л., Римский-Корсаков Н.А., Пронин А.А. Интерпретация гидролокационных изображений подводных потенциально опасных объектов в Карском море // Труды XIII Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». С.-Петербург. 2016. Санкт-Петербургский научный центр РАН. С. 410–413.*
17. *Лазарюк А.Ю., Каплуненко Д.Д., Островский А.Г., Лобанов В.Б., Трусенкова О.О., Ладыченко С.Ю. Экспериментальные исследования изменчивости термохалинной структуры вод над континентальным склоном северо-западной части Японского моря // Океанологические исследования. 2017. Т. 45. № 1. С. 34–52.*
18. *Лискин В.А., Римский-Корсаков Н.А., Зарецкий А.В. Аспекты технологии океанологических исследований с использованием буксируемых аппаратов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований // № 7 за 2018 Технические науки — с.37–43 DOI 10.17513/mjpfi.12326.*
19. *Малогабаритные телеуправляемые подводные аппараты: сборник статей под редакцией к.т.н. Розмана Б.Я.; Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН — М / ООО «Издательство «Маджента», 2018, 96с.*
20. *Нерсесов Б.А., Римский-Корсаков Н.А. Структура системы обработки информации, получаемой при подводных инструментальных исследованиях // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2017. № 12 (часть 1). Импакт-фактор: 0,731 (2016/2017 год). DOI 10.17513/mjpfi.11979*

21. *Островский А.Г., Зацепин А.Г., Деревнин В.А., Низов С.С., Поярков С.Г., Цибульский А.Л., Швоев Д.А. Заякоренная автоматическая измерительная система «Аквазонд» для вертикального профилирования морской среды // Океанология. 2008. Т. 48, № 2. С. 1–10.*
22. *Островский А.Г., Зацепин А.Г., Иванов В.Н., Низов С.С., Соловьев В.А., Тимашкевич Г.К., Цибульский А.Л., Швоев Д.А., Кебкал К.Г. Заякоренная профилирующая океанская обсерватория // Подводные исследования и робототехника. 2009. № 2/8. С. 50–59.*
23. *Островский А.Г., Зацепин А.Г., Соловьев В.А., Цибульский А.Л., Швоев Д.А. Автономный мобильный аппаратно-программный комплекс вертикального зондирования морской среды на заякоренной буйковой станции // Океанология. 2013. Т. 53. № 2. С.259–268.*
24. *Островский А.Г., Зацепин А.Г., Соловьев В.А., Суконкин С.Я., Цибульский А.Л., Швоев Д.А. Роботизированная профилирующая океанологическая обсерватория «Аквалог» // Морские информационно-управляющие системы. 2014. № 1(4). С. 70–79.*
25. *Островский А.Г., Зацепин А.Г., Швоев Д.А., Волков С.В., Кочетов О.Ю., Ольшанский В.М. Автоматический подледный зонд // Океанология. 2020. Т. 60. № 6. С. 978–986.*
26. *Поярков С.Г., Римский-Корсаков Н.А., Флинт М.В. Технические аспекты исследований окружающей среды западной части Карского моря. Океанологические исследования, Том 45 № 1 (2017): с. 171–186. DOI: 10.29006/1564–2291.JOR-2017.45(1).13*
27. *Программное обеспечение SeaView // https://www.mogasw.com/*
28. *Римский-Корсаков Н.А., Пронин А.А., Розман Б.Я. Некоторые результаты работ по поиску и обследованию подводных потенциально опасных объектов в Карском море в 54 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» // Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики, Сб. трудов 9 Всероссийской конференции ГА 2008, С.-Петербург. 2008. с. 141–144.*
29. *Римский-Корсаков Н.А., Флинт М.В., Поярков С.Г., Анисимов И.М., Белевитнев Я.И., Пронин А.А., Тронза С.Н. Развитие технологии комплексных инструментальных подводных наблюдений применительно к экосистемам Российской Арктики // Океанология. 2019. Т. 59. № 4. С. 679–683.*
30. *Римский-Корсаков Н.А., Казеннов А.Ю., Розман Б.Я. Технология мониторинга экологии заливов восточного побережья Новой Земли. // Материалы научной конференции «Экосистема Карского моря — новые данные экспедиционных исследований». 2015. М: ООО «АПР». С. 258–266.*
31. *Римский-Корсаков Н.А., Анисимов И.М., Тронза С.Н. Развитие глубоководных технологий визуальных наблюдений рельефа дна и подводных объектов. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.— 2019, № 10, стр. 149–153.*
32. *Римский-Корсаков Н.А., Тронза С.Н., Анисимов И.М. Развитие гидролокационных технологий глубоководных исследований рельефа дна и подводных объектов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.— 2019, № 9,— С. 85–90.*
33. *Римский-Корсаков Н.А., Тронза С.Н., Анисимов И.М. Архивирование гидролокационных данных океанологических исследований дна акваторий // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 10. С. 47–53. doi: 10.17513/mjpfi.13137*
34. *Римский-Корсаков Н.А. Пространственная привязка результатов подводных исследований // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2017, № 11(1), с. Импакт-фактор: 0,731 (2016/2017 год). DOI 10.17513/mjpfi.11921*
35. *Римский-Корсаков Н.А. Определение координат подводных природных объектов методом гидролокации бокового обзора // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2017, № 11 (2) Импакт-фактор: 0,731 (2016/2017 год). DOI 10.17513/mjpfi.11981*
36. *Римский-Корсаков Н.А. Определение координат подводных природных объектов методом гидролокации бокового обзора // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2017, № 11 (2) Импакт-фактор: 0,731 (2016/2017 год). DOI 10.17513/mjpfi.11981*
37. *Римский-Корсаков Н.А. Структура технологии гидролокационных исследований дна и подводных объектов // Океанологические исследования, Том 45 № 1 (2017): с. 187–195 DOI: 10.29006/1564–2291.JOR-2017.45(1).14*
38. *Римский-Корсаков Н.А., Руссак Ю.С. Тихонова Н.Ф. Методические основы формирования аппаратурно-программных комплексов для подводных исследований гидролокационными методами // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований // № 5 за 2018 (часть 2) Технические науки DOI.10.17513/mjpfi.12257*
39. *Римский-Корсаков Н. А., М.В. Флинт, А.Ю. Казеннов, И.М. Анисимов, С.Г. Поярков, А.А. Пронин, С.Н. Тронза. Результаты исследования объектов, представляющих экологическую угрозу, в заливе Абросимова (Новая Земля, Карское море) // Океанология, 2020, том 60, № 5, с. 720–728 DOI: 10.31857/S0030157420050214*
40. *Римский-Корсаков Н.А., Книвель Н.Я., Казеннов А.Ю., Кикнадзе О.Е., Басин А.Б., Пронин А.А. Радиационное загрязнение Российской Арктики-2021 (85 рейс научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш») // Океанология, 2022, том 62, № 3, с. 495–498. DOI: 10.31857/S0030157422030091.*
41. *Римский-Корсаков Н.А. Создание и эксплуатация подводных аппаратов и других технических средств для океанологических исследований // Подводные технологии и средства освоения Мирового океана.— М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2011.— С. 46–63.*

42. Римский-Корсаков Н.А., Никитин Г.А. Гидролокационные технологии и средства исследования дна Мирового океана // Подводные технологии и средства освоения Мирового океана.— М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2011.— С. 92–101.
43. Розман Б.Я., Римский-Корсаков Н.А. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2017, № 11. Импакт-фактор: 0,731 (2016/2017 год). DOI 10.17513/mjpfi.12013
44. Сивинцев Ю.В., Вакуловский С.М., Васильев А.П., Высоцкий В.Л. и др. Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию. Радиоэкологические последствия удаления радиоактивных отходов в Арктические и дальневосточные моря («Белая книга –2000») // М. ИздАТ, 2005.— 624 с., илл.64 с.
45. Трусенкова О.О., Лазарюк А.Ю., Островский А.Г., Лобанов В.Б., Каплуненко Д.Д. Короткопериодная изменчивость вертикальной стратификации вод на континентальном склоне в районе залива Петра Великого (Японское море) // Вестник ДВО РАН. 2018. № 1. С. 49–59.
46. Трусенкова О.О., Островский А.Г., Лазарюк А.Ю., Лобанов В.Б. Эволюция термохалинной стратификации северо-западной части Японского моря: синоптическая изменчивость и внутригодовые колебания // Океанология. Т. 61. № 3. С. 366–376. 2021.
47. Флинт М.В., Поярков С.Г., Римский-Корсаков Н.А. Экосистемы российской Арктики — 2015 (63-й рейс научно-исследовательского судна “Академик Мстислав Келдыш”) // Океанология. 2016. Т. 56. № 3, С. 499–501
48. Carlson D.F., Ostrovskii A.G., Kebkal K., Gildor H. Moored automatic mobile profilers and their applications // Special Issues in Advanced in Marine Robotics, Edited by Oren Gal, LAP LAMBERT Academic Publishing., 2013, P. 169–206, ISBN: 978–3–659–41689–7.
49. Carlson D. F., Fredj E., Gildor Y. The annual cycle of vertical mixing and restratification in the Northern Gulf of Eilat/Aqaba (Red Sea) based on high temporal and vertical resolution observations // Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers. 2014. V. 84. P. 1–17.
50. Fayman P., Ostrovskii A., Lobanov V., Park J.-H., Park Y.-G., Sergeev A. Submesoscale eddies in Peter the Great Bay of the Japan/East Sea in winter // Ocean Dynamics. 2019. V. 69. P. 443–462.
51. Kolyuchkina G.A. Syomin V.L., Simakova U.V., Sergeeva N.G., Ananiev R.A., Dmitrevsky N.N., Lyubimov I.V., Zenina M.A., Podymov O.I., Basin A.B., Ostrovskii A.G. Benthic community structure near the margin of the oxic zone: A case study on the Black Sea // Journal of Marine Systems. 2022. Vol. 227. P. 103691.
52. Krishfield R., Toole J., Proshutinsky A., Timmermans M.-L. Automated ice-tethered profilers for seawater observations under pack ice in all seasons // Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. 2008. V. 25. № 11. P. 2091–2105.
53. Ostrovskii A., Zatsepin A. Short-term hydrophysical and biological variability over the northeastern Black Sea continental slope as inferred from multiparametric tethered profiler surveys // Ocean Dynamics. 2011. V. 61. P. 797–806.
54. Ostrovskii A.G., Zatsepin A.G., Shvoev D.A., Soloviev V.A. Underwater anchored profiler Aqaulog for ocean environmental monitoring // Advances in Environmental Research. 2010. V.4. P. 201–218.
55. Ostrovskii A.G., Zatsepin A.G., Intense ventilation of the Black Sea pycnocline due to vertical turbulent exchange in the Rim Current area // Deep-Sea Research I. 2016. 116. P. 1–13.
56. Ostrovskii A.G., Zatsepin A.G., Solovyev V.A., Soloviev D.M. The short timescale variability of the oxygen inventory in the NE Black Sea slope water // Ocean Science. 2018. Vol. 14. P. 1567–1579.
57. Ostrovskii A.G., Arashkevich E.G., Solovyev V.A., Shvoev D.A. Seasonal variation of the sound-scattering zooplankton vertical distribution in the oxygen-deficient waters of the NE Black Sea // Ocean Science, 2021, 17(4), P. 953–974.
58. Ostrovskii A., Stepanov D., Kaplunenko D., Park J.-H., Park Y.-G., Tishchenko P. Turbulent mixing and its contribution to the oxygen flux in the northwestern boundary current region of the Japan/East Sea, April–October 2015 // Journal of Marine Systems. 2021. V. 224. P. 103619.
59. Ostrovskii A.G., Emelianov M.V., Kochetov O.Y., Kremenetskiy V.V., Shvoev D.A., Volkov S.V., Zatsepin A.G., Korovchinsky N.M., Olshanskiy V.M., Olchev A.V. Automated tethered profiler for hydrophysical and bio-optical measurements in the Black Sea carbon observational site // Journal of Marine Science and Engineering. 2022. Vol. 10. P. 322.
60. Podymov O., Zatsepin A., Kubryakov A., Ostrovskii A. Seasonal and interannual variability of vertical turbulent exchange coefficient in the Black Sea pycnocline in 2013–2016 and its relation to variability of mean kinetic energy of surface currents // Ocean Dynamics. 2020. V. 70. P. 199–211.
61. Park Y.-G., Seo S., Kim D.G., Noh J., Park H.M. Coastal observation using a vertical profiling system at the southern coast of Korea // Frontiers in Marine Science. 2021. V.8. P. 668733.
62. Solé J., Emelianov M., Ostrovskii A., Puig P., García-Ladona E. Fine-scale water mass variability inside a narrow submarine canyon (the Besòs Canyon) in the NW Mediterranean Sea // Scientia Marina. 2016. No 80S1. P. 195–204.
63. Prien, R.D.; Schulz-Bull, D.E. Technical note: GODESS — A profiling mooring in the Gotland Basin // Ocean Science. 2016. V.12. P. 899–907.
64. Van Leer J. An automatic Arctic profiling system for oceanography under ice // OCEANS '85 — Ocean Engineering and the Environment, San Diego, CA, USA, 1985. P. 433–436.

Аннотация. Создание и поддержание работоспособности в ходе эксплуатации гидроакустического вооружения для кораблей Военно-Морского Флота России сложный и наукоемкий процесс, реализуемый современными предприятиями морского приборостроения. Многолетним флагманом реализации этого процесса в нашей стране является Акционерное Общество «Концерн «Океанприбор». Обобщению опыта Концерна и научных основ разработки, производства и поставки гидроакустического вооружения для ВМФ, а также представлению новой концептуальной модели организации указанных процессов с позиций системы обеспечения военно-экономической безопасности страны посвящена данная статья.
Ключевые слова. Гидроакустическое приборостроение, гидроакустическое вооружение ВМФ, военно-экономическая безопасность, экономический потенциал, технологическая независимость.

Annotation. Creation and maintenance of operability during the operation of sonar weapons for ships of the Russian Navy is a complex and science-intensive process implemented by modern enterprises of marine instrumentation. The long-term flagship of the implementation of this process in our country is the Joint Stock Company "Concern "Okeanpribor". This article is devoted to generalization of the Concern's experience and the scientific basis for the development, production and supply of sonar weapons for the Navy, as well as the presentation of a new conceptual model for the organization of these processes from the standpoint of the system for ensuring the military-economic security of the country.
Keywords. Hydroacoustic instrumentation, sonar armament of the Navy, military-economic security, economic potential, technological independence.

Шатохин А.В.,
к.э.н., генеральный директор АО «Концерн «Океанприбор»

Селезнев И.А.,
д.т.н., зам. генерального директора АО «Концерн «Океанприбор» — руководитель приоритетного технологического направления

Ивакин Я.А.,
д.т.н., проф., зам. генерального директора АО «Концерн «Океанприбор» по инновациям и проектам гражданского назначения

Авторы: ШАТОХИН А.В., СЕЛЕЗНЕВ И.А., ИВАКИН Я.А.

ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

КАК ЭЛЕМЕНТ ВОЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РФ

Гидроакустические станции (ГАС) и комплексы (ГАК) по праву отнесены к разряду важнейших компонентов радиоэлектронного вооружения Военно-морского флота (ВМФ). Различными гидроакустическими системами оснащены все корабли ВМФ. Так, современная атомная подводная лодка (АПЛ) имеет на своем борту значительное количество гидроакустических систем, включая многофункциональный гидроакустический комплекс. Эти системы решают обширнейший комплекс задач по обнаружению, классификации и определению координат подводных, надводных, а в ряде случаев и низколетящих воздушных целей; по обеспечению телеуправления современными торпедами (ТУТ) и т.п. Входящие в состав навигационных комплексов подводных лодок (ПЛ) гидроакустические доплеровские лаги и системы с гидроакустическими маяками-ответчиками обеспечивают прецизионную навигацию ПЛ в океане и эффективное использование баллистического ракетного оружия без всплытия ПЛ на поверхность.

При решении актуальной задачи противолодочной обороны (ПЛО) в условиях дефицита маневренных сил ВМФ исключительное значение приобретают стационарные гидроакустические комплексы, способные обнаруживать у побережья страны иностранные ПЛ на расстоянии, исчисляемом сотнями километров.

Гидроакустические волны являются единственным видом энергонесущих колебаний, способных распространяться в воде на большие расстояния. При этом они могут достаточно эффективно отражаться от неоднородностей (естественных и искусственных) в толще воды и границ раздела морской среды. Этот физический феномен лежит в основе прин-ципа действия различных гидроакустических систем, получивших широкое использование на флоте.

Исключительное значение в противолодочной обороне страны имеют стационарные гидроакустические комплексы, способные обнаруживать ПЛ на дальних подступах к побережью России.

Современная гидроакустика представляет собой, безусловно, самостоятельную область знаний со своими оригинальными научно-техническими основами, сугубо специфическими технологиями и производственной индустрией. Гидроакустические средства динамично развиваются, аккумулируя научно-технические достижения из области акустики океана, океанографии, радиоэлектроники, статистической теории обнаружения и обработки сигналов, теории антенн, вычислительной техники, информатики и др.

СОВРЕМЕННЫЙ ПРОЦЕСС РАЗРАБОТКИ, ПРОИЗВОДСТВА И ПОСТАВКИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ВООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ВМФ

Современный процесс разработки, производства и поставки гидроакустического вооружения ВМФ реализует на практике научные достижения такой современной отрасли знаний, как гидроакустика.

Сегодня основу гидроакустического вооружения кораблей ВМФ России составляют многофункциональные ГАК, объединяющие в структуру несколько специализированных ГАС или трактов. Основным режимом работы ГАК ПЛ является режим шумопеленгования, поскольку при этом не нарушается основное тактическое свойство ПЛ — ее скрытность. В этом режиме полезным сигналом для ГАК является шумоизлучение ПЛ-цели, ее «первичное акустическое поле».

Режим призван обеспечить дальнее обнаружение ПЛ (НК) и целеуказание для оружия, в том числе для крылатых ракет. Реализация режима ШП столкнулась с рядом проблем. Прежде всего, это постоянное снижение акустической шумности ПЛ-вероятных целей. Близкий уровень акустической шумности имеют современные дизель-электрические ПЛ западноевропейских ВМС. Как следствие, отношение сигнал/помеха на входе антенны тракта шумопеленгования ГАК стало много меньшим единицы. Это обусловило необходимость проведения исследований, направленных на повышение помехоустойчивости приемных трактов.

Выполненные в АО «Концерн «Океанприбор» (ранее — ЦНИИ «Морфизприбор») исследования и разработки привели к формированию в нем научно-технической школы по проблеме гидроакустической клас-сификации целей. Важно также отметить, что создание систем классификации целей в ЦНИИ «Морфизприбор» послужило мощным катализатором процесса внедрения в практику создания ГАК средств вычислительной техники.

Системотехническое проектирование «Корабль — ГАК» рассматривается сегодня кораблестроителями и гидроакустиками как единственно возможный прогрессивный подход к проектированию корабля. Современный ГАК и корабль-носитель ГАК составляют неразрывное целое, единую систему «ПЛ — ГАК» или «НК — ГАК», создание которой невозможно без системного подхода к проектированию каждого из элементов и системы в целом. Проблемы «ПЛ — ГАК» и «НК — ГАК» во многом схожи, так как необходимость размещения нескольких крупногабаритных гидроакустических антенн, их акустической защиты, значительный объем и сложность электронной аппаратуры уже несколько десятилетий назад стали влиять на облик корабля, изменив его многие кораблестроительные элементы.

ПО ОБЩЕМУ ПРИЗНАНИЮ, НАИБОЛЕЕ ОСТРО ПРОБЛЕМЫ АКУСТИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВСТАЛИ ПРИ СОЗДАНИИ ПЛ ПОСЛЕДНИХ ПОКОЛЕНИЙ.

С использованием новых материалов и технологий разработано несколько новых конструкций антенных обтекателей, которые отличаются от своих предшественников повышенной звукопрозрачностью и вместе с тем имеют необходимую прочность. Для передачи сигналов от нескольких тысяч антенных элементов к электронной аппаратуре потребовалось применить волоконно-оптические линии связи, разработать надежные конструкции этих кабелей и их вводов в прочный корпус ПЛ, способные выдерживать большое гидростатическое давление. В составе современного ГАК помимо основной антенны шумопеленгаторного тракта имеется значительное число антенн, обеспечивающих работу трактов эхолокации, связи, обнаружения сигналов гидролокаторов, миноискания, систем навигации и ледовой разведки. Особые конструкторские решения потребовались для размещения ГПБА, которая в подводном положении должна автоматически выпускаться из устройства хранения, а после окончания работы убираться внутрь его.

УСИЛИЯМИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПРЕДПРИЯТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ПЛ ПОСЛЕДНЕГО ПОКОЛЕНИЯ ПО КАЧЕСТВУ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ВООРУЖЕНИЯ И СВОИМ АКУСТИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ВЫШЛИ НА УРОВЕНЬ ЛУЧШИХ МИРОВЫХ ОБРАЗЦОВ, ЧТО ЯВЛЯЕТСЯ УБЕДИТЕЛЬНЫМ ДОКАЗАТЕЛЬСТВОМ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ «ПЛ — ГАК».

Экспериментальные исследования являются важнейшей частью про-цесса создания гидроакустических систем. В полной мере это касается, например, таких структурных элементов ГАС, как гидроакустическая антенна и формирующие ее электроакустические преобразователи, ан-тенный обтекатель. Сложность происходящих в этих устройствах фи-зических процессов, наличие множества трудно учитываемых деста-би-лизирующих факторов не позволяют ограничиться теоретическим анализом и инженерным расчетом и требуют расширенного эксперимента.

Еще большее значение имеет эксперимент в реальных условиях всей гидроакустической системы, особенно если в нее закладываются новые принципы действия.

Создание стационарных гидроакустических систем (СГАС) потребовало проведения широкомасштабных экспериментов. Результаты таких экспериментов, проводившихся вблизи о-вов Новая Земля и у п-ова Камчатка, имели определяющее значение для выбора параметров СГАС, в том числе, например, размера ее приемной антенны (рис. 1).

Исключительное значение для морской отработки новых ГАК имела плавучая лаборатория «Аксон» (рис. 2). В полной мере ее роль проявилась при отладке беспрецедентно большого по объему программного обеспечения первого отечественного цифрового ГАК «Скат-3». Плавучая лаборатория оснащена измерительно-координатным устройством с длиной стрелы 50 м, что позволяет измерить параметры антенны совместно с обтекателем, оценить качество формирования характеристики направленности (ХН) антенны и др.

Базовые гидроакустические технологии являются одним из обяза-тельных условий успешного выполнения разработок гидроакустического вооружения в интересах ВМФ. В сегодняшней России АО «Концерн «Океанприбор» — единственный обладатель всей совокупности базовых гидроакустических технологий по разработке:

- составов пьезокерамики и изготовлению пьезоэлементов для гидроакустических излучателей и приемников;
- глубоководных гидроакустических излучателей и приемников;
- методов проектирования многоэлементных фазированных антенных решеток сложной формы;
- глубоководных акустических экранов для излучающих и приемных антенн;
- звукопрозрачных прочных обтекателей для гидроакустических антенн;
- гибких буксируемых антенн большой протяженности с экологически чистыми заполнителями;
- образцовых измерительных акустических средств и эталонов;
- многоканальных высокочувствительных помехозащищенных аналоговых и аналогово-цифровых систем предварительной обработки гидроакустических сигналов;
- высокоэффективных электромагнитных и магнитополупроводниковых элементов и систем;
- методов моделирования алгоритмов обработки гидроакустических сигналов;
- многоканальных волоконно-оптических систем передачи гидроакустической информации;
- многоканальных генераторных устройств с управлением от ЭВМ.

Рис. 1. Приемная антенна береговой ГАС «Агам»

Рис. 2. Плавучая лаборатория «Аксон».

Рис. 3. Плавлаборатории Ладожского испытательного полигона

Все разработки АО «Концерн «Океанприбор» опираются на научно-технический фундамент. Этому, безусловно, способствует имеющаяся на предприятии следующая уникальная инфраструктура:

- испытательный полигон на Ладожском озере со специальными плавлабораториями и плавсредствами. В частности, со специализированно-ориентированным испытательным плавстендом «Зайсан» (рис. 3, 4);
- единственный в Европе опытовый акустический бассейн с размерами ванны 50 х 14 х 10 м (рис. 5);
- представительство АО «Концерн «Океанприбор» в г. Севастополь, имеющее специализированный флот для всесезонных испытаний изделий, их составных частей или отдельных антенн в условиях южных морей;
- технологические средства разработки и отладки программного обеспечения для ГАС и ГАК, включая специализированные стенды изделий.

Рис. 4. Испытательный плавстенд «Зайсан»

Рис. 5. Опытовый акустико-заглушенный бассейн

Серьезное внимание уделяется подготовке научных кадров для АО «Концерн «Океанприбор» как ведущего предприятия отрасли. Уже более 40 лет на предприятии работает базовая кафедра Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ», выпускающая инженеров, бакалавров и магистров по специальности «Акустические приборы и системы»; создан учебный центр, в котором обучаются специалисты, занимающиеся эксплуатацией и ремонтом производимой предприятием продукции. Начиная с 2014 г., функционируют базовые кафедры проектирования морских информационных систем Санкт-Петербургского Морского технического университета (СПбГМТУ) и Российского государственного гидрометеорологического университета (РГГМУ). АО «Концерн «Океанприбор» тесно сотрудничает и развивает отношения с Санкт-Петербургским государственным университетом аэрокосмического приборостроения (ГУАП) путем привлечения своих сотрудников к образовательному процессу в университете и трудоустройства его высококвалифицированных выпускников. В аспирантуре предприятия по специальностям «Акустические приборы и системы» и «Системный анализ, управление и обработка информации» обучаются молодые специалисты.

ПРИ ПРЕДПРИЯТИИ УСПЕШНО ФУНКЦИОНИРУЕТ ДИССЕРТАЦИОННЫЙ СОВЕТ, ИМЕЮЩИЙ ПРАВО РАССМАТРИВАТЬ РАБОТЫ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ КАНДИДАТОВ И ДОКТОРОВ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК.

ПОДДЕРЖАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ВООРУЖЕНИЯ

Изделия гидроакустического вооружения кораблей ВМФ являются одним из наиболее наукоемких, дорогостоящих и сложных видов вооружения и военной техники.

Основной целью создания АО «Концерн «Океанприбор» специализированной информационной системы (сети) для поддержания технической готовности изделий гидроакустического вооружения на всех этапах их жизненного цикла является решение задачи быстрого и полноценного формирования информационного поля о текущем техническом состояний изделий гидроакустического вооружения флота для обоснованного формирования планов государственного оборонного заказа на соответствующие сервисные услуги предприятий морского приборостроения. Учитывая интенсивное развитие современных информационно-телекоммуникационных технологий, очевидно, что помимо достижения основной цели создания сеть позволит реализовать целый ряд вспомогательных сервисов, которые значительно интенсифицируют и принципиально усовершенствуют «обратную» связь эксплуатантов с разработчиками, производителями гидроакустического вооружения.

На сегодняшний день процесс эффективного планирования реализации мероприятий по поддержанию технической готовности изделий радиоэлектронного вооружения ВМФ и увязывания его с ассигнованиями государственного оборонного заказа отработан не в полной мере. Одной из причин этого является отсутствие единого информационного пространства о текущем, ретроспективном и прогнозируемом состоянии изделий радиоэлектронного вооружения ВМФ, доступного как органам военного управления, так и руководству соответствующих предприятий морского приборостроения. Именно поэтому материальной основой для формирования и поддержания единого информационного пространства по изделиям гидроакустического вооружения на всех стадиях их жизненного цикла, согласно [10], должна стать вышеуказанная информационно-сопроводительная сеть данных о ходе эксплуатации и применения по назначению изделий отечественного гидроакустического вооружения на всех этапах жизненного цикла.

Информационно-сопроводительная сеть об изделиях гидроакустической техники, как и других наукоемких и дорогостоящих изделиях морского приборостроения, ориентирована на решение задачи оперативного (в смысле быстрого) и полноценного обмена данными о текущем и ретроспективном состоянии изделий в электронном формате между всеми участниками соответствующей системы эксплуатации [11–16]:

1. Своевременного и предметно-обоснованного планирования органами военного управления объемов и сроков получения сервис-услуг от предприятий морского приборостроения.
2. Ускорения процедур согласования указанных объемов с ассигнованиями государственного оборонного заказа.
3. Координации сроков проведения мероприятий технического обслуживания и текущего ремонта между поставщиками сервис-услуг и их получателями (конечными эксплуатантами изделий гидроакустического вооружения).

Помимо прямых результатов от развертывания и применения описанной сети, выраженных в интенсификации обмена данными и росте обоснованности решений по вопросам взаимодействия современных элементов системы эксплуатации гидроакустического вооружения ВМФ и предприятий морского приборостроения, в частности АО «Концерн «Океанприбор», появляется целый ряд новых направлений совершенствования процесса поддержания технической готовности изделий указанного вооружения. К таковым, в частности, следует отнести:

- интеллектуальный анализ объективно накапливаемых данных по особенностям эксплуатации изделий гидроакустического вооружения и отдельных образцов гидроакустической техники;
- поддержка мероприятий радиотехнической подготовки как составной части боевой подготовки личного состава кораблей и частей ВМФ контент-средствами интерактивного повышения компетенций по вопросам устройства, эксплуатации и поддержания технической готовности изделий гидроакустического вооружения.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НЕЗАВИСИМОСТИ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ ПОДВОДНОЙ ОБСТАНОВКИ

Обеспечение технологической независимости создания изделий ВиВТ — важнейшая проблема любого предприятия ОПК вне зависимости от производимой им продукции. Особенно актуальной эта проблема становится для так называемого «штучного» производства, когда изделия выпускаются очень малыми партиями со значительным временным разрывом, что приводит к необходимости корректировки документации в связи с заменой комплектующих элементов микроэлектроники, изменением поставщиков комплектующих и т.п. К сожалению, изделия морского приборостроения относятся именно к этой группе продукции, особенно в последние годы, когда серии строящихся кораблей невелики, а сроки их сдачи растянуты во времени.

Применительно к задачам прикладной гидроакустики, да и ко всему направлению освещения подводной обстановки, ключевыми моментами являются:

- производство пьезоматериалов (пьезокерамики в настоящее время и перспективных материалов — пьезопленки, пьезокристаллов в недалеком будущем);
- производство и монтаж печатных плат, реализующих задачи предварительной обработки и размещаемых в капсуле в непосредственной близости от самой антенны, что предполагает дополнительные требования к электронным модулям в части надежности, ремонтопригодности, устойчивости к внешним воздействиям и т.д.;
- разработка программного продукта, вернее аппаратно-программного комплекса, реализующего работу основных режимов работы ГАК;
- создание гидроакустических антенн;
- испытательные стенды и полигоны.

Все перечисленные особенности приводят к тому, что на предприятиях, занимающихся изготовлением гидроакустического оборудования, очень невелика доля аутсорсинга. Трудно найти внешнего исполнителя, досконально понимающего особенности данной отрасли, а сравнительно небольшое количество профильных предприятий не увеличивается из-за ограниченности спроса. При этом технологии производства оборудования даже в пределах направления прикладной гидроакустики сильно разнятся — то, что пригодно для создания стационарных систем, не годится для производства систем для мобильных носителей, а требования к радиогидроакустическим буям, сбрасываемым с самолета, принципиально отличаются от требований к измерителям скорости звука, выставляемым на большой глубине с мобильного носителя.

На территории завода «Прибой» в Таганроге, входящем в состав

АО «Концерн «Океанприбор», было создано собственное производство пьезокерамики (рис. 6, 7). Важной особенностью создания этого производства стала возможность проведения научно-исследовательских работ, направленных на дальнейшее развитие отрасли — создание новых материалов, новых конструкций антенн, например, пьезокомпозитных.

Рис. 6. Формование пресс-заготовок на гидравлических прессах

Рис. 7. Участок мехобработки

Рис. 8. Цех производства печатных плат в Кировском филиале

Рис. 9. Участок поверхностного монтажа

Необходимость производить печатные платы широкой номенклатуры, отвечающие требованиям заказчика, заставила концерн на территории филиала в г. Кировске Ленинградской области создать собственное производство печатных плат (рис. 8, 9), многослойных, до 7 класса точности, в том числе гибких. Высочайший уровень производства позволил не только обеспечить собственные потребности, но и оказывать услуги как коллегам — производителям систем морского приборостроения, так и производителям отечественным вычислительных средств.

Создание собственного производства печатных плат повлекло за собой создание на каждом из заводов концерна и на головной площадке участков автоматизированного монтажа, позволяющих по одной технологии и на одинаковом оборудовании производить всю номенклатуру блоков и модулей гидроакустического оборудования, при этом имея возможность оперативно передавать заказы с завода на завод без необходимости дополнительной технологической подготовки и освоения производства.

Наиболее важным и сложным участком техперевооружения является направление стендов и полигонов. В первую очередь это обусловлено уникальностью каждой из решаемых задач. При проектировании нового акустического бассейна (в настоящее время в Концерне заканчивается создание нового опытового бассейна) важно иметь ввиду, что это не просто аквариум — это целое здание, обеспечивающее развязку ванны бассейна с землей для снижения уровня промышленных шумов, с оборудованием, обеспечивающим подвеску, опускание, вращение антенн при проведении испытаний, регистрацию, запись, обработку сигналов, возможность сборки в бассейне всего ГАК, включая аппаратно-программный комплекс, и что создание нового стенда для изделия, строительство объектов на полигоне типа установки ресурсных испытаний гибких протяженных буксируемых антенн — каждая из этих задач требует знаний, опыта, понимания физики и специфики работы аппаратуры. Достаточно сказать, что по своим возможностям каждый из объектов инфраструктуры АО «Концерн «Океанприбор» является уникальным, единственным в стране, что и привлекает к нам для проведения испытаний множество коллег-разработчиков не только из промышленности, но из учреждений Российской академии наук.

Каждая новая техническая задача, решаемая предприятием, приводит к созданию новых технологий на всех этапах жизненного цикла. Закрытие всех проблем собственными силами — от разработки специальных технологических стендов и приспособлений до строительства новых цехов и производств — очень затратное дело и по средствам, и по времени, и по приложенным усилиям. Государство прекрасно понимает это, и финансирование действий АО «Концерн «Океанприбор» по техническому перевооружению и развитию производства и научно-технической базы — лучшее тому доказательство.

ОРГАНИЗАЦИЯ СОЗДАНИЯ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ВООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ВМФ В ИНТЕРЕСАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РФ

Моделирование организации разработки, производства и поставок гидроакустического вооружения ВМФ в интересах обеспечения военно-экономической безопасности России заключается в выявлении и обосновании направлений решения основных задач эффективного экономического обеспечения поставок изделий указанного вооружения.

Военно-экономическая безопасность РФ — это, прежде всего, возможность и готовность российского государства во всех аспектах его деятельности обеспечить экономические, социальные, научно-технологические и информационные условия развития военно-экономического потенциала на таком уровне, который бы гарантировал военную безопасность страны [7]. Одним из ключевых элементов экономической и военно-экономической безопасности России является эффективное освоение пространств и ресурсов Мирового океана.

Существующие угрозы национальной безопасности требуют наличия у Российской Федерации современного ВМФ, адекватного по своему составу и состоянию данным угрозам и способного их парировать в составе ВС РФ. Соответственно, СОО ВМФ также требует постоянного и системного развития, адекватного существующим и возникающим военным и экономическим угрозам для военно-экономической безопасности РФ в морском и военно-информационном аспектах.

В силу того, что военная безопасность в морской сфере есть компонент национальной безопасности РФ, и связь между ними обеспечивает военно-экономическая безопасность, последнюю можно рассматривать как организационно-экономическую модель взаимосвязи экономической и военной безопасности для сектора специального морского приборостроения, а именно для разработки, производства и поставок гидроакустического вооружения для ВМФ.

НА БАЗЕ УКАЗАННОЙ МОДЕЛИ СТАНОВИТСЯ ВОЗМОЖНЫМ РЕШИТЬ КОНКРЕТНУЮ ПРАКТИЧЕСКУЮ ЗАДАЧУ ОЦЕНОЧНОГО ПРОГНОЗА РАЦИОНАЛЬНЫХ ФОРМ И ОБЪЕМОВ ПОСТАВОК ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ВООРУЖЕНИЙ В СРЕДНЕСРОЧНОЙ ПЕРСПЕКТИВЕ (Т.Е. ДО 2030 Г.), ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ НЕОБХОДИМЫЙ И ДОСТАТОЧНЫЙ УРОВЕНЬ ВОЕННОЙ И ВОЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РФ.

Первым этапом решения указанной задачи явился анализ требований ВМФ к организации военно-экономического потенциала страны к отрасли морского гидроакустического приборостроения. В качестве исходных данных для анализа приняты:

- количество строящихся для нужд ВМФ кораблей в период 2020–2030 гг., исходя из данных Программы кораблестроения до 2050 г.;
- стоимость одного комплекта ГАВ для каждого из запланированных к постройке кораблей, исходя из согласованных с Заказчиком цен на продукцию военного назначения с учетом коэффициента-дефлятора, либо расчетной цены по сопоставлению с аналогом с учетом повышающего коэффициента, учитывающего выигрыш в ТТХ нового образца ГАВ по сравнению с аналогом (по данным компании-производителя);
- затраты на выполнение НИОКР в обеспечение разработки новых технологий создания элементов ГАВ с учетом возросших требований Заказчика к ТТХ ГАВ (по оценке разработчика в рамках формирования ГП «Развитие ОПК 2018–2030»);
- затраты на техническое перевооружение предприятий ОПК для обеспечения серийного выпуска образцов ГАВ с учетом вновь разработанных базовых, промышленных и критических технологий;
- затраты на выполнение ОКР по созданию опытных образцов ГАВ нового поколения под носители 5-го поколения;
- затраты на выпуск серийных образцов ГАВ в соответствии с требованиями Программы кораблестроения.

Рис. 10. Логическая структура информационно-сопроводительной сети данных о ходе эксплуатации и применения по назначению изделий гидроакустического вооружения

В результате указанного анализа установлено, что государственные затраты на эксплуатацию и поддержание боеготовности гидроакустической техники неуклонно растут. Этот факт является следствием того, что для современных кораблей ВМФ работоспособность гидроакустического вооружения является определяющим фактором их боеспособности. В силу сложности указанного вооружения является экономически более рациональным не выстраивание в рамках организационных структур флота организационно-технической системы ремонта и поддержания гидроакустических изделий, а передача специализированным предприятиям ОПК вопросов поддержания технической готовности указанных изделий в ходе их эксплуатации. В силу того, что экономический потенциал морского гидроакустического приборостроения является одним из составляющих военно-экономического потенциала РФ, который должен гарантировать военную безопасность страны, информационное обеспечение указанного экономического потенциала следует рассматривать как составную часть информационной составляющей военно-экономической безопасности.

Вопросы информационного обеспечения экономического потенциала морского гидроакустического приборостроения, поддержания и восстановления технической готовности радиоэлектронных средств и систем сегодня в большей степени являются прерогативой усилий обслуживающих сервис-организаций промышленности. При этом основной акцент в деятельности соответствующих органов военного управления ВМФ смещается с организации ремонтно-восстановительных работ силами подчиненных подразделений и эксплуатантов в пользу результативного планирования взаимодействия с предприятиями-поставщиками сервисных услуг, эффективного распределения целевых ассигнований и построения контрактной работы.

Необходимо подчеркнуть, что информационно-сопроводительные сети эксплуатации сложных и дорогостоящих, но массово производимых образцов современной техники нашли широкое распространение в сферах современного точного приборостроения, создания систем автоматизации производства и пр. Удовлетворение такой потребности стало насущной задачей современного этапа развития полноценной системы информационного обеспечения экономического потенциала морского гидроакустического приборостроения как элемента военно-экономической безопасности страны. АО «Концерн «Океанприбор» реализовывает указанную задачу посредством формирования соответствующей информационно-сопроводительной сети данных о поставляемых флоту изделиях. Структура построения информационно-сопроводительной сети показана на рис. 10.

Долговременное функционирование информационно-сопроводительной сети данных о ходе эксплуатации и применения по назначению изделий отечественного гидроакустического вооружения ведет к накоплению большого объема упорядоченной информации о ходе эксплуатации и особенностях функционирования указанных изделий на различных этапах их жизненного цикла, об особенностях их работы в боевых и повседневных условиях.

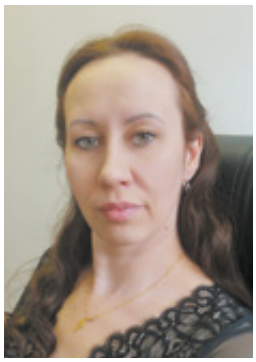
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эффективное экономическое обеспечение поставок изделий гидроакустического вооружения для кораблей ВМФ и других силовых ведомств страны является важнейшим элементом военно-экономической безопасности Российской Федерации. Существующая система разработки, создания и поставки изделий гидроакустического вооружения объективно нуждается в современных условиях в тесной координации с системой эксплуатации радиоэлектронного вооружения ВМФ. Именно для решения задач указанной координации предприятиями ОПК, в частности АО «Концерн «Океанприбор», создается соответствующая информационно-телекоммуникационная инфраструктура. Эта инфраструктура рассматривается как ключевой фактор информационного обеспечения военно-экономического потенциала страны на современном техническом уровне.

Необходимость полноценного информационного обеспечения военно-экономического потенциала РФ вообще и морского гидроакустического приборостроения в частности со стороны как соответствующих органов военного управления ВМФ, так и широкого корпуса эксплуатантов соответствующего пула изделий гидроакустической техники является текущей актуальной задачей. Этот факт определяется коренной переориентацией всей системы информационного обеспечения военно-экономического потенциала РФ в части организации эксплуатации радиоэлектронного вооружения на услуги обслуживающих сервис-организаций промышленности в решении задачи поддержания заданного уровня технической готовности. Эффективным средством такого координирования может и должна выступить информационно-сопроводительная сеть данных о ходе эксплуатации и применения по назначению изделий отечественного гидроакустического вооружения. Ее возможности позволяют не только добиться автоматизации и интенсификации информационного обмена между эксплуатантами, поставщиками гидроакустического вооружения и органами военного управления, формирующими соответствующий раздел государственного оборонного заказа, но и получить ряд качественно новых возможностей для систематизации данных и прогнозирования путей, методов повышения технической готовности искомых изделий на кораблях ВМФ. Она позволяет на практике реализовать процесс цифровизации информационного обеспечения военно-экономического потенциала страны и конкретно морского гидроакустического приборостроения.

Список литературы

1. *Беркутов Р.Н., Попов В.А., Селезнев И.А. Отечественные акустика и военная гидроакустика до 1917 г. // Гидроакустика. 2015. № 21 (1). С. 97–105.*
2. *Охрименко С.Н., Паршуков В.Н., Рубанов И.Л. Диверсификация предприятия морского приборостроения // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. 2019. № 4. С. 94–97.*
3. *Аникин И.Ю., Русаков М.М., Тандит В.Л. [и др.]. Цифровая гибкая протяженная буксируемая антенна // Технические проблемы освоения Мирового океана. 2011. Т. 4. С. 142–144.*
4. *Киселев И.А. Мир гидроакустики / Акционерное общество «Концерн «Океанприбор». СПб. : Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2019. 116 с. ISBN 978-5-7629-2474-0.*
5. *Смирнов С.А., Полканов К.И. Морские испытания гидроакустической техники на опытовых кораблях и судах: по материалам морских испытаний опытных образцов гидроакустических систем, созданных в ОАО «Концерн «Океанприбор». СПб. : Наука, 2013. 89 с. ISBN 978-5-02-038213.*
6. *Концерн Океанприбор: исторический очерк / авт.-сост.: Г. А. Александров [и др.]. 2-е изд., испр. и доп. СПб. : Наука, 2013. 234 с. ISBN 978-5-02-038199-5.*
7. *Шатохин А.В., Ивакин Я.А., Нештенко В.С. Развитие системы эксплуатации изделий гидроакустического вооружения ВМФ в интересах координирования сервисных услуг предприятий морского приборостроения // Морской сборник. 2020. № 11. С. 78–82.*
8. *Шатохин А.В., Селезнев И.А., Ивакин Я.А. Технология интеллектуального анализа данных информационно-сопроводительной сети изделий гидроакустической техники для прогнозирования отказов и неисправностей // Вестник НТС ВПК. 2021. № 1 (26). С. 95–108.*
9. *Шатохин А.В., Ивакин Я.А. Информационная инфраструктура поддержки эксплуатации гидроакустического вооружения ВМФ предприятиями морского приборостроения // Гидроакустика. 2020. № 42 (2). С. 62–71.*
10. *Шатохин А.В., Ивакин Я.А. Современный подход к участию предприятий морского приборостроения в поддержании технической готовности гидроакустического вооружения ВМФ // Морская радиоэлектроника. 2020. № 2 (72). С. 2–9.*
11. *Шатохин А.В., Ивакин Я.А., Нештенко В.С. Координирование сервисных услуг предприятий морского приборостроения // Морской сборник. 2020. № 11 (2084). С. 39–47.*
12. *Информационно-сопроводительная сеть – новый подход к эксплуатации гидроакустического вооружения // Национальная оборона. 2020. № 1 (28). – С. 51–56.*
13. *Шатохин А.В., Ивакин Я.А. Новое качество взаимодействия предприятий морского приборостроения и служб ВМФ при эксплуатации гидроакустического вооружения // Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики : тр. XV Всерос. конф. 2020. С. 7–12.*
14. *Концерн «Океанприбор»: 70 лет на службе отечеству // Морская радиоэлектроника. 2019. № 2 (68). С. 9–11.*



Храмов М.Ю.
к.т.н., генеральный директор – генеральный конструктор, АО «Концерн «Моринсис-Агат»

Новиков Е.С.
д.т.н., профессор, главный конструктор направления – руководитель НМЦ АО «Концерн «Моринсис-Агат»

Андреева О.Н.
д.т.н., доцент, заместитель руководителя НМЦ по научной работе – начальник отдела

Ковалев Б.М.
к.т.н., научный консультант МАРП «Моринформсистема» (Москва)

Аннотация. В статье проводится анализ зарубежного опыта по предотвращению проникновения контрафактных комплектующих и ЭКБ в корпоративные кооперационные цепочки при разработке и производстве систем В и ВТ. На основе проведенного анализа сделаны выводы и сформированы рекомендации.
Ключевые слова: контрафактная продукция, электронная компонентная база, разработка и производство.

Annotation. The article analyzes foreign experience in preventing the penetration of counterfeit components and electronic components into corporate cooperation chains in the development and production of B and VT systems. Based on the analysis, conclusions were drawn and recommendations were formed.
Key words: counterfeit products, electronic component base, development and production.

Авторы: ХРАМОВ М.Ю., НОВИКОВ Е.С., АНДРЕЕВА О.Н., КОВАЛЕВ Б.М.

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ПРОНИКНОВЕНИЯ КОНТРАФАКТНЫХ КОМПЛЕКТУЮЩИХ И ЭКБ

В КОРПОРАТИВНЫЕ КООПЕРАЦИОННЫЕ ЦЕПОЧКИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И ПРОИЗВОДСТВЕ СИСТЕМ В И ВТ. АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА.

В настоящее время ОПК практически всех стран при разработке и производстве систем В и ВТ широко используют гражданские технологии, коммерческие продукты, а также глобальные кооперационные цепочки.

В результате глобализации промышленности и технологий организации — интеграторы систем должны закупать необходимые им продукты и услуги у внешних поставщиков по всему миру и на различных уровнях кооперационных цепочек. Связанное с этим разнообразие региональных и национальных требований существенно усложняет эту задачу. Глобальные кооперационные цепочки включают поставщиков и их товары из самых разных регионов. В основных промышленных секторах, такие как космические системы, авиационная промышленность, микроэлектроника, большая часть поставщиков компонентов находится за пределами государственных границ. Так, например, средняя американская аэрокосмическая компания использует примерно 200 поставщиков первого уровня. На второй и третий уровни приходится более 12000 компаний. Сложная глобальная архитектура кооперационных цепочек создает множество возможностей для проникновения в них контрафактных продуктов и увеличивает риски дефицита источников снабжения в течение всего жизненного цикла (ЖЦ).

Несмотря на все усилия производителей, любой ценный продукт может быть скопирован, подделан, изменен или заменен. Чем больше стоимость продукта, тем выше вероятность такой подделки (контрафакции). Как известно подделка и изменение финансовых документов создают серьезные проблемы. Точно так же копирование, подделка, переделка, имитация, подмена и незаконное использование промышленных продуктов влияют на характеристики изделий и опасны.

Поэтому для любой организации одним из важнейших направлений деятельности должно быть предотвращение проникновения контрафактных продуктов в изделия и системы, которые организация разрабатывает и производит.

Проблему контрафакта не удалось устранить в течение нескольких тысяч лет, но ее можно контролировать с помощью современных технологий защиты от подделок. Эти технологии основаны на стандартах и практическом опыте; выбираются в соответствии с требованиями пользователя и реализуются в стандартизованных процессах контроля компонентов и продуктов, применяемых во всех звеньях кооперационных цепочек; стандартизованных процессах контроля поставщиков материалов, компонентов и комплектующих; процессах управления рисками во всех звеньях и на всех уровнях кооперационных цепочек.

Для защиты от контрафакта, необходимо предпринять ряд шагов, которые включают, помимо прочего:

- идентификацию продукта, чувствительного к подделке;
- определение и документирование характера воздействия различных подделок на продукт, а также оценку уровня риска, связанного с возможным проникновением контрафактных продуктов в систему В и ВТ;
- разработку возможных решений, препятствующих проникновению контрафакта, и доступных для реализации стратегий борьбы с ним;
- разработку и проведение анализа сильных и слабых сторон для каждого из применимых в данном случае решений противодействия проникновению контрафакта.

КАКАЯ БЫ ТЕХНОЛОГИЯ ИЛИ КОМПЛЕКС ТЕХНОЛОГИЙ НИ ИСПОЛЬЗОВАЛАСЬ, ЧАСТОТА ПРОВЕРКИ ПОДЛИННОСТИ ПРОДУКТА И ОБУЧЕНИЕ ПЕРСОНАЛА ИЛИ СПЕЦИАЛИСТОВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ЭТУ ТЕХНОЛОГИЮ, ЖИЗНЕННО ВАЖНЫ ДЛЯ БОРЬБЫ С ПОДДЕЛКОЙ, ПЕРЕДЕЛКОЙ, НЕПРАВИЛЬНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ, КОПИРОВАНИЕМ, ИМИТАЦИЕЙ И ПОДМЕНОЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОДУКТОВ.

ИСТОРИЯ ВОПРОСА

В начале 50-х годов прошлого века США развернули производственную базу для ремонта электронных систем, эксплуатируемых ВС США, которые находились на территории Южной Кореи, Японии и стран Юго-Восточной Азии. В качестве подрядчиков использовались местные компании, которые получили доступ к передовым технологиям электроники и стали быстро развиваться.

Быстрое развитие компьютерных и информационных систем в 80-х годах 20 века, а также перенос американскими компаниями, которые разрабатывали микроэлектронные приборы и системы, многих производств в Китай и страны ЮВА привели к формированию глобальной экосистемы микроэлектроники. Как следствие этих процессов цепочки поставок ЭКБ для нужд МО США стали глобальными, выходящими за пределы национальных границ. В результате в первом десятилетии 21 века резко возрос поток контрафактной ЭКБ, проникающей в системы В и ВТ. В июне 2007 года Командование авиационных систем ВМФ США (NAVAIR) обратилось в Управление оценки технологий МО США с просьбой провести оценку проникновения контрафактных электронных компонентов в военные изделия и системы. NAVAIR подозревало, что все большее число поддельных/некачественных компонентов проникает в цепочки поставок компонентов для МО, что затрагивает надежность систем оружия и снижает возможности по поддержанию их боеготовности в течение всего жизненного цикла и в боевых операциях.

Целью исследования являлся анализ статистических данных о степени проникновения контрафактных электронных компонентов в цепочки поставок оборонно-промышленного комплекса США. Результаты анализа должны были помочь промышленности и государственным органам разработать практические меры для решения проблемы; выявить передовой опыт и разработать стандарты и рекомендации по предотвращению проникновения поддельной электроники в кооперационные цепочки ОПК.

Было проанализировано пять сегментов цепочки поставок:

1. Производители компонентов (в т.ч. OEM-производители).
2. Дистрибьюторы и посредники.
3. Изготовители блоков.
4. Генеральные подрядчики и субподрядчики.
5. Управления Министерства обороны.

Исследование преследовало следующие цели:

- Выявить типы подделываемых частей/компонентов.
- Оценить уровень подозреваемых/подтвержденных поддельных частей и компонентов.
- Выявить практику, используемую в закупках и управлении цепочками поставок ЭКБ.
- Выявить практику учета и отчетности при закупках ЭКБ.

- Определить методы и процессы, которые можно использовать для обнаружения контрафактных частей/ компонентов.
- Обобщить передовой опыт, используемый для контроля проникновения контрафакта.

Анализ был сосредоточен на дискретных электронных компонентах, микросхемах и модулях для ключевых элементов электронных систем, которые поддерживают национальную безопасность, а также используются в промышленных и коммерческих системах и операциях. В общей сложности в исследовании, которое проводилось в период с 2005 по 2008 год, участвовало 387 компаний и организаций, представляющих все пять сегментов цепочки поставок.

Результаты исследования показали, что 39 процентов компаний и организаций, участвовавших в исследовании, столкнулись с контрафактными электронными компонентами в течение рассматривавшегося периода. Более того, собранная информация, свидетельствовала о растущем числе случаев обнаружения контрафактных электронных компонентов, (с 3868 случаев в 2005 году до 9356 случаев в 2008 году). Эти инциденты включали ряд случаев с использованием сертифицированных МО частей и компонентов.

РОСТ КОЛИЧЕСТВА ПОДДЕЛЬНЫХ ЧАСТЕЙ И КОМПОНЕНТОВ В ЦЕПОЧКЕ ПОСТАВОК УКАЗЫВАЛ НА СЛАБЫЕ МЕСТА В УПРАВЛЕНИИ ЗАПАСАМИ, ПРОЦЕДУРАХ ЗАКУПОК, ПРАКТИКЕ УЧЕТА И ОТЧЕТНОСТИ, ПРОВЕРКАХ И ИСПЫТАНИЯХ, А ТАКЖЕ НА СЛАБОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВНУТРИ И МЕЖДУ ПРОМЫШЛЕННЫМИ И ПРАВИТЕЛЬСТВЕННЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ.

В дальнейшем, по инициативе государственных органов США был проведен еще ряд исследований, а полученные в результате опыт и рекомендации были использованы для разработки нормативных документов и стандартов, направленных на выявление контрафакта; управление цепочками поставок; управление поставщиками; снижение рисков, связанных с проникновением контрафакта; входной контроль ЭКБ во всех звеньях кооперационных цепочек при разработке и производстве В и ВТ.

Необходимо отметить, что несмотря на все принимаемые меры, поток контрафакта растет (см. рисунок 1).

Примерное количество случаев обнаружения контрафактных ПП приборов в системах ВВТ США (оценка)

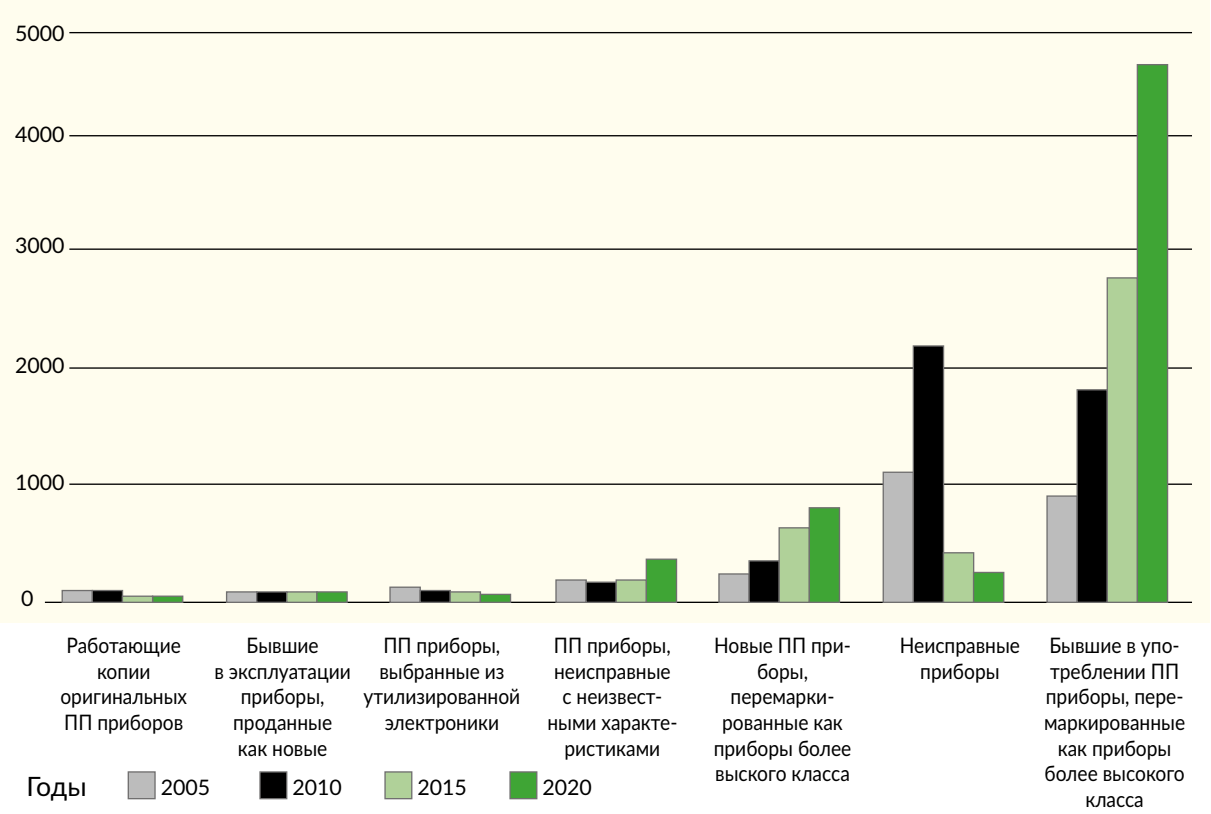


Рис. 2.

По многим причинам проблема борьбы с проникновением контрафактных компонентов в системы В и ВТ до сих пор является важной и останется актуальной на протяжении длительного времени.

Этому также способствуют начавшиеся геополитические процессы, которые в свою очередь запустили процессы переформатирования глобальных кооперационных цепочек разработки и производства ЭКБ для гражданской и военной техники. Данная проблема еще больше усугубляется в условиях введения экономических санкций. Анализ опубликованных в зарубежных источниках материалов по борьбе с проникновением контрафактных частей и компонентов в системы В и ВТ позволяет определить круг проблем, которые являются актуальными как сегодня, так и в среднесрочной перспективе. Основные из этих проблем перечислены ниже.

1. ПРОБЛЕМЫ ОБЩЕГО ХАРАКТЕРА.

К проблемам общего характера можно отнести следующие:

- Проникновение контрафактных электронных компонентов практически во все звенья цепочки поставок.
- Отсутствие необходимого оперативного обмена информацией между всеми организациями, участвующими в цепочках поставок для ОПК США.
- Компании и организации полагают, что в цепочке поставок тестирование частей и компонентов осуществляют другие звенья.
- Как правило, в цепи поставок отсутствует прослеживаемость ЭКБ.
- Меры, принимаемые организациями в случаях обнаружения контрафактных электронных компонентов, были недостаточными для предотвращения проникновения контрафактной ЭКБ в будущем.
- Большинство организаций не знали, к какому правительственному органу США необходимо обращаться в ситуациях, связанных с поддельными частями.
- Отсутствовали необходимые руководящие/ нормативные документы с жесткими требованиями к методам испытаний и практическими рекомендациями по организации входного контроля качества ЭКБ и складских запасов комплектующих.
- Большинство организаций ВПК не имело четкой политики по предотвращению проникновения поддельных частей в цепочки поставок.

Основным доказательством того, что части или компоненты являются новыми и подлинными является обратная прослеживаемость всей цепочки поставок до оригинального производителя. В ситуациях, когда существуют сомнения в подлинности изделий/ компонентов, рекомендуется обращаться с запросом непосредственно к оригинальному производителю данного изделия/ компонента. Изделия/ компоненты, которые вызывают сомнения в их подлинности, должны быть определены как компоненты, создающие потенциальные проблемы. Эти компоненты и их поставщики должны быть включены в специальный перечень подозреваемых поддельных продуктов и их поставщиков.

Примечание. Для иллюстрации важности описанных в данной статье проблем использованы зарубежные статистические материалы за период 2005–2014 годы, когда разработка мер по борьбе с контрафактом в системах В и ВТ стала критически важной. Разумеется, авторы статьи располагают современной и постоянно актуализируемой базой документов, в том числе стандартов и руководств, которая может использоваться для решения конкретных прикладных задач.

КАТЕГОРИИ ПРОБЛЕМ, ВЫЯВЛЕННЫХ ПРИ ПОСТАВКЕ НЕКАЧЕСТВЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ

Веса выявленных категорий проблем распределились следующим образом:

Новые рабочие компоненты неизвестного происхождения	4%
Рабочие копии оригинальных компонентов	6%
Компоненты из утилизированной аппаратуры	5,6%
Новые компоненты, маркированные как компоненты более высокого класса	8%
Прочие	6%
Некондиционные компоненты производителей оригинальных компонентов	8,8%
Компоненты с неизвестными характеристиками	18,1%
Компоненты, бывшие в употреблении, проданные как новые	19,3%
Компоненты, бывшие в употреблении, маркированные как компоненты более высокого класса	24,2%

Табл. 1. Количество случаев обнаружения некачественных компонентов в продукции промышленного и военного назначения в США.

Назначение продукта	2005	2006	2007	2008
Промышленное/коммерческое	212	422	645	499
Широкого потребления	48	91	128	142
Высоконадежные – промышленные	13	32	89	136
Сертифицированные для военного применения продукты (QPL)	11	37	73	110
Сертифицированные поставщики (QML)	7	28	56	106
Высоконадежные – медицина	1	21	57	105
Гражданская авиация	5	10	9	16
Критически важные для безопасности	1	1	11	16
Высоконадежные – автопром	2	4	3	4
Импорт/ экспорт контролируется правилами (ITAR)	0	0	3	0
Реинжиниринговые ИМС для устаревшей электроники (GEM)	0	0	0	2

ИСТОЧНИК: U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE, OFFICE OF TECHNOLOGY EVALUATION, COUNTERFEIT ELECTRONICS SURVEY, NOVEMBER 2009.

КАТЕГОРИИ КОМПОНЕНТОВ, КОТОРЫЕ ЧАЩЕ ВСЕГО ОКАЗЫВАЮТСЯ НЕКАЧЕСТВЕННЫМИ

За прошедшие годы доля некачественных компонентов, попадающих по кооперационной цепочке в изделия военного назначения, постоянно росла. Данные, которые иллюстрируют этот факт, приведены в таблице ниже.

Особое беспокойство вызывает увеличение доли некачественных компонентов, сертифицированных для военного применения и увеличение числа производителей, квалифицированных для поставок компонентов военного назначения, у которых контрафактные компоненты были обнаружены.

ОСНОВНЫЕ СТРАНЫ, ПОСТАВЛЯЮЩИЕ НЕКАЧЕСТВЕННЫЕ, ИЛИ КОНТРАФАКТНЫЕ КОМПОНЕНТЫ

В большинстве случаев иностранные производители микроэлектроники изготавливают более дешевые электронные приборы и компоненты, чем производители ЭКБ в США, а американские военные подрядчики, не хотят упускать выгодные сделки по их приобретению.

Так, например, в 2010 году ВМС США закупили за рубежом 59 тысяч микросхем для использования во всех системах оружия, от ракет до транспондеров и все они оказались подделками из Китая. Необходимо отметить, что приобретенные ИМС были

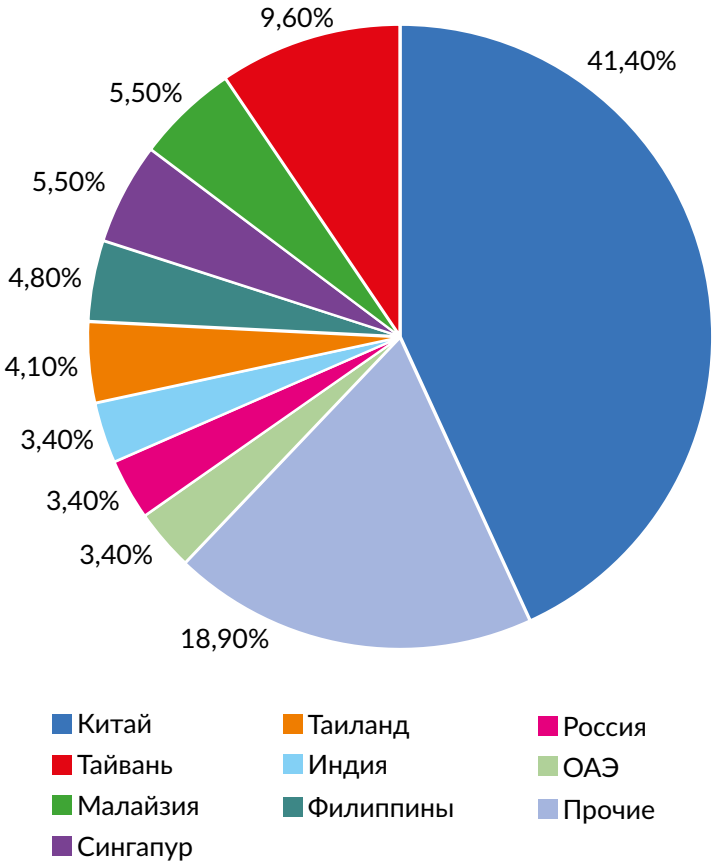


Рис. 2. Прочие: США, Израиль, Канада, Индонезия, Вьетнам, Бразилия, Великобритания, Северная Корея, Пакистан, Вьетнам, Германия, Чехия и Южная Африка.

не только подделками низкого качества; некоторые из них также содержали закладки, которые позволяли удаленно выключить их в любой момент.

Проблемы качества и «троянских закладок», которые могут быть встроены в ИМС к настоящему времени стали очень серьезными, поскольку такие дефекты и закладки почти невозможно обнаружить, особенно без специально разработанных планов входного контроля закупаемой ЭКБ. Для разработки планов входного контроля качества закупаемых электронных компонентов используются методы и рекомендации, приведенные в специально разработанных для этого стандартах.

КОНТРАФАКТНЫЕ КОМПОНЕНТЫ, КОТОРЫЕ ЯВЛЯЮТСЯ ВОССТАНОВЛЕННЫМИ ПОСЛЕ СНЯТИЯ С ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЛИННЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

Контрафактные компоненты такого происхождения сейчас распознать намного труднее, чем раньше. Такие компоненты могут пройти проверку с хорошими результатами. В ряде случаев только производители оригинальных компонентов могут дать заключение об их годности. Эти компоненты представляют угрозу № 1 для надежности приборов, в которые они попадают, по следующим причинам:

- При их демонтаже может быть поврежден кристалл или корпус ИМС.
- Компоненты могут быть повреждены статическим электричеством при демонтаже.
- Корпус чувствительных к влаге компонентов может треснуть при повторном монтаже в новый прибор.
- Компоненты, маркированные как не содержащие свинца, могут его содержать, либо наоборот.
- Химикаты, которые используются для очистки и снятия маркировки компонента, в дальнейшем могут вызвать коррозию.
- Традиционные модели надежности, приведенные, например, в MIL-HDBK-217, становятся бесполезными для расчетов, если в изделии используются контрафактные компоненты.

СТОИМОСТЬ ПРОНИКНОВЕНИЯ КОНТРАФАКТА

Исследование, проведенное Бюро промышленности и безопасности Министерства торговли США, показало, что только в цепочке поставок МО США число известных случаев контрафакта выросло примерно с 3300 в 2005 г. до более чем 8000 в 2008 году /1/. Альтернативное исследование, проведенное ВМС США, увеличило количество выявленных случаев до 3868 и 9356 за те же два года. Кроме того, по оценкам экспертов, подтвержденные случаи контрафакта представляют собой лишь небольшую часть фактического количества случаев, поскольку многие случаи остаются незамеченными, не регистрируются, или ошибочно идентифицируются как просто «некачественные компоненты». Так насколько серьезной является проблема? О ее масштабах свидетельствуют следующие примеры:

- В 2002 году ФБР США подсчитало, что американские предприятия теряют от 200 до 250 миллиардов долларов в год из-за подделки продукции; около 7% этой суммы приходится на электронику. Без сомнения, после 2002 г. проблема только продолжала расти.
- Примерно 46% производителей компонентов и 55% производителей интегральных схем (ИМС) опрошенных в США в 2010 году, сообщили, что сталкивались с контрафактными версиями своей продукции /2/.
- В период с ноября 2007 г. по май 2010 г. таможенная служба США произвела более 1300 изъятий (в общей сложности 5,6 миллионов экземпляров полупроводниковых приборов) с товарными знаками примерно 100 реальных компаний.
- Независимо от того, закупаются ли контрафактные компоненты через посредников, интернет-продажи или у доверенных дистрибьюторов, поддельные компоненты появляются в большом количестве систем В и ВТ, начиная от авиационной техники (самолеты и вертолеты) и до подводных лодок ВМС /3/. В качестве примеров можно привести следующие. При проверках были выявлены:
- 75 компонентов в системах идентификации «свой-чужой» /4/.
- 1500 компонентов при изготовлении и ремонте печатных плат авиационной ракеты «воздух-воздух» AIM-9 /5/.
- 350 компонентов в системе управления диаграммой направленности антенны РЛС Cobra Judy в процессе реализации программы ВМС по ее замене /6/.

Табл. 2. Вероятность приобретения поддельных компонентов у различных категорий поставщиков и связанные с этим возможные потери (оценка) /11/

Поставщик компонентов	Вероятность подделки, %	Риск, связанный с приобретением, $
Изготовитель	0.02	10000 – 100000
Лицензированный поставщик	0.2	100000 – 1000000
Известный посредник	2.0	1000000 – 10000000
Неизвестный посредник	20.0	10000000 - 100000000

- Контрафактные электронные компоненты на сумму 16 миллионов долларов, проданные из Китая и Гонконга подрядчикам ВМС США, а также другим оборонным предприятиям /7/.
- Контрафактная ИМС памяти в бортовых компьютерах противоракет THAAD (изготовитель — Lockheed Martin) Агентства противоракетной обороны США. Стоимость устранения проблемы составила 2,7 миллиона долларов /8/.
- ИМС в авионике транспортного самолета Hercules C-130J, которые на самом деле использовались в устройствах Samsung 1990-х годов, были демонтированы из этих устройств и перемаркированы компанией в Китае. Компания Samsung, на запрос по этому случаю ответила, что «прогнозировать надежность данных ИМС, бывших в употреблении, невозможно» /9/.
- По некоторым оценкам, 15% запасных частей и компонентов для систем В и ВТ МО США являются контрафактными /10/.

В список контрафактных компонентов, обнаруженных МО США при проверках, попали, также:

- микропроцессоры для компьютера управления полетом истребителя F-15 Eagle,
- сетевые компоненты, включая маршрутизаторы, которые могут привести к высокой частоте отказов и даже отключению сетей в боевых условиях,
- контрафактные и некачественные титановые детали авиационных двигателей, создававшие критическую угрозу для безопасной эксплуатации самолетов.
- в ВВС США также были обнаружены контрафактные бортовые электрогенераторы и ПП приборы, используемые в глобальной системе позиционирования (GPS).

Следует отметить, что контрафактный ПП прибор одного и того же типа может быть установлен в нескольких системах вооружения, в том числе в системах, продаваемых зарубежным партнерам. Например, по данным МО США, ИМС одного типа (с одним уникальным артикулом) используется в 125 системах вооружения, в том числе в тех, которые были проданы в 18 стран.

Очевидно, что ПП приборы представляют собой главную цель для подделок в области электроники; однако производители также выявили множество таких поддельных компонентов, как резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, разъемы, предохранители, реле, а также механические части и комплектующие практически во всех основных системах ВВТ.

В настоящее время наиболее важными проблемами являются борьба с контрафактными электронными компонентами и противодействие зловредным кибер-агентам, которые внедряются в систему через уязвимости в ее программном обеспечении.

Серьезность и масштаб этой проблемы иллюстрируют практические примеры, приведенные ниже.

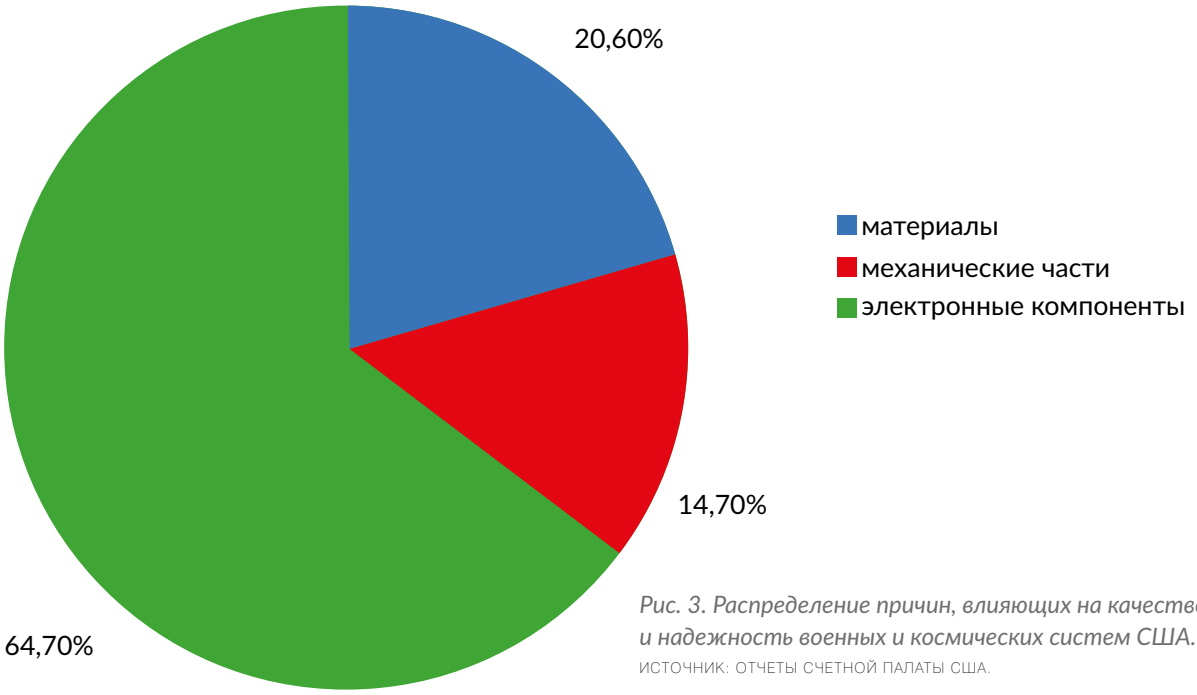


Рис. 3. Распределение причин, влияющих на качество и надежность военных и космических систем США.
ИСТОЧНИК: ОТЧЕТЫ СЧЕТНОЙ ПАЛАТЫ США.

Пример 1. Анализ 21 программы приобретения новых систем для МО США и НАСА, проведенный Счетной Палатой США в 2010 году, показал следующее.

a) Глобальное развитие информационных и компьютерных технологий привело к тому, что зависимость от технологий и компонентов, которые производятся в других странах, стала критической и может оказать влияние на разработку и эксплуатацию важных военных и космических систем США, причем на этот рынок технологий и компонентов у США нет практически никакого влияния.

b) Проблемы качества компонентов присущи многим программам и оказывают существенное влияние на характеристики систем, стоимость и календарный план программ. В ряде случаев они способствуют значительному перерасходу средств, приводят к увеличению сроков реализации программы, снижают надежность и эксплуатационные характеристики системы.

На рисунке 4 показаны примеры проблем качества с частями и материалами, которые затрагивают три или более программ.

Анализ проблем показал, что основные вопросы связаны с качеством электронных компонентов и изделий. Во многих случаях в различных программах возникают проблемы с одними и теми же компонентами, и материалами. Так, например, в рассмотренных программах были получены следующие результаты. В семи программах оказалось неудовлетворительным качество конденсаторов и печатных плат, в пяти программах оказались неудовлетворительными фактические характеристики титановых сплавов. В двух программах неудовлетворительными оказались характеристики оловянных покрытий выводов компонентов.

В БОЛЬШИНСТВЕ СЛУЧАЕВ, ПРОБЛЕМЫ СВЯЗАНЫ С ЭЛЕКТРОННЫМИ КОМПОНЕНТАМИ, ПО СРАВНЕНИЮ С МЕХАНИЧЕСКИМИ ЧАСТЯМИ ИЛИ МАТЕРИАЛАМИ. БОЛЕЕ ТОГО, В РЯДЕ СЛУЧАЕВ, ПРОБЛЕМЫ С КОМПОНЕНТАМИ БЫЛИ ОБНАРУЖЕНЫ В КОНЦЕ ЦИКЛА РАЗРАБОТКИ, ЧТО ПРИВЕЛО К ЕЩЕ БОЛЬШЕМУ РОСТУ СТОИМОСТИ ПРОГРАММ И СРЫВУ ГРАФИКА ПОСТАВКИ СИСТЕМ В И ВТ ДЛЯ МО США

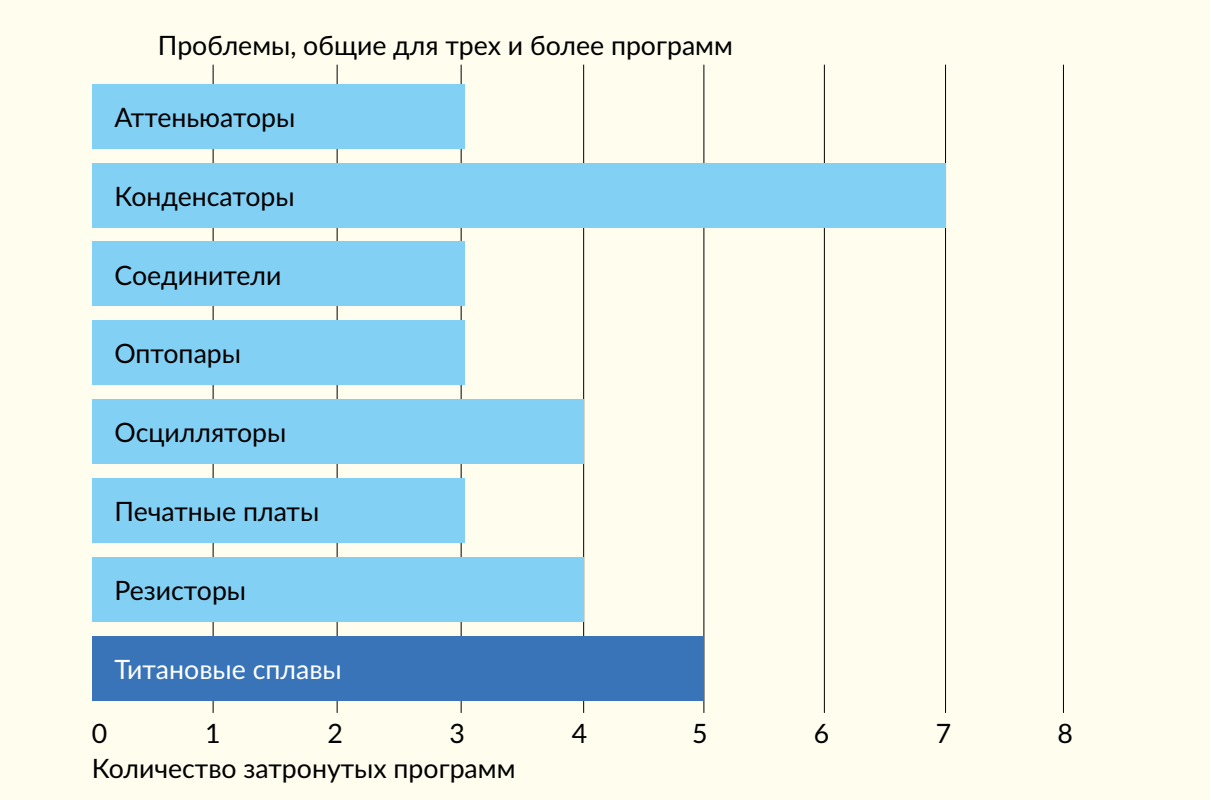


Рис. 4. Примеры проблем, связанных с качеством электронных компонентов и материалов, которые характерны сразу для трех или более программ.

В таблице 3 показано влияние проблем качества частей на стоимость и календарный график для 21 программы, которые были рассмотрены в исследовании Счетной Палаты США. Графа «Затраты» в этой таблице, представляет совокупные расходы программ, связанные с важными проблемами качества всех частей, по состоянию на август 2010 года, поэтому они не обязательно отражают увеличение общей стоимости программы. Влияние проблем на календарный график выражено через количество месяцев, которое потребовалось, чтобы решить проблему.

Проблемы с частями и компонентами, обнаруженные в конце цикла разработки, как правило, приводят серьезным последствиям и оказывают большое влияние на календарный план и стоимость программы. В тех случаях, когда производство изделия уже началось, последствия были более тяжелыми, поскольку требуется длительное время для анализа отказов, доработок, и повторных испытаний, что приводит к дополнительным затратам и срыву календарного плана.

ПРАКТИКА ПОКАЗЫВАЕТ, ЧТО ЗАТРАТЫ, СВЯЗАННЫЕ С ПРОБЛЕМАМИ КАЧЕСТВА ЧАСТЕЙ В ОСНОВНОМ ОПЛАЧИВАЮТСЯ ГОСУДАРСТВЕННЫМ ЗАКАЗЧИКОМ.

Табл. 3. Влияние проблем качества частей и компонентов на стоимость и календарный график для 21 программы МО и НАСА.

Агентство/ система	Затраты, млн. $	Задержка календарного плана
ВВС		
Программа разработки и запуска перспективных спутников связи на КВЧ (30 - 300 ГГц)	250	24 месяца
Система GPS. Блок IIF	0.2	неизвестно
Программа SBIRS	неизвестно	неизвестно
Программа SBSS	3.3	1 месяц
ВМФ		
Система космической связи MUOS	неизвестно	18 месяцев
Агентство по ПРО		
Программа ПРО Aegis	1.9	не повлияли
Программа перехватчиков GMD	19	25 месяцев
Система STSS	7.8	5 месяцев
Программа мишеней и средств противодействия	0.9	1-2 недели
НАСА		
Программа Aquarius	0.1	1 месяц
Программа глобальных измерений выпадения осадков	0.3	16 месяцев
Программа Glory	72.2	20 месяцев
Программа Gravity Recovery and Interior Laboratory	0.4	1 месяц
Космический телескоп James Webb	5	6 месяцев
Программа Juno	4.5	13 месяцев
Программа Landsat Data Continuity Mission	5	25 месяцев
Программа многодиапазонных измерений магнитосферы	неизвестно	не известно
Марсианская научная лаборатория	10.5	26 месяцев
Программа NPOESS	105.2	27 месяцев
Программа исследования радиационных поясов	неизвестно	неизвестно
Программа TDRSS	неизвестно	3 месяца

Пример 2. Слушания в Комитете по делам вооруженных сил Сената США 8 ноября 2011 г. Эти внеочередные слушания были полностью посвящены проблеме проникновения контрафактных компонентов в кооперационные цепи по разработке и производству новых систем В и ВТ. В слушаниях приняли участие представители государственных органов, Министерства обороны и представители предприятий ОПК США. По результатам слушаний в мае 2012 г. был выпущен отчет Комитета по делам вооруженных сил Сената США, который содержал анализ проблемы и рекомендации /12/ по ее разрешению. Расследование Комитета выявило, что проблема поставки поддельных частей, стала настоящим бедствием. При анализе поставок частей в течение двух лет, за период с 2009 по 2010 год, было обнаружено около 1800 случаев поставки подозрительных или явно поддельных частей.

Что касается источников этих частей, Комитету удалось проследить движение около 100 подозрительных/ поддельных частей из примерно 1800 случаев вниз по цепочке поставок до первого поставщика. Подавляющее большинство этих цепочек привело в Китай (более чем 70 процентов подозреваемых частей было поставлено из этой страны). Доклады государственных органов США прямо указывают на то, что Китай является центром мировой торговли подделками. Расследование обнаружило десятки примеров подозрительных/ поддельных электронных компонентов в военных системах, в том числе в тепловизорах, поставленных Армии США; бортовых компьютерах противоракет THAAD; военных самолетах и вертолетах, в том числе SH-60B, AH-64 и CH-46, C-17, C-130J, C-27J и P-8A Poseidon.

Пример 3. Кооперационная цепь поставок для производства оборонной продукции. Отчет Счетной Палаты США /13/. Февраль 2012 г.

В начале 2012 года Счетная Палата США провела проверку запасных частей и электронных компонентов в кооперационной цепочке поставок для производства оборонной продукции. Причиной проверки стал ряд отчетов МО и других государственных органов США /14/, в которых констатировалось, что подозрительные контрафактные и поддельные электронные компоненты для военной техники были обнаружены на разных этапах разработки и производства самых разных систем военной техники.

Чтобы проанализировать сложившуюся на свободном рынке электронных компонентов ситуацию, Счетная Палата отправила запросы с перечнем 16 типовых компонентов, используемых в изделиях военной техники, независимым поставщикам компонентов. Перечень частей выбирался исходя из следующих соображений.

Категория 1. Были запрошены 7 наименований, снятых с производства или редких компонентов, которые изготавливались производителями оригинальных компонентов.

Категория 2. Были запрошены 5 наименований компонентов, с кодами даты, более поздними, чем дата снятия компонента с производства изготовителем этого оригинального компонента.

Табл. 4. Результаты входного контроля компонентов, закупленных для изделий военной техники

Категория 1		Категория 2		Категория 3	
DAA6	X	DAA6	X	DAA5	X
DAA6	X	IHH1	X	DAA5	X
IHH1	X	MLL1	X	GDD4	X
MLL1	X	YCC7	X	3MM8	X
MLL1	X	YCC7	X		
YCC7	X				
YCC7	X				

X Части, подозреваемые как поддельные.

X Поддельные части

Примечание: артикулы компонентов представлены в таблице условными кодами.

Категория 3. Были запрошены 4 наименования компонентов, с неправильными (несуществующими) артикулами.

Результаты проверки этих категорий представлены в таблице 4.

Счетная Палата получила предложения от 396 поставщиков, из которых 334 были расположены в Китае, 25 в Соединенных Штатах и 37 других странах, включая Соединенное Королевство и Японию. Предложения были получены в течение одного дня. Для закупки были выбраны поставщики, соответствовавшие следующим требованиям:

- Предоставление достаточной для приобретения конкретного компонента информации.
- Самая низкая цена.
- Поставка компонентов в течение 2 недель.

На основании этих критериев для приобретения всех 16 компонентов были выбраны предложения китайских компаний. Счетная Палата разделила полученные компоненты на три категории, которые затем были проверены в независимых испытательных центрах методами входного контроля, рекомендованными в стандартах. Результат оказался шокирующим. Все полученные компоненты оказались подозрительными или поддельными.

В частности, 12 компонентов категорий 1 и 2, полученные Счетной Палатой США, имели коды даты, соответствующие периоду времени после снятия компонента с производства. Поэтому при входном контроле в испытательной лаборатории они тщательно испытывались различными методами входного контроля. Рекомендованная стандартами для входного контроля ЭКБ последовательность испытаний, начиная от визуального осмотра и заканчивая рентгеноструктурным анализом, показала, что на компоненты была нанесена фальшивая маркировка, коды даты производства и логотипы производителя подлинных частей. Измеренные рабочие характеристики не соответствовали требованиям к ЭКБ военного назначения. Самым удивительным результатом был следующий. Счетная Палата приобрела четыре типа компонентов, которые никогда не производились.

Результаты входного контроля показали, что ни один из поставленных компонентов не может быть использован при производстве изделий военной техники. Поскольку выборка компонентов и поставщиков была произвольной, данные результаты очень хорошо иллюстрируют масштаб существующей проблемы.

Пример 4. Контрафактная поставка ИМС ICM7170 (генератор временных импульсов для микропроцессорных систем) /15/. Эти ИМС выпускаются в нескольких модификациях, которые отличаются рабочими характеристиками и ценой.

Характеристики	ICM7170IPG	ICM7170AIBG
Диапазон рабочих температур	-40C - 85C	-40C - 85C
Корпус	PDIP, 24 вывода	PDIP, 24 вывода
Ток холостого хода на частоте 32 кГц, мкА	20	5
Стоимость, $	0.2	38.0

Партия в 45000 шт. ICM7170IPG была продана как ICM7170AIBG, т.е. прибыль поставщиков от продажи контрафакта составила 1701000 $ (!)

Проблему характеризуют также статистические данные, приведенные в различных публикациях.

В таблице 7 приведен перечень проблем, которые могут возникнуть при приобретении ЭКБ на коммерческом рынке через сложные многоуровневые цепочки поставок, а также методы, которые необходимо использовать для снижения возникающих при этом рисков.

Табл. 5. Вероятность приобретения поддельных компонентов из различных источников и цена возможных последствий (порядок величины) /16/

Источник компонентов	Вероятность подделки	Относительная стоимость возможных последствий, $, €, руб.
Производитель компонентов	0.02%	1
Аттестованный дистрибьютор	0.2%	10
Известный брокер	2.0%	100
Неизвестный брокер	20.0%	10000

Табл.6. Примерные сравнительные затраты для различных альтернатив при использовании покупных компонентов

Альтернативы	Относительные затраты
Приобретение необходимого количества компонентов у оригинальных производителей и проверка	1
Закупка необходимого количества компонентов на свободном рынке/ из неизвестных источников	0.1 - 1
Входной контроль приобретаемых компонентов	1 - 10
100% входной контроль компонентов	10
Приобретение запаса компонентов на весь ЖЦ изделия	100 - 1000
Изготовление компонентов на заказ	10000

Табл. 7. Проблемы при использовании коммерческих продуктов и методы смягчения рисков, связанных с использованием ЭКБ.

Проблемы	Методы смягчения рисков
Отличие требований к продукту от требований военных стандартов	Проведение испытаний продукта в соответствии с требованиями военных стандартов. Сертификация продукта и поставщика на соответствие требованиям МО.
Дороговизна частых обновлений продукта	Определение экономически обоснованной частоты обновлений.
Риск того, что технические характеристики продукта будут внезапно изменены коммерческим поставщиком	Привлечение поставщиков к участию в программе В и ВТ, чтобы влиять на изменения. Поиск альтернативных поставщиков. Привлечение государственных органов для влияния на поставщика.
Риск того, что поставщик прекратит изготовление данного продукта, или выйдет из бизнеса	Поиск альтернативных поставщиков. Привлечение государственных органов для поддержки производства продукта.
Интеграция различных коммерческих продуктов в общую систему	Использование специалистов с опытом интеграции коммерческих продуктов в системы. Использование архитектуры и стандартов открытых систем. Анализ влияния интеграции продуктов на требуемые характеристики системы.
Стоимость испытаний для подтверждения характеристик продукта	Планирование меньшего количества испытаний в процессе разработки и большего количества испытаний рабочих характеристик и испытаний системы в реальных условиях.
Управление процессом разработки системы	Адаптация к циклам производства. Определение разумной частоты обновлений. Определение требований по поддержке системы в эксплуатации. Закупка необходимых лицензий. Управление поставщиками.
Контрафактные компоненты	Контроль и сертификация поставщиков и компонентов. Проведение входного контроля и испытаний. Прозрачность и прослеживаемость всей кооперационной цепи.
Вредоносные закладки в аппаратной части электронных систем	Разработка и применение на всех этапах жизненного цикла системы комплекса мер по предотвращению проникновения контрафактной ЭКБ в системы В и ВТ. Организация надежного входного контроля ЭКБ, устанавливаемой в систему В и ВТ, на этапах производства и эксплуатации. Организация надежных, прозрачных и прослеживаемых сверху вниз, до реального изготовителя, кооперационных цепочек в производстве В и ВТ. Организация «доверенных», защищенных производств критически важных электронных компонентов.
Проникновение вредоносных закладок и вирусов в системы в течение их жизненного цикла	

Однако это лишь верхушка айсберга, с которым столкнулись в своей практической деятельности разработчики, производители и эксплуатанты современных сложных технических систем. Проблема является комплексной и намного более серьезной. В настоящее время возникли, также, следующие проблемы:

- Проблемы обнаружения и противодействия вредоносным закладкам в электронной аппаратной части систем.
- Проблемы обнаружения и противодействия вредоносным закладкам и вирусам в программном обеспечении систем.
- Проблемы, связанные с применением кибер-оружия против сетецентрических систем.
- Проблемы, связанные с проникновением вредоносных закладок и вирусов в системы в течение их жизненного цикла.

С учетом этих фактов, при принятии решения о приобретении компонентов целесообразно заполнить и проанализировать таблицу, шаблон которой приведен ниже (см. таблицу 8).

Поскольку цикл разработки сложной системы составляет 5–10 лет, уже сейчас необходимо ставить вопрос о разработке сетецентрических систем, которые содержат покупные компоненты, могут иметь уязвимости в программном обеспечении, но будут правильно функционировать и которым можно «доверять» в течение всего их жизненного цикла. При этом необходимо в первую очередь ответить на вопросы:

- Какие технологии необходимо разработать и применить, чтобы создать стойкие к современным и перспективным угрозам комплексной боевой среды системы, в которых используются передовые гражданские технологии, покупная ЭКБ и программное обеспечение?
- Какими должны быть архитектура, ПО и встроенная «иммунная система» систем В и ВТ, чтобы им можно было «доверять» в течение всего их жизненного цикла?

ОЧЕВИДНО, ЧТО ДЛЯ РАЗРАБОТКИ, ПРОИЗВОДСТВА И ПОДДЕРЖКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ТАКИХ СИСТЕМ НЕОБХОДИМ КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД, КОТОРЫЙ УЧИТЫВАЕТ ВОЗНИКШИЕ ПРОБЛЕМЫ И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ РИСКИ И ВКЛЮЧАЕТ МЕРЫ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЭТИХ РИСКОВ ДО ДОПУСТИМЫХ ПРЕДЕЛОВ В ТЕЧЕНИЕ ВСЕГО ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СИСТЕМЫ.

Табл. 8. Стоимость решения о приобретении компонентов

Компонент	Источник приобретения	Стоимость компонента	Объем приобретаемой партии	Стоимость партии	Вероятность подделки	Цена возможных последствий
1						

№						

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Развитие экосистемы микроэлектроники определяется экономическими показателями. По этой причине она не обладает стойкостью к воздействию природных катаклизмов и социальных процессов в различных странах, а также не защищена от производства контрафактных (в широком смысле) продуктов. Экономические показатели стимулируют опережающее развитие ПП приборов для инновационной гражданской продукции. В то же время производство ПП приборов для изделий В и ВТ составляет небольшой процент от общего объема производства, но требует сохранения стойких доверенных кооперационных цепочек в течение всего ЖЦ систем В и ВТ, в которых эти приборы используются. Политические, технологические и экономические соображения делают эту задачу трудно выполнимой. Рыночные силы обеспечивают намного более быстрое развитие новых технологий, чем разработка новых военных технологий за счет оборонного бюджета, что может привести к отставанию военной микроэлектроники на несколько поколений.

При разработке комплексной стратегии приобретения новых систем В и ВТ следует учитывать, что процессы глобализации микроэлектронной промышленности; использование покупных компонентов; перенос производства электронных компонентов за национальные границы создали значительные риски для безопасности кооперационных цепочек и поставки доверенных компонентов для критически важных изделий и систем.

Руководители компаний ОПК и МО США считают, что проблема проникновения контрафактных частей и компонентов в изделия В и ВТ и кооперационные цепочки по их разработке и производству, представляет серьезную угрозу, которая сохранится надолго и продолжает расти, особенно в условиях нынешней геополитической среды. и требует постоянного мер.

Борьба с контрафактом должна быть первоочередной и одной из главнейших целей предприятий ОПК и государственных органов, управляющих программами приобретения новых систем В и ВТ, поскольку удельный вес электронных подсистем и ПО в новых системах В и ВТ продолжает расти. Кроме того, сами системы В и ВТ превращаются в автономные системы с ИИ, которые должны надежно работать в составе боевых человеко-машинных групп, и которым можно будет доверять выполнение различных задач в течение всего их ЖЦ.

ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПРОНИКНОВЕНИЯ КОНТРАФАКТНЫХ ПРОДУКТОВ В СИСТЕМЫ В И ВТ, А ТАКЖЕ В ПРОГРАММЫ ИХ ПРИОБРЕТЕНИЯ, НЕОБХОДИМО РАЗРАБАТЫВАТЬ И ВНЕДРЯТЬ НА ОТРАСЛЕВОМ И КОРПОРАТИВНОМ УРОВНЯХ КОМПЛЕКСНЫЙ ПРОЦЕССНЫЙ ПОДХОД, КОТОРЫЙ ОСНОВАН НА СТАНДАРТАХ И ПРИМЕНЯЕТСЯ НА ПРОТЯЖЕНИИ ВСЕГО ЖЦ СИСТЕМЫ.

1. В первую очередь необходимо:

- внедрить отраслевые и корпоративные стратегии борьбы с контрафактом;
- разработать и внедрить корпоративные стандарты и другие нормативные документы;
- разрабатывать планы защиты программ разработки и приобретения новых систем В и ВТ;
- разработать и внедрить в СМК предприятий процессы, которые будут работать как антивирусные программы в операционных системах компьютеров и эффективно предотвращать, и выявлять контрафактные продукты на этапах разработки, производства и эксплуатации;
- разработать и внедрить процессы верификации и входного контроля ЭКБ, используемой в течение всего ЖЦ изделия/ системы В и ВТ.

Комплекс процессов, встроенных в СМК, должен обеспечивать решение следующих задач:

a) Контроль частей и компонентов, поставляемых в кооперационную цепочку.

- Предотвращение проникновения контрафактных частей в кооперационную цепочку (требования к поставщикам, требования к частям, определение процессов и мер контроля; план борьбы с контрафактом, план защиты программы).
- Выявление контрафактных частей (методы и процессы входного контроля, идентификация подлинности частей, обращение с выявленным контрафактом; борьба с кибер-угрозами).
- Удаление контрафактных частей из цепочки.
- Контроль за перемещением частей по цепочке (прослеживаемость истории частей, сопроводительная документация).
- Информирование об обнаружении контрафакта как вдоль всей кооперационной цепочки для конкретной программы, так и на уровне отрасли.

b) Оценка и управление рисками, связанными с проникновением контрафактных частей в кооперационную цепочку и изделия.

c) Контроль и управление субподрядчиками, входящими в цепочки поставок на всех уровнях (требования к подрядчикам/ поставщикам, требования к СМК, стандарты и РД, единая база данных о контрафакте)

d) Разработка плана действий и мер, которые необходимы, чтобы предотвратить возникновение дефицита источников снабжения частями и материалами в течение ЖЦ изделия.

e) Обучение персонала СМК, отвечающего за контроль качества частей, методам борьбы с контрафактом (программы обучения и сертификация).

f) Разработка и реализация концепций систем В и ВТ, стойких к воздействию вредоносных воздействий (угроз) из внешней среды, которым можно доверять выполнение заданных функций в течение всего их ЖЦ (стойких доверенных систем В и ВТ).

2. Для применения коммерческих компонентов в изделиях военного назначения, предприятия должны разработать основанные на нормативных документах организационные меры и процедуры, а также реализующие их положения процессы для предотвращения проникновения в системы В и ВТ контрафактной ЭКБ на всех этапах ЖЦ системы.

3. В договорных документах и соглашениях на поставку ЭКБ должна быть четко определена ответственность подрядчиков/ поставщиков за поставку контрафактной ЭКБ или электронных изделий.

4. На отраслевом и корпоративном уровнях рекомендуется разработать, внедрить и использовать программу оперативного оповещения и обмена информацией о дефектной/ контрафактной продукции, аналогичной программе GIDEP, США.

Примечание. Программа — GIDEP — это система, с помощью которой промышленные и правительственные организации оповещают друг друга о дефектной/ несоответствующей продукции, в том числе о поддельных частях. Оповещения GIDEP должны быть использованы государственными организациями и подрядчиками для обмена информацией о поддельных частях. Порядок участия в GIDEP определяется инструктивным письмом OMB 91–3. Подрядчики и поставщики должны быть членами GIDEP и процессов мониторинга GIDEP.

Участники программы GIDEP используют соответствующие руководства, издаваемые GIDEP. Эти руководства определяют правила участия в программе, требования к отчетности, а также процедуры обмена докладами, данными и информацией.

Список литературы

1. *Aerospace Industries Association of America, Inc. "Counterfeit Parts: Increasing Awareness and Developing Countermeasures." 2010.*
2. *Crawford, Mark, et al. "Defense Industry Base Assessment: Counterfeit Electronics." U.S. Department of Commerce, January 2010.*
3. *Levin, Carl, et al. "Inquiry Into Counterfeit Electronic Parts in the Departments of Defense Supply Chain." Committee on Armed Services, U.S. Senate, May 2012.*
4. *Livingston, Henry. "Securing the DOD Supply Chain from the Risks of Counterfeit Electronic Components." BAE Systems Electronic Solutions, 2010.*
5. *Machen, Ronald. "Owner and Employee of Florida-based Company Indicted in Connection With Sales of Counterfeit High Tech Devices Destined to the U.S. Military and Other Industries." Press Release, U.S. Department of Justice, September 14, 2010.*
6. *Machen, Ronald. "Owner and Employee of Florida-based Company Indicted in Connection With Sales of Counterfeit High Tech Devices Destined to the U.S. Military and Other Industries." Press Release, U.S. Department of Justice, September 14, 2010.*
7. *Machen, Ronald. "Owner and Employee of Florida-based Company Indicted in Connection With Sales of Counterfeit High Tech Devices Destined to the U.S. Military and Other Industries." Press Release, U.S. Department of Justice, September 14, 2010.*
8. *Levin, Carl, et al. "Inquiry Into Counterfeit Electronic Parts in the Departments of Defense Supply Chain." Committee on Armed Services, U.S. Senate, May 2012.*
9. *Levin, Carl, et al. "Inquiry Into Counterfeit Electronic Parts in the Departments of Defense Supply Chain." Committee on Armed Services, U.S. Senate, May 2012.*
10. *Toohey, Brian. "Counterfeit Semiconductors – A Clear and Present Threat." Testimony Before Senate Committee on Armed Services, Counterfeit Electronic Parts in the U.S. Military Supply Chain, November 8, 2011.*
11. *Counterfeit Detection Strategies: When to Do It / How to Do It. Greg Caswell. DfR Solutions*
12. *Committee on Armed Services United States Senate. Inquiry into Counterfeit Electronic Parts in the Department of Defense Supply Chain. May 21, 2012.*
13. *GAO. DOD Supply Chain. Suspect Counterfeit Electronic Parts Can Be Found on Internet Purchasing Platforms. Feb. 2012*
14. *U.S. Department of Commerce Bureau of Industry and Security. Office of Technology Evaluation. Defense Industrial Base Assessment: Counterfeit Electronics. January 2010*
15. *Counterfeit Protection & Detection Strategies: When to Do It / How to Do It. Philly Chapter. DfR Solutions. SMTA March 15, 2012*
16. *Counterfeit Detection Strategies: When to Do It / How to Do It. Greg Caswell. 2011*
17. *U.S. Department of Commerce, Office of Technology Evaluation, Counterfeit Electronics Survey, November 2009.*

Авторы: СУРИН С.Н., КУЗИН А.М., МАРТЫШЕНКОВ В.Е.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ «ЯДЕРНЫЙ ОСТРОВ» В СИСТЕМАХ АВТОМАТИКИ АО «КОНЦЕРН «НПО «АВРОРА»

Аннотация: в статье рассматриваются физические основы понятия «Ядерный остров», являющегося дальнейшим развитием концепции ядерной безопасности; реализация концепции «ядерного острова» в части компоновки оборудования ЯЭУ в конструкции атомных ледоколов и плавучих атомных энергоблоков. Рассмотрено применение концепции «ядерного острова» при проектировании и изготовлении систем СУЗ разработки АО «Концерн «НПО «Аврора» для морских объектов с ЯЭУ.
Ключевые слова: «ядерный остров», ядерная безопасность, атомные ледоколы, системы СУЗ, АСУ ТП, КСУ ТС.

Abstract: the article discusses the physical foundations of the concept of "Nuclear Island", which is a further development of the concept of nuclear safety; implementation of the concept of a "nuclear island" in terms of the layout of nuclear power plant equipment in the design of nuclear icebreakers and floating nuclear power units. The application of the concept of a "nuclear island" in the design and manufacture of CPS systems developed by JSC "Concern" NPO "Aurora" for offshore facilities with nuclear power plants is considered.
Keywords: "nuclear island", nuclear safety, nuclear icebreakers, automated process control systems.

Сурин С. Н.,
зам. генерального директора по спец.тематике

Кузин А. М.,
директор центра «Морские объекты с ЯЭУ»

Мартышенков В. Е.,
зам. главного конструктора ПЦ «Морские объекты с ЯЭУ»

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОНЯТИЯ «ЯДЕРНЫЙ ОСТРОВ»

Многолетний опыт эксплуатации атомных ледоколов подтвердил эффективность применения ядерных энергетических установок (ЯЭУ). В то же время, использование на судах ядерных реакторов, обладающих высокой энергонапряжённостью и большой загрузкой высокообогащенного топлива, следовательно, значительной массой накапливаемых в нём радиоактивных продуктов деления, связано с потенциальной опасностью возникновения и развития ядерной и радиационной аварий, которые могут привести к тяжёлым последствиям военного, социально-политического, экономического и экологического характера.

Безопасность ядерная — это свойство ЯЭУ с определённой вероятностью предотвращать ядерные аварии.

Под ядерной безопасностью судна с ядерной энергетической установкой понимают качество ЯЭУ (включающее конструктивные свойства активной зоны и реактора; состояние систем и технических средств, обслуживающих и обеспечивающих безопасность РУ; совокупность организационно-технических мероприятий и квалификацию обслуживающего персонала), исключающее возможность возникновения ядерной аварии.

Базовой целью безопасности ЯЭУ является защита персонала, населения и окружающей природной среды от недопустимого радиационного воздействия при нормальной эксплуатации и ограничение установленными пределами радиационного воздействия при аварии.

При описании архитектурно-планировочных, конструктивных и технических решений проекта

Рис. 1. «Ядерный» и «турбинный» острова АЭС

АЭС (в общем случае) употребляется понятие «ядерный остров». «Ядерный остров» — это неформальный термин, обозначающий комплекс зданий, сооружений и технических средств, имеющих отношение к эксплуатации и обеспечения эксплуатации ядерного реактора.

«Ядерный остров» включает реакторную установку, системы безопасности, систему контроля и управления реакторной установки, систему перегрузки топлива и гермозону. Также используется для именования систем управления ЯЭУ, отвечающих за аварийную защиту.

Концепция «ядерного острова» является дальнейшим развитием концепции ядерной безопасности, так как на его замкнутой территории сконцентрированы все потенциально-ядерноопасные операции: работа реактора, операции с отработанным ядерным топливом, твёрдыми и жидкими радиоактивными отходами. В случае утечки, радиоактивность за пределы «ядерного острова» не выйдет.

Ключевыми составляющими любой АЭС являются два «острова»: ядерный и турбинный (традиционный). Под первым подразумеваются все конструкции и системы, обеспечивающие преобразование атомной энергии в тепловую и электрическую, а также электроника и прочее оборудование, которое отвечает за безопасность данного процесса.

Центральное место «ядерного острова» всегда занимает реактор. Он оснащается системами теплоотвода, охлаждения, электронными системами контроля и защиты. Состояние реактора непрерывно контролируется, показания сравниваются с нормативами в автоматическом порядке. Соответственно, «турбинный остров» — это обобщающее название механизмов и систем, которые позволяют переводить тепло в электричество.

В случае «турбинного острова» центральное место занимает машинный отсек. Основные его установки: турбогенератор, конденсационный тракт, установки теплофикации и прочие вспомогательные узлы. Они очень важны и, как на ПАТЭС, будут способны обеспечивать близкорасположенные населенные пункты не только электричеством, но и теплом.

В настоящее время в г. Мурманске на ФГУП «Атомфлот» (основной базе российского атомного ледокольного флота) фактически создана особая территория со своей системой физической защиты и радиационного контроля, дополнительной вентиляцией и ограниченным доступом персонала. Эта территория тоже позиционируется как «ядерный остров».

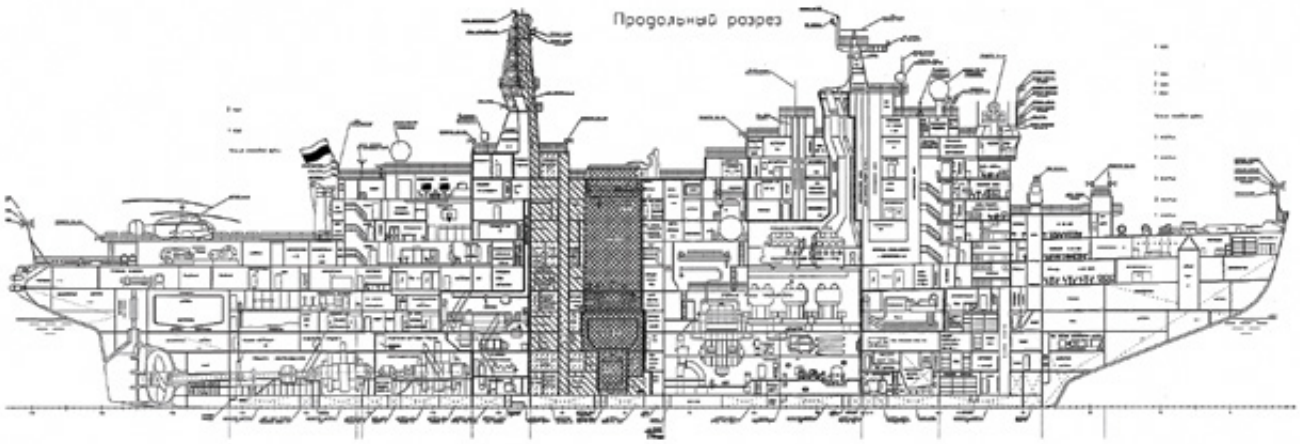


Рис. 2. Расположение судовой ЯЭУ внутри корпуса атомного ледокола

Он состоит из ремонтно-технологического комплекса, хранилища радиоактивных отходов (РАО) контейнерного типа, здания берегового поста загрузки со шлюзами.

«Ядерный остров» — комплекс по обращению с радиоактивными отходами, построенный Росатомфлотом с целью обеспечения безопасности их хранения в регионе. В комплексе будут находиться материалы средней и низкой степени активности.

На территории «ядерного острова» сконцентрируются все потенциально-опасные операции с отработанным ядерным топливом (ОЯТ) и твердыми радиоактивными отходами (ТРО), что позволит сосредоточить весь контроль на одной площадке, а также уменьшить дозовые нагрузки персонала.

НА ПРЕДПРИЯТИИ СОЗДАНЫ ЛИНИИ ПО ОБРАЩЕНИЮ С ТВЕРДЫМИ РАО И С ГОРЮЧИМИ РАО. ПОСЛЕ ЗАВЕРШЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА БЕРЕГОВОГО ПОСТА ЗАГРУЗКИ НА НЕГО ПЕРЕНЕСЕНЫ ОПЕРАЦИИ ПО ОБРАЩЕНИЮ С ОЯТ, КОТОРЫЕ РАНЕЕ ПРОИЗВОДИЛИСЬ НА ПЛАВТЕХБАЗЕ «ЛОТТА».

В основном, на территории «ядерного острова» будут храниться твердые РАО. Твердые РАО возникают при эксплуатации атомного ледокольного флота: это узлы, детали, приборы, механизмы, инструменты, материалы, спецодежда, имеющие радиоактивные загрязнения и потому не пригодные к дальнейшему использованию. То есть, всё то, что используется и образуется в процессе ремонтных и регламентных работ с ЯЭУ, а также на судах технологического обслуживания. Более опасные виды отходов — ОЯТ — будут только перегружаться с судов и отправляться в Челябинскую область на ФГУП «ПО «Маяк».

«ЯДЕРНЫЙ ОСТРОВ» НА МОРСКИХ ОБЪЕКТАХ С ЯЭУ

Концепция «ядерного острова» в части компоновки оборудования ЯЭУ в отдельном помещении наиболее ярко выражена в конструкции атомных ледоколов, начиная с первого атомохода «Ленин».

ЯЭУ и все обслуживающие её механизмы, оборудование и устройства на ледоколе размещаются в отдельном отсеке, называемом центральным (ЦО). На всех построенных надводных судах с ЯЭУ применяется среднее (по корпусу судна) расположение судовой энергетической установки. Это приводит к лучшей устойчивости судна и меньшей уязвимости ЯЭУ при авариях (см. рис. 2).

ЦО отделяется от остальных отсеков ледокола герметичной выгородкой, называемой защитным ограждением. В качестве носовой и кормовой переборок защитного ограждения использованы главные поперечные водонепроницаемые переборки на 74 и 95 шпангоутах. Боковыми стенками защитного ограждения являются главные продольные водонепроницаемые переборки. Защитное ограждение испытывается на непроницаемость и герметичность в соответствии со схемами испытаний корпусных конструкций.

Конструктивная защита ЦО в районе возможного воздействия нагрузок при столкновении состоит из усиленных продольных ребер по бортам и по прилегающих к бортам участков палуб.

ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ СТОЛКНОВЕНИЯ ПРОДЛЕНЫ ЗА ПРЕДЕЛЫ РЕАКТОРНОГО ОТСЕКА НА РАССТОЯНИЕ ОКОЛО 5 М С КАЖДОЙ СТОРОНЫ.

Конструктивная защита обеспечивает живучесть энергетической установки при столкновении при прямом ударе в борт с другим ледоколом пр. 10521 при скорости хода таранящего судна до 12 узлов, а также при столкновении с судном типа СА-15 водоизмещением D=26 100 т при скорости хода до 13,9 узлов, что является достаточной гарантией безопасности. Общая прочность ледокола при столкновении обеспечена.

Непосредственно ЯЭУ заключена в прочную газоплотную выгородку (защитную оболочку (ЗО), которая разделена по высоте на два помещения: реакторное (помещения ППУ № 1 и ППУ № 2) — нижнее, и на общую аппаратную — верхнее. Помещения отделены друг от друга герметичной биологической защитой. ЯЭУ состоит из двух автономных паропроизводящих установок.

РЕАКТОРНОЕ ПОМЕЩЕНИЕ ЗАКРЕПЛЕНО В КОРПУСЕ НА ДВУХ ПРОДОЛЬНЫХ ПРОЧНЫХ ПЕРЕБОРКАХ, ПЕРЕДАЮЩИХ УСИЛИЯ ОТ ВЕСА ОБОРУДОВАНИЯ ЯЭУ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ С УЧЕТОМ ПЕРЕГРУЗОК НА ГЛАВНЫЕ ПОПЕРЕЧНЫЕ ПЕРЕБОРКИ КОРПУСА НА 74 И 95 ШПАНГОУТАХ.

Корпусные конструкции защитной оболочки, включая крышки люков аппаратной, с учетом температурных напряжений способны выдержать избыточное давление максимальной проектной аварии. Проход коммуникаций через них — в герметичном исполнении: сильфонные уплотнения, специальные проходы со сваркой по периметру, кабельные коробки, сальники и др.

ЯЭУ выполнена и размещена на судне таким образом, что обеспечена защита экипажа и населения от облучения, а окружающая среда от загрязнения радиоактивными веществами в пределах допустимых безопасных норм, как при нормальной эксплуатации, так и при авариях установки и судна за счет создания на возможных путях выхода радиоактивных веществ защитных барьеров между ядерным топливом и окружающей средой.

Первым защитным барьером на пути распространения радиоактивности в судовых ЯЭУ (так же, как и в береговых АЭС) является кристаллическая решетка топливных таблеток из двуокиси урана, вторым — оболочки ТВЭЛов, третьим — прочные стенки оборудования и трубопроводов первого контура, четвёртым — защитная оболочка и пятым — защитное ограждение, границами которого являются продольные и поперечные переборки, второе дно и настил верхней палубы в районе реакторного отсека.

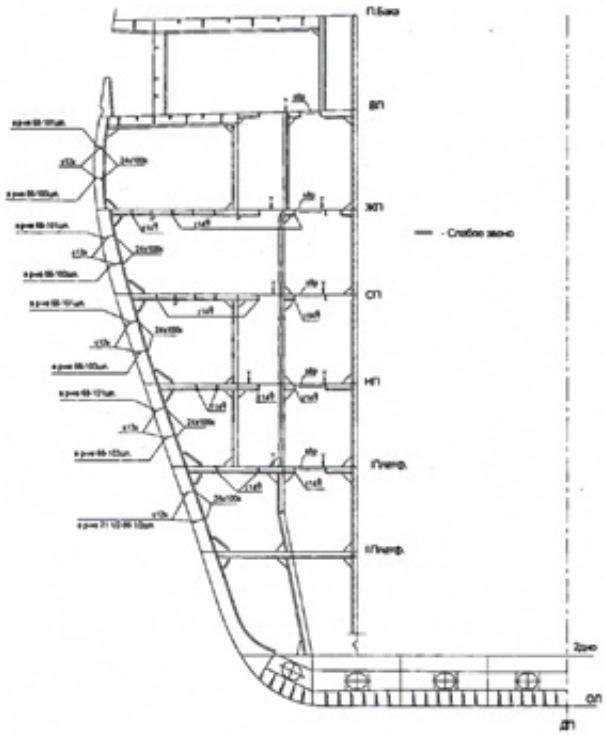


Рис. 3. Схема конструктивной защиты ЦО. Район 74–95 шп.

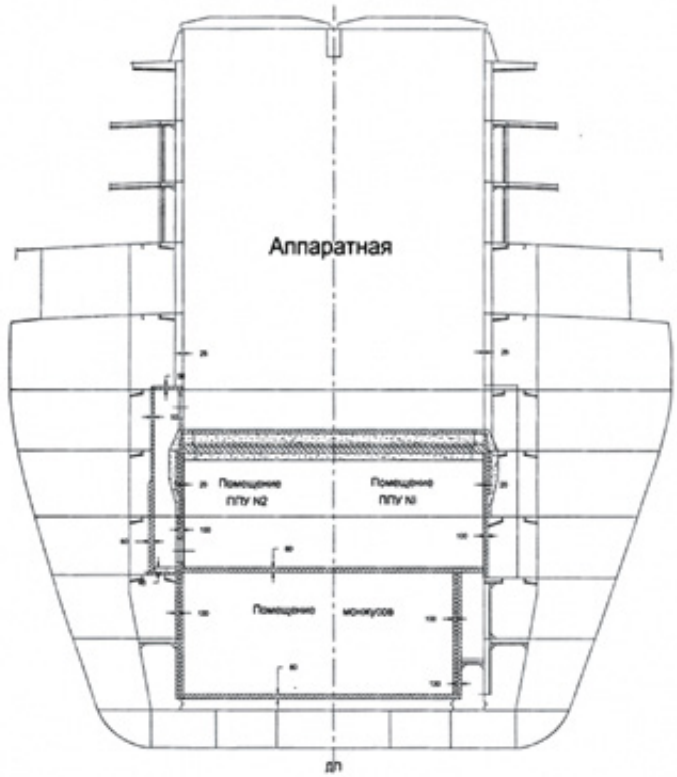


Рис. 4. Защитная оболочка ЯЭУ атомного ледокола «50 лет Победы»

Безопасность ЯЭУ обеспечена устройствами и системами нормальной эксплуатации и системами безопасности, предназначенными для надежного вывода реактора из действия, отвода тепла от активной зоны и ограждения последствий возможных аварий.

К системам нормальной эксплуатации относятся:

- первый контур;
- второй контур;
- система охлаждения оборудования 1-го контура пресной водой (3 контур);
- система охлаждения воды 3 контура забортной водой (4 контур).

Указанные контуры обслуживаются следующими системами:

- системой заполнения и подпитки 1-го и 3-го контуров;
- газа высокого давления;
- дренажных контурных вод;
- воздухоудаления из оборудования системы 1 контура;
- специального осушения;
- перегрузки фильтров 1-го и 3-го контуров;
- промывки, «мокрого» хранения парогенераторов;
- обнаружения неплотных секций ПГ.

К системам безопасности относятся:

- система управления и защиты реактора (СУЗ);
- системы аварийного расхолаживания;
- система аварийного охлаждения (проливки) активной зоны реактора;
- система орошения защитной оболочки;
- система вентиляции защитной оболочки;
- система приготовления и ввода жидкого поглотителя.

Кроме того, в установке предусмотрены дополнительные системы безопасности:

- система предотвращения переопрессовки полости второго контура парогенератора, имеющего микротечь;
- система заполнения водой кессонов реакторов, предназначенная для защиты корпуса реактора от проплавления в запроектной аварии, связанной с осушением и оплавлением активной зоны.

РЕАЛИЗАЦИЯ КОНЦЕПЦИИ «ЯДЕРНОГО ОСТРОВА» В СИСТЕМАХ СУЗ РАЗРАБОТКИ АО «КОНЦЕРН «НПО «АВРОРА»

Центральное место в ряду систем безопасности ЯЭУ занимает система управления и защиты реактора (СУЗ). СУЗ — это совокупность средств технического, программного, информационного обеспечения безопасного протекания цепной реакции. Системой управления и защиты (СУЗ) ядерного реактора называется многофункциональная подсистема АСУ ТП, предназначенная для контроля мощности реактора, управления и быстрого гашения цепной реакции во всех режимах работы, а также поддержания реактора в подкритическом состоянии. Пуск и работа реактора без системы СУЗ запрещаются.

Основное назначение системы управления и защиты (СУЗ) реактора заключается в непрерывном контроле хода цепной реакции в реакторе и управлении указанным процессом во всех режимах: первичной загрузки или перегрузки топлива, пуске реактора и выводе его на мощность, работе на заданной мощности и её изменении, аварийном или плановом останове реактора.

Системы управления и защиты ядерных реакторов выполняют следующие функции:

- измерение и контроль нейтронного потока в реакторе;
- измерение и контроль периода и реактивности;
- дистанционное управление РО АЗ;
- дистанционное и автоматическое управление РО КГ;
- контроль положения органов СУЗ;
- автоматическое регулирование фактической мощности реактора;
- автоматический и дистанционный пуск реактора из подкритического состояния;
- компенсацию изменений реактивности;
- автоматическое гашение цепной реакции в аварийных ситуациях;
- автоматическое снижение и ограничение мощности реактора при неисправностях технологического оборудования;
- технологическую, предупредительную и аварийную сигнализацию;
- контроль исправности устройств СУЗ, сигнализацию неисправности;
- обмен информацией с другими подсистемами АСУ ТП.

Измерение и контроль нейтронного потока в реакторе является одной из важнейших функций СУЗ. Она осуществляется во всех режимах работы как при критическом состоянии реактора, так и в подкритическом.

Плотность нейтронного потока в подкритическом реакторе не всегда характеризует уровень подкритичности и более представительным является контроль значения периода или самой реактивности, вычисляемой на основании измерения значения нейтронного потока специальными приборами — реактиметрами. Эти параметры контролируются также и при больших мощностях установки, однако скорости изменения мощности в нормальных режимах настолько малы, что период (реактивность) может достичь заметных значений только в аварийных ситуациях.

Для обеспечения необходимой надежности и безопасности реактор должен быть оснащен каналами контроля таким образом, чтобы в процессе пуска реактора контроль осуществлялся не менее чем тремя независимыми каналами измерения уровня мощности (регистрирующими нейтроны) с показывающими приборами и тремя независимыми каналами измерения скорости изменения мощности (или изменения реактивности) с показывающими приборами, а при работе на энергетических уровнях мощности — не менее чем тремя независимыми каналами измерения уровня мощности.

В ПРОЦЕССЕ РАБОТЫ РЕАКТОРА ПРОИСХОДИТ ПОСТОЯННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ РЕАКТИВНОСТИ, ВЫЗВАННОЕ ВЫГОРАНИЕМ ТОПЛИВА, ИЗМЕНЕНИЕМ ТЕМПЕРАТУР И ДРУГИМИ ПРИЧИНАМИ. ЭТИ ИЗМЕНЕНИЯ ДОЛЖНЫ КОМПЕНСИРОВАТЬСЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СУЗ — РО КГ.

В целях повышения надежности осуществляется контроль исправности устройств СУЗ. Такой контроль может проводиться оператором периодически. Более совершенным является непрерывный автоматический контроль исправности устройств. В последнем случае при выявлении неисправности осуществляется сигнализация неисправности операторам.

Важнейшую роль в обеспечении безопасности реактора играет автоматическое гашение цепной реакции, а также автоматическое снижение и ограничение мощности реактора при неисправностях технологического оборудования.

Аппаратура системы управления и защиты (СУЗ) обеспечивает эффективное предотвращение аварийных режимов как при выходе из строя оборудования ЯЭУ, так и при отказах элементов аппаратуры системы управления. Создаваемая аппаратура СУЗ удовлетворяет критериям, сформулированным в нормативных документах по ядерной безопасности, основными из которых являются: резервирование, независимость каналов, консервативность, апробированность, необратимость функции аварийной защиты.

По влиянию на ядерную безопасность СУЗ относится к категории систем, важных для безопасности, совмещающих функции безопасности с функциями системы нормальной эксплуатации. Как управляющая система безопасности аппаратура СУЗ обеспечивает реализацию функций аварийной защиты: формирование сигналов АЗ, обесточивание электромагнитов групп АЗ, формирование сигнала на отпускание КГ при срабатывании АЗ, а также формирование обобщенного сигнала срабатывания АЗ реактора и передаче его в смежные системы. Как система нормальной эксплуатации аппаратура системы обеспечивает сбор и обработку информации о состоянии контролируемых параметров реактора, положении КГ и АЗ и предоставление этой информации на пульт управления ППУ в ЦПУ, а также автоматическое регулирование параметров в режимах пуска, разогрева (расхолаживания) и работы реактора на энергетических уровнях мощности.

Система аварийной защиты полностью независима от штатных систем автоматического регулирования, поддерживающих работу ЯЭУ в нормальных режимах.

Для обеспечения требований надежности и ядерной безопасности основные тракты контроля параметров СУЗ: пусковая аппаратура, аппаратура контроля мощности, аппаратура контроля температуры, в которых формируются аварийные сигналы, выполняются в виде трех идентичных независимых каналов. Каждый канал имеет отдельные первичные независимые преобразователи контролируемых параметров и независимое канальное электропитание (принципы резервирования и независимости).

За 50-летнюю историю в АО «Концерн «НПО «Аврора» созданы и сданы в эксплуатацию системы управления для атомных ледоколов «Ленин», «Арктика», «Сибирь», «Россия», «Советский Союз», «Таймыр», «Вайгач», «Ямал», «50 лет Победы», атомного лихтеровоза «Севморпуть», плавучего атомного энергоблока «Академик Ломоносов» с ядерными реакторами ОК-900, КЛТ-40, атомных универсальных ледоколов нового поколения «Арктика», «Сибирь», «Урал» с ядерными реакторами РИТМ-200.

Системы СУЗ «Артек-Л» (ледокол «Ленин» пр. 92), «Артек-А» (ледоколы «Арктика», «Сибирь» пр. 1052), «Артек-А-Р» (ледоколы «Россия», «Советский Союз», «Ямал» пр. 10521), «Марс» (ледоколы «Таймыр», «Вайгач» пр. 10580), «Марс-81» (лихтеровоз «Севморпуть» пр. 10081), «Марс-М1» (ледокол «50 лет Победы» пр. 10521) в части контроля параметров создавались по единой концепции — система СУЗ контролировала только параметры непосредственно самого реактора (плотность нейтронного потока, температуры теплоносителя на входе Твх и выходе из реактора Твых), а также: промежуточное и конечные положения КГ и конечные положения групп АЗ в активной зоне реактора.

Примером реализации такой системы служит система «Марс-М1».

По функциональному назначению система разделяется на составные части:

- пусковая аппаратура;
- аппаратура контроля мощности;
- аппаратура контроля температуры;
- аппаратура управления КГ;
- аппаратура аварийной защиты;
- аппаратура связи и управления;
- аппаратура электропитания.

Основные особенности структурного построения системы:

- 3 независимых, разделенных (функционально, гальванически и физически) канала контроля параметров, обеспечивающих:

а) контроль мощности от пусковых ИК с уровня 10^{-8}% Nном и формирование сигнала АЗ по уменьшению периода в пусковом диапазоне;

б) контроль мощности от рабочих ИК в пусковых и энергетических режимах;

в) контроль температуры теплоносителя I контура на входе и выходе из реактора;

- 3-х канальная аппаратура регулирования основных параметров;
- 3-х канальная схема электропитания каналов контроля и регулирования постоянным током 28,5В;
- 2-х канальная физически разделенная аппаратура электропитания КГ и АЗ по сети 220В 50 Гц;
- одноканальная аппаратура управления каждой группой КГ с регулированием тока в фазах шагового электродвигателя;
- 4-х канальная схема формирования управляющих сигналов АЗ с мажорированием выходного сигнала по схеме «2 из 4-х» и двухканальное выходное устройство, обеспечивающее обесточивание электромагнитов АЗ;
- две независимые системы представления информации на ПУ ППУ: на 2-х мониторах в виде видеокадров и на традиционных средствах (показывающие приборы, индикаторы и табло на «жёсткой» мнемосхеме).

Структурная схема формирования и отработки сигналов АЗ системой «Марс-М1» приведена на рис. 6.

Аварийная защита реактора срабатывает при поступлении в прибор ПАЗ (прибор аварийной защиты) сигналов АЗ:

- из аппаратуры контроля параметров (приборы КМТ) —
  - аварийный сигнал по уменьшению периода разгона реактора «τ↓»;
  - аварийный сигнал по превышению мощности реактора «Nф↑»;
  - аварийный сигнал неисправности пусковой аппаратуры АСНПА;
  - аварийный сигнал неисправности аппаратуры контроля мощности АСНКМ;
- из аппаратуры УКГ (управления КГ) —
  - аварийный сигнал НСП КГ (несанкционированное перемещение КГ);
- из СУ «Бриз-М1» (прибор ПАУЗ) —
  - аварийный сигнал АЗ ПЭУ-1 (формируется СУ «Бриз-М1» при достижении аварийных уставок сигналами технологического контроля давления в 1-м контуре PIк мин↓, PIк проливки↓, PIк макс↑, а также по сигналу «СТОП 3–4 ЦНПК на МЧВ»);
  - аварийный сигнал АЗ ПЭУ-2 (формируется СУ «Бриз-М1» при достижении аварийной уставки сигналом расхода питательной воды через ПГ Qmin↓, а также по сигналу «СТОП 3–4 ЦНПК на БЧВ»);
- из ЦПУ с ПУ ППУ:
  - аварийный сигнал от кнопки «АЗ» при её нажатии;
  - аварийный сигнал от переключателя «РЕЖИМЫ СУЗ» при постановке его в положение «АЗ»;
  - аварийный сигнал от переключателя «ПИТАНИЕ КГ, АЗ» при постановке его в положение «ОТКЛ»;
- из ПАР:
  - аварийный сигнал от переключателя «АЗ», при постановке его в положение «ВКЛ»;
  - аварийный сигнал от переключателя «ПИТАНИЕ КГ, АЗ», при постановке его в положение «ОТКЛ».

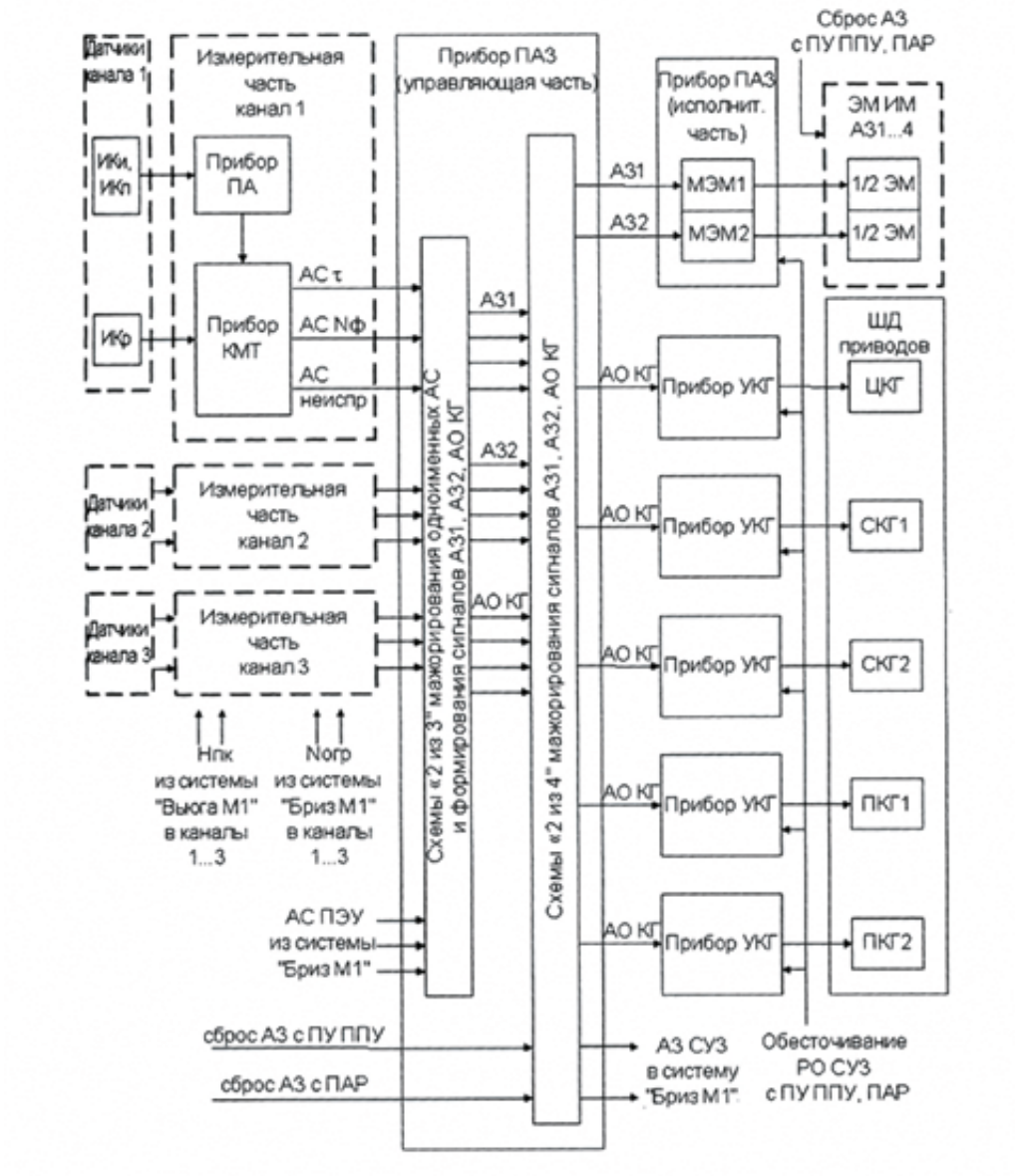


Рис. 6. Структурная схема формирования и отработки сигналов АЗ системой «Марс-М1»

В качестве датчиков плотности нейтронного потока используются подвески ионизационных камер ПИК36–6 (пусковые ИК) и ПИК-3 (рабочие ИК). Токовые сигналы от них поступают в приборы ПА и КМТ, в которых вырабатываются сигналы периода удвоения мощности τ и фактической мощности реактора Nф, а также аварийные сигналы по уменьшению периода удвоения мощности τ↓ и превышению мощностью реактора Nф↑ разрешённого уровня.

Все аварийные сигналы по всем каналам поступают в прибор ПАЗ в каждый из четырёх модулей МФСМ, в которых одноимённые входные аварийные сигналы мажорируются по схеме «2 из 3-х». В результате, на выходе каждого модуля МФСМ формируется сигнал АЗ.

Сформированные в каждом из четырёх модулей МФСМ сигналы АЗ поступают в модули МЭМ, где мажорируются по схеме «2 из 4-х», после чего модули МЭМ производят обесточивание электромагнитов, обеспечивающих удержание групп стержней АЗ во взведенном положении.

ОДНОВРЕМЕННО ФОРМИРУЮТСЯ КОМАНДА НА АВАРИЙНОЕ ОПУСКАНИЕ КГ И ОБОБЩЕННЫЙ СИГНАЛ АЗ В СМЕЖНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОТРАБОТКИ АРМАТУРЫ И МЕХАНИЗМОВ ПО ЗАДАННЫМ АЛГОРИТМАМ.

Формирование аварийных сигналов по технологическим параметрам, передачу их в СУЗ «Марс-М1» для формирования обобщённого сигнала АЗ, а также управление арматурой и механизмами ППУ при отработке алгоритмов АЗ осуществляется системой «Бриз-М1» по следующим сигналам:

- «Р проливка» — понижение давления 1 контура до уставки Р проливки;
- «Р1к↓» — понижение давления 1 контура до уставки АЗ Р1к↓;
- «Pl к↑» — повышение давления 1 контура до уставки АЗ Р1к↑;
- «Стоп 3–4х БЧВ» — одновременное или последовательное падение оборотов трех или четырех ЦНПК, работающих на БЧВ, до 2350 об/мин при Nф >40% Nном;
- «Стоп 3-х МЧВ» — одновременное или последовательное падение оборотов трех ЦНПК, работающих на МЧВ, до 680 об/мин;
- «Стоп 4-х МЧВ» — одновременное или последовательное падение оборотов четырех ЦНПК, работающих на МЧВ, до 680 об/мин;

«Qпв↓» — понижение расхода питательной воды в парогенераторы до уставки АЗ Qпв↓;

- обобщенные сигналы АЗ из системы «Марс-М1»;
- неисправность в цепях формирования сигналов АЗ в двух одноименных каналах системы «Бриз-М1»;
- полное обесточивание установки.

Структурная схема формирования и отработки сигналов АЗ аппаратурой системы «Бриз-М1» представлена на рис. 7.

В качестве датчиков частоты вращения ЦНПК используются измерительные преобразователи ДСО-2, предназначенные для непрерывного контроля оборотов ЦНПК по сигналу, поступающему с выхода тахогенератора насоса и сигнализации при частоте вращения насоса ниже уставки большой частоты (БЧ) и ниже уставки малой частоты (МЧ). В качестве датчиков давления 1 контура используются преобразователи абсолютного давления типа ПДА-РС. В качестве датчика расхода питательной воды через ПГ применён трёхканальный датчик «Свирель-Р».

Сбор информации от вторичных преобразователей аналоговых датчиков осуществляется в модулях МФ-АД107М приборов ПСИИ, при этом трехканальные датчики связаны с приборами ПСИИ по принципу «прибор — канал». В модулях МФ-АД107М обеспечивается также гальваническая развязка сигналов датчиков и формирование дискретных выходных сигналов при достижении входным сигналом уставки порогового устройства.

Особенностью модуля МФ-АД107М является наличие аналого-релейного преобразователя, позволяющего проводить мажорирование по схеме «2 из 3» одноименных сигналов из всех трех приборов ПСИИ. Сформированные сигналы об отклонении контролируемых параметров за аварийные уставки передаются в приборы ПАУЗ контактами исполнительных реле.

ЦЕНТРАЛЬНЫМ ЗВЕНОМ В СТРУКТУРЕ ФОРМИРОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ АВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ППУ ЯВЛЯЮТСЯ ПРИБОРЫ ПАУЗ. АППАРАТУРА АВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ППУ ВЫПОЛНЕНА В ВИДЕ ТРЕХКАНАЛЬНОГО КОМПЛЕКТА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО РЕАЛИЗАЦИЮ ФУНКЦИЙ БЕЗОПАСНОСТИ, НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТАННЫХ АО «КОНЦЕРН «НПО «АВРОРА» ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРОВ, АПРОБИРОВАННЫХ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ СУДОВЫМИ РЕАКТОРАМИ.

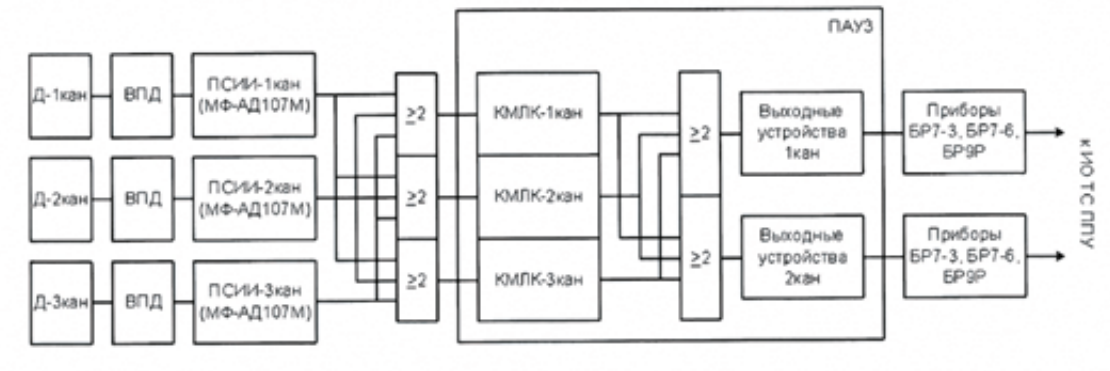


Рис. 7. Структурная схема формирования и отработки сигналов АЗ системой «Бриз-М1»

В приборах ПАУЗ ППУ сигналы, поступившие от приборов ПСИИ, сигнализаторов оборотов ЦНПК (ДСО-2) и из системы «Маре-М1», обрабатываются по заложенным алгоритмам, в результате чего формируются управляющие команды на обмотки манипуляторов, пусковые реле механизмов и в смежные системы.

Приборы ПАУЗ ППУ имеют одинаковый модульный состав и отличаются друг от друга программой обработки данных, хранящейся в модулях памяти (модуль МП). Прибор ПАУЗ представляет собой отказоустойчивое мультипроцессорное цифровое устройство, содержащее три синхронно работающих канала реализации временных логических функций и алгоритмов управления техническими средствами и два канала передачи дискретной информации.

В состав каждого синхронно работающего канала входит комплект модулей логического контроллера (КМЛК), предназначенный для управления работой комплекта; сбора дискретной информации от сигнализаторов, аналого-релейных преобразователей приборов ПСИИ, переключателей режимного управления ПУ ППУ, а также информации от смежных систем и приборов; мажорирование по схеме «2 из 3» и передачу выходных сигналов на выходные устройства.

Передача команд из приборов ПАУЗ на исполнительные органы управляемых технических средств производится через приборы типа БР7 и БР9Р.

Таким образом видно, что формирование сигналов АЗ по технологическим параметрам и срабатывание АЗ по ним происходит с явной задержкой по времени по сравнению с параметрами, контролируемыми СУЗ «Марс-М1» непосредственно. Задержка складывается из времени приёма и обработки сигнала в системе «Бриз-М1», передачи аварийного сигнала в СУЗ «Марс-М1», формирования в СУЗ «Марс-М1» сигнала АЗ и выдачу его на отработку в систему «Бриз-М1» и другие смежные системы.

Кроме того, цепочка обработки сигнала отклонения параметра удлиняется на определённое количество модулей, что может отрицательно сказаться на надёжности реализации наиболее важной для ядерной безопасности функции — аварийной защиты ЯЭУ.

Обеспечение ядерной безопасности на всех этапах жизненного цикла создаваемых в АО «Концерн «НПО «Аврора» изделий, предназначенных для поставки на объекты атомной энергетики, является одной из стратегических целей политики Концерна в области качества, что достигается путем внедрения и реализации целого ряда технических и организационных мер, направленных на безусловное и приоритетное соблюдение требований федеральных, межотраслевых, отраслевых норм и правил в области использования атомной энергии.

ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ СУЗ ACLA01, ВХОДЯЩЕЙ В АСУ ТП ПЭБ «ЛАГУНА» ДЛЯ ПЛАВУЧЕГО АТОМНОГО ЭНЕРГОБЛОКА «АКАДЕМИК ЛОМОНОСОВ» ПР. 20870 С ЯДЕРНЫМИ РЕАКТОРАМИ КЛТ-40, И СИСТЕМЫ СУЗ «МАРС-220», ВХОДЯЩЕЙ В КСУ ТС «КОТЛИН-220» ДЛЯ УНИВЕРСАЛЬНЫХ АТОМНЫХ ЛЕДОКОЛОВ «АРКТИКА», «СИБИРЬ», «УРАЛ» ПР. 22220 С ЯДЕРНЫМИ РЕАКТОРАМИ РИТМ-200, КОНЦЕРНОМ ВПЕРВЫЕ БЫЛА ПРИМЕНЕНА КОНЦЕПЦИЯ «ЯДЕРНОГО ОСТРОВА».

Создание так называемого «ядерного острова» — концентрации всей аппаратуры, связанной с управлением срабатыванием аварийной защиты, в одной системе — системе управления и защиты (СУЗ) реактора позволяет, с одной стороны, обеспечить наивысшее качество изготовления аппаратуры, реализующей наиболее важную для ЯБ функцию, а с другой стороны — «разгрузить» остальные системы управления ЯЭУ для повышения качества контроля и управления установкой в нормальных эксплуатационных режимах.

Структурная схема формирования и отработки сигналов АЗ системой «Марс-220» приведена на рис. 8.

Аварийная защита реактора РИТМ-200 срабатывает при отклонении до аварийной уставки таких же нейтронно-физических и технологических параметров, как и КЛТ-40.

Аппаратура контроля параметров выполнена трёхканальной. Каналы независимые, разделены функционально, гальванически и физически.

В качестве датчиков плотности нейтронного потока используются подвески ионизационных камер ПИК36–6 (пусковые и рабочие ИК). Токовые сигналы от них поступают в приборы ППА и КМТ, в которых вырабатываются сигналы периода удвоения мощности τ и фактической мощности реактора Nф, а также аварийные сигналы по уменьшению периода удвоения мощности τ↓ и превышению мощностью реактора Nф↑ разрешённого уровня.

В качестве датчиков частоты вращения ЦНПК используются измерительные преобразователи КТ6, предназначенные для непрерывного преобразования знакопеременного периодического сигнала, поступающего с выхода тахогенератора насоса в пропорциональное напряжение постоянного тока и сигнализации при частоте вращения насоса ниже уставки большой частоты (БЧ) и ниже уставки малой частоты (МЧ). В качестве датчика расхода питательной воды через ПГ применён трёхканальный датчик «Свирель-Р». В качестве датчиков давления 1 контура используются преобразователи абсолютного давления типа «Сапфир-22МР».

Сигналы от датчиков технологических параметров поступают в три прибора ПРКТП (приборы контроля технологических параметров), где обрабатываются, сравниваются с уставками и, в случае достижения ими аварийных уставок, поступают в прибор ПАЗ (аварийной защиты).

Мажорирование аварийных сигналов по схеме «2 из 3» и формирование сигнала АЗ происходит в приборе ПАЗ. Далее происходит обесточивание электромагнитов, обеспечивающих удержание групп стержней АЗ во взведенном положении, формируются команда на аварийное опускание КГ и обобщенный сигнал АЗ в смежные системы для отработки арматуры и механизмов по заданным алгоритмам.

Таким образом, применение концепции «ядерного острова» при проектировании и создании систем СУЗ позволяет:

- обеспечить наивысшее качество изготовления аппаратуры, реализующей наиболее важную для ядерной безопасности функцию — аварийную защиту ЯЭУ;
- уменьшить временную задержку от момента достижения параметром аварийной уставки до срабатывания аварийной защиты;
- повысить надёжность реализации функции АЗ за счёт сокращения цепочки прохождения и обработки аварийного сигнала;
- «разгрузить» остальные системы управления ЯЭУ для повышения качества контроля и управления установкой в нормальных эксплуатационных режимах.

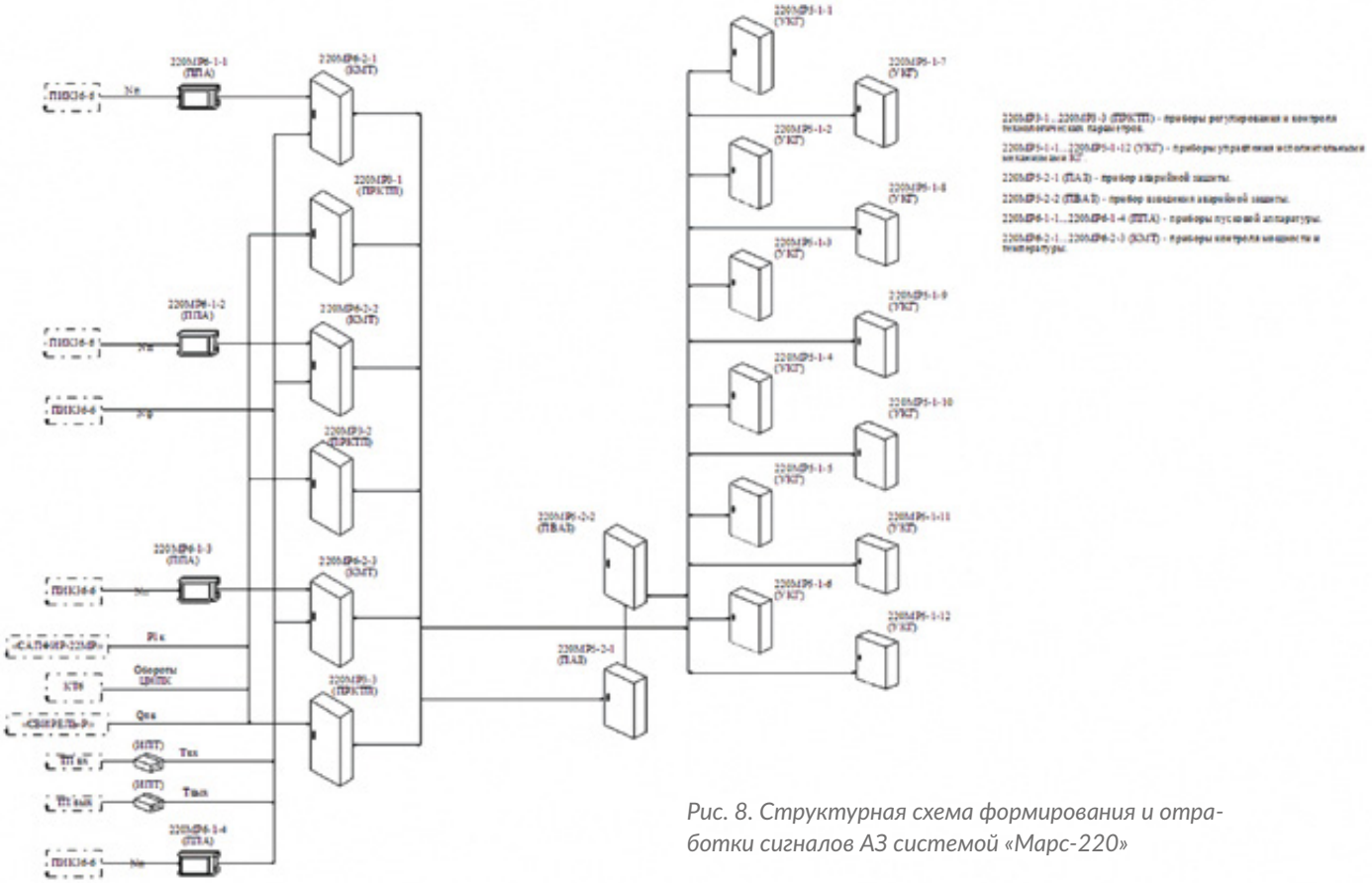


Рис. 8. Структурная схема формирования и отработки сигналов АЗ системой «Марс-220»

Список литературы

1. *Алпеев А. Диверсные защиты. Обеспечение разнообразия при проектировании АЗ АЭС (ФБУ «НТЦ ЯРБ»), 2015.*
2. *Дядик А.Н., Сурин С.Н. Энергетика атомных судов. «Судостроение», 2014.*
3. *Князевский К., Фадеев Ю. и др. Проектные решения РУ РИТМ-200, призванные обеспечить эксплуатацию УАЛ. «Арктика: экология и экономика», №3, 2014.*
4. *Конышев Н.В., Грецкий Л.Ю. и др. Комплекс аппаратуры системы управления и защиты по нейтронно-физическим параметрам. Ядерные измерительно-информационные технологии, №1, 2004.*
5. *Кудинович И.В., Сутеева А.Ж., Хорошев В.Г. Ядерные энергетические установки перспективных объектов морской техники гражданского назначения. Труды ФГУП «Крыловский государственный научный центр», СПб, Россия, №4, 2018.*
6. *Мурогов В.М. Состояние и перспективы развития ядерной энергетики в мире и в России. Международный Союз ветеранов ядерной энергетики и промышленности (Будапешт, Венгрия), 2015.*
7. *Сурин С.Н., Тудер Ю.Л. Автоматизация систем безопасности судовых атомных установок. «Судостроение», СПб., № 6, 1990.*
8. *Сурин С.Н. Основные принципы создания комплексной системы управления техническими средствами. Системы управления и обработки информации: научн.-техн. сб., ФНПЦ «НПО «Аврора», СПб, 2000г. Вып.1*
9. *Сурин С.Н. и др. Основные принципы построения систем управления технологическими процессами плавучей атомной теплоэлектростанции. Системы управления и обработки информации: научн.-техн. сб., ФНПЦ «НПО «Аврора», Вып.2, СПб, 2000.*

Авторы: БОНДАРЕНКО В.О., ХОЛЯВИН А.И., БЕЛЯЕВ Я.В., МЯГКОВ А.М., ЕПИФАНОВ Д.О., ЯВОРОВСКАЯ Н.Л., ЛАЗАРЕВ В.Ю., ПЕСКОВ В.А.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ СТЕРЕОТАКСИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ МАЛОИНВАЗИВНЫХ НЕЙРОХИРУРГИЧЕСКИХ ВМЕШАТЕЛЬСТВ

Когда-нибудь в будущем хирургические операции станут не нужны. Дал врач таблетку, и рассосалась опухоль, исчезла грыжа, растворились камни в желчном пузыре, затянулась рана... И действительно, за последние десятилетия развитие медицины привело к тому, что некоторые заболевания (например, язва желудка и двенадцатиперстной кишки) из разряда хирургических практически полностью перешли в группу терапевтических патологий, и операции при этих состояниях выполняются чрезвычайно редко. Но процесс отказа от хирургии, безусловно, будет очень долгим, и если прогнозировать даже на сотни лет вперёд, то хирургические операции останутся нужными больным людям ещё очень долго. Поэтому перед медицинской наукой в настоящее время стоит животрепещущая задача — сделать операции максимально безопасными, короткими по времени, чтобы пациенты легко их переносили.

Особенно важно решить эту проблему для такого раздела хирургии, как операции на головном мозге. Здесь в сравнительно небольшом объеме сосредоточено колоссальное количество (более 16 миллиардов) нервных клеток — нейронов, соединяющих их волокон, кровеносных сосудов. И малейшая неточность, допущенная хирургом во время операции, может привести к фатальным последствиям. Тем не менее, только в нашей стране нейрохирургические операции выполняются более чем 150 тысячам пациентов. Из них около 40 тысяч подвергаются так называемым высокотехнологичным операциям, которые требуют использования современного сложного медицинского оборудования [1].

Конечно, никакая, даже сверхсовременная техника, оснащённая искусственным интеллектом, не способна заменить опыт, знания, человеческое отношение к пациенту, профессиональные навыки квалифицированного врача. Но высокотехнологическое оборудование действительно во многом позволяет расширить его возможности в отношении лечения сложных заболеваний, требующих проведения ювелирной хирургической работы.

Не последнюю роль в развитии этой тенденции играет современная автоматизация. Роботохирургия — одно из направлений совершенствования хирургической аппаратуры. Хирургические роботы уже не первое десятилетие успешно применяются в таких областях, как общая хирургия, кардиохирургия, офтальмохирургия и ряде других специальностей.

Безусловно, фраза, прозвучавшая в палате: «а Вас, пациент Иванов, завтра будет оперировать робот» может вызвать далеко неоднозначную реакцию даже у самого хладнокровного пациента. Но на самом деле и ответственность, и всё управление ходом операции лежит на враче. Конечно, использование все более сложной техники в операционной повышает зависимость исхода лечения от корректной работы оборудования. Да и стоимость затрат на лечение пациента возрастает. Но высокотехнологическая

Аннотация В статье описаны этапы создания и представлены результаты разработки стереотаксического комплекса для малоинвазивных нейрохирургических вмешательств. Комплекс состоит из двух медицинских изделий: 6-осевого роботизированного манипулятора для стереотаксической хирургии и криогенного деструктора. Роботизированный манипулятор может быть использован для хирургического лечения глубоко расположенных патологий головного мозга. Полностью автоматизированный криогенный деструктор позволяет осуществить высокоизбирательное, точечное низкотемпературное воздействие на имеющую патологию структуру головного мозга человека и гарантирует получение ограниченной зоны некроза тканей в прогнозируемом объеме. В статье приведены результаты фантомных тестов стереотаксического манипулятора в условиях операционного пространства с использованием оптической хирургической навигационной станции и результаты оценки повторяемости объема зоны криодеструкции, полученные в среде, моделирующей головной мозг человека. Испытания показали, что комплекс пригоден для выполнения любых стереотаксических хирургических вмешательств на головном мозге.
Ключевые слова: стереотаксис, роботизированная хирургия, криохирургия, малоинвазивная нейрохирургия.

Abstract The paper presents the stages of creation and the results of the development of a stereotactic apparatus for minimally invasive neurosurgical interventions. This apparatus consists of two medical devices: a 6-axis robotic manipulator for stereotactic surgery and a cryogenic ablator. The 6-axis robotic manipulator can be used for surgical treatment of deep-seated pathologies of the brain. A fully automated cryogenic ablator makes it possible to carry out a highly selective, pinpointed, low-temperature manipulation on a pathological structure of the human brain and guarantees the production of a predictable and limited zone of tissue necrosis. The paper also presents the results of phantom tests of the manipulator in the neurosurgery operation room using the surgical optical navigation system and the results of the repeatability of the volume of the cryodestruction zone, obtained in an test environment that simulates the human brain. These tests showed that this apparatus can be used for all types of stereotactic surgical interventions on the brain.
Keywords: stereotaxis, robotic surgery, cryosurgery, minimally invasive neurosurgery.

аппаратура становится всё более неотъемлемым элементом нашей жизни. И те строжайшие требования, которые предъявляются к сертификации и к контролю за работоспособностью медицинского оборудования, в настоящее время полностью обеспечивают безопасность хирургического процесса. А уж о том, что никаких денег не жалко, чтобы помочь в максимальной степени восстановить здоровье пациенту, и говорить не приходится. Об этом свидетельствует и возрастающее ежегодно количество высокотехнологических операций, финансируемых за счёт государства.

Преимуществ, связанных с использованием роботехники в операционной, гораздо больше: это уменьшение трудоемкости операции; снижение рисков, связанных с человеческим фактором; повышение точности введения инструмента в биологические ткани и органы пациента; сокращение общей продолжительности хирургических вмешательств [2].

В отличие от названных выше медицинских хирургических специализаций, использование роботов в нейрохирургии ещё не так распространено. Это связано с высочайшим уровнем сложности нейрохирургических операций, которым далеко не всегда соответствуют возможности даже самой современной аппаратуры. Тем не менее, есть один раздел нейрохирургии, где роботы уже используются. Это стереотаксическая нейрохирургия.

Ещё в 1897 г. французский хирург G. Contremoulins предложил устройство, которое во время нейрохирургической операции позволяет прицельно вводить в глубину мозга инструменты и извлекать, например, пули или другие инородные тела [3]. В дальнейшем техника стереотаксических операций в середине XX века была усовершенствована американцами E. A. Spiegel и H. Wycis [4]. В основе стереотаксических операций лежат использование трёхмерных координатных систем, благодаря чему

каждой точке головного мозга можно присвоить три значения координат X, Y и Z, благодаря чему становится технически возможно при помощи внешнего оборудования ввести в данную точку инструмент в форме канюли, для проведения в этой зоне мозга лечебного или диагностического воздействия [5]. Пространственная «привязка» стереотаксических координат к искомым зонам головного мозга пациента производится при помощи медицинской нейровизуализации. Во времена E. A. Spiegel и H. Wycis это была рентгенография, сейчас используются современные методы томографии — МРТ, КТ или ПЭТ.

Стереотаксис относится к малоинвазивной нейрохирургии и предусматривает прицельное введение стереотаксического инструмента через фрезевое отверстие на черепе при помощи специальных нейрохирургических манипуляторов. Использование стереотаксического метода позволяет выполнять операции на глубинных и функционально значимых отделах мозга, недоступных для стандартных открытых нейрохирургических вмешательств. Поскольку в основе стереотаксической операции лежит поступательное движение канюли в мозг, эта сравнительно простая с точки зрения механики манипуляция вполне может быть осуществлена при помощи современной робототехники. А присущая оборудованию прецизионная техника даёт возможность обеспечить очень высокую точность введения инструмента в целевые точки мозга в соответствии с рассчитанными стереотаксическими координатами, что существенно улучшает результаты операции.

С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕРЕОТАКСИЧЕСКОГО МЕТОДА МОЖНО ЛЕЧИТЬ ДОСТАТОЧНО ШИРОКИЙ СПЕКТР ПАТОЛОГИИ ГОЛОВНОГО МОЗГА: ОПУХОЛИ, БОЛЕЗНЬ ПАРКИНСОНА, ЭПИЛЕПСИЮ И ЦЕЛЫЙ РЯД ДРУГИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ, ВКЛЮЧАЯ ДАЖЕ НЕКОТОРЫЕ ПСИХИЧЕСКИЕ НАРУШЕНИЯ [6, 7]. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РОБОТОВ-МАНИПУЛЯТОРОВ ДЛЯ СТЕРЕОТАКСИЧЕСКОЙ БИОПСИИ (ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛА ГЛУБИННОЙ ОПУХОЛИ МОЗГА ДЛЯ АНАЛИЗА) И ИМПЛАНТАЦИИ ВНУТРИМОЗГОВЫХ ЭЛЕКТРОДОВ СВИДЕТЕЛЬСТВУЕТ ОБ УСПЕШНОМ РАЗВИТИИ ЭТОГО НАПРАВЛЕНИЯ [8].

Опухоли головного мозга — пример патологии, которая может быть показанием к стереотаксическим операциям с использованием робототехники. Внутримозговые новообразования представляют собой весьма серьезную проблему. Встречаемость таких опухолей составляет от 2 до 25 человек на 100 000 населения ежегодно, среди всех опухолевых заболеваний они могут составлять до 6–8%. Широкое внедрение томографии (МРТ и КТ), в последние годы существенно улучшило диагностику опухолей головного мозга. Однако возможности лечения во многих случаях ограничены.

Опухоли могут располагаться в двигательной, зрительной или речевых областях головного мозга. В таких случаях (а они могут достигать 35% среди всех больных с опухолями головного мозга) удаление может привести к повреждению важных зон мозга, тем самым ухудшив качество жизни пациента [9–11]. Операции у таких больных имеют слишком высокий риск осложнений и практически не производятся. В то же время, в последние годы, благодаря бурному развитию нейровизуализации и малоинвазивной нейрохирургии, появилась возможность хирургически лечить новообразования мозга путем проведения стереотаксических операций. Это существенно снижает риск послеоперационных осложнений, по сравнению с традиционными операциями.

Стереотаксические воздействия при помощи инструмента, прицельно введённого во внутримозговые мишени во время операции, могут осуществляться, например, в виде лечебных стимуляций, как это обычно делается при болезни Паркинсона, кривошее, эпилепсии. Другой вид лечебных воздействий включает в себя локальную деструкцию патологической ткани головного мозга, а именно высокоизбирательное, точечное низкотемпературное воздействие на имеющую патологию структуру головного мозга человека и получение ограниченной зоны некроза тканей в прогнозируемом объеме. Стереотаксическая криодеструкция имеет длительную историю успешного применения при лечении глубинных глиальных опухолей и эпилепсии, связанной с мезиальным темпоральным склерозом. Кроме того, криодеструкция может быть использована и при других видах стереотаксических операций — при болезни Паркинсона, дистонии, психических нарушениях [6]. Болезнь Паркинсона является одним из наиболее часто встречающихся заболеваний экстрапирамидной нервной системы, частота которой увеличивается с возрастом и составляет 1% в популяции старше 70 лет и 2% у лиц старше 80 лет.

К преимуществам стереотаксической криодеструкции относятся локальность и предсказуемость размеров крионекроза, а также интраоперационного контроля при помощи ультразвука. При стереотаксическом использовании криодеструкции предполагается введение криозонда в толщу опухолевого узла с последующим полным или частичным его замораживанием. После оттаивания в этой зоне образуется очаг некроза, который через несколько недель рассасывается, превращаясь в кистозную полость.

Если очаг некроза захватывает весь опухолевый узел, то теоретически можно добиться полного выздоровления больного.

Большинство современных манипуляторов для стереотаксической нейрохирургии имеют высокую рыночную стоимость и требуют специального операционного пространства. Основными участниками рынка стереотаксических роботов являются «Renishaw Plc» (Великобритания) и французская компания «MedTech SAS», которая в 2014 году была выкуплена «Zimmer Biomet» (USA). Обе компании продают стереотаксические роботы-манипуляторы, имеющее пять или шесть осей. Стоимость этих систем составляет около одного миллиона долларов США, поэтому создание недорогого и компактного робота-манипулятора для стереотаксической нейрохирургии является весьма актуальной задачей. Также следует учесть, что отечественная промышленность не выпускает автоматизированные комплексы для проведения нейрохирургических вмешательств, поэтому создание подобного комплекса решает не только научно-технические и медицинские задачи, но и задачу импортозамещения. Отдельно стоит отметить, что рассматриваемый проект соответствует приоритетным направлениям развития науки по перечню критических технологий, утвержденных Указом Президента РФ № 899 от 07.07.2011 — п. 4.

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ПРОЕКТА

Последовательно увеличивая долю работ по «гражданской» тематике, с 2018 г. АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» возобновило работы по проектированию и производству медицинской техники. Одной из важнейших разработок в области медицинской техники стал созданный в 1993 г. совместно с Институтом мозга человека РАН им. Н. П. Бехтеревой (ИМЧ РАН) стереотаксический механический манипулятор «Ореол» (рис. 1). [12,13,14] Этот уникальный прибор позволял нейрохирургам доставлять рабочий инструмент к патологии головного мозга с высокой точностью. Было изготовлено около 20 таких изделий, и для своего времени это была прогрессивная техника. Достаточно сказать, что «Ореол» до сих пор успешно применяется в ряде нейрохирургических клиник.

Нейрохирургия была не единственной сферой медицины, в которой специалисты фирмы достигли больших успехов. В музее концерна разработкам в области медицины посвящена отдельная экспозиция. Восстанавливая в концерне данное направление, специалисты созданного специально для решения этой задачи инженерного творческого коллектива (ИТК) «Медтехника» начали с того, что возобновили прежние связи с ИМЧ РАН. Сотрудники лаборатории стереотаксических методов стали полномасштабно

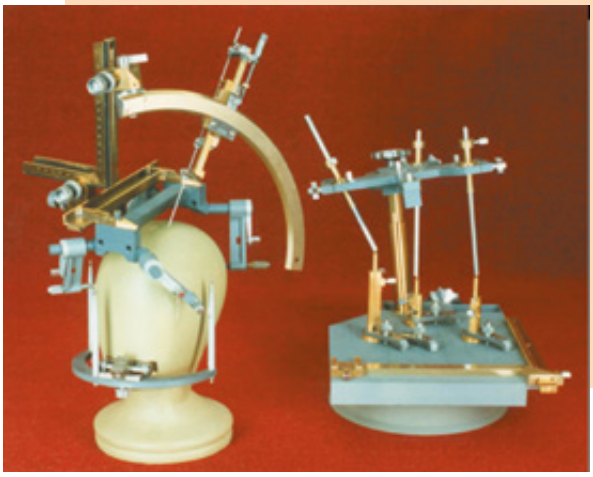


Рис. 1 Механический стереотаксический манипулятор «Ореол»

участвовать в проекте. Неоценимый вклад в работу над криодеструктором внес, к сожалению ушедший из жизни, сотрудник ИМЧ РАН — д.т.н. Владимир Беньевич Низковолос.

На подготовительном этапе разработки нейрохирурги пригласили специалистов ИТК на операции. Наблюдая за работой врачей, специалисты сразу же обратили внимание на то, что значительная часть времени и внимания медиков приходится на работу с механическим «Ореолом». Инженерам стало понятно, что в XXI веке на помощь нейрохирургам просто обязаны прийти роботы-ассистенты, избавив врачей от необходимости ручной механической настройки при наведении инструмента на целевую точку и позволив им сконцентрироваться исключительно на лечении пациента. Так родилась идея создать первый отечественный стереотаксический роботизированный манипулятор.

Специалисты ИТК старались учесть практически все пожелания медиков. Было много встреч, обсуждений и деловой переписки. В ходе одного из таких визитов сотрудники ИМЧ РАН показали еще один уникальный прибор — криодеструктор, работающий на твердой углекислоте. Медики попросили помочь с изготовлением вспомогательных деталей для криодеструктора, но специалисты ИТК увидели задачу шире и решили полностью пересмотреть конструкцию криодеструктора. Взялись разработать прибор, который бы работал исключительно от электроэнергии и обеспечивал бы непрерывную возможность автоматического контролируемого разрушения биологической ткани.

С первого дня разработку приборов поддержал лично генеральный директор АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» — академик В. Г. Пешехонов. Несмотря на напряженный рабочий график, Владимир Григорьевич всегда находил время не только, чтобы принять доклад о ходе выполнения работ, но и сам не раз приходил в лабораторию ИТК «Медтехнинка», где

внимательно погружался в организационные и технические проблемы.

За семь месяцев небольшому коллективу единомышленников удалось создать экспериментальные образцы приборов. В конце 2018 г. приборы успешно прошли предварительные испытания, в том числе и фантомные тесты в условиях операционного пространства, и тогда стало понятно, что можно приступить к разработке серийных образцов. В марте 2019 г., уже в процессе работы над серийными образцами, на проект обратило внимание и правительство Санкт-Петербурга. А летом того же года экспериментальный образец стереотаксического роботизированного манипулятора экспонировался на Петербургском Международном Экономическом Форуме, где несмотря на неказистый вид (ведь демонстрировался фактически макет) посетители форума проявили к нему большой интерес (рис. 2).

Работа шла штатно, но в феврале 2020 г. в планы ИТК вмешался Covid-2019. Дело в том, что для изготовления опытных образцов корпусных элементов манипулятора была применена аддитивная технология. Первые образцы деталей печатались в Китае методом 3D SLM печати из алюминиевого порошка. К сожалению, в России данная технология пока не получила широкого распространения. Хотя, следует отметить, что детали для последующих образцов были уже изготовлены в РФ. Но в феврале 2020 г. изготовление первых опытных образцов корпусных элементов манипулятора происходило совсем недалеко от небезызвестного города Ухань. В итоге вместо марта детали были доставлены только в июне.

БЛАГОДАРЯ УСЕРДНОЙ РАБОТЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ИТК И ПРИ АКТИВНОЙ ПОМОЩИ ПРАКТИЧЕСКИ ВСЕХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ КОНЦЕРНА, ДО КОНЦА 2020 Г. БЫЛИ СОБРАНЫ ПЕРВЫЕ СЕРИЙНЫЕ ОБРАЗЦЫ И ПОДГОТОВЛЕН НЕОБХОДИМЫЙ КОМПЛЕКТ ДОКУМЕНТОВ ДЛЯ НАЧАЛА ТЕХНИЧЕСКИХ И ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ В АККРЕДИТОВАННЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ.

Подготовка к этому этапу работ была кропотливой. Пришлось «с нуля» подготовить ряд совершенно «новых» и незнакомых до этого документов, вносить изменения в стандарты организации и т.д. Требования к медицинским изделиям очень жесткие: даже неверное размещение информационной таблички на приборе является критическим несоответствием, которое не позволяет признать прибор пригодным для использования в качестве медицинской техники. Лаборатории, аккредитованные на право проводить испытания медицинской техники, из-за Covid-2019 оказались перегружены работой.

Рис.2 Губернатор Санкт-Петербурга А.Д. Беглов посещает экспозицию концерна на ПЭМФ

Договоры на технические испытания были заключены еще в декабре 2020 г., но реальная работа по испытаниям началась только в марте 2021 г.

Ситуация с токсикологическими испытаниями оказалась аналогичной. Несмотря ни на что, к концу 2021 г. были проведены испытания и получены положительные акты и заключения от аккредитованных лабораторий на оба прибора. В декабре 2021 г. в Росздравнадзор были направлены регистрационные досье. В конце 2022 г. были получены разрешения на проведение клинических испытаний на оба прибора. Клинические испытания организованы на базе Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова (ВМА).

Что касается довольно длительных сроков самой процедуры получения регистрационных удостоверений Росздравнадзора — в целом, это обычная практика в мире медицинской техники. Так, например, в странах Евросоюза процедура одобрения для медицинских изделий занимает около 2 лет. Определяются такие сроки, прежде всего, высочайшим уровнем ответственности, так как ценой ошибки при испытаниях может стать жизнь пациента. Важно отметить, что помимо упомянутых сотрудников ИМЧ РАН, значительный вклад в работу над приборами внес нейрохирург, д.м.н., профессор Борис Владимирович Мартынов (ВМА). Сам факт того, что с самого первого дня с командой ИТК работали замечательные врачи — очень важен. Подобные приборы просто невозможно сделать «в вакууме», замечаний от медиков было много, специалисты ИТК старались их учесть.

КОНЦЕПЦИЯ КОМПЛЕКСА И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

Главная идея проекта — создание недорогих отечественных медицинских приборов, пригодных для эффективного и безопасного хирургического лечения распространенных заболеваний центральной нервной системы.

Основные требования к стереотаксическому роботизированному манипулятору следующие: рабочее пространство не менее 0,4 м^3, точность позиционирования не более 0,5 мм, возможность изменения угла наклона стереотаксического инструмента при неизменности координат его конечной точки, совместимость с оптическими и электромагнитными системами хирургической навигации, соответствие требованиям к изделиям медицинской техники.

Задача снижения себестоимости роботизированного манипулятора в разработанной конструкции достигается за счет отказа от дорогостоящих деталей: моментных двигателей, прецизионных датчиков углового положения и токоподводов. Для привода всех осей используются шаговые двигатели и гармонические (волновые) редукторы. Расчетный ресурс выбранных редукторов составляет 15000 часов, а их стоимость в России не превышает 1000 долларов США. Для замкнутого контура используется абсолютный многооборотный энкодер. Срок службы подшипников энкодера составляет 3,6x108 оборотов, а средняя наработка до опасного отказа (EN ISO 13849–1) составляет 230 лет. Этот тип энкодера широко доступен на рынке и стоит около 400 долларов США.

Безопасность пациентов — наивысший приоритет. Именно поэтому каждая ось манипулятора оснащена электромагнитной тормозной муфтой (ЭТМ). Для уменьшения количества проводов и обеспечения электромагнитной совместимости на каждой оси используется миниатюрный контроллер шагового двигателя (МКШД). Две CAN-шины используются для управления приводами и для обратной связи. Такая архитектура позволяет полностью остановить манипулятор и сохранить его положение во время хирургического вмешательства. Известно, что 6-осевой манипулятор может достигать любой точки своей рабочей области при любой заданной ориентации, именно поэтому описываемая система имеет 6 осей.

Программируемый логический контроллер (ПЛК) используется для управления положением и в качестве системы безопасности. Система управления позволяет отключить все МКШД и одновременно активировать все ЭТМ для сохранения положения манипулятора в случае сбоя питания или любой чрезвычайной ситуации. МКШД и энкодеры имеют внутренние подсистемы безопасности, поэтому ПЛК получает их фактическое состояние каждые 10 мс по CAN-шине. ПЛК постоянно отслеживает скорость и положение всех осей. Если ось заблокирована или скорость ее движения слишком высока, ПЛК немедленно активирует процедуру аварийной остановки. Эта же процедура активируется в случае аварийного состояния любого МКШД или энкодера.

Графический интерфейс пользователя, планирование движения и все расчеты реализованы на базе промышленного персонального компьютера (ППК) с сенсорным экраном. Обмен данными между ПЛК и ППК осуществляется через соединение Fast Ethernet. Движение манипулятора задается оператором с помощью джойстика, размещенного в пульте управления. На пульте управления также расположены механические кнопки, позволяющие менять режим работы, управлять подачей питания и моментально останавливать манипулятор в случае возникновения аварийной

Рис. 3. 3D-модель и фото МСР «ОРБИТА»

ситуации. Особое внимание разработчики уделили корпусу роботизированного манипулятора. Для изготовления была применена технология 3D SLM печати из алюминиевого порошка. Это позволило не только сделать манипулятор максимально эргономичным, но и значительно облегчило процедуру его сборки.

Как правило, детали подобных манипуляторов делают прецизионными, что также значительно удорожает стоимость производства изделия в целом. Описываемый роботизированный манипулятор не содержит прецизионных деталей. Однако для получения заданных траекторий движения геометрия манипулятора крайне важна. Было необходимо найти сбалансированное решение: с одной стороны, не задавать слишком высокие требования к деталям и узлам манипулятора, с другой стороны, получить достаточно жесткую конструкцию с известной геометрией. Решение пришло во время работы над математическим аппаратом манипулятора. Совместно со специалистами лаборатории линейно-угловых измерений метрологической службы концерна инженеры ИТК разработали оригинальную методику оценки длин и взаимного положения осей манипулятора. Эта методика предполагает размещение манипулятора после сборки в измерительном пространстве трехкоординатной машины, где производится определение длин плеч и взаимного углового положения для осей каждого звена манипулятора, после чего эти данные заносятся в энергонезависимую память манипулятора и используются в дальнейшем в его математической модели. Таким образом, конструкция привода осей и система управления роботизированным манипулятором достаточно просты и большинство их элементов имеют невысокую стоимость. В ходе выполнения работ получены свидетельства о государственной регистрации программного обеспечения №№ 2020610789, 2020611066 (рис 4).

Рис.4 Свидетельства о государственной регистрации программного обеспечения для ЭВМ

Главное требование к криогенному деструктору — обеспечить высокую повторяемость объемов деструкции биологических тканей в полностью автоматическом режиме. Особые требования предъявлены к зондам для криодеструкции. Диаметры зондов от 2,8 до 4 мм, зонд должен содержать датчик температуры рабочей области, конструкция зонда должна выдерживать предельное давление равное 3 х Р раб., температура термозащищенной области зонда после 20 минут работы на предельной температуре (минус 70 °С) не должна быть ниже 0 °С. С учетом опыта эксплуатации криодеструктора, работающего на твердой углекислоте, при проектировании прибора основными задачами стали: исключение необходимости постоянного пополнения хладагента и полностью автоматическое управление подачей хладоносителя в область заморозки.

ГРАФИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕЙС ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ БЫЛ РЕАЛИЗОВАН НА ППК ТОЙ ЖЕ МОДЕЛИ, КОТОРАЯ ИСПОЛЬЗОВАЛАСЬ ДЛЯ РОБОТИЗИРОВАННОГО МАНИПУЛЯТОРА. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КРИОДЕСТРУКТОРОМ РЕАЛИЗОВАНА НА ОТЕЧЕСТВЕННОМ ПЛК ФИРМЫ «ОВЕН», А В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ХОЛОДА ИСПОЛЬЗОВАНА ДВУХКОНТУРНАЯ ХОЛОДИЛЬНАЯ МАШИНА, ЕМКОСТИ ТЕПЛООБМЕННИКА ХЛАДОНОСИТЕЛЯ НИЖНЕГО КАСКАДА ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ ОСНАЩЕНЫ ВНУТРЕННИМИ СПИРАЛЬНЫМИ ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ ЛИНИЯМИ.

В основе холодильной машины лежат недорогие и широко распространенные герметичные компрессоры. Криозонд имеет гибкое подключение к корпусу прибора и встроенный термодатчик, диаметр которого 0,3 мм (рис. 5). Сборки зондов производится с помощью микроскопа. Для соединения корпусных частей используется лазерная сварка. За счет уникальной архитектуры прибора и выверенных алгоритмов управления, была достигнута высокая повторяемость объема зоны криодеструкции. В 2021 г. на криодеструктор оригинальной конструкции был получен Патент на изобретение за № 2751969 (рис. 6).

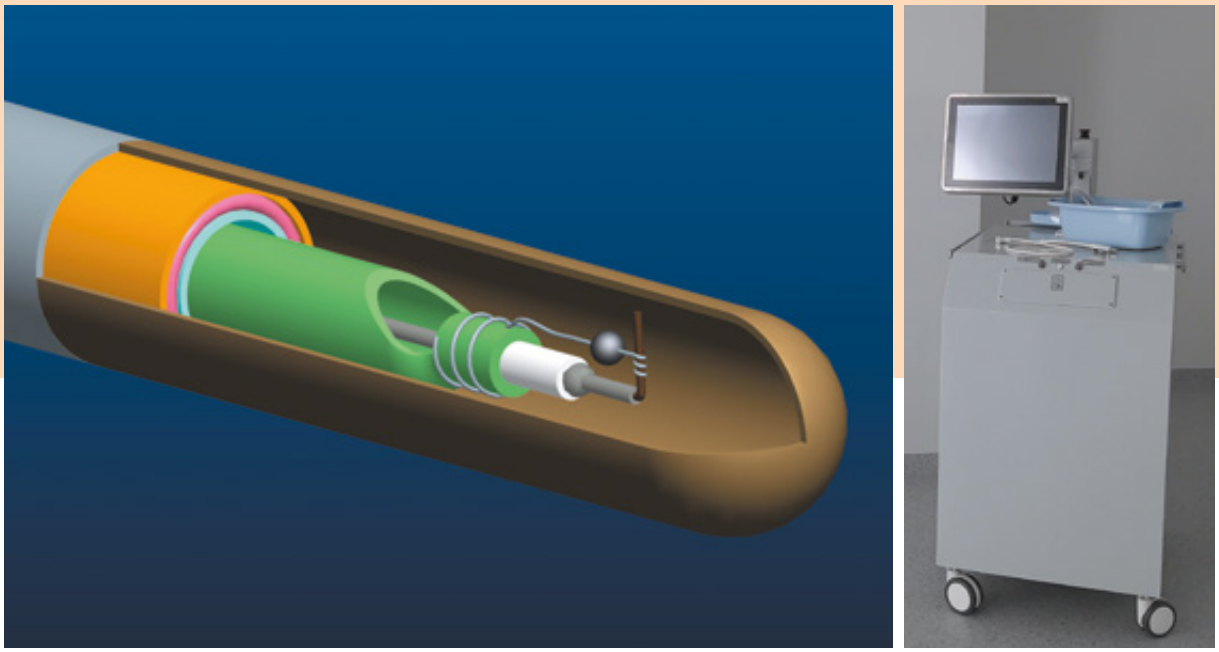


Рис. 5. 3D-модель разреза криозонда и фото криодеструктора «КРИСТАЛЛ»

ИСПЫТАНИЯ ПРИБОРОВ

В соответствии с Законодательством РФ оба медицинских изделия успешно прошли технические и токсикологические испытания в независимых аккредитованных лабораториях и в 2022 г. от Федеральной Службы по надзору в сфере здравоохранения были получили разрешения на проведение клинических испытаний медицинских изделий.

В ходе выполнения работ также было проведено несколько важных экспериментов. В процессе изготовления прототипа манипулятора, с помощью меры плоского угла призматической (24-гранной призмы) и оптического автоколлиматора была определена погрешность углового позиционирования для каждой из шести его осей. Измерения подтвердили, что погрешность позиционирования для любой оси находится в диапазоне от 50" до 60". После сборки, уже в ходе тестирования самого манипулятора в рабочем пространстве трехкоординатной измерительной машины была подтверждена точность позиционирования 0,35 мм по стандарту ГОСТ Р 60.3.3.1–2016.

Прототип системы прошел ситуационные испытания в нейрохирургической операционной. В качестве тест-объекта использовалась модель-фантом [15]. Специальные маркеры были использованы для интраоперационной регистрации и в качестве имитаторов внутримозговых точек-мишеней. Фантом был отсканирован на МРТ аппарате General Electric Healthcare Discovery 710 следующим образом: срезы толщиной 0,625 мм и размером пиксела на томограмме 0,5 × 0,5 мм. Данные томографии были загружены в систему Medtronic StealthStation S7, которая обеспечивала оптическую хирургическую навигацию в реальном времени.

Рис. 6. Патент на изобретение «Криодеструктор»

Во время испытаний система хирургической навигации отслеживала положение зонда Medtronic Navigus, установленного на торцевой раме манипулятора. Важно отметить, что программное обеспечение системы хирургической навигации отображает данные с различных направлений сечения мозга пациента: аксиального, сагиттального, коронарного. Во всех тестах использовалось виртуальное удлинение конечной точки зонда.

Манипулятор и экран программного обеспечения показаны на рис. 7. Реальная часть датчика отмечена синим цветом, а виртуальная часть отмечена желтым цветом. Нацеливание осуществлялось в три шага. Сначала зонд автоматически перемещался манипулятором в ближайшую анатомическую зону. На втором этапе движение манипулятора в трех измерениях позволило обеспечить совмещение конечной точки виртуально вытянутого зонда с целевой

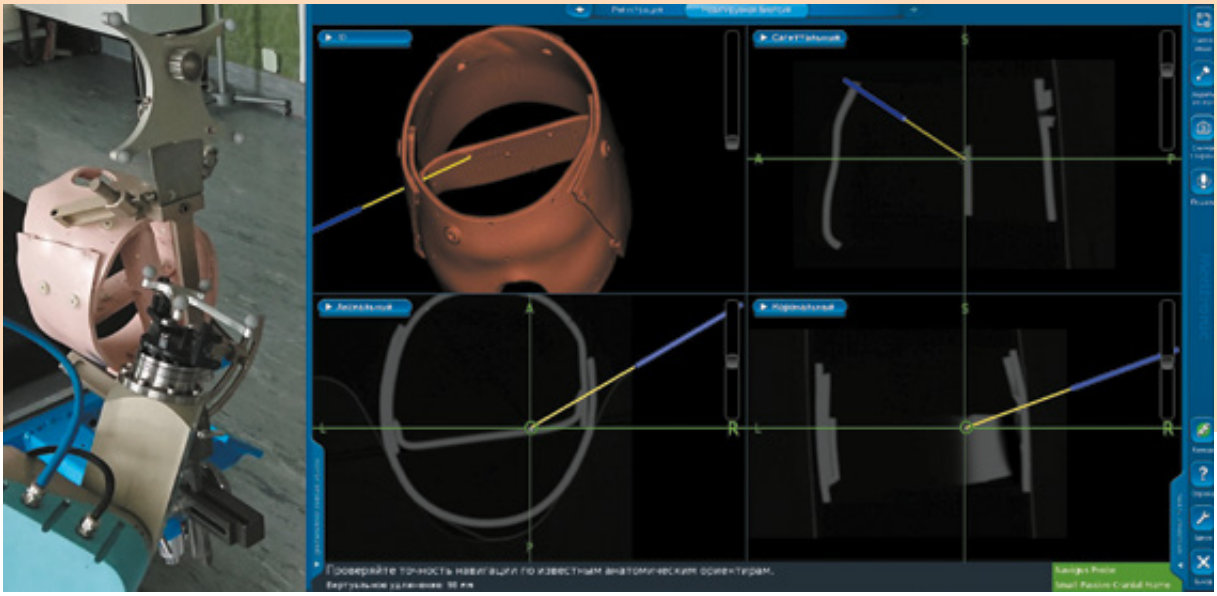


Рис.7 Ситуационные испытания в условиях операционного пространства

точкой в трёх ортогональных плоскостях мозга. На третьем шаге можно было изменить угол зонда, при этом координаты его конечной точки остались неизменными. Джойстик использовался только для управления манипулятором. После наведения зонд заменяли стереотаксическим инструментом, погруженным в фантом. Длина стереотаксического инструмента равнялась практически удлиненному зонду. Во время всех испытаний целевые отметки фантома точно достигались стереотаксическим инструментом. Современные оптические навигационные станции обеспечивают трехмерное отслеживание положения маркеров, прикрепленных к инструментам, в режиме реального времени с субмиллиметровой точностью [16]. Во время испытаний можно было перемещать держатель инструмента манипулятора с шагом 0,06–0,07 мм в любом направлении, при этом оптическая навигационная система отображала новое значение измеренных данных только через 2–3 таких шага.

Для отладки и исследования криодеструктора и криозондов был создан специализированный стенд, позволяющий моделировать среду головного мозга человека. В качестве модельной среды использовали яичный белок, подогретый до 37 0С (имитация ткани) [17]. Криозонд полностью погружался в модельную среду, после чего выполнялась процедура криодеструкции. На протяжении всего времени проведения криодеструкции производилась стабилизация температуры модельной среды. По окончании процедуры криодеструкции выполнялись измерения диаметра полученного эллипсоида (области криодеструкции). Всего было выполнено 400 подобных измерений для двух типов криозондов (рис. 8). Повторяемость размеров области криодеструкции составила ±0,6 мм.

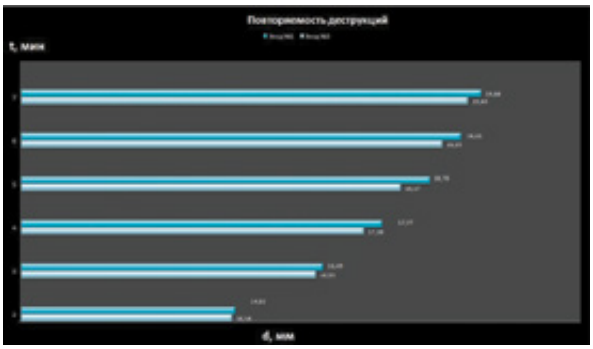


Рис. 8. Повторяемость области криодеструкции

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технические и токсикологические испытания медицинских приборов, входящих в состав стереотаксического комплекса для малоинвазивных нейрохирургических вмешательств, подтвердили правильность выбранных при проектировании и производстве технических решений. Полученные от Федеральной Службы по надзору в сфере здравоохранения разрешения на проведение клинических испытаний медицинских изделий свидетельствуют о соответствии представленных результатов испытаний и полноте сведений технической и сопроводительной документации. Ситуационные испытания стереотаксического роботизированного манипулятора в условиях операционного пространства и испытания по оценке объема зоны криодеструкции в модельной среде подтверждают стабильность основных характеристик описываемых медицинских изделий. По состоянию на начало 2023 г. проект перешел на стадию клинических испытаний.

В результате внедрения разработанных медицинских изделий в практику работы нейрохирургических стационаров ожидается расширение доступности профильной медицинской помощи для пациентов, снижение травматичности операций на головном мозге, увеличение их эффективности и снижение риска осложнений.

Учитывая отсутствие в настоящее время в РФ нормативно-методологических оснований для применения при нейрохирургическом лечении роботизированных ассистирующих технических средств, а также фактическое отсутствие поставок последних в медицинские и научные учреждения, представляется справедливым говорить об отсутствии сколь либо сформированного рынка рассматриваемых продуктов и вступлении его в начальную фазу формирования. Одним из определяющих конкурентных преимуществ, особенно на начальном этапе продвижения, должна стать привлекательная для потенциальных покупателей стоимость медицинских изделий и их обеспеченность высококачественной гарантийной и постгарантийной сервисной поддержкой. В случае успешного внедрения на рынке РФ, а также после получения разработанными медицинскими изделиями положительной оценки в прессе и репутационного капитала в медицинской среде, можно рассчитывать на успех в их продвижении на экспорт, в основном в развирающиеся страны азиатско-тихоокеанского региона (Индия, Китай, Вьетнам и т.д.).

Опыт, полученный в ходе разработки роботизированного манипулятора для стереотаксической хирургии, может быть применен при решении задач в других областях техники, в том числе при создании технологического оборудования автоматизированных производств или измерительной техники, что также работает на решение задачи импортозамещения.

Список литературы

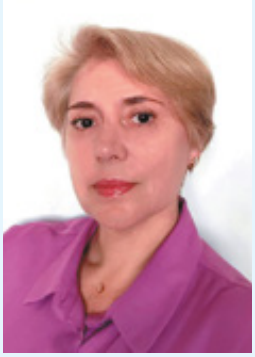
1. *Крылов В.В., Коновалов А.Н., Дашьян В.Г. с соавт. Состояние нейрохирургической службы Российской Федерации. Нейрохирургия. 2016;(3):3-44.*
2. *Cardinale F., Rizzi M., d'Orio P.et al., A new tool for touch-free patient registration for robot-assisted intracranial surgery: application accuracy from a phantom study and a retrospective surgical series, Neurosurg Focus. – 2017. – Vol. 42 (5). – E8*
3. *Giller C.A., Mornet P., Moreau J.F. The first formulation of image-based stereotactic principles: the forgotten work of Gaston Contremoulins. J Neurosurg. 2017 Dec;127(6):1426-1435.*
4. *Rzesnitzek L., Hariz M., Krauss J.K. The Origins of Human Functional Stereotaxis: A Reappraisal. Stereotact Funct Neurosurg. 2019;97(1):49-54.*
5. *Холявин А.И., Аничков А. Д. Методы наведения в современной стереотаксической нейрохирургии. М.: Российская академия наук, 2017. – 170 с.*
6. *Шамрей В.К., Абриталин Е.Ю., Холявин А.И., Корзенев А.В., Песков В.А. Современные методы функциональной стереотаксической нейрохирургии в лечении нервных и психических заболеваний / Вестник неврологии, психиатрии и нейрохирургии. - 2020.- №6. – С. 9-24.*
7. *Marks W.J., Jr (ed.). Deep brain stimulation management. – Cambrige University Press, 2010. – 168 p.*
8. *von Langsdorff D., Paquis P., Fontaine D. In vivo measurement of the frame-based application accuracy of the neuromate neurosurgical robot, J Neurosurg. – 2015. – Vol. 122(1), pp. 191-194.*
9. *Martynov B.V., Kholyavin A.I., Nizkovolos V.B., Parfenov V.E., Trufanov G.E., Svistov D.V. Stereotactic cryodestruction of gliomas / Chernov M.F., Muragaki Y., Kesari S., McCutcheon I.E. (eds): Intracranial Gliomas. Part III - Innovative Treatment Modalities. Prog Neurol Surg. Basel, Karger, 2018, vol 32, pp 27-38.*
10. *Холявин А.И., Низковолос В.Б.,. Очколяс В.Н. с соавт. Стереотаксическое нейрохирургическое лечение глиальных опухолей головного мозга с применением криохирургии и позистронно-эмиссионной томографии.: учебно-методическое посоие/ под ред. А.Д.Аничкова. –СПб: РИЦ ПСПбГМУ, 2018. – С.20.*
11. *Никифоров Б.М.. Клинические лекции по неврологии и нейрохирургии – СПб.: Питер, 1999 г. –С.352.*
12. *Аничков А.Д. Новая универсальная стереотаксическая система / А.Д. Аничков, М.А. Никитин, Ю.З. Полонский и соавт. // Актуальные вопросы стереонейрохирургии эпилепсии / Под ред. В.П. Берснева. – СПб.: РНХИ, 1993. – С. 177-187.*
13. *Никитин М.А. Стереотаксический манипулятор «Ореол» Клинический стереотаксис. Опыт и перспективы применения отечественного нейрохирургического манипулятора «Ореол»: СПб., 2001. – С. 6-8.*
14. *Полонский Ю.З., Холявин А.И., Мартынов Б.В. с соавт. Безрамная расчетная магнитно-резонансная томография со стереотаксическими манипуляторами класса «Ореол» / Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2009. – № 4 (28). – С. 71-78.*
15. *Холявин А.И., Низковолос В.Б., Богдан А.А. Оценка качества наведения стереотаксического инструмента на целевую точку мозга при использовании безрамной навигационной системы. Медицинская техника. – 2018. – № 2 (308). – С. 16-19.*
16. *Wiles A.D., Thompson D.G., Frantz D.D. Accuracy assessment and interpretation for optical tracking systems, Medical imaging 2004: visualization, image-guided procedures, and display. International Society for Optics and Photonics, pp. 421–432.*
17. *Низковолос В.Б. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук «Биофизическое и медико-техническое обоснование локальных воздействий на ткани мозга для стереотаксической нейрохирургии», стр. 85*

Авторы: СМОЛИН А.Л., КУТАХОВ В.П., ЗАХАРОВА А.А., МЕЩЕРЯКОВ Р.В., КЛИМАКОВ В.С.

ОБЗОР МЕТОДОВ И ПОДХОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К БЕСПИЛОТНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ

Аннотация В статье представлен обзор методов и алгоритмов решения задачи маршрутизации транспорта. Указанные подходы интерпретируются с точки зрения современных технологий искусственного интеллекта. Подробно рассматривается мультиагентный подход в решении задач маршрутизации транспорта и формируется постановка задачи для транспортной задачи применительно к робототехническим средства воздушного и морского базирования.
Ключевые слова: транспортная система, беспилотная система, искусственный интеллект, маршрутизация.

Abstract The article provides an overview of methods and algorithms for solving the problem of transport routing. These approaches are interpreted from the point of view of modern artificial intelligence technologies. The multi-agent approach in solving the problems of transport routing is considered in detail and the formulation of the problem for the transport problem in relation to air- and sea-based robotic means is formed.
Key words: transport system, unmanned system, artificial intelligence, routing.



Смолин А.Л., Ведущий специалист Проектного комплекса «Роботизированные авиационные системы», ФГБУ «НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского»

Кутахов В.П., д.т.н., профессор, директор Проектного комплекса «Роботизированные авиационные системы», ФГБУ «НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского»

Захарова А.А., д.т.н., доцент, главный научный сотрудник лаборатории 80 Киберфизических систем, ФГБУН Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

Мещеряков Р.В., д.т.н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории 80 Киберфизических систем, ФГБУН Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

Климаков В.С., к.т.н., профессор, гвардии полковник, «Рязанское гвардейское высшее воздушно-десантное командное училище имени генерала армии В.Ф. Маргелова» МО РФ

Развитие современных технологий и средств позволяет ставить и решать задачи различного класса на принципиально новых принципах. Ряд апробированных классических решений могут рационально решать задачи, однако при существенном увеличении размерности задач или изменения функциональности, включая модификацию или комплексирование критериев эффективности, требуется нахождение новых методов и алгоритмов.

Очевидно, что эффективное применение транспортной системы предполагает, что при соблюдении требований и ограничений на условия транспортировки при доставке грузов, спланировать маршруты, планы и порядок функционирования парка транспортных средств с соблюдением требования минимизации общих затрат или потерь (в зависимости от специфики назначения грузов). Указанные методы решения транспортных задач ставятся, прежде всего, в условиях с минимальным количеством препятствий — в этом случае очень хорошо подходят воздушная и водная среды. Таким образом следует рассмотреть методы и алгоритмы решения задачи маршрутизации транспорта.

ЗАДАЧИ МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТА. МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ.

Задача маршрутизации, как математическая проблема впервые исследовалась в 30-х годах прошлого столетия. Задача маршрутизации транспорта была сформулирована в работе Данцига и Рамсера (G. B. Dantzig & J. H. Ramser) в 1959 г. [1]. В 1964 году Кларк и Райт (G. Clarke & J. W. Wright) обобщили эту задачу до задачи линейной оптимизации, которая стала известна как задача маршрутизации транспортных средств [2].

За длительный период исследований современные модели маршрутизации транспорта значительно изменились, они все чаще стремятся учитывать реальные сложности транспортировки: масштабные транспортные системы с многочисленным и разнородным парком транспортных средств различной грузоподъемности, разнообразные требования к доставке грузов, наличие неопределенностей в транспортно-логистических процессах, динамически меняющиеся параметры и условия перевозки и др. Условия и ограничения задач маршрутизации транспорта (ЗМТ), встречаемые при практической эксплуатации транспортных систем, обусловили множество вариантов постановки таких задач. Поэтому классификация моделей [3, 4] и методов решения ЗМТ постоянно пополняется и достаточно обширна [5].

Задача маршрутизации транспорта заключается в поиске набора маршрутов определенного количества транспортных средств оптимального по выбранному критерию или критериям при условии, что все заявки множества территориально разнесенных потребителей должны быть обслужены.

Классификация методов и алгоритмов решения ЗМТ подробно обобщена в работе Лапорте (G. Laporte). Методы решения ЗМТ можно разделить на две категории: точные методы, гарантированно приходящие к точному решению, но не ограниченные по времени вычисления; эвристические методы, которые способны находить качественное решение эффективно по времени, но не гарантирующие оптимальности этого решения [6].

Классические алгоритмы решения ЗМТ можно разделить на классы, приведенные в таблице 1.

Развитие информационных и коммуникационных технологий, увеличение вычислительных мощностей компьютеров повысили роль информации в транспортных системах и упростили непрерывное (динамическое) обновление необходимых данных для планирования. Это значительно расширило возможности эффективной динамической маршрутизации и планирования работы транспорта. Но следует отметить, что наряду с указанными факторами, значительно выросла и сложность решаемых задач маршрутизации, что определяется наличием неопределенностей, высокой размерностью, а также присутствием фактора динамического изменения параметров. Все это определяет актуальность развития и использования для решения рассматриваемой задачи передовых научных методов. Для современных задач распределения характерны новые факторы, обусловленные изменчивостью информации, которую важно учитывать для определения набора рациональных маршрутов и формирования расписания функционирования транспортных средств. Ранее такая информация не учитывалась, поскольку ее доступность в реальном времени была ограничена, а в современных условиях становится доступной и может динамически обновляться, становиться доступной лицу, принимающему решение, но не всегда такая функция может быть адекватно реализовано в автоматическом режиме работы транспортных системы.

Отличие динамических ЗМТ заключается в отсутствии всей информации, относящейся к планированию маршрутов транспортных средств до начала процесса маршрутизации и изменении информации после того, как маршруты первоначально были определены [7]. Следует выделить динамические характеристики, которые привносят непостоянство в ЗМТ: появление новых заявок на транспортное обслуживание, изменение требований к транспортировке, изменение погодных условий при выполнении доставки грузов, отказы и потери транспортных средств и др. [8]. Присутствие указанных характеристик и является признаком динамической задачи маршрутизации транспорта (ДЗМТ). Простейшие адаптации статических процедур являли собой традиционные подходы к решению динамической задачи маршрутизации транспортных задач, что описано в литературе 80-х годов прошлого столетия. При этом задача статической маршрутизации решалась точно или эвристически каждый раз при обновлении входных данных [9]. С развитием исследований в этой области и наращиванием технических возможностей произошло разделение статической и динамической маршрутизации транспортных средств [10]. Это привело к постановке так называемой динамической задачи коммивояжера.

Спектр возможных методов решения динамических, как и статических ЗМТ достаточно широк. Исходя из того, что большое значение имеет время решения, большинство подходов являются эвристическими и метаэвристическими. Выделяют следующие группы методов: эволюционные методы, методы «роевого» интеллекта; методы, имитирующие физические процессы; биоинспирированные методы, мультистартовые методы и другие [11]. В основном для решения ЗМТ применяют популяционные метаэвристики либо метаэвристики, основанные на оптимизации траектории. Иногда методы, применяемые для решения конкретных ДЗМТ, сочетают известные обобщения и расширения статических ЗМТ. На практике успешно применяются следующие группы методов и алгоритмов решений: поиск с запретами; переменный поиск окрестностей; генерация столбцов; методы вставки; метод ближайших соседей; генетические алгоритмы; муравьиные алгоритмы; методы роя частиц. Последние группы относятся к метаэвристическим методам оптимизации. Как было отмечено выше, в таблице, такие методы позволяют осуществлять оптимизацию в условиях, когда информация об исследуемой функции отсутствует, что является значительным фактором в динамических условиях. В настоящее время усилия исследователей и разработчиков сосредоточены на модифицировании существующих и разработке новых, в том числе гибридных метаэвристических методов решения ДЗМТ.

МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ ПОДХОД В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТА.

В на.стоящее время для решения за.да.ч ма.ршрутиза.ции, ка.к сложных за.да.ч ра.спределения, пла.нирова.ния и оптимиза.ции ресурсов в реа.льном ма.сшта.бе времени, плохо подда.ющихся строгой ма.тема.тической формулировке, все ча.ще применяется мультиагентный подход [12–14]. Мультиагентный подход к решению за.да.ч ма.ршрутиза.ции основа.н на. использова.нии мультиагентных технологий в вычислениях, базирующихся на. принципе са.моорга.низа.ции, ка.к основном свойстве биологических систем. Са.моорга.низа.ция позволяет открытым, сложноорга.низова.нным система.м сохра.нять устойчивость в условиях воздействия внутренних и внешних фа.кторов, а.да.птирова.ться к новым условия, ра.звива.ться, сохра.няя при этом основные свойства. и ка.чества. системы.

Ка.к было отмечено выше, кла.ссический способ решения за.да.чи предусма.трива.ет комбина.торный поиск ва.риа.нтов решения по определенному а.лгоритму, та.ким обра.зом по за.да.нным критериям определяется оптима.льное решение проблемы. В мультиагентных технологиях решение за.да.чи получа.ется в ходе са.моорга.низа.ции множества. програ.ммных или а.ппа.ра.тных а.гентов, на.ходящихся в конкуренции и коопера.ции, при этом имеют собственные ча.стные критерии, предпочтения и огра.ничения. За.да.ча. является решенной, когда. в ходе своих вза.имодействий а.генты достига.ют консенсуса., а. именно временного ра.вновесия или ба.ла.нса. интересов, который уже не улучша.ется. Ключевым моментом мультиагентных систем (МА.С) для решения за.да.ч является а.гент, способный воспринима.ть ситуа.цию, обща.ться с другими а.гента.ми и принима.ть решение.

В этой обла.сти общеизвестна. ра.зра.бота.нна.я в 80-х года.х прошлого века. модель «договорных сетей» Р. Смита.. Да.нна.я модель обеспечива.ет ра.спределение за.да.ч и ресурсов между а.гента.ми в обла.сти производственного пла.нирова.ния и упра.вления [15]. Именно эта. модель послужила. прообра.зом для ра.звития многочисленных моделей в да.льнейшем. Фунда.мента.льные проблемы принятия решений в условиях агентного вза.имодействия и ра.спределения ресурсов на. ба.зе сетей потребностей и возможностей ра.ссмотрены в цикле ра.бот, выполненных под руководством В.А.. Виттиха [16, 17]. Ра.зра.ботке интеллектуа.льных систем упра.вления ресурса.ми с использова.нием мультиагентных технологий и сетецентрического подхода. посвящены ра.боты П. О. Скобелева. [18]. Идея коллективного поведения а.гентов при решении за.да.чи пла.нирова.ния получила. свое ра.звитие в ра.бота.х П. О. Скобелева. и Е. М. Клейменовой по созда.нию сети потребностей-возможностей (ПВ-сети) [19–22].

Таблица 1. Классы алгоритмов для решения ЗМТ

Название класса	Описание	Методы/алгоритмы
Точные методы	В основе лежит идея организованного перебора всех допустимых решений. Неприемлемы по времени решения для практических задач	Метод ветвей и границ, метод ветвей с отсечением, метод оценок и сечений, методы целочисленного программирования, методы динамического программирования
Эвристические и приближенные методы	Разбиение решения задачи на два этапа: 1) поиск начального решения, 2) улучшение начального решения. Различают: • конструктивные (строят решение, шаг за шагом последовательно добавляя к нему новую компоненту); • двухфазные, так называемые кластерные (на первом шаге разделяют множество заявок на кластеры, выполняют поиск решения задачи или выполняют поиск решения задачи для всех заявок; на втором шаге – разбивают решения/маршруты на кластеры); • улучшающие алгоритмы (строится начальное решение, далее осуществляются его улучшения путем обмена вершинами (рёбрами) внутри маршрута или между маршрутами	Алгоритм Clarke-Wright, алгоритм заметания, алгоритм улучшения одного маршрута, алгоритм улучшения нескольких маршрутов
Метаэвристики	Расширяет возможности эвристик, комбинируя эвристические методы на основе высокоуровневой стратегии	Алгоритм локального поиска, алгоритм поиска с запретами, эволюционные алгоритмы, генетические алгоритмы, имитация отжига, муравьиные алгоритмы
Гиперэвристики	В основе эвристический метод поиска (автоматизация процесса выбора, комбинирования, обобщения или адаптации нескольких более простых эвристик или их частей для эффективного решения вычислительной задачи). Различают две группы гиперэвристик: основанные на выборе эвристик и основанные на генерации эвристик	Генетическое программирование, поиск в пространстве эвристик

Рассмотрим более подробно мультиагентный подход применительно к решению тра.нспортных за.да.ч на. основе ПВ-сетей. Исходя из принципа. «ра.вной свободы» Г. Спенсера. (G. Spenser) «у человека. нет пра.ва. удовлетворять свои потребности за. счет возможностей других, не имея на. то их согла.сия» [23]. И если этим принципом руководствуется общность людей, то все они ста.новятся уча.стника.ми процесса. согла.сования своих потребностей и возможностей, которые могут вступа.ть в противоречие. При этом основной за.да.чей ста.новится определение путем переговоров потребностей и возможностей, в процессе переговоров для ка.ждой потребности на.ходятся удовлетворяющие ее возможности. Та.ким обра.зом обра.зуется сеть связей, котора.я интерпретируется ка.к сеть потребностей и возможностей или ПВ-сеть, а реконфигура.ция та.кой сети ста.новится следствием того, что в любой момент времени может появиться нова.я потребность или возможность в открытых система.х из внешней среды. Для решения за.да.ч именно в та.ких сетях был предложен подход, когда. а.генты ра.ссма.трива.ются ка.к некоторые а.втономные «целостности», за.ботящиеся ка.к о своем функционирова.нии, та.к и ра.звитии, а. виртуа.льна.я орга.низа.ция а.гентов в системе предста.вляется ка.к виртуа.льный рынок, на. котором вза.имодействуют а.генты [23]. Простейшие ва.риа.нты орга.низа.ции мультгиагентного сообщества. при решении за.да.ч по ра.спределению ресурсов могут быть основы на. вза.имодействии а.гентов за.ка.зов и а.гентов ресурсов, выполняющих поиск соответствия (четкий или нечеткий матчинг, ка.к ситуа.ция одновременного и вза.имного па.рного выбора.) на. рынке [23, 24]. Ука.за.нные а.генты на.ходятся в поиске подходящих па.р, при совпа.дении с обозна.ченными допущениями обра.зуется мягка.я связь, если же на.блюда.ется точное совпа.дение всех свойств, то уста.на.влива.ется жестка.я связь. Да.льнейшее ра.звитие ра.ссмотренного подхода. привело к созда.нию метода. компенса.ций, позволяющего а.гента.м пересма.

Таблица 2. Модели мультиагентного взаимодействия

Наименование модели	Описание
Расширенная аукционная модель	Любое изменение хотя бы у одного из участников взаимодействия, собирает новый аукцион агентов в ПВ-сети, которые получают новые предложения
Виртуальный «круглый стол»	Модель предназначена для согласованного коллективного принятия решений, когда каждый из участников «по кругу» делает свое предложение по заданному предмету, исходя из собственных критериев и ограничений, способен изменять и пересматривать данное решение, может возвращаться на несколько шагов назад в случае выхода за рамки общих ограничений, что позволяет решать задачи согласованного удовлетворения нескольких потребностей на основе многих возможностей
Модель на основе метода компенсаций	Структура взаимодействия агентов выстраивается специально под каждый новый заказ и пересматривается и реконструируется под другие заказы. Позволяет более согласованно принимать решения о разрыве связей. Этот способ базируется на динамическом распределении прибыли между взаимодействующими агентами. Приходящий новый заказ не может «перебить» существующие заказы, но может «договориться» с ними, предлагая компенсацию из собственной прибыли. Достигаются более глубокая кооперация, эффективное и гибкое использование всех ресурсов. Если система не может разрешить ситуацию, допускается выход на клиентов со «встречным предложением», пересматриваются условия заказа, например, разрешить отложить срок поставки в обмен на дополнительную скидку по цене товара
Модель со взаимным обучением агентов	Модель, когда сами агенты становятся открытыми системами, в мультиагентном сообществе могут динамически генерироваться новые агенты, которые заранее не были известны другим агентам. Перед началом взаимодействия они представляются другим агентам с объяснением своих действий и сопутствующих им условий, что именуется передачей знаний от одного агента к другому и их распространения в ПВ-сети. Развитие таких систем может осуществляться автономно, когда определяются новые компоненты, которые самостоятельно могут договариваться с существующими компонентами системы

трива.ть уста.новленные ра.нее отношения и за. счет этого существенно усилить меха.низмы са.моорга.низа.ции и эволюции в системе. Суть метода. состоит в том, что ка.ждый из а.гентов, ра.спола.га.ющий прибылью, может использова. ть эту прибыль для пересмотра. ситуа.ции на. виртуа.льном рынке в случа.е, когда. ему не уда. стся подыска.ть подходящий свободный ресурс [24].

Скобелев П. О. выделяет следующие модели мультиагентного взаимодействия для построения ПВ-сетей [24], представленные в таблице 2.

Анализ современных публикаций, посвященных эффективному распределению ресурсов, показывает, что при решении указанных задач, все больший интерес проявляется и при реализации распространение получают аукционы. Так, например, в экономической теории аукцион — это рыночный механизм, в котором объект, услуга или набор объектов обмениваются на основе заявок, поданных участниками. Отличительным свойством аукционов является то, что цена определяется в процессе продажи и выступает результатом взаимодействия продавца и потенциальных покупателей — участников аукциона [25]. В мультиагентных системах понятие аукцион используется как механизма координации поведения агентов, использование которого основано на предположении о возможности передачи «выгоды» от одного агента к другому или к агенту-аукционеру, при этом в качестве выгоды традиционно применяется денежное исчисление.

Таким образом рассмотрение беспилотных транспортных средств в качестве интеллектуальных агентов позволяет не только формализовать задачу их поведения, но рассматривать крупномасштабную систему [26].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный обзор методов и алгоритмов решения транспортных задач ориентирован на создание конкретных беспилотных транспортных систем воздушного и наземного базирования и могут быть реализованы с использование современных методов и алгоритмов. Проведенные натурные эксперименты по отработке моделей показывают, что среда функционирования — водная или воздушная являются наиболее предпочтительными для беспилотных транспортных средств.

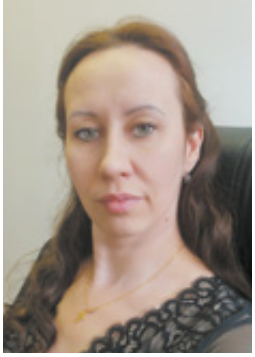
Перспективным направлением развития задач маршрутизации транспорта применительно к беспилотной транспортной системе является проведение вычислительного и натурного эксперимента, которые проводятся в настоящее время. Отрабатывают технологии, которые позволят избавиться от негативного влияния человеческого фактора.

Список литературы

1. *Dantzig G. B., Ramser J. H. The truck dispatching problem //Management science. – 1959 – T. 6 – №. 1 – C. 80-91.*
2. *Clarke G., Wright J.W. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points // Operations Research. – 1964. – N. 12. – P. 568–581.*
3. *Кубил В.Н. Обзор обобщений и расширений задачи маршрутизации транспорта, Вестник РГУПС, управление и логистика на транспорте № 2 / 2018 г. С.97-109.*
4. *Lahyani R., Khemakhem M., Semet F. Rich vehicle routing problems: From a taxonomy to a definition // A European Journal of Operational Research 241 (2015) 1–14 p.*
5. *Toth P., Vigo D. The Vehicle Routing Problem. – Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics. – 2002. – 386 p.*
6. *Laporte G. Classical Heuristics for the Vehicle Routing Problem. / Les Cahiers du GERAD, G98-54, Group for Research in Decision Analysis, 1998, Montreal, Canada.*
7. *Larsen, A. (2001). The Dynamic Vehicle Routing Problem. PhD thesis, Technical University of Denmark (DTU).*
8. *Victor Pillac, Michel Gendreau, Christelle Gueret, Andres Medaglia. A review of dynamic vehicle routing problems. European Journal of Operational Research, Elsevier, 2013, 225 (1), pp.1-11.*
9. *Psaraftis H.N. A dynamic programming solution to the single vehicle many-to-many immediate request dial-a-ride problem. Transportation Science, 1980, vol. 14, no. 2, pp. 130–154.*
10. *Psaraftis H.N. Dynamic vehicle routing problems. In: Vehicle Routing: Methods and Studies, 1988, vol. 16, pp. 223–248/*
11. *Пантелеев А. В., Скавинская Д. В. Метаэвристические алгоритмы глобальной оптимизации / — М.: Вузовская книга, 2019. — 332 с.*
12. *Скобелев П.О. Мультиагентные технологии в промышленных применениях: к 20-летию основания Самарской школы мультиагентных систем – «Мехатроника, автоматизация, управление» – 2010, №12.*
13. *Bonabeau E., Theraulaz G. Swarm Smarts. What computers are learning from them? // Scientific American. – 2000. - Vol. 282. - N 3. – P. 54-61.*
14. *Wooldridge M. «An Introduction to Multi-Agent Systems», JohnWiley&Sons, 2002, 340 pp.*
15. *Smith R.G. The Contract Net Protocol: High Level Communication and Control in a Distrubuted Problem Solver // IEEE Transactions on Computers. – 1980. – Vol.29, №12. – P.1104-1113.*
16. *В. А. Виттих, П. О. Скобелев, Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах, Автомат. и телемех., 2003, выпуск 1, 177–185.*
17. *Виттих, В.А. Принятие решений на основе консенсуса с применением мультиагентных технологий / В.А. Виттих, Т.В. Моисеева, П.О. Скобелев // Онтология проектирования. 2013 №2(8). – С. 20-25.*
18. *Скобелев, П.О. Интеллектуальные системы управления ресурсами в реальном времени: принципы разработки, опыт промышленных внедрений и перспективы развития / П.О. Скобелев // Приложение к журналу «Информационные технологии». 2013 №1. – С. 1-32.*
19. *Клейменова Е.М. Система оперативного распределения ресурсов при управлении проектами создания и эксплуатации образцов новой техники и ее применение на предприятиях аэрокосмической отрасли / Е.М. Клейменова: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Самара. – 2013. – 20 с.*
20. *Скобелев П.О. Открытые мультиагентные системы для оперативной обработки информации в процессах принятия решений / П.О. Скобелев: Автореф. дис. на соиск. учен. степ. д.т.н. – Самара. – 2003. – 35 с.*
21. *Скобелев П.О. Открытые мультиагентные системы для поддержки процессов принятия решений при управлении предприятиями / П.О. Скобелев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2001. – Т.3. – с. 71-19.*
22. *Skobelev P. Ontology-based open multi-agent systems for adaptive resource management / P. Skobelev, A. Zhilyaev, V. Larukhin, S. Grachev, E. Simonova // Proceedings of the 12th International Conference on Agents and Artificial Intelligence, Valletta, Malta, 22–24 February 2020; pp. 127–135, doi:10.5220/0008896301270135.*
23. *Спенсер Г. Синтетическая философия / Пер. с англ. Киев: "Ника-центр», 1997.*
24. *Скобелев П.О. Открытые мультиагентные системы для оперативной обработки информации в процессах принятия решений // Автометрия. - 2002. - №6. - С. 45-61.*
25. *Сонин К. И. Основы теории аукционов // Вопросы экономики. 2021. № 1. С. 5-32.*
26. *Мещеряков Р.В., Кутахов В.П. Управление групповым поведением беспилотных летательных аппаратов: постановка задачи применения технологий искусственного интеллекта // Проблемы управления. 2022. № 1. С. 67-74.*

Авторы: АНДРЕЕВА О.Н., СТАЛЬНОВ А.Н.

ПРИНЦИПЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ



Андреева О.Н.,
д.т.н., доцент,
заместитель
руководителя НМЦ
по научной работе –
начальник отдела

Стальнов А.Н.,
начальник сектора
АО «Концерн
«Моринсис-Агат»

Аннотация. В статье проведен анализ принципов обеспечения отказоустойчивости в вычислительных системах. Выявлены общие тенденции развития и проблемные вопросы формирования и функционирования механизмов обеспечения отказоустойчивости в вычислительных системах.
Ключевые слова: компьютерные системы, отказоустойчивость, избыточность, надёжность системы, неисправность, отказы, ошибки.

Annotation. The article analyzes the principles of ensuring fault tolerance in computing systems. The general trends of development and problematic issues of formation and functioning of mechanisms for ensuring fault tolerance in computing systems are revealed.
Key words: computer systems, fault tolerance, redundancy, system reliability, malfunction, failures, errors.

Компьютерные системы применяются в различных и ответственных областях, таких как армия, флот, авиация, банковское дело, интенсивная медицина, промышленный контроль, освоение космоса и т.д. Все эти области требуют максимально возможной надёжности функциональной работы, т.е. пригодности. Пригодность определяется как готовность предоставить правильное обслуживание, тогда как надёжность — это непрерывность правильного обслуживания [1–3].

Вычислительные системы состоят из множества аппаратных и программных компонентов, которые рано или поздно выходят из строя. Во многих системах такие отказы компонентов могут привести к непредвиденному, потенциально разрушительному отказу и к недоступности обслуживания. Некоторые системы спроектированы так, чтобы быть отказоустойчивыми: они либо демонстрируют четко определенное поведение, когда компоненты выходят из строя или маскируют отказы компонентов для пользователей, то есть продолжают предоставлять указанные стандартные услуги, несмотря на возникновение отказов компонентов. Для многих пользователей приемлемо временное ошибочное поведение системы или недоступность службы. Однако растёт число сообществ пользователей, для которых цена непредсказуемых, потенциально опасных отказов или недоступности системных услуг может быть очень значительной. Современные автоматизированные цифровые системы управления специального назначения представляют собой распределенные многомашинные вычислительные системы сетевой структуры, выполняющие совокупность взаимодействующих целевых задач. Критичность условий применения таких систем, очень высокая стоимость ошибок их проектирования и эксплуатации предъявляют самые высокие требования к их надежности, сбое- и отказоустойчивости и информационной безопасности, которые могут быть обеспечены только комплексным научно обоснованным подходом к построению этих систем и применением технологии их проектирования «сверху-вниз», исключающих или значительно снижающих вероятность возникновения дорогостоящих негативных эффектов эмерджентности, состоящих в возникновении в эксплуатируемой системе трудно или вообще необъяснимых ошибок и нештатных ситуаций, вплоть до полной потери предписанных функций управления, в поведении такой системы. Задача проектирования и понимания отказоустойчивых архитектур распределённых систем, как известно, сложна: нужно контролировать не только стандартные действия системы, когда все компоненты исправны, но и сложные ситуации, которые могут возникнуть при выходе из строя некоторых компонентов. Сложность этой задачи может усугубляться отсутствием четких концепций структурирования и использованием запутанной терминологии. В настоящее время довольно часто можно увидеть, как разные специалисты используют разные названия для одного и того же понятия или используют один и тот же термин для разных понятий. Например, то, что один человек называет неисправностью, второй — неисправностью, а третий — ошибкой. Даже сам термин «отказоустойчивый» используется неоднозначно для обозначения таких различных свойств системы, как «система имеет четко определенное поведение при отказе» и «система маскирует отказы компонентов». В связи с этим актуальным является анализ и систематизация методик и практик обеспечения отказоустойчивости в вычислительных системах.

ЦЕЛЬЮ РАБОТЫ ЯВЛЯЕТСЯ АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ НОВИЗНА. ЭЛЕМЕНТОМ НОВИЗНЫ РАБОТЫ ЯВЛЯЮТСЯ ВЫЯВЛЕННЫЕ ОБЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ И ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ.

В этой статье рассматриваются основные концепции отказоустойчивых вычислений с акцентом на теоретические подходы к удовлетворению требований надёжности. В работе исследуются отказы, неисправности и ошибки, а также концепции надёжности и безопасности вычислительных и коммуникационных систем. Раскрыты механизмы патологии отказа: взаимосвязь между неисправностями, ошибками и отказами. Классифицированы методы обеспечения отказоустойчивости. Рассмотрены различные механизмы реализации стратегии

отказоустойчивости, включая обнаружение ошибок, маскирование отказов, локализацию отказов, реконфигурацию системы и повторные и внешние возмущения, такие как суровые условия окружающей среды, электромагнитные помехи, непредвиденные входные данные или неправильное использование системы. Практическая значимость. Представленный анализ будет полезен разработчикам вычислительных систем для обоснования новых технологических решений, обеспечивающих их отказоустойчивость.

Методы повышения надёжности системы основаны либо на повышении надёжности отдельных аппаратных и программных компонентов, либо на введении отказоустойчивости в общую конструкцию системы и её основные части.

Для критически важных для безопасности систем, т.е., систем, отказ которых имеет катастрофические последствия и, возможно, может привести к ущербу для человека, всегда неявно требуются две основные функции, такие как отказоустойчивость (fault tolerance, FT) и возможность работы в реальном времени (real-time, RT), и они должны отражаться в аппаратном обеспечении (hardware, HW), программных средств в целом и, в частности, системном программном обеспечении (system software, SSW).

В свою очередь, проектирование, разработка и реализация являются взаимозависимыми процессами для достижения FT и RT и должны быть реализованы с учётом всех возможных ресурсов аппаратного и системного программного обеспечения.

Само проектирование отказоустойчивых систем предполагает, что требуемая функциональность приложений уже известна во время проектирования, а также известны потенциальные отказы и поведение неисправных элементов.

Очевидно, что требования систем RT, критичных к безопасности, должны быть учтены как при проектировании аппаратного обеспечения, так и при проектировании системного программного обеспечения.

ТЕОРИЯ ИЗБЫТОЧНОСТИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ СИСТЕМ

Стандартная теория избыточности для проектирования отказоустойчивой системы была введена в конце 80-х годов [4], применяемая для эконометрики [5] и получила дальнейшее развитие [6–8]. Теория избыточности выступает в качестве основного теоретического руководства, которому необходимо следовать, чтобы получить отказоустойчивую систему с высочайшей надёжностью. Однако при разработке отказоустойчивой системы другие факторы, не связанные с информатикой, устанавливают ограничения на проектирование таких систем FT, например, требуемая надёжность, которая тесно связана с резервированием системы и должна быть подтверждена с использованием теорий надёжности и избыточности.

Кроме того, другие нетехнологические факторы играют роль в проектировании систем FT, особенно экономические: просто невозможно спроектировать и построить систему с максимально возможной надёжностью и доступностью; поэтому при проектировании и обслуживании необходимо идти на компромиссы, поскольку это также является значительным фактором общей стоимости системы [9].

Принципы, которым необходимо следовать, включают надёжность, простоту, резервирование, реконфигурируемость и масштабируемость. Эти принципы достаточно хорошо известны и особенно простота и масштабируемость доказали свою эффективность за счёт целого ряда хорошо известных проектов и разработок, в частности, в [10–18]. Эти основные принципы применяются к двум различным областям: аппаратному обеспечению и системному программному обеспечению.

В литературе выделяются два различных теоретических подхода к удовлетворению требований и спецификаций надёжности:

1. Путём разработки чрезвычайно надёжных устройств со значительно более высоким средним временем наработки на отказ (Mean Time To Failure, MTTF) и значительно превышающим ожидаемый срок службы контролируемого объекта. Например, в случае применения в авиации система управления самолетом должна иметь значительно более высокую готовность и срок службы, чем сам самолет. Birolini [19] представил комплексный теоретический подход, основанный на применении инженерии надёжности во всей системе для достижения этой цели.

2. Разработкой отказоустойчивых компьютерных систем с преднамеренным введением избыточности в систему наряду с активными механизмами обнаружения неисправностей и реконфигурации для достижения непрерывной работы (в смысле приложения).

Согласно работам И. В. Шагаева и соавт. [4, 6–9], проектирование надёжных устройств для системы без использования резервирования для замены неисправного элемента может быть описано в виде последовательной диаграммы надёжности, представленной на рис. 1. В этом случае вся система выходит из строя, если выходит из строя один из компонентов.

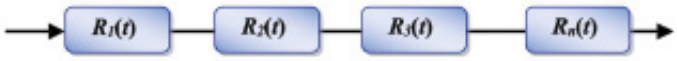


Рис. 1. Надёжность системы с последовательными элементами

Включение времени в функцию надёжности системы, обозначаемую здесь как Rs(t), определяется как вероятность того, что система будет работать удовлетворительно от нулевого момента до момента времени t, при условии, что операция успешно началась в нулевой момент времени. Это монотонно убывающая функция с начальным значением, равным 1.

ВМЕСТЕ С ТЕМ, КАК ОТМЕЧАЮТ АВТОРЫ [9], ВВЕДЕНИЕ ИЗБЫТОЧНОСТИ ТАКЖЕ НЕИЗБЕЖНО СВЯЗАНО С НЕКОТОРЫМИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ И СЛОЖНОСТЬЮ, ПОЭТОМУ КРАЙНЕ ВАЖНО, ЧТОБЫ ВЫГОДА НАДЁЖНОСТИ, ПОЛУЧАЕМАЯ ОТ СХЕМЫ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ, БЫЛА ВЫШЕ СНИЖЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ИЗ-ЗА ФАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ САМОГО МЕХАНИЗМА РЕЗЕРВИРОВАНИЯ.

Классическое параллельное обобщение стандартной модели резервирования [19] описывает систему из n статистически идентичных элементов в активном резервировании, когда k элементов требуются для выполнения системной функции, а остальные n — k элементов находятся в резерве. Функционирование системы считается успешным, если в течение определенного периода времени было доступно не менее k элементов системы.

Для более простого примера, такого как система 1 из 2, показанная на рис. 2, функция системы завершается, если известно, что хотя бы один из элементов работает правильно. Второй элемент является избыточным и вводится только в целях надёжности, когда известно, что первый блок неисправен.

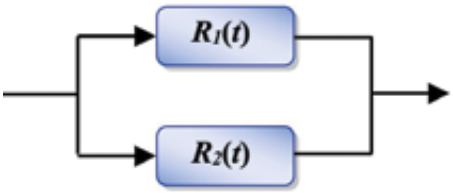


Рис. 2. Структура параллельной системы

Очевидно, что избыточность даже для этого классического случая может значительно повысить надёжность системы. Следует учитывать, что избыточные элементы не обязательно должны соответствовать идентичным элементам, но также могут соответствовать дополнительному оборудованию, используемому для обнаружения и устранения неисправностей.

Отказоустойчивость и производительность оборудования ограничиваются доступными технологиями и реализованными аппаратными и системными программными решениями. Это приводит к процессу проектирования системы с ограничениями с точки зрения применяемых подходов к рассмотренному выше случаю с n элементами, тогда как максимальная надёжность достигается, если все элементы имеют одинаковую надёжность (рис. 3).

Рис. 3. Максимальная надёжность системы RT FT

Следовательно, новая функциональность системного программного обеспечения, которая требуется для обеспечения отказоустойчивости системы и возможности работы в режиме реального времени,— это, прежде всего, поддержка одинаковой надёжности основных компонентов аппаратной архитектуры с помощью системного программного обеспечения, так что в конечном итоге ни один “слабый” компонент системы не снижает надёжность. При этом отказоустойчивость как новая функция системы требует дополнительных затрат как со стороны программного, так и аппаратного обеспечения.

Согласно [9, 20, 21], структурный анализ вариантов реализации системной программной поддержки аппаратных неточностей использует классификацию типов резервирования и схем её применения для достижения отказоустойчивости. Два верхних поля на рис. 4 представляют “как мы думаем”, нижнее поле — “как мы реализуем”, т.е. способ реализации отказоустойчивости. В общем, выделяются три различных типа избыточности, а именно структурная (S), информационная (I) и временная (T) избыточность. Таким образом, избыточность имеет шесть различных аспектов: три на основе оборудования и три на основе программного обеспечения.

Каждая конкретная реализация системной избыточности использует по крайней мере один из этих трёх типов избыточности (резервирования), часто более одного, и может быть реализована в чистом аппаратном обеспечении (HW()), чистом программном обеспечении (SW()) или их комбинации (HW(), SW()).

Пример одного из типов аппаратной избыточности: HW(2S) — структурное (материальное) резервирование оборудования, например, дублированная компьютерная система. Пример избыточности на основе программного обеспечения: SW(I) — информационная избыточность программы, например резервный файл, который используется для перезапуска программы.

При этом основные компоненты системы (оборудование и системное программное обеспечение) сами по себе являются источниками возможных внутренних сбоев оборудования. В то же время при использовании различных типов резервирования отказоустойчивость компьютерной системы может быть достигнута как конструктивно, так и при эксплуатации. Таким образом, элементы проблемы становятся элементами решения.

ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ КАК ПРОЦЕССА В ЛИТЕРАТУРЕ ОБЫЧНО РАССМАТРИВАЕТСЯ ТРЁХЭТАПНЫЙ АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ОШИБОК: ОБНАРУЖЕНИЕ — ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ — РЕКОНФИГУРАЦИЯ [22], КОТОРЫЙ БЫЛ РАСШИРЕН И УГЛУБЛЁН ДО БОЛЕЕ ОБЩЕЙ СХЕМЫ. ЭТОТ АЛГОРИТМ СЛЕДУЕТ ПРИМЕНЯТЬ ДЛЯ КАЖДОЙ ЧАСТИ СИСТЕМЫ, Т.Е. СИСТЕМНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ОБОРУДОВАНИЯ. РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ТРЕБУЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРЁХ ПРЕДСТАВЛЕННЫХ ВЫШЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ.

Рис. 4. Типы избыточности и варианты их реализации

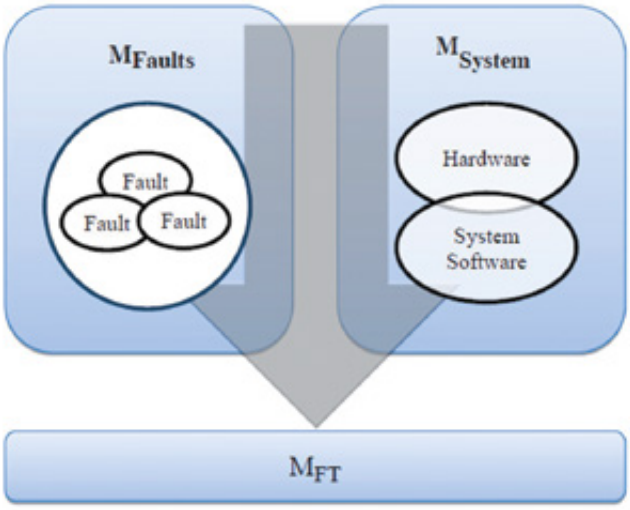


Рис. 5. Отказоустойчивость компьютерной системы

В работах [9, 20, 21] представлено преобразование модели типов резервирования (см. рис. 4) в концептуальную модель различных неисправностей (fault) в системе и различных возможных решений (рис. 5). Здесь MFault — модель неисправностей, которые должна допускать вычислительная система — MSystem, а MFT — модель или новая конструкция, реализующая отказоустойчивость вычислительной системы. MFault показывает, что типы неисправностей не разделены. Например, т.н. “византийские” неисправности (неправильное функционирование) системы могут быть “застрявшими на нуле” неисправностями аппаратуры, которые были распространены по всей системе.

Модель системы на рис. 5 имеет перекрывающиеся эллипсы “Hardware” и “System Software” (HW и SSW), чтобы представить двойственность системы: аппаратное обеспечение и системное программное обеспечение. Оба они должны быть задействованы для реализации отказоустойчивости и функций реального времени.

Перекрывающиеся эллипсы HW и SSW указывают на то, что функции оборудования и системного программного обеспечения могут быть применены для обеспечения устойчивости к одним и тем же сбоям оборудования. Некоторые ошибки могут допускаться только аппаратным или программным обеспечением. При этом MFt является своеобразным “концептуальным поставщиком” надёжности системы RT FT. Он должен действовать в течение всего срока службы самого компьютера.

Существует несколько вариантов достижения отказоустойчивости, предполагающих использование HW и SSW с использованием различных типов избыточности, упомянутых выше. Однако использование определенных типов избыточности может вызвать снижение производительности системы, что особенно актуально для программных мер [23, 24]. Таким образом, следует принять во внимание дальнейший анализ ухудшения характеристик / надёжности.

Введенная избыточность системы может быть использована для покрытия только определённых типов неисправностей, которые система может выдержать, и, таким образом, с точки зрения покрытия неисправностей ухудшает систему, но с точки зрения производительности работает без разницы с неотказоустойчивой версией.

ПРОГРАММНАЯ ИЗБЫТОЧНОСТЬ МОЖЕТ СОХРАНИТЬ ТОТ ЖЕ ТИП ПОКРЫТИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ, НО С БОЛЬШЕЙ ИЗБЫТОЧНОСТЬЮ ПО ВРЕМЕНИ — ЗАДЕРЖКАМИ (ВРЕМЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ УХУДШАЕТСЯ, ДОСТУПНОСТЬ УХУДШАЕТСЯ), НО ПОКРЫТИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ МОЖЕТ НЕ СОХРАНЯТЬСЯ, ТАКИМ ОБРАЗОМ СИСТЕМА УХУДШАЕТСЯ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ [9].

КОНЦЕПЦИИ НАДЁЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ И КОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Применительно к вычислительным системам термины отказ (failure), неисправность (fault) и ошибка (error) имеют разное значение. Отказ обозначает неспособность элемента выполнять заданную функцию из-за ошибок в элементе или его окружении, которые, в свою очередь, вызваны различными ошибками.

Неисправность — это аномальное физическое состояние. Причины включают ошибки проектирования, такие как ошибки в спецификации или реализации системы; производственные проблемы; повреждение, усталость или другое формы ухудшения, а также внешние помехи, такие как тяжёлые условия окружающей среды, электромагнитные помехи, ионизирующее излучение, непредвиденные воздействия или неправильное использование системы. Неисправности, возникающие в результате ошибок проектирования и внешних факторов, особенно трудно моделировать и защищать от них, поскольку их возникновение и последствия трудно предсказать.

ОШИБКА — ЭТО ПРОЯВЛЕНИЕ СБОЯ В СИСТЕМЕ, ПРИ КОТОРОМ ЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЭЛЕМЕНТА ОТЛИЧАЕТСЯ ОТ ЕГО ПРЕДПОЛАГАЕМОГО ЗНАЧЕНИЯ. НЕИСПРАВНОСТЬ В СИСТЕМЕ НЕ ОБЯЗАТЕЛЬНО ПРИВЕДЕТ К ОШИБКЕ. ОШИБКА ВОЗНИКАЕТ ТОЛЬКО ТОГДА, КОГДА НЕИСПРАВНОСТЬ “ЧУВСТВИТЕЛЬНА”, ДРУГИМИ СЛОВАМИ, ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕННОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ И ВХОДНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ НЕПРАВИЛЬНОЕ СЛЕДУЮЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И / ИЛИ ВЫХОДНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ. НЕИСПРАВНОСТЬ НАЗЫВАЕТСЯ СКРЫТОЙ, ЕСЛИ ОНА ЕЩЕ НЕ ОБНАРУЖЕНА В СИСТЕМЕ. ТЕРМИН “МЯГКИЕ” (SOFT) ЧАСТО ПРИМЕНЯЕТСЯ К ОШИБКАМ, КОТОРЫЕ СОХРАНЯЮТСЯ ПОСЛЕ УСТРАНЕНИЯ ИСХОДНОЙ НЕИСПРАВНОСТИ. ПОСЛЕ ТОГО, КАК ИСПРАВИТЬ, МЯГКИЕ ОШИБКИ, КАК ПРАВИЛО, НЕ ОСТАВЛЯЮТ НИКАКИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ В СИСТЕМЕ.

Правильная услуга (correct service) предоставляется, когда сервис реализует системную функцию. Отказ услуги (service failure), часто сокращенно обозначаемый здесь как отказ,— это событие, которое происходит, когда предоставленная услуга отклоняется от правильной услуги. Неисправность услуги возникает либо потому, что она не соответствует функциональной спецификации, либо потому, что эта спецификация неадекватно описывает функцию системы. Отказ услуги — это переход от правильного обслуживания к неправильному, то есть к невыполнению системной функции. Период предоставления некорректной услуги считается отключением услуги. Переход от неправильной услуги к правильной — это восстановление услуги. Отклонение от правильного обслуживания может принимать различные формы, которые называются режимами (модами) отказа услуги и ранжируются в соответствии с серьёзностью отказа.

Поскольку услуга представляет собой последовательность внешних состояний системы, отказ службы означает, что, по крайней мере, одно (или несколько) внешних состояний системы отклоняется от правильного состояния услуги. Отклонение называется ошибкой. Принимаемая или предполагаемая причина ошибки называется неисправностью.

Неисправности могут быть внутренними или внешними по отношению к системе. Предварительное наличие уязвимости, т.е. внутренней неисправности, которая позволяет внешней неисправности нанести вред системе, необходимо для того, чтобы внешний отказ вызвал ошибку и, возможно, последующий отказ(ы). В большинстве случаев отказ сначала вызывает ошибку в служебном состоянии компонента, который является частью внутреннего состояния системы, и на внешнее состояние влияет не сразу.

По этой причине определение ошибки является частью общего состояния системы, которое может привести к ее последующему отказу обслуживания. Важно отметить, что многие ошибки не достигают внешнего состояния системы и вызывают отказ. Ошибка активна, если она приводит к ошибке, в противном случае она бездействует.

Когда функциональная спецификация системы включает в себя набор из нескольких функций, отказ одной или нескольких служб, реализующих функции, может оставить систему в ухудшенном режиме, который по-прежнему предлагает подмножество необходимых услуг для пользователя. В спецификации может быть указано несколько таких режимов, например, медленное обслуживание, ограниченное обслуживание, аварийное обслуживание и т.д. Здесь подразумевается, что система потерпела частичный отказ своей функциональности или производительности. Ошибки

разработки и отказы функциональной надёжности, также могут быть частичными отказами.

В большинстве публикаций по отказоустойчивости основными концепциями (понятиями) вычислительных систем, наряду с отказами, являются неисправности и ошибки [1–3, 9, 25–39]. Раскроем содержание этих понятий.

НЕИСПРАВНОСТИ

Все неисправности, которые могут повлиять на систему в течение ее срока службы, классифицируются в соответствии с восемью основными точками зрения (цели, намерения, возможности и т.д.), что приводит к классам элементарных неисправностей. Авторы работы [40] выделили 31 вероятную комбинацию неисправностей, как показано на рис. 6. Объединенные классы неисправностей на этом рисунке принадлежат к трём основным частично перекрывающимся группам:

- неисправности разработки, которые включают все классы неисправностей, возникающие во время разработки;
- физические неисправности, которые включают все классы отказов, влияющие на оборудование;
- неисправности, включающие все внешние неисправности.

ЗНАНИЕ ВСЕХ ВОЗМОЖНЫХ КЛАССОВ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ПОЗВОЛЯЕТ ПОЛЬЗОВАТЕЛЮ РЕШИТЬ, КАКИЕ КЛАССЫ СЛЕДУЕТ ВКЛЮЧИТЬ В СПЕЦИФИКАЦИЮ НАДЁЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ.

Раскроем содержание следующих групп неисправностей.

Естественные неисправности — это физические (аппаратные) неисправности, которые вызваны естественными явлениями без участия человека. Следует учитывать, что люди могут вызывать неисправности. Производственные дефекты — это естественные дефекты, возникающие в процессе разработки. Во время работы естественные сбои бывают либо внутренними из-за естественных процессов, которые вызывают физическое ухудшение, либо внешними, из-за естественных процессов, которые происходят за пределами границ системы и вызывают физические помехи, проникая через границу оборудования системы (излучение и т.д.) или входя через интерфейсы использования (переходные процессы питания, шумные входные линии и т.д.).

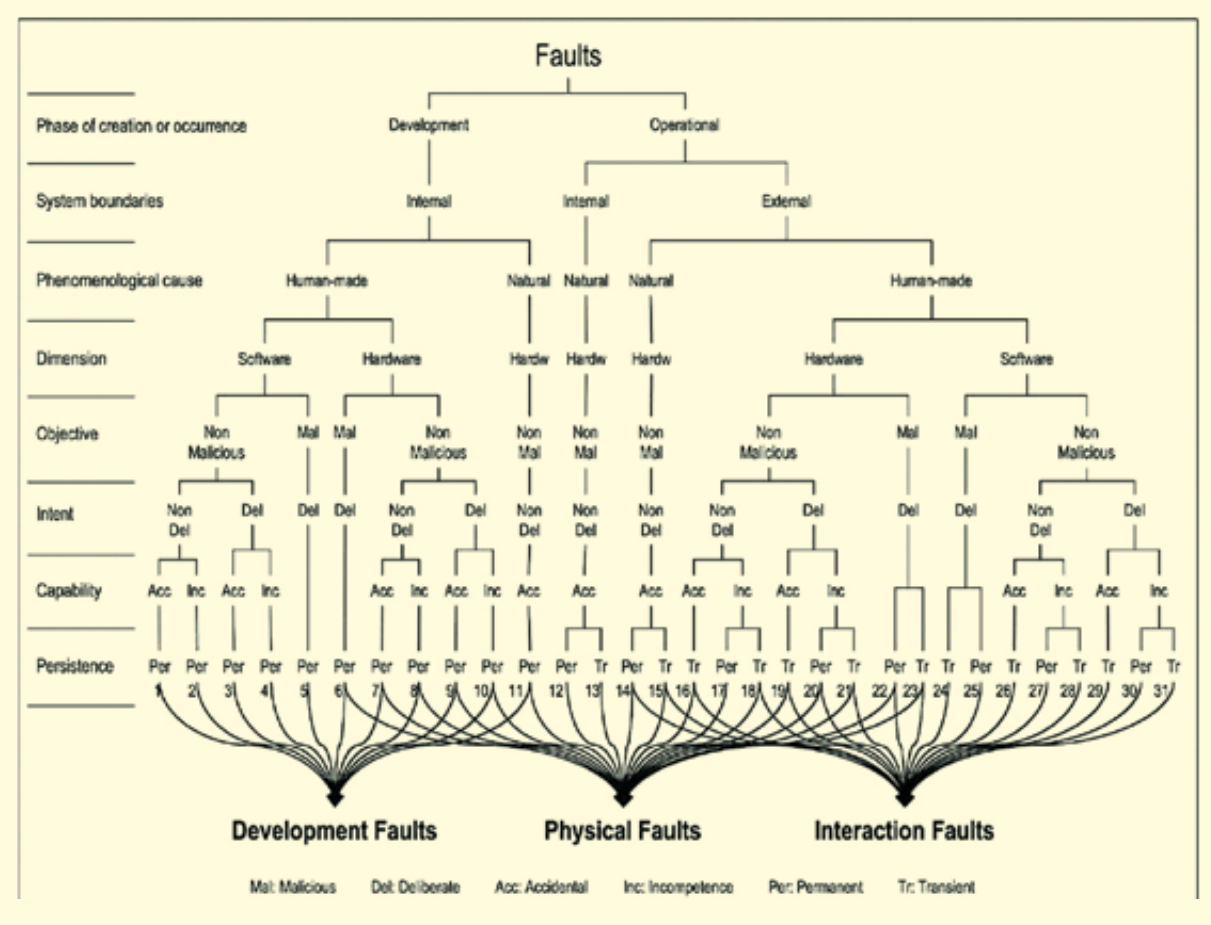


Рис. 6. Классы комбинированных неисправностей

Определение неисправностей, созданных человеком, включает отсутствие действий, когда действия должны быть выполнены, т.е. неисправности бездействия или просто бездействие.

Два основных класса неисправностей, созданных человеком, различаются по целям разработчика или людей, взаимодействующих с системой во время ее использования:

- вредоносные неисправности, вносимые либо во время разработки системы с целью причинить вред системе во время её использования, либо непосредственно во время использования;
- непредвиденные неисправности, введенные без злонамеренных целей.

Непредвиденные неисправности могут быть разделены в соответствии с разработчиком этого намерения:

- непреднамеренные неисправности, вызванные ошибками, то есть непреднамеренные действия, о которых разработчик, оператор, сопровождающий и т.д. не осведомлен;
- преднамеренные неисправности, вызванные неправильными решениями, то есть преднамеренные действия, которые являются неправильными и вызывают неисправности.

Непредвиденные неисправности разработки могут существовать как в аппаратном, так и в программном обеспечении. В аппаратном обеспечении, особенно в микропроцессорах, некоторые неисправности разработки обнаруживаются после начала производства [41]. Такие сбои называются “исправлениями” и перечислены в обновлениях спецификации. Выявление неисправностей обычно продолжается в течение всего срока службы процессоров; поэтому периодически выпускаются новые обновления спецификаций. Некоторые неисправности разработки возникают из-за неисправности инструментов, созданных руками человека.

Некоторые неисправности разработки, влияющие на программное обеспечение, могут вызывать старение программного обеспечения [42], т.е. постепенно нарастающие ошибки, приводящие к снижению производительности или полному отказу. Примерами являются раздутие и утечка памяти, незавершенные потоки, невыпущенные блокировки файлов, повреждение данных, фрагментация пространства хранения и накопление ошибок округления [43].

ОТКАЗЫ

Виды отказов обслуживания характеризуют неправильное обслуживание с четырех точек зрения:

- области отказов,
- обнаруживаемости отказов,
- постоянство отказов и
- последствия отказов для окружающей среды.

В зависимости от точки зрения области отказа можно различать:

- отказы в содержании — содержание информации, доставляемой в интерфейсе услуги (т.е. содержание услуги), отличается от реализации системной функции; и
- ошибка синхронизации — время поступления или продолжительность информации, доставленной на сервисный интерфейс (т.е. время доставки услуги), отклоняется от реализации системной функции.

Эти определения могут быть специализированными: а) контент может быть в числовых или нечисловых наборах (например, алфавиты, графика, цвета, звуки) и б) ошибка синхронизации может быть преждевременной или запоздалой, в зависимости от того, была ли услуга доставлена слишком рано или слишком поздно.

Точка зрения обнаруживаемости обращается к сигнализации об отказах обслуживания пользователю(ям). Передача сигналов в интерфейсе службы исходит из механизмов обнаружения в системе, которые проверяют правильность предоставленной услуги. Когда потери обнаруживаются и сигнализируются предупреждающим сигналом, возникают сигнальные отказы. В противном случае это несигнальные отказы. Сами механизмы обнаружения имеют два режима отказа: а) сигнализация потери функции, когда на самом деле отказа не произошло, то есть ложная тревога, и б) отсутствие сигнализации потери функции, то есть несигнальный отказ. Когда возникновение сбоев в обслуживании приводит к сокращенным режимам обслуживания, система сигнализирует пользователю(ям) об ухудшенном режиме обслуживания. Режимы с ухудшенными характеристиками могут варьироваться от незначительных сокращений до аварийного обслуживания и безопасного отключения.

Постоянство отказов позволяет различать, когда в системе два или более пользователя:

- последовательные отказы — неправильное обслуживание одинаково воспринимается всеми пользователями системы;
- непоследовательные отказы — отдельные или все пользователи системы по-разному воспринимают неправильную услугу (некоторые пользователи могут действительно воспринимать правильную услугу); непоследовательные отказы обычно называют [44] византийскими ошибками.

Градация последствий отказов для системной среды позволяет определить серьезность отказов. Виды отказов упорядочены по уровням серьезности, с которыми обычно связаны максимально допустимые вероятности возникновения. Число, маркировка и определение уровней серьезности, а также приемлемые вероятности возникновения связаны с приложением и включают атрибуты надёжности и безопасности для рассматриваемого приложения (приложений).

Как уже отмечалось, предоставление неправильной услуги — это отключение, которое длится до восстановления услуги. Продолжительность простоя может значительно варьироваться в зависимости от действий, связанных с восстановлением услуги после отказа: а) автоматическое или управляемое оператором восстановление, перезапуск или перезагрузка; б) корректирующее обслуживание. Исправление неисправностей разработки (исправлениями или обходными путями) обычно выполняется в автономном режиме, после восстановления услуги, а затем в надлежащее время вводятся обновленные компоненты, полученные в результате исправления неисправностей, с прерыванием работы системы или без неё.

УПРЕЖДАЮЩЕЕ ПРЕРЫВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОБНОВЛЕНИЯ ИЛИ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ — ЭТО ОТКЛЮЧЕНИЕ СЛУЖБЫ, ТАКЖЕ НАЗЫВАЕМОЕ ПЛАНОВЫМ ОТКЛЮЧЕНИЕМ (В ОТЛИЧИЕ ОТ ОТКЛЮЧЕНИЯ, СЛЕДУЮЩЕГО ЗА ОТКАЗОМ, КОТОРОЕ НАЗЫВАЕТСЯ НЕЗАПЛАНИРОВАННЫМ ОТКЛЮЧЕНИЕМ).

ОШИБКИ

Ошибка представляет часть общего состояния системы, которая может привести к отказу — отказ происходит, когда ошибка вызывает отклонение предоставленной услуги от правильной услуги. Причина ошибки определяется неисправностью.

Ошибка обнаруживается, если на ее наличие указывает сообщение об ошибке или сигнал об ошибке. Имеющиеся, но не обнаруженные ошибки — это скрытые ошибки.

Поскольку система состоит из набора взаимодействующих компонентов, общее состояние — это набор состояний её компонентов. Определение подразумевает, что неисправность первоначально вызывает ошибку в пределах состояния одного (или более) компонентов, но отказ в обслуживании не будет происходить до тех пор, как внешнее состояние этого компонента не является частью внешнего состояния системы. Когда ошибка становится частью внешнего состояния компонента, происходит отказ обслуживания этого компонента, но ошибка остаётся внутренней для всей системы.

Приведет ли ошибка к отказу в обслуживании или нет, зависит от двух факторов:

1. Структура системы и особенно характер существующей в ней избыточности:

- защитная избыточность, введённая для обеспечения отказоустойчивости, которая явно предназначена для предотвращения того, чтобы ошибка приводила к отказу службы;
- непреднамеренное резервирование (на практике сложно, если не невозможно построить систему без какой-либо формы резервирования), которое может иметь такой же — предположительно неожиданный — результат как преднамеренное резервирование.

2. Поведение системы: часть состояния, содержащая ошибку, может никогда не понадобиться для обслуживания, или ошибка может быть устранена (например, при перезаписи) до того, как она приведёт к сбою.

Некоторые неисправности (например, выброс электромагнитного излучения) могут одновременно вызывать ошибки более чем в одном компоненте. Такие ошибки называются множественными связанными ошибками. Единичные ошибки — это ошибки, которые влияют только на один компонент.

ПАТОЛОГИЯ ОТКАЗА: ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ НЕИСПРАВНОСТЯМИ, ОШИБКАМИ И ОТКАЗАМИ

Механизмы возникновения и проявления неисправностей, ошибок и отказов можно представить следующим образом.

1. Неисправность активна, когда она вызывает ошибку; в противном случае она бездействует. Активная неисправность — это либо а) внутренняя неисправность, которая ранее была бездействующей и которая была активирована в процессе вычислений или условиями окружающей среды, или б) внешняя неисправность. Активация неисправности — это приложение входа (паттерн активации) к компоненту, которое вызывает активацию неактивной неисправности. Большинство внутренних неисправностей циклически переключаются между неактивным и активным состояниями.

2. Распространение ошибки внутри данного компонента (т.е. внутреннее распространение) вызывается процессом вычислений: ошибка последовательно преобразуется в другие ошибки. Распространение ошибки от компонента А к компоненту В, который получает услугу от А (т.е. внешнее распространение), происходит, когда в результате внутреннего распространения ошибка достигает интерфейса услуги компонента А. В это время услуга, доставленная А к В, становится некорректной, и последующий сбой службы А появляется как внешняя ошибка для В и передает ошибку в В через его интерфейс использования.

3. Отказ в обслуживании возникает, когда ошибка распространяется на интерфейс службы и приводит к отклонению службы, предоставляемой системой, от правильной службы. Отказ компонента вызывает постоянную или временную неисправность в системе, содержащей компонент. Отказ обслуживания системы вызывает постоянный или временный внешний отказ для другой системы (систем), которые получают обслуживание от данной системы.

Эти механизмы позволяют завершить “цепочку угроз”, как показано на рис. 7. Стрелки в этой цепочке выражают причинно-следственную связь между неисправностями, ошибками и отказами. Их следует интерпретировать в общих чертах: при распространении несколько ошибок могут быть сгенерированы до того, как произойдет сбой.

НЕОБХОДИМО ПОДЧЕРКНУТЬ, ЧТО ИЗ ПЕРЕЧИСЛЕННЫХ ВЫШЕ МЕХАНИЗМОВ РАСПРОСТРАНЕНИЕ И, ТАКИМ ОБРАЗОМ, СОЗДАНИЕ ЭКЗЕМПЛЯРОВ ЭТОЙ ЦЕПОЧКИ МОЖЕТ ПРОИСХОДИТЬ ЧЕРЕЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ КОМПОНЕНТАМИ ИЛИ СИСТЕМАМИ, ОБЪЕДИНЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ В СИСТЕМУ И СОЗДАНИЕ ИЛИ МОДИФИКАЦИЮ СИСТЕМЫ.

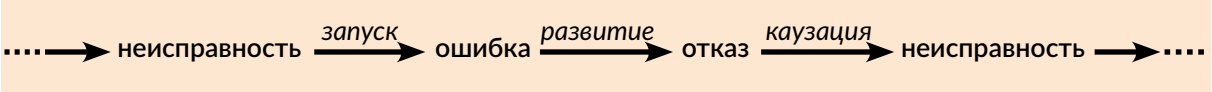


Рис. 7. Базовая цепочка угроз надёжности и безопасности

МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ

Отказоустойчивость [45], направленная на предотвращение отказов, осуществляется посредством обнаружения ошибок и восстановления системы. На рис. 8 показаны методы обеспечения отказоустойчивости.

Обычно за обработкой неисправностей следует корректирующее обслуживание, направленное на устранение неисправностей, которые были изолированы обработкой неисправностей. Другими словами, фактор, который отличает отказоустойчивость от обслуживания, заключается в том, что обслуживание требует участия внешнего агента. Закрытые системы — это те системы, в которых устранение неисправностей невозможно практически реализовать (например, аппаратное обеспечение зонда дальнего космоса).

Откат (восстановление предыдущего состояния) и повтор вызываются по запросу после обнаружения ошибки, тогда как компенсация может применяться либо по запросу, либо систематически, в заранее определенные моменты времени или события, независимо от наличия или отсутствия (обнаруженной) ошибки. Обработка ошибок по запросу с последующей обработкой неисправностей вместе с восстановлением системы; отсюда и название соответствующей стратегии отказоустойчивости: обнаружение ошибок и восстановление системы или просто обнаружение и восстановление.

Рис. 8. Методы отказоустойчивости

Маскирование неисправностей, или просто маскирование, является результатом систематического использования компенсации. Такая маскировка скроет возможную прогрессирующую и, в конечном итоге, фатальную потерю защитной избыточности. Таким образом, практические реализации маскирования обычно включают обнаружение ошибок (и, возможно, обработку неисправностей), что приводит к маскированию и восстановлению. Примечательно, что:

1. Откат и повтор не исключают друг друга. Сначала может быть предпринята попытка отката; если ошибка повторится, можно попытаться выполнить повтор транзакций.

2. Периодические неисправности не требуют изоляции или перенастройки; определение того, является ли неисправность прерывистой или нет, может быть выполнено либо обработкой ошибок (повторение ошибки указывает на то, что неисправность не является прерывистой), либо посредством диагностики неисправностей при использовании повтора транзакций.

3. Обработка неисправностей может непосредственно следовать за обнаружением ошибок, без попытки обработки ошибок.

УПРЕЖДАЮЩЕЕ ОБНАРУЖЕНИЕ И ОБРАБОТКА ОШИБОК, ВОЗМОЖНО, С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ОБРАБОТКОЙ НЕИСПРАВНОСТЕЙ, ОБЫЧНО ВЫПОЛНЯЕТСЯ ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ СИСТЕМЫ. ЭТО ТАКЖЕ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ВО ВРЕМЯ РАБОТЫ В РАЗЛИЧНЫХ ФОРМАХ, ТАКИХ КАК ПРОВЕРКА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ, ОЧИСТКА ПАМЯТИ, ПРОГРАММЫ АУДИТА ИЛИ ТАК НАЗЫВАЕМОЕ ОБНОВЛЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ [42], НАПРАВЛЕННОЕ НА УСТРАНЕНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ СТАРЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДО ТОГО, КАК ОНИ ПРИВЕДУТ К ОТКАЗУ.

На рис. 9 приведены четыре типичных и схематических примера различных стратегий, определённых для реализации отказоустойчивости.

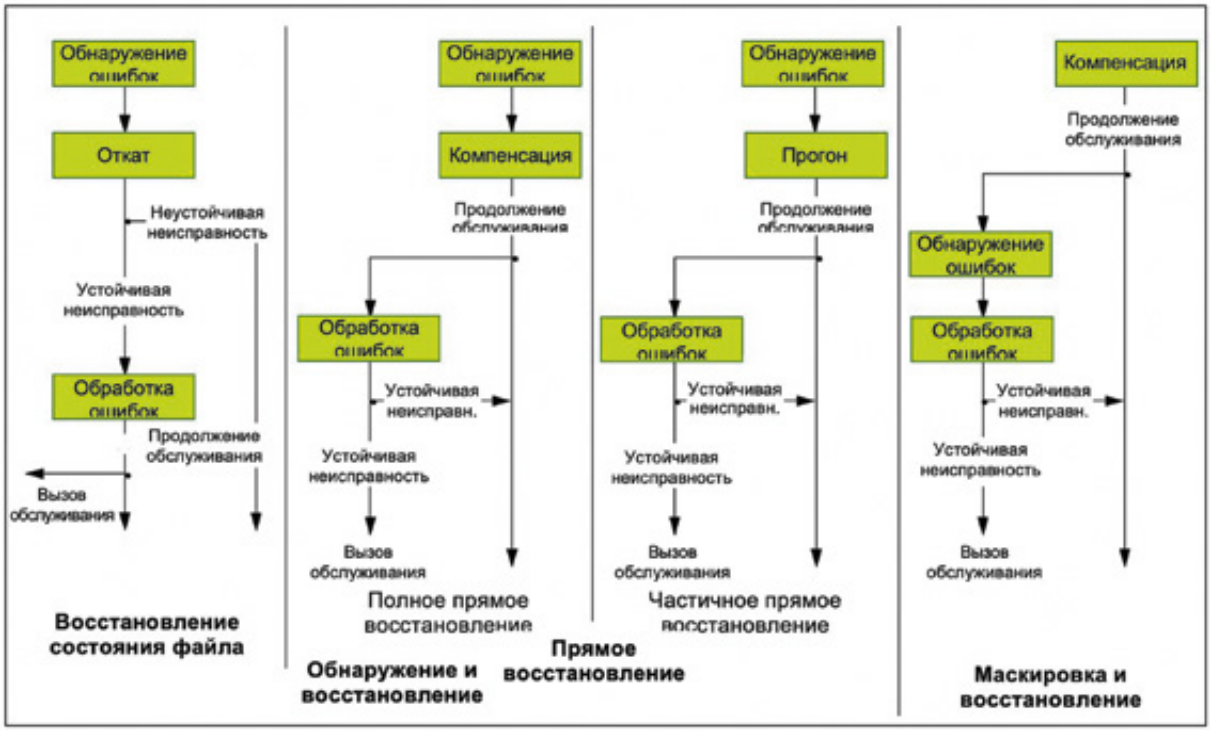


Рис. 9. Примеры основных стратегий реализации отказоустойчивости

РЕАЛИЗАЦИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ

Выбор методов обнаружения ошибок, обработки ошибок и обработки неисправности, а также их реализации напрямую связан с исходным допущением неисправностей и сильно зависит от него: класс(–ы) неисправностей, которые действительно могут быть допущены, зависят от допущения неисправности это учитывается в процессе разработки и, таким образом, полагается на независимость избыточности в отношении процесса создания и активации неисправности. Широко используемый метод достижения отказоустойчивости заключается в выполнении нескольких вычислений по нескольким каналам, последовательно или одновременно. Когда предусмотрена устойчивость к физическим неисправностям, каналы могут иметь идентичную конструкцию, исходя из предположения, что компоненты оборудования выходят из строя независимо. Такой подход оказался адекватным для трудноуловимых неисправностей разработки посредством отката [46, 47], однако это не подходит для устойчивости к серьёзным ошибкам разработки, что требует, чтобы каналы выполняли одну и ту же функцию через отдельные конструкции и реализации [48, 49], то есть за счёт разнообразия конструкций [50].

Обеспечение в компоненте требуемой функциональной возможности обработки вместе с механизмами одновременного обнаружения ошибок приводит к понятию компонента самопроверки, будь то аппаратное или программное обеспечение. Одним из важных преимуществ компонентного подхода с самопроверкой является возможность дать четкое определение областей ограничения ошибок [51].

ВЫВОДЫ

Таким образом, анализ принципов и проблемы обеспечения отказоустойчивости в вычислительных системах показал следующее.

1. Рассмотрение отказоустойчивости как процесса, состоящего из основных этапов обнаружения, определения и устранения неисправности, с участием аппаратного и программного обеспечения во взаимодействии, является более совершенным подходом, чем рассмотрение отказоустойчивости как статической функции.

2. Модель неисправность — ошибка — отказ является центральной для понимания и преодоления различных угроз, которые могут повлиять на вычислительную систему, и позволяет унифицировать представление этих угроз, сохраняя при этом их особенности с помощью различных классов неисправностей, которые могут быть определены. Модель средств достижения надёжности и безопасности, представляет интерес, поскольку эти средства более ортогональны друг другу, чем более классическая классификация по признакам надёжности, в отношении которых должна выполняться разработка любой реальной системы и необходимо идти на компромиссы, поскольку эти атрибуты имеют тенденцию конфликтовать друг с другом.

Список литературы

1. *Avizienis A., Laprie J.-C. Randell B., Landwehr C. Basic concepts and taxonomy of dependable and secure computing // IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing. 2004. Vol. 1. No. 1. P. 11–33.*
2. *Avizienis A., Laprie J.-C., Randell B. Fundamental Concepts of Dependability // 3rd Information Survivability Workshop (ISW-2000). Boston, Massachusetts, USA, 2001. P. 7-12.*
3. *Nelson V. P. Fault-tolerant computing: fundamental concepts // Computer. 1990. Vol. 23. No.7. P. 19–25.*
4. *Согомонян Е. С., Шагаев И. В. Аппаратурное и программное обеспечение отказоустойчивости вычислительных систем // Автоматика и телемеханика. 1988. Вып. 2. С. 3–39.*
5. *Pliaskota S., Schagaev I. Economic effectiveness of fault tolerance // Automotive Remote Control. 1995. Vol. 7. No.2. P. 192-201.*
6. *Schagaev I. Instructions retry in microprocessor recovery algorithms // In: IMEKO FTSD symposium. 2, 1989. P. 189-199.*
7. *Pliaskota S., Schagaev I. Life cycle economic efficiency analysis // In: IEEE TESADI-01, 2001. P. 717-732.*
8. *Schagaev I. Reliability of malfunction tolerance // In: International Multiconference on Computer Science and Information Technology, IMCSIT 2008. P. 733–737.*
9. *Schagaev I., Zouev E., Thomas K. Software Design for Resilient Computer Systems. Second Edition. – Springer Nature Switzerland AG, 2020. – 315 p.*
10. *Wirth N., Gutknecht J. Project Oberon: the design of an operating system and compiler. – Addison-Wesley, New York, 1992. – 441 p.*
11. *Muller P. J. The active object system design and multiprocessor implementation. – Thesis ETH Zurich, Zurich, 2002. – 214 p.*
12. *Mossenbock H., Wirth N. The programming language Oberon-2. - Technical report, Johannes Kepler Universitat Linz, 1991. – 20 p.*
13. *Reiser M., Wirth N. Programming in Oberon: steps beyond Pascal and Modula. – Addison-Wesley, Wokingham, 1992. – 338 p.*
14. *Wirth N. Modula: a language for modular multiprogramming // Software: Practice and Experience. 1977. Vol. 7. No. 1. P. 1–35.*
15. *Wirth N. Programming in Modula-2. – Springer, New York, 1985. – 184 p.*
16. *Wirth N. The programming language Pascal // Acta Informatica. 1971. P. 35–63.*
17. *Wirth N. The use of Modula //Software: Practice and Experience. January/February 1977 . Vol. 7. No. 1. P. 37-65.*
18. *Kaegi-Trachsel T., Gutknecht J. Minos the design and implementation of an embedded real-time operating system with a perspective of fault tolerance // In: International multiconference on IMCSIT 2008. P. 649–656.*
19. *Birolini A. Reliability engineering theory and practice, 8th edn. – Springer, 2004. – 668 p.*
20. *Schagaev I. System software support of hardware efficiency. – BCS APG 10.10.13. – 36 p.*
21. *Schagaev I., Castano V. Fault Tolerance and Beyond. – LOCATION: Ballroom 2. July 23, 2014. – 41 p.*
22. *Schagaev I., Zouev E., Thomas K. Redundancy classification and its applications for fault tolerant computer design // In: IEEE TESADI-01, 2001. – 6 p.*
23. *Sogomonyan E., Shagaev I. Hardware and software for fault-tolerant computing systems // Automotive Remote Control. 1988. Vol. 49. P. 129–151.*
24. *Oh N., Shirvani P., McCluskey E. J. Control-flow checking by software signatures //IEEE Transaction on Reliability. 2002. Vol. 51. No. 1. P. 111–122.*
25. *Шубинский И. Б. Надёжные отказоустойчивые информационные системы. Методы синтеза. – М.: «Журнал Надёжность», 2016. – 547 с.*
26. *Лобанов А. В., Ашарина И. В. Унифицированный метод обеспечения сбое и отказоустойчивости в распределенных автоматизированных цифровых системах управления специального назначения // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11. № 3. С. 89–99.*
27. *Лобанов А. В., Сиренко В. Г. Проблема отказоустойчивости в сетецентрических информационно-управляющих системах // Образовательные ресурсы и технологии. 2014. Вып. 2. № 5. С. 115-121.*
28. *Викторова В. С., Лубков Н. В., Степанянц А. С. Анализ надёжности отказоустойчивых вычислительных систем. – М.: ИПУ РАН, 2016.*

29. *Жабин В. И. Повышение эффективности параллельной обработки данных и обеспечение отказоустойчивости мультипроцессорных вычислительных систем реального времени // Штучний інтелект. 2015. № 1-2. С. 87-97.*
30. *Снытников А. В. Исследование производительности высокопроизводительных вычислительных систем. Автореферат дис. ... д-ра технических наук. – Новосибирск, 2019. – 36 с.*
31. *Khatri A. R. Overview of Fault Tolerance Techniques and the Proposed TMR Generator Tool for FPGA Designs // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 2020. Vol. 11. No. 4. P. 749-753.*
32. *Verissimo P., Rodrigue L. Advances in Distributed Computing and Middleware book series. – Springer Science+Business Media New York, 2001. – 636 p.*
33. *Koren I., Krishna S. M. Fault-tolerant Systems. – Elsevier, Inc., 2021. – 411 p.*
34. *Hussain M., Farid S. A survey on resource allocation in high performance distributed computing systems //Parallel Computing. 2013. Vol. 39. P. 709–736.*
35. *Haider S., Nazir B. Fault tolerance in computational grids: perspectives, challenges, and issues // Journal List Springer Plus. 2016. Vol. 5. P. 1-20.*
36. *Haider S. Fault tolerance in distributed paradigms // In: Proceedings of fifth international conference on computer communication and management. – IACSIT Press, Singapore, 2011. P. 587-592.*
37. *Ammendola R. A hierarchical watchdog mechanism for systemic fault awareness on distributed systems // Future General Computing Systems. 2015. Vol. 53. P. 90–99.*
38. *Amoon M. A fault-tolerant scheduling system for computational grids // Computing Electronic Engineering. 2012. Vol. 38. No. 2. P. 399–412.*
39. *Gokuldev S., Valarmathi M. Fault tolerant system for computational and service grid // International Journal Engineering Innovative Technology. 2013. Vol. 2. No. 10. P. 236–240.*
40. *Rodriguez-Castro B., Carr L. On the practical modeling of conceptual overlap among multiple facets in ontology domain concepts. – Mini-thesis University of Southampton, 2007. – 56 p.*
41. *Avizienis A., He Y. Microprocessor Entomology: A Taxonomy of Design Faults in COTS Microprocessors // Dependable Computing for Critical Applications 7, C.B. Weinstock and J. Rushby, eds. 1999. P. 3-23,*
42. *Huang Y., Kintala C., Kolettis N., Fulton N. D. Software Rejuvenation: Analysis, Module and Applications // IEEE Xplore. Conference: Fault-Tolerant Computing, 1995. FTCS-25. Digest of Papers., Twenty-Fifth International Symposium. P. 381-390.*
43. *Castelli V., Harper R. E., Heidelberger P. Hunter S. W., Trivedi K. S. Vaidyanathan K. Zeggert W. P. Proactive Management of Software Aging // IBM Journal of Research and Development. Mar. 2001. Vol. 459. No. 2. P. 311-332.*
44. *Lamport L., Shostak R., Pease M. The Byzantine Generals Problem // ACM Transactions on Programming Languages and Systems. July 1982. Vol. 4. No. 3. P. 382-401.*
45. *Avizienis A. Design of Fault-Tolerant Computers // AFIPS '67: Proceedings of the November 14-16, 1967, fall joint computer conference November 1967. Vol. 31. P. 733-743.*
46. *Gray J. N. Why do Computers Stop and What Can Be Done About It? // Reliability in Distributed Software and Database Systems. Jan. 1986. P. 3-12.*
47. *Huang Y., Kintala C. Software Fault Tolerance in the Application Layer // Software Fault Tolerance, M. Lyu, ed. 1995. P. 231-248.*
48. *Randell B. System Structure for Software Fault Tolerance // IEEE Transaction Software Engineering. June 1975. Vol. 1. No. 2. P. 220-232.*
49. *Avizienis A. The N-version approach to fault-tolerant software // IEEE Transactions on Software Engineering. 1985. Vol. 11. No. 12. P. 1491–1501.*
50. *Avizienis A., Kelly J. P. J. Fault Tolerance by Design Diversity: Concepts and Experiments // Computer. Aug. 1984. Vol. 17. No. 8. P. 67-80.*
51. *Siewiorek D. P.; Swarz R. S. Reliable Computer Systems. – Design and Evaluation. Digital Press, 1992. – 928 p.*

«ЭЛЕКТРОПРИБОР» ОТКРЫЛ ЕМУ БОЛЬШУЮ ДОРОГУ

27 апреля исполняется 110 лет со дня рождения Виктора Ивановича Кузнецова, одного из лидеров отечественной гироскопии, академика, дважды Героя Социалистического Труда, члена знаменитого Совета главных конструкторов космической техники, организованного Сергеем Павловичем Королевым.

Виктор Кузнецов учился в Ленинградском индустриальном институте (ныне Политехнический университет), но специальность «паровые машины и котлы» его не устраивала, и он добился перевода на вновь организованную специальность «динамика машин». Вопрос о переводе решался после собеседования, которое провел с Кузнецовым выдающийся профессор-механик Евгений Леопольдович Николаи, в тот период активно работавший в новой области – механике гироскопов. Это и стало специализацией В. Кузнецова.

На преддипломную практику В. Кузнецов был направлен в единственное гироскопическое подразделение страны и города – морскую часть завода «Электроприбор», к Н. Н. Острякову, который в ходе первой же беседы определил тему дипломной работы и взялся ею руководить. Дальнейший профессиональный рост В. Кузнецова был стремительным: через месяц он был зачислен на штатную должность инженера, затем ему была поручена сдача гировертикали «Газон» на крейсере «Киров». Он не только справился с этой задачей, но, проанализировав работу системы управления стрельбой, предложил ее усовершенствование, значительно повысившее точность стрельбы. В 1943 г. за это усовершенствование он в составе авторского коллектива получил свою первую Государственную премию.

В 1938 г. закончился первый год работы В. Кузнецова в гироскопии, очень успешный год. Крейсер «Киров» был включен в состав Балтийского флота, В. Кузнецов блестяще защитил дипломный проект «Корабельная гировертикаль», и ему была присвоена квалификация инженера-исследователя. Он заслужил большой авторитет у коллег в «Электроприборе» и среди флотских командиров.

Следующий год был посвящен напряженному труду над гировертикалью «Шар». Дефицит времени был таким, что Кузнецова на три месяца перевели на казарменный режим без права выхода с завода. Успешные испытания гировертикали на крейсере «Максим Горький» стали результатом этой работы. Сороковой год принес новые важные планы, но жизнь сложилась иначе.

Было принято решение о формировании в Москве второго центра по разработке гироскопической техники, и Виктору Ивановичу предложили возглавить это подразделение. Он отказывался, хотя настаивал нарком судостроительной промышленности И. Ф. Тевосян, а затем и председатель правительства В. М. Молотов. Дело решил приказ.

Кузнецов еще толком не освоился на новом месте, как был командирован в Германию принимать приборы управления артиллерийским и торпедным вооружением для строившегося по заказу СССР крейсера «Чапаев». Здесь его застала война, он в составе группы советских специалистов был интернирован, за месяц прошел полицейский участок, тюрьму «Моабит», пересыльный лагерь и был выслан в СССР.

В 1942 г., когда морская часть завода «Электроприбор» была эвакуирована из осажденного Ленинграда в Москву, Виктор Иванович воссоединился с ленинградскими коллегами.

Совет главных конструкторов космической техники: М.С.Рязанский, Н.А.Пилюгин, С.П.Королев, В.П.Глушко, В.П.Бармин, В.И.Кузнецов, 1947 г.

Совместно была разработана гировертикаль «Компонент» (вторая Государственная премия В.И. Кузнецова). В 1945 г. завершилась еще одна разработка Виктора Ивановича – одноосный силовой стабилизатор танкового орудия «Таран». Сравнительные полевые испытания с американским танком «Шерман» выявили преимущества схемы, предложенной Кузнецовым. Но в производство она не пошла, и еще долго наши танки для прицельной стрельбы вынуждены были останавливаться.

После окончания войны Кузнецов был командирован, как и многие специалисты, в Германию для отбора техники и документации в качестве репарации. На заводе, на котором он принимал раньше приборы для крейсера, обнаружил гиростабилизаторы для немецких ракет. Это, а также случайная встреча в самолете с С.П. Королевым привели Виктора Ивановича в зарождавшуюся ракетно-космическую промышленность.

Как известно, разработка советских ракет началась с воспроизведения немецкой ракеты «Фау-2». Но уже через год Кузнецов разработал модернизированные приборы управления ракетой, превзошедшей по дальности и точности немецкий прототип. Так началась чрезвычайно плодотворная деятельность Виктора Ивановича в ракетной технике. Особое внимание он обращал на тщательную отработку надежности аппаратуры. Вспоминает ближайший сотрудник Кузнецова Иларий Николаевич Сапожников: «И если половина немецких ракет, выпущенных во время войны, сбивалась с курса и терпела аварию, то в отечественной ракетной технике отказы по вине гироприборов, разработанных под руководством Кузнецова, стали чрезвычайной редкостью. Это дело стало основным в жизни Виктора Ивановича».

В гироскопе для него не было мелочей, он тщательно отрабатывал каждое техническое решение. Он сформировал гироскопический институт и был его главным конструктором, но не директором – административная работа его не прельщала. В институте Кузнецова (сейчас НИИ прикладной механики имени В.И. Кузнецова) был разработан поплавковый гироскоп с газодинамической опорой ротора, но гироприборы строились на менее точных «сухих» гироскопах до тех пор, пока поплавковые гироскопы не подтвердили уникальный ресурс – 150 000 часов. Кстати, на базе модификации поплавковых гироскопов космического применения ЦНИИ «Дельфин» создал морские инерциальные навигационные системы, отличавшиеся высокой надежностью.

Ключевой была роль академика Кузнецова в создании гироскопической подотрасли в приборостроении. По его инициативе были построены специализированные гироскопические заводы, крупнейший из них – Саратовский завод, где Виктор Иванович месяцами работал над освоением гироскопических технологий, а всего таких заводов для ракетной техники было построено семь. Один из них – Барнаульский завод «Ротор» – отошел в судостроение.

Академик А.Ю. Ишлинский, много десятилетий работавший с Виктором Ивановичем, охарактеризовал его так: «Виктор Иванович – крупный ученый, выдающийся инженер. Я бы переставил эти слова местами. Это крупнейший инженер нашего времени. А хорошим инженером быть труднее, чем хорошим ученым. Конечно, Виктор Иванович был ученым, и математические трудности им легко преодолевались. Но это не было главной задачей. Главной задачей было изготовление и доведение инженерного труда до конца, когда гироскопический прибор действительно мог быть поставлен на соответствующее изделие и хорошо работать».

Таким был Виктор Иванович Кузнецов. Я довольно часто встречался с ним в Академии наук в последние годы его жизни и могу только добавить очень теплое отношение к «Электроприбору», где впервые проявился его инженерный талант.

В. Г. Пешехонов (научный руководитель АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»)

Авторы: Ю. А. ЛИТВИНЕНКО, О. А. СТЕПАНОВ, Д. О. ТАРАНОВСКИЙ, О. М. ЯШНИКОВА

25 ЛЕТ РАЗВИТИЯ КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «НАВИГАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ»

В статье описывается 25-летний опыт проведения конференции молодых ученых (КМУ) «Навигация и управление движением» в АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». Рассмотрены основные этапы формирования и развития конференции, в том числе на примере прошедшей 21–24 марта 2023 г. юбилейной XXV КМУ.

ВВЕДЕНИЕ

В 1999 году в государственном научном центре РФ АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» по решению Президиума международной общественной организации «Академия навигации и управления движением» (МОО «АНУД», Санкт-Петербург, Россия), возглавляемой академиком РАН В. Г. Пешехоновым, и ведущих технических вузов города, таких как Университет ИТМО, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», СПбГУАП и др., была возрождена традиция проведения научных молодежных конференций. ЦНИИ «Электроприбор» к тому времени имел опыт организации подобных мероприятий – они проходили в институте в период с 1953 по 1985 г. Однако если в те годы акцент делался на молодых специалистах, т.е. в значительной мере тематика была инженерной направленности, то эта конференция ставила задачу воспитания нового поколения ученых [1], что и отразилось в её названии – конференция молодых ученых «Навигация и управление движением» (КМУ).

В настоящее время КМУ – это целый комплекс мероприятий, включающий, помимо самой конференции, международную школу-семинара «Navigation and Motion Control», а также подготовку рецензируемых сборников докладов (как конференции, так и семинара) поддержку публикации трудов молодых ученых в высокорейтинговых российских журналах и их участия в российских и международных научных мероприятиях различного уровня.

В настоящей статье описывается опыт проведения КМУ. Рассматриваются основные вехи 25-летнего развития конференции и закономерности формирования мероприятий, из которых она состоит в настоящее время, в том числе на примере прошедшей 21–24 марта 2023 г. юбилейной XXV КМУ «Навигация и управление движением».

Литвиненко Ю.А.,
к.т.н., начальник сектора аспирантуры и докторантуры

Степанов О.А.,
член-корреспондент РАН, начальник научно-образовательного центра

Тарановский Д.О.,
к.т.н., начальник редакционно-издательской группы

Яшникова О.М.,
начальник отдела научно-технической информации

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «НАВИГАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ»

В первой конференции, которая состоялась в 1999 г., приняли участие 110 человек и в ее рамках было сделано 35 докладов представителями 15 организаций Санкт-Петербурга. Таким образом, мероприятие с первых шагов позволило организовать обмен мнениями и общение достаточного широкого круга молодых ученых, работающих в образовательных и научно-исследовательских учреждениях города.

Тексты представленных докладов прошли научное рецензирование и были опубликованы в сборнике (рис. 1). В дальнейшем с каждым годом количество участников, докладов, а также организаций и городов России росло.

В 2000 году сборник материалов 2-й КМУ было решено выпустить в электронном виде, помимо традиционного бумажного. В результате появился первый опубликованный АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» электронный сборник докладов. С тех пор конференция стала своеобразной экспериментальной площадкой, где были опробованы самые разные новшества, которые потом успешно внедрялись на остальных проводимых концерном научных мероприятиях.

В 2001 году в рамках традиционной КМУ было организовано дополнительное обсуждение докладов в переписке на интернет-форуме. Это была первая интернет-конференция в России, посвященная вопросам навигации и управления движением. Возможность обсудить доклады в интернете значительно расширила круг участников и с учетом дальнейшего рецензирования значительно повысила качество публикуемых материалов [2, 3].

Рис. 1. Обложка сборника материалов 1-й КМУ

В том же году конференция впервые получила государственную финансовую поддержку, которая была оказана в рамках федеральной целевой программы «Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки». Позже, начиная с 2009 г., КМУ неоднократно получала финансовую помощь от Российского фонда фундаментальных исследований.

Организаторы находятся в непрерывном поиске новых возможностей и средств мотивации молодежи к научным исследованиям. Одним из шагов в этом направлении была аккредитация конференции в 2007–2014 гг. по программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («УМНИК»). В рамках этой программы в ходе конференции экспертный совет проводил отбор перспективных работ для

Рис. 2: а) д.т.н., профессор С.Ф. Фармаковский, б) д.т.н. А.С. Анфиногенов, в) д.т.н., профессор Л.П. Несенюк

дальнейшего финансирования Фондом содействия развития малых форм предприятий в научно-технической сфере. Всего было отобрано и профинансировано несколько десятков работ молодых ученых.

Поскольку конференция молодежная, то с самого начала была предусмотрена состязательность авторов: на каждой секции определяются лучшие доклады (первое, второе и третье место), которые по итогам работы всей конференции награждаются дипломами и денежными премиями. Важной особенностью конференции является участие в ее работе студентов, что, несомненно, важно при организации учебного процесса по соответствующим направлениям в высших учебных заведениях.

С 2005 ПО 2011 Г. ЛУЧШИМ ДОКЛАДЧИКАМ ВРУЧАЛИСЬ СТИПЕНДИИ ФОНДА ПОДДЕРЖКИ СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ-ПРИБОРОСТРОИТЕЛЕЙ ИМЕНИ А.С. АНФИНОГЕНОВА. Д.Т.Н. АНАТОЛИЙ СЕРГЕЕВИЧ АНФИНОГЕНОВ (1930–2003 ГГ.) – ЗАСЛУЖЕННЫЙ ИЗОБРЕТАТЕЛЬ РФ, ГЛАВНЫЙ КОНСТРУКТОР, СОЗДАТЕЛЬ УНИКАЛЬНОГО ПРЕЦИЗИОННОГО ГИРОСКОПА С ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ ПОДВЕСОМ СФЕРИЧЕСКОГО РОТОРА, ПО СЕЙ ДЕНЬ ЯВЛЯЮЩЕГОСЯ ОДНИМ ИЗ САМЫХ ТОЧНЫХ В МИРЕ [4, 5].

В 2011 г. были учреждены и впервые вручены три премии в память о выдающихся ученых, работавших в разное время в ЦНИИ «Электроприбор» (рис. 2) и внесших значительный вклад в теорию и практику создания современных навигационных систем: премия имени д.т.н., проф. Сергея Федоровича Фармаковского, премия имени д.т.н. Анатолия Сергеевича Анфиногенова и премия имени д.т.н., проф. Леонида Петровича Несенюка. На эти премии могут претендовать авторы наиболее значимых работ, удостоенных дипломов первой степени.

Д.т.н., профессор Сергей Федорович Фармаковский (1911–2004 гг.) – известный ученый, признанный лидер в области морской гироскопии. В 30–60-х годах прошлого века внес основополагающий вклад в развитие таких направлений приборной техники, как приборы управления стрельбой и навигационные комплексы. Будучи долгое время научным руководителем ЦНИИ «Электроприбор», он заложил основы высокой культуры разработок института [6].

Д.т.н., профессор Леонид Петрович Несенюк (1940–2009 гг.) – заслуженный деятель науки РФ, ведущий ученый в области оптимизации и обработки информации в навигационных и гравиметрических системах, внесший весомый вклад в развитие современной российской гироскопии и принимавший активное участие в КМУ с момента ее возникновения [7].

В первые годы работы КМУ сформировался ряд секций, которые ежегодно основой составляют основу программы конференции. Сегодня ее устоявшаяся тематика выглядит следующим образом:

- интегрированные инерциальные и спутниковые системы;
- инерциальные чувствительные элементы;
- приборы и системы навигации;
- теория и системы управления;
- вычислительные комплексы и системы;
- технологии изготовления приборов навигации;
- обработка измерительной информации;
- прикладные задачи навигации и управления движением.

Количество и название секций, представленных на конференции, меняется в зависимости от актуальности тех или иных научных направлений. Так, несколько лет подряд работала секция «Новые образовательные технологии в навигации и управлении». Англоязычная секция «Applied Problems of Navigation and Motion Control» проходила на английском языке с участием российских и иностранных докладчиков в веб-формате. В 2016 г. организовывались заседания по направлению «Микроэлектроника и системы на кристалле в навигационном приборостроении». С 2017 г. ежегодной стала секция «Навигация и управление движением в школьных проектах», где свои работы представляют учащиеся школ и лицеев Санкт-Петербурга и других городов.

Выше уже говорилось, что КМУ была организована решением Президиума МОО «АНУД». С 1999 г. и до сегодняшнего дня она проводится под руководством вице-президента МОО «АНУД» члена-корр. РАН О.А. Степанова (рис. 3). Действительные члены Академии всегда принимали деятельное участие в работе конференции, а с 2019 г. в рамках секции молодых ученых МОО «АНУД» проходят ежегодные круглые столы, во время которых в формате дискуссии обсуждаются насущные для молодых ученых проблемы, такие как публикация в высокорейтинговых журналах, подача заявок на различные гранты, повышение наукометрических показателей, а также повышение привлекательности инженерного образования и развитие молодого ученого за счет участия в рецензировании научных трудов [8].

За двадцать пять лет в конференциях приняли участие более 6000 человек, представивших порядка 2700 докладов. После непрерывного роста в течение нескольких первых лет число участников остается достаточно стабильным, что говорит о зрелости научного мероприятия. И если, как было сказано выше, на первую конференцию приехали около 100 человек и в ее рамках состоялось 35 докладов, то к юбилейной XXV, которая прошла 21–24 марта 2023 г., количество участников и докладов выросло соответственно до 290 и 134. География участников тоже расширяется: на первой конференции присутствовали молодые ученые из Санкт-Петербурга, а на той же юбилейной были представлены уже 53 организации из 16 городов и 5 стран.

Конференция имеет опыт работы на двух языках – русский и английский, что дает возможность участвовать в ней представителям из-за рубежа (принимали участие представители Белоруссии, Вьетнама, Германии, Египта, Казахстана, Китая, Сирии, США, Финляндии и др.), в том числе в удаленном режиме, хотя при этом приоритет отдается очному присутствию [9].

Рис. 3. Председатель программного комитета член-корр. РАН О.А. Степанов

Немаловажной особенностью конференции является привлечение к работе в организационном и программном комитетах и к участию в качестве руководителей секций не только состоявшихся ученых, но и молодых кандидатов наук и аспирантов, что позволяет начинающим ученым получить опыт организации и проведения крупных научных мероприятий. Ключевая роль в привлечении молодых специалистов к конференции отводится научно-образовательному центру АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» и находящемуся в его составе сектору аспирантуры и докторантуры.

Для молодежной конференции существенным является присутствие образовательной составляющей. С этой целью помимо докладов молодых специалистов в программу конференции всегда включаются лекции ведущих ученых нашей страны. Например, в разные годы с лекциями выступали более 50 известных в своей области ученых, среди которых академики РАН С.Н. Васильев, В.Г. Пешехонов, В.Е. Фортов, Ф.Л.

Черноусько, В.А. Соловьев (рис. 4), член-корреспондент РАН Д.Е. Теряев, члены МОО «АНУД», заслуженные деятели науки и техники РФ, а также известные ученые из других стран – профессора Мин Дин (Китай) и Андрей Шкель (США).

Академик РАН В.Е. Фортов

Академик РАН С.Н. Васильев

Академик РАН Ф.Л. Черноусько

Академик РАН В.А. Соловьев

Необходимо отметить, что за свою 25-летнюю историю КМУ стала популярной научной площадкой, где ежегодно встречаются молодые ученые из разных регионов нашей страны. Для многих специалистов в области навигации и управления движением конференция стала своеобразной школой: так, с 1999 г. более 90 ее участников защитили кандидатские диссертации, а 15 – докторские. Некоторые докладчики в настоящее время уже стали известными учеными и занимают ведущие позиции в вузах и научных организациях. Иначе говоря, за счет того, что участники первых конференций в настоящее время выступают уже в роли организаторов и научных руководителей нового поколения молодых ученых, обеспечивается преемственность.

Объективными критериями оценки эффективности проводимых мероприятий могут служить:

- количество состоявшихся докладов;
- общее число участников;
- число организаций и городов, представители которых приехали на конференци;
- количество опубликованных докладов в сборнике трудов.

Данные по этим критериям приведены в таблице и наглядно демонстрируют, что количество как докладов, так и докладчиков на протяжении многих лет остается стабильным, а их география – расширяется и внутри России, и за рубежом, что подтверждает актуальность проводимых научных мероприятий и сохраняющийся интересе к ним.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СЕМИНАР «NAVIGATION AND MOTION CONTROL»

Одним из ключевых мероприятий, непосредственно связанных с КМУ, является международный семинар «Навигация и управление движением» (International Workshop on Navigation and Motion Control), где подробно обсуждаются некоторые вопросы, вызвавшие наибольшие интерес в ходе конференции. Семинар проводится в течение 5 дней на базе ЦНИИ «Электроприбор» на берегу Ладожского озера (в этом случае рабочий язык – английский) либо в одном из городов нашей страны (на русском языке).

Истоки семинара лежат в ежегодных школах для аспирантов ЦНИИ «Электроприбор» [10], которые регулярно организовывались с 2003 по 2008 г. С 2010 г. школа-семинар стала проходить на английском языке, а с 2014 г. семинар получил международный статус. В настоящее время молодежный семинар Navigation and Motion Control собирает ведущих ученых из разных стран в области навигации и управления движением и их молодых коллег – аспирантов и студентов из различных учебных заведений нашей страны и из-за рубежа. С лекциями на семинаре выступали такие известные ученые в области интегрированных навигационных систем, как профессора Г.Ф. Троммер (Германия) и Р. Пише (Финляндия).

Круг рассматриваемых на семинаре вопросов достаточно широк: гироскопические чувствительные элементы, спутниковые навигационные системы, современные корректируемые навигационные системы для подвижных объектов различных типов, киберфизические системы, алгоритмы обработки навигационной информации. Выступления участников – обзорные лекции ведущих ученых и доклады аспирантов и студентов – всегда сопровождаются активными обсуждениями, что показывает заинтересованность аудитории и актуальность рассматриваемых тем.

Помимо докладов и лекций молодых и ведущих ученых на семинаре заслушиваются сообщения соискателей ученой степени в форме предзащит кандидатских диссертаций.

Таблица. Статистика КМУ «Навигация и управление движением»

Год проведения	Дата проведения	Количество участников	Количество докладов (лекций)	Количество докладов (лекций) в сборнике	Количество организаций	Количество городов
1999	6–7 апреля	110	35 (4)	21 (4)	8	2
2000	28–30 марта	154	58 (6)	32 (6)	19	8
2001	12–14 марта	159	61 (3)	32 (2)	25	11
2002	12–14 марта	188	74 (4)	40 (3)	27	10
2003	11–13 марта	183	83 (3)	37 (2)	32	15
2004	16–18 марта	207	87 (4)	44(2)	30	13
2005	15–17 марта	229	83 (4)	47(2)	24	9
2006	14–16 марта	245	98 (4)	58(2)	34	12
2007	13–15 марта	235	106 (3)	57(2)	30	10
2008	11–14 марта	221	100 (3)	68(3)	41	15
2009	10–12 марта	240	99 (4)	60(4)	32	10
2010	16–19 марта	282	127 (3)	58(2)	44	14
2011	15–18 марта	292	138 (3)	59(3)	46	17
2012	13–16 марта	306	141 (3)	72(3)	41	16
2013	12–15 марта	302	141, из них 1 обзорный (3)	63(3)	48	13
2014	11–14 марта	318	135 (4)	58(2)	41	10
2015	17–20 марта	332 (в т.ч. 8 зарубежных)	155(4)	78(3)	38 (в т. ч. 2 зарубежных)	14 (в т. ч. 2 зарубежных)
2016	15–18 марта	353 (в т.ч. 14 зарубежных)	182(4)	95 (2)	46 (в т.ч. 3 зарубежных)	20 (в т.ч. 3 зарубежных)
2017	14–17 марта	313 (в т.ч. 6 зарубежных)	149(4)	91 (3)	40 (в т.ч. 3 зарубежных)	17 (в т.ч. 3 зарубежных)
2018	20–23 марта	400	153(4)	145 (4)	55 (в т.ч. 5 зарубежных)	18 (в т.ч. 8 зарубежных)
2019	19–22 марта	389 (в т.ч. 11 зарубежных)	151(3)	127 (3)	36 (в т.ч. 5 зарубежных)	11 (в т.ч. 6 зарубежных)
2020	17–20 марта	300 (в т.ч. 4 зарубежных)	129(3)	114 (0)	53 (в т.ч. 5 зарубежных)	16 (в т.ч. 5 зарубежных)
2021	16–19 марта	309 (в т.ч. 5 зарубежных)	112(3)	101(0)	50 (в т.ч. 2 зарубежные)	12 (в т.ч. 2 зарубежных)
2022	15–18 марта	250 (в т.ч. 9 зарубежных)	105(3)	91(0)	36	12
2023	21–24 марта	290 (в т.ч. 10 зарубежных)	134(3)	в работе	53	16

Рис. 5. Участники семинара Navigation and Motion Control

НА КАЖДОМ СЕМИНАРЕ, ОРГАНИЗУЕМОМ НА БАЗЕ ЦНИИ «ЭЛЕКТРОПРИБОР», ВЕДУЩИЕ ПЕРЕВОДЧИКИ КОНЦЕРНА ПРОВОДЯТ ЗАНЯТИЯ ДЛЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ, ЦЕЛЬ КОТОРЫХ – ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СТАТЕЙ, ПОДАВАЕМЫХ В МЕЖДУНАРОДНЫЕ ИЗДАНИЯ, И ОБУЧЕНИЕ НАВЫКАМ ВЫСТУПЛЕНИЯ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ. ДЛЯ ИНОСТРАННЫХ УЧАСТНИКОВ СЕМИНАРА ПРОВОДЯТСЯ ЗАНЯТИЯ ПО РУССКОМУ ЯЗЫКУ.

В 2020 г. семинар Navigation and Motion Control впервые был организован в выездном формате – на базе Самарского государственного университета при поддержке Самарского отделения МОО «АНУД». В 2022 г. он состоялся в Саратове при поддержке Института проблем точной механики и управления и Саратовского отделения МОО «АНУД». Семинар был совмещен с заседанием Научного совета по теории и процессам управления ОЭММПУ РАН, что позволило повысить научный уровень мероприятия. В 2023 г. принято решение о проведении школы-семинара во Владивостоке при поддержке Института автоматики и процессов управления ДВО РАН.

Организация семинара в выездном формате позволяет его участникам ближе познакомиться с научными школами различных регионов нашей страны, а также способствует укреплению связей между молодыми учеными из разных городов.

ПОДДЕРЖКА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ В ПУБЛИКАЦИИ ИХ ТРУДОВ В ВЫСОКОРЕЙТИНГОВЫХ ЖУРНАЛАХ И УЧАСТИИ В МЕЖДУНАРОДНЫХ КОНФЕРЕНЦИЯХ РАЗЛИЧНОГО УРОВНЯ

Необходимым навыком для начинающих ученых является умение не только представить свою работу на конференции, но и изложить ее суть в виде статьи. К сожалению, как показывает многолетний опыт, успешное выступление с докладом еще не гарантирует того, что автор сможет написать хорошую статью. Для того чтобы научить авторов излагать свои мыли в письменном виде, после завершения КМУ программный комитет и руководители секций проводят отбор, рецензирование и тщательное редактирование расширенных рефератов докладов, которые затем публикуются в сборнике трудов конференции. Немаловажным фактом для российских участников является то, что с первой конференции сборник индексируется в базе данных Российского индекса научного цитирования.

Рецензирование рефератов молодых ученых представляет длительный и многоитерационный процесс. Так, на первом этапе научное редактирование осуществляют руководители секции. Важно отметить, что поскольку к руководству секций наряду с заслуженными привлекаются также и молодые ученые, эта работа становится для них хорошей школой. На втором этапе редактирование осуществляют председатель и члены программного комитета, после чего доклады передаются в издательскую группу, которая готовит их к печати.

Такое тщательное рецензирование позволяет, кроме всего прочего, отобрать наиболее интересные и серьезные доклады для публикации в высокорейтинговых журналах, оказывающих информационную поддержку конференции, в частности в журнале «Гироскопия и навигация».

Необходимо отметить, что отображенное в таблице 1 количество опубликованных докладов характеризует научный уровень сборников трудов конференции. Как видно из таблицы, доля опубликованных после рецензирования докладов в некоторые годы составляет 45–50%. Этот показатель тщательности отбора и строгости рецензирования находится на уровне ведущих мировых журналов и значительно превосходит многие отечественные издания, включенные в перечень ВАК. Сборники выкладываются на сайт АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» [11] и индексируются в Российском индексе научного цитирования.

Таким образом, в качестве наиболее важного результата, несомненно, выступает тот факт, что подобный комплексный подход позволил подготовить целый ряд перспективных молодых ученых, которые регулярно принимают участие в различных международных конференциях, в том числе во всемирных конгрессах IFAC и симпозиумах по гиротехнологиям DGON Inertial Sensors and Systems Symposium Gyro Technology.

Рис. 6. С приветственным словом к участникам конференции обращается академик РАН В.Г. Пешехонов

ЮБИЛЕЙНАЯ XXV КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «НАВИГАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ»

С 21 по 24 марта в ГНЦ РФ АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» прошла юбилейная XXV конференция молодых ученых (КМУ) с международным участием «Навигация и управление движением» [12].

В рамках конференции была организована работа 10 секций, включая новую под названием «Беспилотный транспорт и робототехнические системы». Уже традиционной стала секция школьных проектов, в ходе которой прозвучали доклады, подготовленные учащимися 7–11 классов из Санкт-Петербурга, Саратова и Сургута.

Так как в этом году КМУ отметила 25-летний юбилей, программный и организационный комитеты постарались внести в нее разнообразие, чтобы она надолго запомнилась участникам. Были подготовлены дополнительные мероприятия, благодаря которым стало возможным расширить общение и обмен идеями и мнениями.

22 марта состоялась робототехническая выставка, где представители Президентского физико-математического лицея № 239 (Санкт-Петербург), Университета ИТМО и Санкт-Петербургского федерального исследовательского центра РАН представили свои разработки. Выставка привлекла внимание особенно своей интерактивностью: роботы двигались, летали, их можно было не только увидеть в действии, но и потрогать. Например, желающие могли попробовать управлять квадрокоптером с помощью реагирующих на жесты рук специальных браслетов.

Еще одним значимым мероприятием в рамках конференции стал круглый стол на тему «Рецензирование научных трудов как составляющая развития молодого ученого» при поддержке секции молодых ученых МОО «АНУД» [12].

Рис. 7. Участники юбилейной XXV конференции молодых ученых «Навигация и управление движением»

В дополнение к основной программе были организованы семинар «Физиологические основы навигации птиц» [12] и мастер-класс «Использование искусственного интеллекта для анализа и генерации временных рядов», который провела действительный член АНУД д.ф.-м.н. М.А. Барулина (Институт проблем точной механики и управления РАН, г. Саратов).

О ВЫСОКОМ НАУЧНОМ УРОВНЕ КОНФЕРЕНЦИИ ГОВОРИТ ТОТ ФАКТ, ЧТО ДЕЯТЕЛЬНОЕ УЧАСТИЕ В ЕЕ РАБОТЕ ПРИНЯЛИ ДВА АКАДЕМИКА И ТРИ ЧЛЕНА-КОРР. РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК.

На мероприятие собрались 290 человек, среди них были представители 16 городов России (Санкт-Петербурга, Москвы, Арзамаса, Владивостока, Екатеринбурга, Мурома, Перми, Раменского, Реутова, Ростова-на-Дону, Самары, Саратова, Серпухова, п.г.т. Сириус, Сургута, Тулы), а также 5 стран: Сирии, Вьетнама, Анголы, Казахстана, Республики Таджикистан.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» при тесном взаимодействии с ведущими вузами города, такими как Университет ИТМО, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», СПбПУ Петра Великого, в течение четверти века проводит конференции молодых ученых «Навигация и управление движением». Помимо самой конференции комплекс мероприятий включает международную школу-семинар Navigation and Motion Control и меры поддержки публикации трудов молодых ученых в высокорейтинговых российских журналах и их участия в российских и международных конференциях различного уровня, что в совокупности открывает широкие возможности для развития творческого потенциала молодых исследователей и позволяет установить прочные профессиональные связи.

Успешное проведение юбилейной XXV конференции молодых ученых с международным участием «Навигация и управление движением» еще раз подчеркивает правильность принятых решений и большую значимость комплексных мероприятий по подготовке молодых ученых к решению актуальных задач, стоящих перед страной.

Приглашаем всех заинтересованных читателей журнала принять участие в XXVI КМУ, которая состоится в марте 2024 года в стенах АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор».

Список литературы

1. *Пешехонов В.Г. Вступительное слово Президента Академии навигации и управления движением // Сборник докладов I научно-технической конференции молодых ученых «Навигация и управление движением», 1999 г., С. 3–4*
2. *Литвиненко Ю.А., Степанов О.А., Тарановский Д.О. Опыт проведения конференции молодых ученых "Навигация и управление движением" с использованием средств интернета. // Сборник докладов IV научно-технической конференции молодых ученых «Навигация и управление движением», 2003 г., С. 309-314*
3. *The Conference of Young Scientists "Navigation and Motion Control" as a Means of Training Scientists / O.A. Stepanov, O.M. Yashnikova, D.O. Taranovsky [et al.] // IFAC Proceedings Volumes. 2012. Vol. 45, issue 11. P. 23–27. DOI: https://doi.org/10.3182/20120619-3-RU-2024.00060.*
4. *История создания электростатического гироскопа. Памяти главного конструктора А.С. Анфиногенова. – СПб. ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2011, 204 с.*
5. *Пешехонов В.Г. Создатель прецизионного гироскопа. // Гироскопия и навигация. Том 28. №1 (108), 2020, С. 121–129.*
6. *Пешехонов В.Г. Три века развития теории и техники морской навигации в Санкт-Петербурге // Гироскопия и навигация № 2 (41), 2003, С. 3–17.*
7. *Памяти профессора Л.П. Несенюка. Избранные труды и воспоминания. – СПб. ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2010, 254 с.*
8. *Тарановский Д.О. «Собрание секции молодых ученых Международной общественной организации «Академия навигации и управления движением» // Гироскопия и навигация, Том 29. №1 (112), 2021, С.138–142.*
9. *Степанов О.А., Тарановский Д.О. Опыт организации конференций в условиях пандемии. Управление наукой: теория и практика. Том 4. №2. 2022.*
10. *Степанов О.А. Молодежная школа-семинар «Навигация и управление движением» // Гироскопия и навигация, 2005, №1 (48), С.115-116.*
11. *www.elektropribor.spb.ru*
12. *Тарановский Д.О., Дубровская Е.А. О конференции молодых ученых «Навигация и управление движением» // Гироскопия и навигация. Том 31. №1 (120). 2023. С. 152–160.*

БЛИЖЕ К ПРЕКРАСНОМУ

АО «КОНЦЕРН «ОКЕАНПРИБОР»» ПРИНИМАЕТ УЧАСТИЕ В СОЗДАНИИ ПРИКЛЮЧЕНЧЕСКОЙ КИНОКАРТИНЫ

В начале года к руководству АО «Концерн «Океанприбор»» обратилась кинокомпания «РУССКИЙ СЕВЕР» с просьбой оказать содействие в проведении консультаций для производства художественного фильма «Северный полюс» – об уникальном походе первой советской атомной подводной лодке К-3 подо льдами Северного Ледовитого океана в разгар «холодной войны».

«Это история про первооткрывателей — всегда интересен путь, который люди проделывают впервые. Это история про то, как первая советская атомная подводная лодка прошла подо льдами Северного полюса»,— рассказал режиссер фильма Александр Котт.

Актер Андрей Ильич Мерзликин предстанет перед зрителями в образе командира подводной лодки капитана второго ранга Живцова, который еще во время испытаний подлодки обнаружил проблему с навигацией. Евгений Витальевич Миронов играет одного из конструкторов субмарины — профессора Морозова, который настаивает на отказе от операции из-за опасности для экипажа.

Для оказания информационной поддержки на территорию нашего предприятия была приглашена киногруппа, а так же исполнитель главной роли народный артист Российский Федерации Евгений Витальевич Миронов.

Экскурсию по музею, а так же всестороннюю историко-техническую консультацию, провел Владимир Александрович Попов, капитан 1 ранга в отставке, кандидат технических наук.

В музее Концерна представлена экспозиция, которая убедительно и ярко показывает историю становления отечественной гидроакустики. Среди экспонатов и подлинные предметы — в том числе гидроакустическая станция Феникс (МГ-10), аналогичная стоявшей на той подводной лодке.

Именно они и стали предметом живого интереса киногруппы.

В. А. Попов рассказал историю создания нашим предприятием гидроакустических средств обеспечения подледного плавания, продемонстрировал действия оператора-гидроакустика при эксплуатации гидроакустических приборов (аппаратуры.)

Евгений Витальевич Миронов смог получить действительно бесценную информацию, которая поможет сделать образ его персонажа — инженера-гидроакустика еще более глубоким и выразительным.

«Там музей потрясающий с эхолотами и всем, что касается акустики. Он разобрал по деталям, что происходит. И мы добавили и вписали в сценарий достаточно много профессиональной лексики»,— рассказал Миронов.

«Мне была интересна природа ученых, которым неважно время, не важна политика, которые занимаются тем, чем они не могут не заниматься — любимейшим делом»,— добавил он.

Как отметил режиссер Александр Котт, завершение съемок запланировано на конец июня.

Примечательно, что в выполнении задачи достичь подо льдом Северный полюс и вернуться обратно активнейшее участие принимал и другой концерн АО «КМП», АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». Поэтому в истории «Электроприбора» 17 июля 1962 года — особая дата. В первом походе атомной подводной лодки К-3 на борту с экипажем были и электроприборовцы.

На экранах картина появится в 2024 г.

Актульаные события

24 ФЕВРАЛЯ 2023

Использование системы «Инмарсат» планируется запретить на рыболовных судах с 1 марта 2022 года. Это следует из опубликованного на Федеральном портале для размещения проектов нормативно-правовых актов проекта приказа министерства сельского хозяйства РФ «Об утверждении порядка оснащения судов техническими средствами контроля, их видов, требований к их использованию и порядка контроля функционирования технических средств контроля». Вместо «Инмарсат» предлагается использовать систему типа «Гонец».

27 ФЕВРАЛЯ 2023

Указ президента увеличит количество ледоколов для Севморпути.

Президент России Владимир Путин подписал указ от 27.02.2023 № 126 "О внесении изменений в Стратегию развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года, утвержденную Указом Президента Российской Федерации от 26 октября 2020 г. № 645". В документе, в частности, в новой редакции изложен подпункт "г" пункта 13. "Строительство на российских судостроительных верфях для работы в акватории Северного морского пути не менее семи универсальных атомных ледоколов проекта 22220, головного атомного ледокола проекта "Лидер" и дополнительно четырех неатомных ледоколов, 16 аварийно-спасательных судов различной мощности до 2024 года, 30 аварийно-спасательных судов различной мощности до 2030 года, трех гидрографических и двух лоцмейстерских судов",— говорится в тексте указа. Ранее планировалось построить пять атомных ледоколов проекта 22220, теперь же — семь, а кроме того — четыре неатомных ледокола.

21 ФЕВРАЛЯ 2023

А мы думали, они больше. Ревизоры в Петербурге заявили, что ледоколы-рекордсмены недобрали по длине «Фонтанка»

Минфин обнаружил, что самые мощные в мире атомные ледоколы

получились короче, чем следует, на 5 метров. Как выяснилось, не туда прикладывали линейку. Первые два ледокола серии 22220 переданы «Росатому» в неправильном месте, в неправильное время, не так испытанные, с не теми трубами, сомнительно потраченными 360 млн. рублей, да ещё на 5 метров короче, чем следует. Интригующие выводы петербургского управления Федерального казначейства Минфина построивший ледоколы Балтийский завод опроверг в суде — все 10. Такое решение опубликовал 19 февраля петербургский арбитраж, но это лишь начало — вердикт пока не вступил в законную силу.

Оказывается, по мнению ревизоров, фактическая длина «Арктики» 168,125 метра, а «Сибири» — 168,046 метра, что на 5,175 и 5,254 метра соответственно меньше указанного в госконтрактах размера — 173,3 метра. Ошибка подтвердилась, но суд обвинил в ней именно составителей госконтрактов, которые перепутали наибольшую проектную длину судна и его габаритную длину. 173,3 метра — наибольшая длина, которую Балтийский завод не должен был превысить.

31 МАРТА 2023

В Российском морском регистре судоходства назначен новый генеральный директор. Новым генеральным директором ФАУ "Российский морской регистр судоходства" (РС) назначен Сергей Куликов. Об этом говорится в сообщении учреждения от 30 марта. Назначение произведено в соответствии с приказом министерства транспорта РФ, отмечают в классификационном обществе. Ранее Сергей Куликов занимал должность заместителя генерального директора РС по флоту в эксплуатации, а с 22 декабря 2022 года исполнял обязанности генерального директора РС. Отметим, до этого, с октября 2015 года, РС возглавлял Константин Пальников.

7 АПРЕЛЯ 2023

Санкт-Петербургское морское бюро машиностроения "Малахит" отмечает 75-летие!

За эти годы коллектив ведущего КБ разработал более 100 проектов, по которым на отечественных верфях было построено свыше 300 подводных кораблей, обитаемых технических средств освоения океана, а также вспомогательных судов и испытательных стендов.

Здесь спроектирована первая в мире ПЛ с баллистическими ракетами и первая отечественная АПЛ, первая АПЛ из титановых сплавов. Проектам «Малахита» принадлежат мировые рекорды скорости и глубины погружения.

6 АПРЕЛЯ 2023

На господдержку гражданского судостроения в 2023–2025 годах выделят 36 млрд рублей.

Субсидии на внедрение отечественного СКО в 2023–2024 годах предусмотрены на сумму 15 млрд рублей

На реализацию действующих мер господдержки гражданского судостроения в 2023–2025 годах Минпромторгом России предусмотрено финансирование в размере 36 млрд рублей. Об этом на запрос ИАА «ПортНьюс» сообщили в министерстве промышленности и торговли РФ. В 2023–2024 годах также предусмотрены субсидии на сумму 15 млрд рублей на финансовое обеспечение затрат на выполнение комплексных проектов по разработке, созданию и внедрению в серийное производство судового комплектующего оборудования (СКО).

18 АПРЕЛЯ 2023

Генеральным директором АО "Адмиралтейские верфи" назначен Андрей Веселов.

Решение об этом принято на Совете директоров Общества. Приказ о его вступлении в должность подписан 18 апреля 2023 года. Андрей Анатольевич Веселов родился 13 сентября 1970 года в Ленинграде. В 1993 году окончил Ленинградский кораблестроительный институт. На "Адмиралтейских верфях" Веселов последовательно занимал должности: строителя, старшего строителя, заместителя главного строителя надводных кораблей; заместителя главного инженера; заместителя генерального директора по военно-техническому сотрудничеству; главного инженера.

18 АПРЕЛЯ 2023

Первый замглавы ОСК Андрей Бузинов назначен врио генерального директора Балтийского завода

Такое решение принял совет директоров общества 17 апреля 2023 года, сообщает пресс-служба корпорации. С ноября 2013 года до настоящего времени Балтийским заводом руководил Алексей Кадилов.

20 АПРЕЛЯ 2023

На пост командующего Тихоокеанским флотом назначен адмирал Виктор Лиина.

Виктор Лиина родился 19 июня 1968 года.. В 2010 году он был назначен командиром Беломорской военно-морской базы Северного флота ВМФ РФ, а с 2012 года по 2014 год командовал войсками и силами на Северо-Востоке России Тихоокеанского флота. С 2016 года по 2019 год являлся начальником штаба – первым заместитель командующего Черноморским флотом. С 2019 года по 2021 год был заместителем начальника Генштаба. С 5 октября 2021 года командует Балтийским флотом.

24 АПРЕЛЯ 2023

Российский флот выведут из подчинения военным округам

Три флота России и Каспийскую флотилию выведут из подчинения военным округам и вернут в прямое подчинение главному командованию Военно-Морского Флота РФ. Об этом ТАСС сообщил источник, близкий к ВМФ.

"Принято решение о выведении флотов и флотилии из двойного подчинения, в котором они находились ранее. Теперь эти объединения будут подчиняться первоначально в оперативном отношении в мирное время главкомату ВМФ, а в последующем – в прямое подчинение, как это было прежде", – сказал собеседник агентства.

"Северный флот сохранит свой статус военного округа с переподчинением непосредственно главкому ВМФ", – добавил он.

21 АПРЕЛЯ 2023

Командующим Балтфлотом стал Владимир Воробьев

Вице-адмирал Владимир Воробьев, занимавший должность заместителя начальника Генерального штаба, назначен командовать Балтийским флотом. Об этом сообщает ТАСС со ссылкой на собственные источники. Владимир Воробьев сменил на этом посту Виктора Лиину, которому было присвоено звание адмирала.

24 АПРЕЛЯ 2023

Правительство обеспечит применение головных научных организаций при выпуске высокотехнологичной продукции для судостроения

Президент России Владимир Путин поручил правительству РФ до 31 августа 2023 года представить предложения по определению и уточнению основных результатов и целевых показателей, характеризующих достижение национальных целей развития в сфере научно-технологического развития к 2030 году. К этой же дате кабмину необходимо обеспечить применение института головных научных организаций (научных руководителей) при создании и развитии крупных научных и научно-образовательных центров, реализации стратегических инициатив в научно-технологической сфере, а также при выпуске высокотехнологичной и наукоемкой продукции судостроительной отрасли. Перечень поручений по итогам заседания Совета по науке и образованию, состоявшегося 8 февраля 2023 года, опубликован на сайте Кремля.

25 АПРЕЛЯ 2023

Одобрена концепция постоянной экспозиции Музея военно-морской славы в Кронштадте

24 апреля состоялось заседание наблюдательного экспертного совета по созданию Музея военно-морской славы в кластере "Остров фортов" в Кронштадте. В состав экспертного совета вошел, генеральный директор АО "Корпорация морского приборостроения" (КМП) Леонид Стругов. Участникам заседания была презентована финальная концепция постоянной экспозиции Музея, которая по результатам обсуждения получила общее одобрение членов Наблюдательного экспертного совета. Открытие Музея уже 30 июля – в День ВМФ.

28 АПРЕЛЯ 2023

Отечественная компания начала предоставлять АИС-данные для мониторинга и безопасности судов рыбопромыслового флота

Центр системы мониторинга рыболовства и связи (ЦСМС) начал получать информацию о местоположении судов рыбопромыслового флота с использованием данных береговой и спутниковой автоматической идентификационной системы (АИС) компании Sitronics Group (входит в Группу АФК «Система»). Об этом порталу «Морские вести России» сообщили в пресс-службе компании.

26 АПРЕЛЯ 2023

Заместитель Министра транспорта РФ Александр Пошивай в торжественной обстановке вручил первые в России сертификаты членам экипажей полуавтономных судов и капитанам центра дистанционного управления.

Двадцать два специалиста ФГУП «Росморпорт» – члены экипажей паромов «Маршал Рокосовский» и «Генерал Черняховский» успешно прошли обучение в учебно-тренажерном центре Академии водного транспорта РУТ (МИИТ) по программам автономного судовождения. Об этом сообщила пресс-служба вуза.

Для подготовки членов экипажей полуавтономных судов в Российском университете транспорта установлен первый в Российской Федерации навигационный тренажер по маневрированию и управлению судном с элементами автономного судовождения, который состоит из судовой рубки и прототипа Центра дистанционного управления.

На тренажере возможно проведение трех типов тренажёрной подготовки, ориентированной на отработку задач:

1. по маневрированию судном с ручным управлением, которое соответствует МАНС класса МС (с ручным управлением), во взаимодействии с оператором СУДС;

2. по маневрированию судном с полуавтономным управлением, которое соответствует МАНС класса MCDS, RCмс (с присутствием человека на борту, что соответствует классу судов с полуавтономным управлением), во взаимодействии с оператором СУДС и/или ЦДУ;

3. по маневрированию судном с автономным управлением, которое соответствует МАНС класса RC, АС (без присутствия человека на борту, что соответствует классу судов с полностью автономным управлением), во взаимодействии с оператором ЦДУ в зоне ответственности ЦДУ.

2 МАЯ 2023

Правительство вдвое увеличит субсидии на гражданское кораблестроение

Отказ иностранных партнеров от запланированных поставок поставил некоторые отрасли в сложное положение, в том числе судостроительные предприятия, заявил премьер-министр Михаил Мишустин. Правительство из-за этого в 2023 году вдвое увеличит субсидии на гражданское кораблестроение, до 14 млрд руб.

Во время совещания с вице-премьерами господин Мишустин рассказал, что эта сумма пойдет на разработку, серийный выпуск и модернизацию производства судового оборудования. По его словам, получатели субсидий смогут компенсировать до 80 % затрат, и такое же финансирование предусмотрено на следующий год. Коммерсантъ

По страницам зарубежных журналов

НА ВЫСТАВКЕ В АБУ-ДАБИ ПОКАЗАЛИ НОВЕЙШИЙ КИТАЙСКИЙ НАДВОДНЫЙ БЕСПИЛОТНИК.

На военно-морской выставке NAVDEX 2023, которая проходит в Абу-Даби одновременно с IDEX 2023, китайская оборонная компания Poly Technologies впервые представила новый беззекипажный катер A45. Об этом сообщает Naval News.

Надводный беспилотник предназначен для наблюдения и патрулирования, поисково-спасательных операций, а также для переброски небольших грузов между кораблями-носителями, пунктами базирования в островной зоне. Как отмечают разработчики, A45 также может помочь в миссиях по борьбе с пиратством, наркотрафиком и контрабандой оружия. Кроме того, представители Poly Technologies добавляют, что катер может использоваться для атаки надводных целей, поскольку опционально оснащается боевыми модулями. Автономные возможности A45 позволяют уклонятся от препятствий. По данным Poly Technologies, беспилотник трудно обнаружить из-за корпуса, выполненного из алюминиевого сплава по дизайну, снижающему эффективную площадь рассеивания. Управление дроном возможно с ноутбука. Оператор использует консоль для планирования маршрута и задач, которые необходимо выполнить, а также для отправки непосредственных инструкций. Катер плывет по заданному маршруту, автономно избегая препятствий на пути. Водоизмещение A45–4,6 тонны, длина корпуса — 7,5 метра, ширина — 2,6 метра, осадка — 0,6 метра. Катер оснащается двумя водометными движителями. Максимальная скорость — 40 узлов, дальность плавания — 280 морских миль при скорости 25 узлов, автономность — 11 часов. При использовании для связи некоммутирующей сети допустимое расстояние для управления — 20 км, спутниковая связь не ограничивает дальность.

Вооружение — боевой модуль с 12,7-мм пулеметом. Его применение возможно при волнении моря до 4 баллов.

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ СИСТЕМ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ПАРАМЕТРАХ ДВИЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ DARIOOSH NADERI

руководитель отдела развития компании Silicon Sensing, статья в журнале Marine Technology Reporter, декабрь 2022 г.

За последние 10 лет в связи с технологическим прогрессом наметилось резкое смещение в сторону применения полностью автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА). Вместо использования надводного корабля в качестве управляющей платформы для одного или нескольких ТНПА, всё чаще наблюдаются случаи его использования в качестве платформы для нескольких АНПА или даже группы АНПА. Без необходимости в привязке, АНПА может иметь меньшие габариты, массу и работать на больших расстояниях длительное время и в более ограниченных пространствах. АНПА может стать высокоэффективным средством расширения боевых возможностей. АНПА являются всё более очевидным выбором для сбора данных, мониторинга и съёмки — дальность их действия будет постоянно расти. В настоящее время АНПА рассматриваются в качестве критически важной технологии; в связи с ростом рынка они будут открывать основные возможности для многих поставщиков.

Заглядывая в ближайшее будущее, какие основные проблемы и возможности можно выделить для поставщиков в рамках данного рынка? Какими будут следующие шаги?

Увеличение срока работы АНПА является основным вопросом для рассмотрения в ближайшем будущем — насколько долго аппарат может выполнять миссию, как глубоко и как далеко он может заходить. Следовательно, основное внимание всех поставщиков заключено на минимизации размеров и потребляемой мощности любого элемента, который будет установлен на АНПА. Любое такое изменение будет способствовать увеличению срока службы аккумуляторной батареи, позволяя аппарату эффективно работать на протяжении более долгого времени и на больших расстояниях.

Что уже изменилось в инерциальной сфере после того как компании стали чаще выходить на данный рынок?

Поставщики продукции в рамках инерциальной технологии, такой как волоконно- оптические гироскопы, которые обеспечивают высокую точность, однако имеют большую массу и меньшую прочность по сравнению с альтернативными технологиями, уже ведут работы по уменьшению размеров таких систем при сохранении их эффективности. Компания Silicon Sensing и другие компании, которые работают с инерциальными продуктами по технологии МЭМС (микроэлектромеханических систем), основной акцент уделяют эффективности. Инерциальная технология МЭМС хорошо известна по

Семейство инерциальных датчиков и систем компании Silicon Sensing

своей компактности и надёжности, а также по низкой потребляемой мощности, однако до настоящего времени существовало сомнение в недостаточно высоких рабочих характеристиках устройств на основе технологии МЭМС. Для последнего поколения продуктов такой вопрос снят. Ряд новых продуктов на основе технологии МЭМС был недавно запущен на рынок. Эти продукты имеют конкурентоспособные характеристики. Среди этих продуктов можно выделить инерциальный измерительный модуль DMU41 компании Silicon Sensing на 9 степеней свободы, запущенный на рынок в прошлом году, а также новый автономный гироскоп CRH03 этой же компании. Оба продукта соответствуют требованиям рынка и являются эффективными по стоимости по сравнению с волоконно-оптическими гироскопами с большей массой и размерами.

С какими ещё трудностями приходится сталкиваться для удовлетворения потребностей рынка? Для поставщиков инерциальных датчиков и систем, таких как компания Silicon Sensing, увеличенное время для выполнения миссии вызывает серьёзные трудности. Чем дальше автономный аппарат находится от надёжного внешнего средства позиционирования (глобальная навигационная спутниковая система (GNSS), система с ультракороткой/длинной базовой линией), тем меньше доступа к надёжной информации для предотвращения любого смещения она имеет. Поскольку срок работы АНПА возрастает, задачей для перспективных технологий должно являться обеспечение длительной навигации при отсутствии внешних средств позиционирования. Для эффективного позиционирования АНПА требуется интеграция инерциальных систем с датчиками, такими как доплеровские гидродинамические лаги (акустические датчики, позволяющие выполнить оценку скорости относительно морского дна). Это общепринятая промышленная практика, позволяющая получить точные данные позиционирования без смещения. В настоящее время основную трудность вызывает дальнейшая миниатюризация этого интегрированного комплекса при обеспечении такой же или повышенной эффективности. Именно в данной области в ближайшее время перспективным направлением может стать применение инерциальной технологии МЭМС.

Как изменяющиеся требования повлияли на объём рынка? Значительное увеличение спроса мотивировало рынок. Гонка за новым поколением эффективной технологии, которая обеспечивает длительную навигацию и меньшие размеры, начата. Наблюдаются слияния и поглощения, которые являются следствием направления работы компаний и технологий, которые им требуются. Новые игроки вошли на рынок; уровень инвестирования значительно вырос. Наступают увлекательные времена для рынка инерциальных датчиков и систем.

Какие перспективы развития для компании Silicon Sensing? Компания Silicon Sensing имеет крепкие позиции на рынке и разрабатывает новую перспективную технологию. Основной задачей компании является поставка гироскопических инерциальных датчиков МЭМС без включения более дорогих и тяжёлых систем в полезную нагрузку — эта задача успешно реализуется. Компания Silicon Sensing уже осуществляет поставку продукции МЭМС, разработанной на основе технологии индуктивных, ёмкостных и пьезоэлектрических преобразователей; текущие результаты опытно-конструкторских работ демонстрируют значительное улучшение рабочих характеристик и уменьшение размеров. Эти работы будут проводиться в течение ближайших нескольких лет с последующим переходом к производству.

Как это поможет решить актуальные мировые проблемы? В чём заключаются основные цели рынка? Смотря в будущее, доступность гироскопических и навигационных датчиков по стандартной цене и с соответствующими размерами для технологии МЭМС ознаменует смещение рынка инерциальных датчиков и систем, открывая новые возможности для применения, которые ранее по экономическим или эксплуатационным причинам были недоступны. Одним из приоритетных направлений работы компании Silicon Sensing на рынке безусловно является работы с АНПА, однако новое поколение интегрированных инерциальных систем и технологий предоставит дополнительные возможности для работы в аэрокосмической, промышленной и оборонной сферах. В частности, в оборонной сфере для компании отрываются возможности в рамках выполнения многих важных миссий, таких как противодействие подводным минам и их траление, а также разведка при помощи БПЛА. Следующее поколение инерциальных технологий МЭМС откроет новые возможности.

УСЛЫШАТЬ СВЕТ: РАСПРЕДЕЛЁННОЕ АКУСТИЧЕСКОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ МОЖЕТ КОРЕННЫМ ОБРАЗОМ ИЗМЕНИТЬ ПОДВОДНУЮ ОБОРОНУ DAVID R. STRACHAN

старший аналитик компании Strikepod Systems. Статья в журнале Marine Technology Reporter, январь/февраль 2023 г.

Летом 2020 года группа океанологов Норвежского университета естественных и технических наук (NTNU) на базе на архипелаге Шпицберген успешно обнаружила вокализации гладких китов, резвящихся в Северном Ледовитом океане и Северном море, на расстоянии приблизительно в 70–90 км. На первый взгляд это могло бы показаться обыкновенным событием, учитывая, что исследователи регулярно проводят мониторинг поведения китов, и давно известно, что песни китов распространяются на большие расстояния. Но необыкновенным был выбор датчиков. Это был не гидрофон — проверенный инструмент морской биоакустики. Вместо него использовались импульсы света, пропущенного через 120 км подводного волоконно-оптического кабеля, проложенного между городами Лонгйира и Ny-Олесунн.

Учёные NTNU использовали относительно новую и инновационную технологию, известную как распределенное акустическое обнаружение (DAS) на основе оптоволокна для обнаружения волн давления, обусловленных акустической или сейсмической активностью. Используя специализированное устройство, световые импульсы отправляются вдоль неиспользуемого, «тёмного» волокна с известными интервалами. Когда свет встречается с крошечными дефектами в волокне, часть его будет отражена назад к устройству (явление, известное как обратное рассеяние Релея). Когда волны давления от акустического излучения вызывают «нано деформации» в волокне, это вызывает колебания отраженного света. Эти колебания можно затем проанализировать и, с помощью усовершенствованной обработки сигналов, перевести в уникальный акустический портрет, что делает возможным не только обнаружение, но и идентификацию и даже локализацию источника. Когда DAS используется в морской среде, дефекты вдоль волокна по существу действуют как крошечные гидрофоны, преобразуя длину волоконнооптического кабеля в решетку датчиков с большой апертурой. Так как акустические волны могут проникать в дно моря, для эффективной работы не нужно, чтобы измерительные волокна были полностью размещены в водяном столбе. Некоторые сегменты кабеля, используемого в проекте NTNU, были проложены в осадке на глубине от одного до двух метров. Учитывая, что по всему миру проложено 785,000 миль (1.2 млн. км) подводных кабелей, распределённое акустическое обнаружение представляет значительный прорыв в наблюдениях в океане.

Вместо того, чтобы полагаться на дискретные акустические и сейсмические датчики, точечно размещенные на морском дне, тёмное оптоволокно, помещенное в корпус подводных кабелей повсеместно можно теперь использовать дополнительно как решётку датчиков длиной в километры, эквивалентную тысячам гидрофонов, и способную обнаруживать и биологический, и антропогенный шум.

В дополнение к вокализациям кита, технология DAS позволила успешно обнаружить надводные суда, землетрясения, поверхностные волны и отдаленные океанские штормы, и даже могла бы работать в качестве глобальной системы предупреждения о цунами. Учитывая ее возможность обеспечить постоянную сеть датчиков по большой области, которая уже размещена повсюду в необъятном океане, DAS обладает значительным потенциалом для операций под водой в сфере обороны — в частности, в обеспечении дополнительного уровня покрытия при освещении обстановки, сопровождении и надводных, и подводных целей. DAS позволяет обнаруживать и сопровождать надводные военные корабли, повысив качество и количество данных, собранных другими платформами ISR (разведка, слежение и поиск), таких как спутники и самолеты. В дополнение к обнаружению проходящих судов, DAS может также обнаружить звуки динамических систем позиционирования, что указывает на операции, проводимые на дне моря.

КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ СУДОВ В ОПЕРАЦИЯХ БЕЗЭКИПАЖНЫХ СУДОВ VAL SCHMIDT

Центр картографирования прибрежной зоны и океана, университет Нью-Хэмпшира, статья в журнале Hydro International № 5.

В настоящее время в сфере автономных надводных аппаратов наблюдается серьёзный прогресс, и эти технологии коренным образом изменяют область гидрографии. Однако наш опыт показывает, что разработка и использование этих систем на уровне реализации их полных возможностей для обеспечения потребностей NOAA (Национальная администрация по океану и атмосфере США) в гидрографических исследованиях будет продолжать требовать поддержки гидрографических судов.

В техническом отчёте 2020 г., опубликованном в Международном гидрографическом обозрении (IHR), CCOM представил методы наиболее успешной практики операций автономных надводных аппаратов (ASV).

Несмотря на то, что возможность использовать полностью автономные гидрографические системы, работающие эффективно в течение долгих промежутков времени, реалистичная оценка безэкипажных систем показывает, что, обитаемые суда остаются, в обозримом будущем, критически важным компонентом Национальных гидрографических средств, гарантируя безопасную и надёжную работу в любых условиях.

KONGSBERG ПРЕДСТАВЛЯЕТ ТЕХНОЛОГИЮ СИМУЛЯЦИЙ ДЛЯ КОРОЛЕВСКОГО ФЛОТА

Naval News Staff 14 Feb 2023

Технологии симуляции Kongsberg Digital нацелена на максимизацию оперативной эффективности Королевского флота во всех ситуациях, от пилотирования одного подразделения до пополнения в море и манёвров оперативной группы (круглосуточно и при любых погодных условиях). Тренажёры позволят командам тренироваться совместно с различными аппаратами в рамках одних сценариев, что уменьшит сопутствующие риски, логистические затраты и затраты на программы тренировок в море. В перспективе новые тренажёры позволят объединять различные учебные учреждения, что позволит Мостиковым командам в Королевском военно-морском колледже (BRNC), HMS Collingwood и HMNB Faslane действовать вместе.

Действующие тренажёры, используемые ВМС Великобритании в течение 20 лет, будут заменены на новейшие разработки для поддержки персонала военного отделения нового поколения. Дополнительные тренажёры будут установлены на HMS Collingwood для улучшения возможностей и устойчивых обучений.

Компания Kongsberg Digital заключила договор на поставку новых тренажёров от компании Capita, курирующей проект Project Selborne, двенадцатилетнюю программу по модернизации и поставке тренажёров Королевскому флоту.

Модернизированные под конкретного клиента мостиковые конфигурации и инструменты создадут максимальный реализм симуляции для мостиковой команды (Bridge Teams). За счёт продвинутого моделирования кораблей в инженерной и гидродинамической части корабли, объекты и оборудование в симуляции действуют естественно, подготавливая служащих к решению будущих задач в различных миссиях. Кроме того, впервые для иммерсивной тренировки (такой как управление кораблём и пополнение в море) будет применена гарнитура виртуальной реальности.

THALES ЗАПУСТИЛИ ПРОИЗВОДСТВО ГИДРОЛОКАТОРА CAPTAS-4 ДЛЯ АМЕРИКАНСКОГО ФЛОТА

Richard Scott 14 Jan 2023

Thales подтвердили оснащение американского фрегата FFG-62 класса Constellation низкочастотным гидролокатором переменной глубины (VDS) CAPTAS-4.

Решение закупить CAPTAS-4 – поставляемый судоверфью Fincantieri Marinette Marine (FMM) через Advanced Acoustic Concepts (является частью Thales) – было принято после того, как ВМС США договорились о завершении разработки Raytheon AN/SQS-62 гидролокатора переменной глубины с двухрежимным антенным передатчиком (DART) VDS, а также отменили модуль миссии противолодочной обороны, в рамках которой предполагалось оснащение береговых боевых кораблей. Отмену проекта модуля противолодочных миссий подтвердил командир LCS 23 в ходе последнего визита на военно-морскую базу Мейпорт во Флориде.

Гидролокатор DART столкнулся с проблемами надёжности и работоспособности на стадии разработки. Это подтолкнуло ВМС и FMM рассмотреть проверенные альтернативные варианты гидролокаторов переменной глубины для FFG-62. Выбор CAPTAS-4 – самого большого и мощного представителя семейства низкочастотных активно-пассивных гидролокаторов CAPTAS – означает, что ВМС станут 14 клиентом линейки CAPTAS.

Как полагает издательство Naval News, первая система уже находится на стадии производства на объекте Thales в Бресте (Бретань). Thales построит и интегрирует первые две системы VDS во Франции, укладываясь в сроки 2023–2024 внутри верфи, для будущих USS Constellation. Последующие системы будут интегрированы в США. Общее количество заказа: 10 гидролокаторов переменной глубины. CAPTAS-4, использующий четырёхзвенный активный буксируемый аппарат, будет работать совместно с комплектом подводной борьбы AN/SQQ-89 (V) 15 и мультифункциональной буксируемой антенной системой TB-37.

CAPTAS-4 уже оснастил фрегаты FREMM Франции, Италии, Марокко и Египта. При этом гидроакустическая система 2087 – использующая буксируемый аппарат и систему обработки – установленный на фрегаты Type 23 британского и чилийского флотов.

Новейшая компактная системы CAPTAS-4 будут оснащены независимым вариантом активного буксируемого аппарата и пассивной антенной решёткой; новые испанские фрегаты F110 от Navantia, будут оснащены двумя буксируемыми исполнениями, в которых антенная решётка прикреплена, размещена вместе с буксируемым аппаратом на единой буксируемой линии.

СОЗДАН МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНСОРЦИУМ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ПЛАВУЧИХ АЭС

25.04.2023

Консорциум с целью разработки плавучих атомных электростанций создали корейские компании Korea Hydro & Nuclear Power (KHNP) и Samsung Heavy Industries (SHI), а также датская Seaborg Technologies. Об этом сообщает ИА "Красная Весна" со ссылкой на пресс-службу SHI. Компании собираются совместно создать плавучую АЭС на основе компактного реактора на расплавленных солях (CMSR) компании Seaborg. Электростанции мощностью от 200 МВт до 800 МВт планируется размещать на баржах модульной конструкции. Первым проектом должна быть АЭС мощностью 200 МВт. Консорциум надеется осуществить коммерциализацию и расширение продаж плавучих АЭС на базе CMSR по всему миру. При этом компании учитывают задачу создания безуглеродной энергетики, а также возможность создания на базе станции плавучей установки по производству водорода и аммиака.

НОВЫЙ УКРАИНСКИЙ БПЛА

26 апреля 2023 Х.И. Саттон

Украинская группа Brave-1 показала свой БПЛА с вооружением "Толока" (беспилотный подводный аппарат). Очевидно, конструкция предназначена для использования в качестве барражирующей торпеды.Конструкция состояла из типичного трубчатого корпуса, но с большим килем и горизонтальными стабилизаторами на миделе. На конце каждого горизонтального стабилизатора установлены подруливающие устройства. Интуитивно понятно, что они используются как для управления, так и для движения. Это должно обеспечить значительную маневренность.

ТОП-10 СТРАН С КРУПНЕЙШИМИ ВОЕННЫМИ ПОДВОДНЫМИ ФЛОТАМИ

21 апреля Russian Submarine опубликовало топ-10 стран с крупнейшими военными подводными флотами.

1. КНДР – 71. 2
2. Соединенные Штаты – 68. 3
3. Китай – 59. 4
4. Россия – 49. 5
5. Япония – 22
6. Южная Корея – 18
7. Иран – 17
8. Индия – 16
9. Турция – 12
10. Великобритания – 11

26 АПРЕЛЯ 2023 ВЛАСТИ ЮЖНОЙ КОРЕИ ОДОБРИЛИ ПРОДАЖУ DSME ГРУППЕ HANWHA

После нескольких месяцев тщательного рассмотрения южнокорейской Комиссией по справедливой торговле (FTC) приобретение DSME (Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering) компанией Hanwha Group официально одобрено. Как сообщает Naval News, новое название предприятия, Hanwha Ocean, подразумевает стремление промышленной группы увеличить свою долю в секторах судостроения и морского машиностроения.

СОСТАВ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ КОРПОРАТИВНОГО ЖУРНАЛА

АО «КОРПОРАЦИЯ МОРСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ

Стругов Л.В.,
генеральный директор АО «КМП», к.э.н.

ЗАМЕСТИТЕЛИ ПРЕДСЕДАТЕЛЯ

Пешехонов В.Г.,
научный руководитель АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», академик РАН

Мухаметшин И.Т.,
заместитель. Главнокомандующего ВМФ

Ханычев В.В.,
Генеральный директор АО «ЦНИИ «Курс», к.т.н.

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ

Храмов М.Ю.,
генеральный директор АО «Концерн «Моринсис-Агат», к.т.н.

Шилов К.Ю.,
генеральный директор АО «Концерн «НПО «Аврора», д.т.н., профессор

Соколов А.В.,
генеральный директор АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», к.т.н.

Шатохин А.В.,
генеральный директор АО «Концерн «Океанприбор», к.э.н.

Стругов В.И.,
заместитель генерального директора ФГУП «Росморпорт»

Чекмарев А.Л.,
заместитель генерального директора АО «Рособоронэкспорт»

Орыщенко А.С.,
генеральный директор ЦНИИ КМ «Прометей» им. И.В. Горынина национального исследовательского центра «Курчатовский институт», член-корреспондент РАН

Копанев А.А.,
генеральный директор А0 «НПФ «Меридиан», д.т.н., профессор

Новиков Е.С.,
главный конструктор направления АО «Концерн «Моринсис-Агат», д.т.н., профессор

Бобрович В.Ю.,
директор по стратегическому развитию, научному и информационному сопровождению АО «Концерн «НПО «Аврора», д.т.н., профессор

Учредители журнала:
АО «Корпорация Морского приборостроения», АО «ЦНИИ «Курс»
Издатель: АО «ЦНИИ «Курс»
105187, Москва, ул. Кирпичная, д.34а,
тел.: +7(495) 365-11-53,
факс: +7(495) 365-43-14,
e-mail: mail@kyrs.ru
www.kyrs.ru

Magazine founder and publisher:
JSC «CSRI «Kurs»
34a, Kirpichnaya Str., Moscow, 105187,
tel: + 7(495) 365-11-53,
fax: +7(495) 365-43-14,
e-mail: mail@kyrs.ru
www.kyrs.ru