

Российская академия наук

Стратегическая стабильность России на море

К 40-летию Научного Совета РАН

ТОРУС
ПРЕСС  МОСКВА
2020

УДК 621.396.944
ББК 68.54
С 84

DOI: 10.30826/94588-273-7

Рецензенты:

Академик А. О. Глико, академик-секретарь отделения наук о Земле РАН, член Президиума РАН

Доктор технических наук профессор Н. А. Северцев, заслуженный деятель науки и техники РФ, лауреат Государственной премии СССР за создание ракетного вооружения для ВМФ

Доктор технических наук профессор В. А. Родионов, руководитель Санкт-Петербургского отделения Секции прикладных проблем (при Президиуме РАН)

Научный редактор—член Президиума РАН, академик РАН Ю. В. Гуляев

Главный редактор — академик РАИН им. А. М. Прохорова, д.т.н., профессор А. А. Зацаринный

Редакционный совет: контр-адмирал В. И. Земсков, вице-адмирал в отставке Ю. М. Кононов, член-корреспондент РАН В. А. Черепенин, д.т.н., профессор В. И. Мирошников, д.ф.-м.н. Ю. Г. Щорс

С 84 **Стратегическая** стабильность России на море: к 40-летию Научного Совета РАН. — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2020. 296 с.

ISBN 978-5-94588-273-7

Монография посвящена уникальной истории Научного Совета при Президиуме Академии наук по фундаментальным проблемам связи с глубокопогруженными объектами. Созданный более 40 лет назад по инициативе Военно-Морского Флота Научный Совет продолжает активную научную деятельность в интересах обеспечения стратегической стабильности России на море. Огромный вклад в создание и функционирование Научного Совета внес выдающийся советский и российский ученый академик В. А. Котельников, который в течение 27 лет являлся его Председателем. В книге убедительно показано, как благодаря конструктивному сотрудничеству ученых, военных и промышленности был решен ряд многих научно-практических проблем обеспечения связи с глубокопогруженными объектами в интересах ВМФ.

Книга представит большой интерес для ученых и специалистов в области связи, историков в области науки и военной связи, для учебных заведений, а также для ветеранов-связистов.

ББК 68.54

ISBN 978-5-94588-273-7

© Авторы, 2020
© ТОРУС ПРЕСС, 2020



Уважаемые коллеги, члены Научного Совета РАН!

Проведение фундаментальных и поисковых исследований в интересах обороны, безопасности и национальной безопасности России — одно из важнейших направлений деятельности Академии наук. И в этом плане плодотворная и непрерывная на протяжении более сорока лет работа Научного Совета при Президиуме Академии наук по комплексной проблеме «Радиофизические методы исследования морей и океанов» вызывает глубокое уважение. Научный Совет, созданный в далеком 1978 г. по инициативе Военно-Морского Флота, в самый разгар «холодной» войны, сыграл огромную роль в создании и развитии технологий и средств для обеспечения связи с глубоководными морскими объектами.

Много лет Научным Советом руководил один из его создателей — выдающийся советский и российский ученый с мировым именем дважды Герой Социалистического Труда, лауреат

Ленинской и Государственной премий СССР академик Владимир Александрович Котельников. В разные периоды времени в составе Совета активно работали академики А. С. Алексеев, Л. М. Бреховских, Б. В. Бункин, Ю. В. Гуляев, Е. П. Велихов, А. В. Гапонов-Грехов, В. В. Мигулин, А. Н. Скринский, И. Д. Спасский, представители военных научно-исследовательских институтов, прежде всего 34 НИИ связи ВМФ, а также специалисты ведущих промышленных организаций.

Заместителями председателя Совета всегда были начальники связи ВМФ.

В последние годы Научный Совет возглавляет авторитетнейший российский ученый в области информационно-телекоммуникационных технологий, достойный ученик В. А. Котельникова, академик Ю. В. Гуляев.

Научный Совет осуществляет удачный синтез компетенций профильных академических институтов, ведущих предприятий промышленности и военной науки, что способствует поддержанию и развитию системы связи с глубокопогруженными объектами в интересах ВМФ на высоком научном, технологическом и эксплуатационном уровне.

Настоящая книга — яркое свидетельство многолетней плодотворной работы Научного Совета Академии наук в интересах обеспечения стратегической стабильности на морских рубежах нашего государства. Книга, безусловно, представляет большую ценность для нынешних и будущих поколений исследователей, разработчиков и военных специалистов в области морской связи.

Желаю членам Научного Совета дальнейших успехов в проведении фундаментальных исследований по актуальным научным проблемам обеспечения связи с глубокопогруженными объектами, доброго здоровья, благополучия, оптимизма и новых результатов во благо нашей Родины!

**Президент Российской академии наук
Академик А. М. Сергеев**



Уважаемые члены Научного Совета при Президиуме Российской Академии наук!

Представляемая читателям книга продолжает развивать важную тему о роли науки в создании средств связи Военно-Морского Флота.

В мае 2018 г. исполнилось 40 лет со дня образования Научного Совета при Президиуме РАН по комплексной проблеме «Радиофизические методы исследования морей и океанов». Научный совет стал интеллектуальным штабом, где обсуждались прогрессивные идеи, происходил обмен мнениями ученых, решающих единую комплексную проблему связи с погруженными объектами. Оперативный анализ результатов исследований и новых нетрадиционных подходов позволяли ускорить процесс продвижения вперед по выбранным направлениям исследований.

Большую роль в организации и работе Научного Совета сыграло то, что его председателем был назначен вице-президент Академии наук академик Владимир Александрович Котельников, работавший над проблемой радиосвязи. В настоящее время председателем Совета является член Президиума РАН академик Юрий Васильевич Гуляев.

За 40-летний период работы Научного Совета Российской академии наук в системе связи ВМФ создана и функционирует космическая подсистема связи, введены в строй мощные центры передачи сигналов на сверхнизких частотах и радиопередающие устройства различной мощности, разработаны и внедрены автоматизированные комплексы связи нового поколения с новейшими антенными устройствами, позволяющими осуществлять прием на глубине в широком диапазоне частот, освоены новые технологии разработки техники связи с использованием перспективной элементной базы. Все эти успехи достигнуты во многом благодаря Научному Совету РАН, сумевшему своевременно и масштабно развернуть фундаментальные и прикладные исследования, позволившие также обеспечить научный задел для новых направлений и новых инженерных решений в создании средств связи ВМФ.

Надеюсь, что Научный Совет продолжит активную деятельность по координации усилий флота, ученых Академии наук, высшей школы и организаций промышленности в решении проблем связи и в деле повышения могущества России.

**Главнокомандующий Военно-Морским Флотом
Адмирал Н. А. Евменов**



Дорогие друзья, коллеги!

У вас в руках уникальное научное издание — книга об удивительном творческом сотрудничестве Академии наук, Военно-Морского Флота и промышленности. Речь идет о Научном Совете при Президиуме Академии наук, созданном более 40 лет назад для координации исследований в такой стратегически важной сфере как обеспечение связи с глубокопогруженными морскими объектами.

У истоков Совета стояли такие выдающиеся личности, как Главком Флота адмирал С. Г. Горшков, президент Академии наук СССР академик А. П. Александров, начальник вооружения — заместитель министра обороны СССР маршал войск связи Н. Н. Алексеев и министр Минпромсвязи СССР Э. К. Первышин.

Работу Совета организовал и затем как председатель Совета в течение 27 лет возглавлял вице-президент Академии наук академик В. А. Котельников, выдающийся советский и российский ученый. И поэтому совершенно справедливо, что многие статьи книги связаны с незаурядной личностью Владимира Александровича

вича. Во многом благодаря деятельности Совета совместными усилиями Службы связи ВМФ, военных ученых и ведущих предприятий промышленности были решены многие научно-практические проблемы обеспечения связи с глубоководными объектами и созданы комплексы связи для оснащения десятков морских объектов на стратегически важных направлениях.

Авторский коллектив книги, который составили известные ученые Академии наук, представители ведущих предприятий промышленности и военной науки, приложил максимум усилий и стараний, чтобы наиболее полно и объективно раскрыть все этапы деятельности Совета.

Горжусь тем, что являюсь учеником В. А. Котельникова, замечательного ученого и большого человека, и имею возможность поддерживать заложенные им традиции в работе Совета, основанные на высочайшем профессионализме, научной принципиальности и глубокой порядочности. Очень важно, что и многие члены Совета являются носителями этих традиций и преемственности в подходах к организации и проведению фундаментальных исследований.

Книга вышла в свет, когда руководством страны решительно взят курс на цифровую трансформацию общества. Президент России В. В. Путин в своем Послании Федеральному Собранию в 2019 г. поставил задачи по осуществлению новых амбициозных научно-технологических программ и построению современных моделей исследований и разработок. Без активного участия науки успешная реализации этих задач невозможна.

И деятельность нашего Совета в полной мере соответствует поставленным стратегическим задачам в такой специфичной, но чрезвычайно важной для национальной безопасности России сфере, как обеспечение связи с глубоководными объектами.

Убежден, что книга представляет большой интерес для ученых и специалистов в области связи, историков в области науки и во-

енной связи, для учебных заведений, а также для ветеранов-связистов.

Хотел бы искренне поблагодарить тех, кто обеспечил подготовку книги к изданию и оказал спонсорскую помощь и поддержку.

**Председатель Научного Совета при Президиуме РАН
«Радиофизические методы исследования морей и океанов»,
член Президиума РАН, заместитель академика-секретаря
Отделения nano и информационных технологий РАН
Академик Ю. В. Гуляев**

Содержание

Введение <i>А. А. Зацаринный</i>	12
Глава 1 История создания Научного Совета при Президиуме РАН по комплексной проблеме «Радиофизические методы исследования морей и океанов	27
1.1 Исторические факты <i>Ю. Г. Щорс</i>	29
1.2 Факторы, определившие создание Научного Совета в конце 1970-х годов <i>А. А. Зацаринный</i>	34
1.3. Служба связи Военно-Морского Флота как инициатор создания Совета <i>Ю. М. Кононов, Г. С. Нероба</i>	44
1.4. О роли начальников связи Военно-Морского Флота в создании и работе Научного Совета <i>В. И. Мирошников</i>	49
1.5 О вкладе ученых 34 Института связи Военно-Морского Флота в создание и развитие системы связи с глубоководными объектами <i>В. А. Пахотин, В. В. Сергеев</i>	74
Глава 2 Научные проблемы обеспечения связи с глубоководными объектами	87
2.1 Основные научные и научно-технические проблемы обеспечения связи с глубоководными объектами <i>В. А. Пахотин</i>	89
2.2 Этапы развития СНЧ–СДВ радиосвязи с глубоководными объектами <i>В. И. Мирошников</i>	110
2.3 Научные и научно-технические проблемы обеспечения оптической связи для глубоководных объектов <i>В. А. Яковлев, А. Г. Журенков, Ю. В. Шокин</i>	119
2.4 Научные и научно-технические проблемы обеспечения дальней передачи сейсмических сигналов на глубоководные объекты <i>А. С. Алексеев, М. С. Хайретдинов</i>	139

2.5 Некоторые аспекты связи с глубокопогруженными объектами в диапазоне сверхнизких частот <i>Н. Л. Астахова, А. В. Васильев, Д. Н. Владимиров</i>	214
2.6 Три источника и три составные части системного подхода к обеспечению связи с глубокопогруженными объектами <i>А. А. Зацаринный</i>	221
Глава 3 Как это было. Воспоминания членов Совета в эпизодах	235
3.1 Заметки ученого секретаря об академике <i>В. А. Котельникове Ю. Г. Щорс</i>	237
3.2 Воспоминания <i>Г. С. Нероба</i>	239
3.3 В поиске нетрадиционных решений <i>В. А. Пахотин</i>	245
3.4 О Владимире Александровиче Котельникове <i>Л. Б. Песин</i>	249
3.5 Воспоминания в эпизодах <i>Ю. Г. Щорс, А. А. Зацаринный, Ю. М. Кононов, Г. С. Нероба</i>	258
Заключение	274
Авторский коллектив	275

Введение

Президент России В. В. Путин в Послании Федеральному Собранию РФ 1 декабря 2016 г. обозначил ряд ключевых позиций для успешной реализации программы цифровой трансформации России, а именно: фундаментальная наука, исследовательская инфраструктура, ИТ-индустрия, собственные передовые разработки, цифровые технологии и, наконец, программа развития цифровой экономики. При этом надо отметить, что такая направленность во многом была подготовлена Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации (утверждена Указом Президента РФ от 1 декабря 2016 г. № 642), в которой в качестве первого приоритета на период 10–15 лет определен «переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта».

И важнейшими инструментами для реализации такого подхода должны стать **наука и технологии**. Так, на VI Международном форуме технологического развития «Технопром-2018» (27 августа 2018 г.) Президент России В.В. Путин подчеркнул, что именно ученым предстоит найти ответы на большие вызовы — исчерпание ресурсов, болезни, нехватка продовольствия, экология — за счет развития новых видов энергии, материалов, лекарств, качественных продуктов.

Вместе с тем, в условиях глобальной цифровой трансформации общества остается актуальной сфера специальных систем и технологий, обеспечивающих **безопасность общества и обороноспособность государства**. И эта сфера сегодня крайне усложнилась по целому ряду причин.

Во-первых, информационные системы в интересах безопасности (их часто называют автоматизированными системами в защищенном исполнении) создаются на основе сертифицированных

аппаратных и программных средств на соответствие специальным требованиям, а также принятой модели угроз.

Во-вторых, такие системы, как правило, должны взаимодействовать с открытыми информационными системами, что вызывает необходимость принятия комплекса организационных мер по предотвращению утечки конфиденциальной информации, а также информации, содержащей государственную тайну.

И, наконец, в-третьих, информационные технологии в своем развитии объективно опережают на несколько лет возможности существующих методов, технологий и технических средств защиты информации.

Приведенные факторы вызывают необходимость применения часто нестандартных мер по обеспечению функционирования специальных систем. Обоснование таких мер невозможно без глубоких научных исследований на уровне фундаментальных с привлечением компетентных научных организаций и отдельных ученых, обладающих многолетними научными и научно-техническими заделами. Другими словами, успех создания информационной системы не исчерпывается взаимодействием заказчика и головного исполнителя, выбираемого в соответствии с требованиями действующего законодательства (конкурсные процедуры, котировки и т. д.). Государственный заказчик, заинтересованный в эффективном решении имеющихся проблем, как правило, обращается к высококвалифицированным компетентным научным организациям, имеющим многолетний опыт и научные заделы в заданной области. Если недостаточно одной или нескольких научных организаций, ставится вопрос о создании Научных советов.

Именно таким образом поступило руководство ВМФ Вооруженных Сил СССР, когда в конце 1970-х гг. со всей остротой встала проблема обеспечения связи с глубокопогруженными объектами. Управление связи ВМФ во главе с **вице-адмиралом М. М. Крыловым** проявило поистине великую мудрость, когда обратилось за помощью в Академию наук СССР, которую возглавлял тогда

академик А. П. Александров Обращение оказалось востребованным, Академия на него конструктивно откликнулась в лице вице-президента **академика В. А. Котельникова**, который возглавил Научный Совет и успешно руководил им почти 27 лет.

Совет был создан совместным решением Президиума АН СССР, подписанным в мае 1978 г. Президентом АН СССР академик **А. П. Александровым**, главкомом ВМФ СССР адмиралом флота **С. Г. Горшковым**, начальником вооружения — заместителем министра обороны маршалом войск связи **Н. Н. Алексеевым** и министром Министерства промышленности средств связи **Э. К. Первышиным**. Глубоко символично, что каждый из «подписантов» этого стратегически важного документа являлся очень значимой фигурой в науке, в промышленности, в системе государственного и военного управления.

Учитывая многогранность и глубину проблем, решение которых требовало исследований в самых различных областях науки (связь, навигация, вычислительная техника, информатика, акустика, распространение радиоволн, физика, математика, биология, география, астрономия и др.), было понятно, что деятельность Научного совета будет иметь принципиально междисциплинарный характер.

Это обстоятельство обусловило создание Научного Совета при Президиуме АН СССР как совместного научно-координационного органа Академии наук, Министерства обороны (ВМФ) и Министерства промышленности средств связи. При этом тот факт, что Совет возглавил академик **Владимир Александрович Котельников**, выдающийся и влиятельный ученый с мировым именем, сразу же сыграл большую позитивную роль в плане авторитета Научного Совета как в среде ученых, так и военных.

И этот высокий статус Научный Совет сохраняет до настоящего времени. Так, Президиум РАН Постановлением от 25.12.2018 подтвердил, что Научный Совет продолжает находиться при Президиуме РАН.

В составе Совета в разные периоды времени плодотворно трудились и трудятся такие ученые как академики **А. С. Алексеев, Л. М. Бреховских, Б. В. Бункин, Ю. В. Гуляев, Е. П. Велихов, А. В. Гапонов-Грехов, В. В. Мигулин, А. Н. Скринский, И. Д. Спасский**, позднее **Н. А. Семихатов**, доктора наук **Н. А. Арманд, М.С. Хайретдинов, В.И. Мирошников, В.А. Пахотин, В. А. Яковлев** и др. Заместителями председателя Совета всегда были начальники связи ВМФ вице-адмиралы **М. М. Крылов** (1978–1991), **Ю. М. Кононов** (1991–2003), **А. Г. Долбня**, контр-адмирал **В. И. Жилинков**.

В настоящее время заместитель председателя Совета — начальник связи ВМФ контр-адмирал **В. И. Земсков**.

Организационно Научный совет включал в свой состав девять секций в развитых научных центрах страны (Москва, Ленинград, Горький и Новосибирск), работу которых координировало Бюро Научного Совета.

Интересно, что бессменным ученым секретарем Научного совета на протяжении более чем сорокалетнего периода его существования является **Ю. Г. Щорс**, доктор физико-математических наук, полковник в отставке. Юрий Григорьевич — носитель всех славных традиций и преемственности работы Совета в различные периоды, он активно и высокопрофессионально обеспечивает оперативную деятельность, пользуется огромным авторитетом у всех членов Совета. Это уникальный случай в истории научных советов Академии наук.

Во второй половине 1990-х гг. в работе Совета стали принимать участие представители Управления начальника связи Вооруженных Сил РФ (УНС ВС РФ) как генерального заказчика АСУ и связи. Так, членом Совета от УНС ВС РФ в период 1997–2000 гг. был первый заместитель начальника связи Вооруженных Сил РФ доктор технических наук генерал-лейтенант **В. В. Геков**. Офицер с огромным опытом службы на различных должностях в Военно-Морском Флоте, затем начальник заказывающего управления

УНС ВС РФ, профессионал высочайшего класса в области военной связи, Владислав Викторович внес весомый вклад в работу Совета.

В период 2001–2005 гг. от УНС ВС РФ в составе Совета работал начальник научно-технического управления УНС ВС РФ доктор технических наук **А. А. Зацаринный**. С 2006 года он продолжает работу в Совете как представитель Института проблем информатики РАН, который с 2015 года преобразован в Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН.

Идея подготовки книги появилась, когда в мае 2018 г. в Президиуме РАН отмечался 40-летний юбилей создания Совета. Суть этой идеи, которую предложил один из старейших членов Совета вице-адмирал **Ю. М. Кононов** — обобщить и сохранить то богатое научное наследие, которое накоплено Научным Советом за многие годы его деятельности. По поручению членов Совета **А. А. Зацаринным** был подготовлен и представлен на очередном заседании в декабре 2018 г. научно-организационный замысел книги, который после обсуждения был одобрен. Члены совета с огромным желанием в соответствии с этим замыслом и согласованным план-проспектом стали осуществлять подготовку материалов.

Авторский коллектив этой уникальной монографии составили известные ученые, представители военной науки, ведущих промышленных организаций, которые внесли весомый вклад в создание и развитие систем и комплексов связи с глубоководными объектами, а также члены Научного Совета.

В книге размещены **приветствия** Президента РАН академика **А. М. Сергеева** и Главнокомандующего Военно-Морским Флотом России адмирала **Н. А. Евменова**.

Книга открывается **обращением к читателю** научного редактора издания члена Президиума Российской академии наук, председателя Научного Совета при Президиуме РАН по комплексной проблеме «Радиофизические методы исследования морей и океанов» академика **Ю. В. Гуляева**, ученика академика В. А. Котельникова,

выдающегося российского ученого с мировым именем в области связи и информационных технологий.

Книга оформлена в виде введения, трех глав, заключения и приложения.

Во **введении** показана актуальность применения специальных систем и технологий, обеспечивающих безопасность общества и обороноспособность государства. Отмечена роль Научного Совета Президиума РАН в создании и развитии методов обеспечения связи с глубоководными объектами в течение нескольких десятилетий. Раскрыто содержание глав.

В **первой главе** представлена история создания Научного совета при Президиуме РАН по комплексной проблеме «Радиофизические методы исследования морей и океанов».

Так, в статье ученого секретаря Совета **Ю. Г. Щорса** (ИРЭ РАН) представлены исторические факты создания Научного совета, его функции, направления деятельности за 40 лет успешного функционирования.

В статье **А. А. Зацаринного** (ФИЦ «Информатика и управление» РАН) выделены пять факторов, определивших необходимость создания Научного Совета в конце 1970-х гг. Эти факторы охватывали весь спектр накопившихся проблем в военно-политической и научно-технической сфере, связанных с созданием высокоэффективного морского ударного компонента в стратегической ядерной триаде. Показано, что важнейшее, если не ключевое, место в комплексе этих проблем занимали вопросы обеспечения устойчивой связи с глубоководными объектами. Раскрыто влияние каждого из пяти факторов на создаваемую эффективную систему боевого управления стратегическими ядерными силами с учетом вызовов и угроз того времени, в условиях постоянно возрастающей значимости морской составляющей в системе вооруженной борьбы, реформирования структуры органов военного управления в части обеспечения разработок АСУ. Особо выделена значимость Академии наук СССР в решении целого ряда

важнейших задач в области военной безопасности государства. Показано, что создание Научного Совета, по существу, было одним из «асимметричных» ответов на те вызовы и угрозы, которые сложились к концу 1970-х гг. для СССР в противостоянии с США и блоком НАТО.

Члены Научного Совета **Ю. М. Кононов** и **Г. С. Нероба** (ветераны Службы связи ВМФ) в своей статье показывают роль Службы связи ВМФ в создании Научного Совета при Президиуме РАН и в дальнейшей его работе. Авторы статьи убедительно показали, что деятельность Научного Совета позволила обеспечить целенаправленное проведение фундаментальных и прикладных исследований в интересах конкретных научно-практических задач Службы связи ВМФ, системный подход к решению поставленных задач с концентрацией выделенных средств на решении приоритетных проблем. Научный Совет, по мнению авторов, стал интеллектуальным штабом для обсуждения перспективных идей в проблематике связи с глубокопогруженными объектами, для обмена мнениями ученых, разработчиков и военных специалистов, решающих единую комплексную проблему, стоящую перед Управлением Связи ВМФ.

Член Совета **В. И. Мирошников** (ПАО «Интелтех») в своей статье остановился на той роли, которую сыграли в создании, становлении и последующей работе Совета три начальника связи ВМФ вице-адмиралы **Г. Г. Толстолицкий**, **М. М. Крылов** и **Ю. М. Кононов**. В статье представлены портреты этих выдающихся людей, каждый из которых возглавлял Службу связи ВМФ на протяжении многих лет. В целом эти адмиралы руководили Службой связи почти полвека — с 1955 по 2003 гг., что является примером преемственности в управлении организационными системами государственного значения. Нельзя не отметить, что автор статьи, Главный конструктор целого ряда комплексов связи для ВМФ, в течение длительного времени был лично знаком с каждым из этих руководителей.

В статье члена Совета **В. А. Пахотина** в соавторстве с **В. В. Сергеевым** раскрыты история и вклад ученых **34 Института связи ВМФ** в создание и развитие системы связи с глубоководными объектами, отмечено активное участие сотрудников Института в работе Научного Совета при Президиуме Академии наук по проблемам связи с глубоководными объектами и многолетнее творческое сотрудничество с ведущими учеными Академии наук. Многогранная научная деятельность Института связи ВМФ по непрерывному совершенствованию систем и средств связи ВМФ, развитию отечественной радиоэлектроники, теоретическому и практическому решению многих важных научных проблем военно-морской связи проводилась сплоченным коллективом высококвалифицированных сотрудников. В статье дан подробный анализ вклада различных ученых в проведении исследований, направленных на создание комплексов связи в различных диапазонах частот для оснащения глубоководных объектов ВМФ, а также освоение новых диапазонов радиочастот. Институт связи ВМФ всегда возглавляли авторитетные ученые и высококвалифицированные специалисты в области морской связи флота: адмиралы **А. И. Берг** (академик АН СССР), **Я. Г. Вараксин**, **А. П. Супрун**, **В. В. Лопатинский**, **Н. Ф. Директоров**, **В. И. Шорин**. Показано, какое огромное позитивное влияние на Институт оказало многолетнее творческое сотрудничество с Академией наук и активное участие в работе Научного Совета.

Необходимо отметить, что автор статьи **Владимир Александрович Пахотин**, ветеран **34 НИИ** связи, на протяжении многих лет является одним из самых активных членов Научного Совета и неоднократно выступал на его заседаниях с обстоятельными докладами, отражающими основные результаты научно-исследовательской деятельности **34 НИИ ВМФ** по обоснованию требований и предложений по созданию новых методов обеспечения связи с глубоководными объектами ВМФ.

Вторая глава посвящена основным направлениям научной деятельности Научного Совета.

Член Совета **В. А. Пахотин** в своей статье раскрывает основные научные и научно-технические проблемы обеспечения связи с глубоководными объектами, а именно:

- проблему частотной зависимости глубины проникновения электромагнитных волн в морскую;
- проблему создания электромагнитного поля низкой частоты;
- проблему приема сигналов электромагнитного поля низкой частоты.

Рассмотрены нетрадиционные методы излучения и регистрации физических полей, нетрадиционные каналы связи, а также пути улучшения параметров антенных устройств и снижения помех.

Статья члена Совета **В. И. Мирошникова** посвящена СНЧ–СДВ радиосвязи с глубоководными объектами. Приведены этапы развития радиосвязи в СНЧ–СДВ диапазонах частот и основные технические характеристики СДВ существующих РПДУ. Показаны преимущества СНЧ–СДВ радиосвязи. Статью отличает системный подход к рассмотрению комплексов связи в СНЧ–СДВ диапазонах с позиций их «вписываемости» в подсистему связи с глубоководными объектами. Автор статьи в течение многих лет является Главным конструктором систем передачи данных ВМФ, руководителем и участником комплекса permanently ведущихся работ полного цикла (исследования, разработка, испытания, внедрение, эксплуатация, сопровождение, модернизация) и глубоко «изнутри» понимает научно-технические проблемы связи с глубоководными объектами в различных условиях обстановки.

Статья члена Совета **В. А. Яковлева** в соавторстве с **А. Г. Журенковым** и **Ю. В. Шокиным** (сотрудники ГОИ им. С. И. Вавилова) посвящена гидрооптике — одной из самых молодых областей таких наук, как оптика и океанология. Авторы рассматривают научные и научно-технические проблемы обеспечения оптической связи с глубоководными объектами, дают анализ результатов НИР по созданию оптических каналов связи в гидросфере в интере-

сах ВМФ, а также показывают роль Научного Совета в организации и проведении исследований и разработки систем оптической связи с погруженными подвижными объектами.

Обстоятельный анализ состояния работ в области сейсмической связи для глубокопогруженных объектов представлен в статье **М. С. Хайретдинова (Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск)**. Соавтором этой статьи справедливо указан выдающийся советский и российский ученый академик РАН **А. С. Алексеев (1928–2007)**, сделавший огромный вклад в области теоретической и вычислительной геофизики, математического моделирования геофизических явлений и цифровой обработки наблюдений. А. С. Алексеев впервые исследовал новый класс математических задач геофизики — обратные динамические задачи сейсмологии — и развил численные методы решения таких задач, а также численно-аналитические методы решения прямых задач. Первооткрыватель новых типов «нелучевых» волн, имеющих важное значение при интерпретации сейсмических данных, А. С. Алексеев создал научную школу в этом направлении, которая продолжает активные исследования.

Материал статьи включает исторические аспекты использования сейсмических волн для передачи сигналов и создания на основе их использования систем дальней передачи сейсмических сигналов для обеспечения связи с глубокопогруженными объектами. Показано, что вопросы сверхдальнего распространения сейсмических волн впервые стали изучаться в связи с регистрацией удаленных землетрясений, а с 1950-х гг. — ядерных взрывов. Преимущества, которыми обладает сейсмический канал по сравнению с традиционными каналами морской связи, состоят в неограниченной глубине действия, неразрушаемости среды распространения волн, а также высокой живучести средств передачи–приема в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций. Представляет интерес систематизация основных особенностей, которыми обладает Земля, используемая в качестве канала сейсмической связи.

В статье проанализированы различные источники помех в полосе частот геоакустических сигналов. Приведены обобщенные количественные характеристики шумов для различных районов Мирового океана, обобщенная многофакторная модель канала дальней передачи сигналов, а также результаты экспериментальных исследований по «передаче–приему» геоакустических сигналов.

Подробно представлены характеристики разработанных сейсмических виброисточников и приеморегистрирующей аппаратуры геогидроакустических сигналов, а также рассмотрены вопросы построения системы передачи сигналов управления на подводные объекты с использованием таких сигналов.

Показано, что наиболее эффективными являются резонансный метод излучения вибросейсмических колебаний в монохроматическом режиме, обеспечивающий выигрыш в энергетических затратах до двух порядков.

По данным натуральных экспериментов с помощью созданных технических средств достигнуты новые результаты в части обеспечения обнаружения и выделения сейсмических колебаний на уровне долей нанометров и акустического давления на уровне 10^{-3} – 10^{-4} Па. Достижение таких показателей в мире стало возможным в результате создания новых вибрационных сейсмоакустических технологий, приоритет создания которых по праву принадлежит российской науке.

В статье показано, что успешное проведение исследований в области сейсмической связи для глубокопогруженных объектов стало возможным благодаря поддержке со стороны Научного Совета, Службы связи ВМФ, а также Минпромсвязи на всех этапах проведения работ. Отмечена роль в решении основных задач широкого круга ученых и инженеров, включая таких выдающихся ученых, как академики В. А. Котельников, Г. И. Марчук, А. С. Алексеев, член-корреспондент РАН А. В. Николаевч, профессор И. С. Чичинин и др. В проведении работ в период 1977–2003 гг. участвовали высококвалифицированные исполнители из академических

институтов Сибирского отделения РАН, ИФЗ РАН, а также промышленных предприятий — ОНИИП, СКБ сейсмической техники (г. Гомель) и ряда других организаций.

В целом за период 1980-х гг. были созданы значительные научные заделы и мощная технологическая база в области сейсмической связи, которые, к сожалению, оказались не востребованными и не получили дальнейшего развития вследствие распада Союза и последовавших в 1990-е гг. разрушительных процессов.

В статье **Н. Л. Астаховой, А. В. Васильева и Д. Н. Владимирова** (АО «Российский институт мощного радиостроения») представлены некоторые аспекты связи с глубокопогруженными объектами в диапазоне сверхнизких частот, включая особенности диапазона СНЧ радиоволн, направления совершенствования антенных устройств, обеспечение электромагнитной совместимости. Показано, что создание радиопередающего комплекса СНЧ диапазона является сложной комплексной инженерной задачей, решение которой должно осуществляться в несколько этапов. Представлен перечень научных и прикладных задач, которые могут быть решены с помощью радиосредств СНЧ диапазона.

В статье **А. А. Зацаринного** (ФИЦ «Информатика и управление» РАН) представлен взгляд на проблематику обеспечения связи с глубокопогруженными объектами с позиций развития системного подхода к созданию и развитию системы военной связи, который получил определенный импульс в 1970–1980-е гг. Дана оригинальная интерпретация системного подхода с использованием известной формулы классиков «Три источника и три составные части системного подхода» применительно к ВМФ. Так, показана роль треугольника успеха, сложившегося в ВМФ в конце 1970-х гг. в составе Управления Связи ВМФ, военной науки в лице 34 НИИ связи ВМФ и ведущих организаций промышленности. Показано, что Научный Совет выполнил, по существу, важнейшую координирующую роль в рамках концентрации усилий всех компонентов этого треугольника.

Третья глава включила в себя материалы воспоминаний членов Научного Совета. И, конечно же, большая их часть связана с личностью В. А. Котельникова.

Так, **Ю. Г. Щорс** в своих кратких заметках отмечает, что Владимир Александрович всегда глубоко вникал в суть проблем и задач, внимательно читал все бумаги, которые он подписывал, а также выслушивал каждого собеседника вне зависимости от его научного или должностного ранга.

Г. С. Нероба вспоминает ряд эпизодов, связанных с подготовкой и проведением нескольких заседаний Научного Совета, которые В. А. Котельников очень тщательно готовил и проводил лично.

В статье **В. А. Пахотина** «В поиске нетрадиционных решений» рассказано о проведении в 34 НИИ связи поисковых научных исследований по изысканию эффективных нетрадиционных способов и средств связи с объектами, погруженными на большие глубины, а также новых технических решений. В начале 1970-х гг. в Институте был создан отдел нетрадиционных линий связи, который свою работу проводил в тесном контакте с научными организациями АН СССР и Минвуза, а также предприятиями промышленности (Омский НИИП, Ленинградский ГОИ им. Вавилова и др.).

Л. Б. Песин (ветеран 34 НИИ связи) в своих воспоминаниях поделился впечатлениями об академике В. А. Котельникове. Здесь живой рассказ о том, как Владимир Александрович проводил заседания Научного Совета, о том, как посещал объекты ВМФ на Северном флоте, ведущие предприятия промышленности (КБ «Рубин» в Ленинграде), полигон КБ «Связьморпроект» (в Лебяжьем). Важно, что в результате этих поездок и встреч с военными, инженерами и конструкторами у В. А. Котельникова зарождались постановки научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по проблематике связи с глубокопогруженными объектами. А в середине 1990-х гг. академик В. А. Котельников, обратившись по просьбе ВМФ к премьеру Правительства В. С. Черномырдину, добился восстановления электроснабжения стратегически важных морских объектов.

В заключительном подразделе гл. 3 приводятся фотографии, связанные с членами Научного Совета, с его председателем В. А. Котельниковым и многими значимыми людьми: академиками, военными, представителями научных и промышленных организаций. К фотографиям даны комментарии членов Совета «по памяти».

Монография подготовлена под **научным руководством академика Ю. В. Гуляева.**

Общее редактирование и формирование книги выполнено д.т.н. профессором **А. А. Зацаринным.** Активное участие в рассмотрении и обсуждении материалов книги приняли д.ф.-м.н. **Ю. Г. Щорс, член-корр. РАН В. А. Черепенин, д.т.н. В. А. Пахотин, д.т.н. В. И. Мирошников, Ю. М. Кононов, Г. С. Нероба.**

Хотелось бы выразить глубокую признательность и благодарность всем авторам статей, которые, несмотря на высокую занятость на основных местах работы, изыскали возможность подготовить на высоком научном уровне и представить в редакцию статьи с обобщением научных результатов по конкретным направлениям работы Научного Совета.

Большое спасибо за огромный труд по подготовке материалов к изданию сотрудникам ФИЦ ИУ РАН **С. В. Гайворонскому** и **В. Е. Хохлову**, сотрудникам ИРЭ РАН **Н. С. Степановой** и **Я. А. Филипповой.**

Большая благодарность издательству ТОРУС ПРЕСС под руководством **О. Б. Фроловой** за высокопрофессиональный кропотливый труд по подготовке книги к изданию.

Авторский коллектив выражает глубокую благодарность за внимательное прочтение книги и полезные советы **рецензентам** Академику-секретарю Отделения наук о Земле РАН, члену Президиума РАН академику **Александру Олеговичу Глико**, заслуженному деятелю науки и техники РФ, лауреату Государственной премии СССР за создание ракетного вооружения для ВМФ, доктору технических наук профессору **Николаю Алексеевичу Северцеву**, руководителю Санкт-Петербургского отделения Секции приклад-

ных проблем (при Президиуме РАН) доктору технических наук профессору Владиславу Александровичу Родионову, а также академику Игорю Анатольевичу Соколову и доктору технических наук Константину Константиновичу Колину за поддержку издания и ценные методические рекомендации.

Особая благодарность за оказанную спонсорскую помощь и поддержку предприятиям: 1. АО «Рубин» (Санкт-Петербург), 2. АО «Российский институт мощного радиостроения», 3. АО «Интелтех» (Санкт-Петербург), 4. АО «Омский НИИ приборостроения», 5. АО «Прибой» (Санкт-Петербург), 6. АО НИИ «Нептун» 7. АО Ижевский мотозавод «Аксион-холдинг», 8. АО «РАМЭК-ВС».

Книга является научным изданием и, безусловно, будет интересной как для специалистов в области нетрадиционных видов связи, так и для широкой научной общественности, поскольку в ней представлена работа Научного Совета Президиума РАН по проблеме связи с глубокопогруженными объектами как пример многолетней научно-исследовательской деятельности в интересах обеспечения стратегической стабильности государства на основе синтеза компетенций профильных академических институтов, ведущих предприятий промышленности и военной науки.

**Доктор технических наук, профессор
лауреат Премии Правительства РФ
академик РАИН им. А. М. Прохорова
А. А. Зацаринный**

Глава 1

История создания Научного Совета
при Президиуме РАН по комплексной проблеме
«Радиофизические методы исследования морей
и океанов».

1.1 Исторические факты

Ю. Г. Щорс

Научный совет был создан в мае 1978 г. совместным решением Президиума АН СССР, которое подписали Президент АН СССР академик А. П. Александров, руководство Минобороны (главком ВМФ С. Г. Горшков и начальник вооружения — заместитель министра обороны Н. Н. Алексеев) и руководство Минпромсвязи (министр Э. К. Первышин).

Согласно утвержденному Положению Научный совет был определен как совместный научно-координационный орган Президиума АН СССР, Министерства обороны (ВМФ) и Министерства промышленности средств связи.

Основная задача Научного совета — научная координация исследований и разработок для развития связи с глубоководными подводными объектами (ГППО), проводимых в учреждениях Академии наук и других министерствах и ведомствах. Основным направлением деятельности Научного совета является поиск новых и повышение эффективности имеющихся линий связи с ГППО.

Для выполнения основной задачи Научный совет:

- проводит анализ современного состояния научных исследований по проблеме, определяет и рекомендует перспективы и пути их дальнейшего развития, а также разработку предложений по реализации исследований;
- рассматривает перспективные планы научно-исследовательских работ (НИР) по проблеме и вырабатывает предложения о целесообразности привлечения соответствующих научных организаций;
- рассматривает предложения и дает рекомендации по вопросам создания специальных лабораторий и экспериментальных баз;
- разрабатывает предложения о прекращении неперспективных НИР по проблеме;

- организует семинары и совещания по научным вопросам, связанным с исследованиями по проблеме и вырабатывает предложения по реализации принятых на этих совещаниях решений;
- рассматривает ход выполнения научных исследований по проблеме, заслушивает на своих заседаниях отчеты организаций-исполнителей;
- участвует в подготовке предложений в директивные органы по НИР, направленным на решение проблемы.

Своим Постановлением от 17.11.92 №280 Президиум Российской академии наук (РАН) подтвердил действие Научного совета и постановил считать его состоящим при Президиуме РАН.

В 1998 г. при пересмотре системы Научных советов РАН Научный совет был переутвержден Постановлением Президиума РАН от 23.12.98 №539-1с.

Председателем Научного совета с момента его создания (в 1978 г.) и до ухода из жизни (2005 г.) являлся вице-президент Академии наук СССР (в последующем — РАН) академик В. А. Котельников. Его заместителями были начальники Управления связи ВМФ вице-адмиралы М. М. Крылов и Ю. М. Кононов, контр-адмиралы А. Г. Долбня и В. И. Жилинков, а также заместитель директора ИРЭ РАН Н. А. Арманд

Бессменным ученым секретарем Научного совета на протяжении всех 40 лет его существования является д.ф.-м.н. Ю. Г. Щорс

Постановлением Президиума РАН от 25.06.2013 № 190 председателем Научного совета назначен член Президиума РАН (директор, в настоящее время — Научный руководитель ИРЭ РАН) академик Ю. В. Гуляев. Его заместителями назначены начальник связи ВМФ контр-адмирал В. И. Земсков и член-корреспондент В. А. Черепенин.

Своим Постановлением от 25.12.2018 Президиум РАН подтвердил, что Научный совет продолжает находиться при Президиуме РАН.

Организационно Научный совет состоял из Бюро и девяти Секций, которые территориально находились в развитых научных центрах страны — Москве, Ленинграде, Горьком и Новосибирске. Работу Секций координировало Бюро, практикуя их совместные заседания по наиболее актуальным темам и перспективным направлениям. Собственный план работы каждой Секции охватывал конкретную проблематику. В конце года председатели Секций заслушивались на Бюро, на заседания которого также выносились обсуждения принципиально новых направлений мировой и отечественной науки, сообщения о перспективных изобретениях и предложениях.

В состав Бюро входили известные ученые страны, включая 9 академиков, а также руководство заказывающего органа — Управления связи ВМФ и его военно-научной организации (34 НИИ). Обмен мнениями и идеями ученых Академии наук, учебных заведений и промышленных организаций позволил не только своевременно информировать заинтересованную научную общественность о новых направлениях и тенденциях развития линий и средств связи для управления подводными объектами, но и ускорить сам процесс их внедрения и развертывания в ВМФ.

На заседаниях Бюро Научного совета под руководством академика В. А. Котельникова каждую пятилетку рассматривались до 25 НИР. Вносились предложения, рассматривались замечания, формировались рекомендации.

В мае 2003 г. исполнилось 25 лет со дня создания Научного совета. В поздравительном письме Главнокомандующего Военно-Морским Флотом В. И. Куроедова председателю Научного совета академику В. А. Котельникову было отмечено: «Создание Научного совета позволило обеспечить целенаправленное проведение фундаментальных и прикладных исследований, системный подход к решению поставленных задач с концентрацией выделенных средств на решении приоритетных проблем. Все это дало возможность создать прочный фундамент для эффективной работы

больших исследовательских коллективов страны, способствовало достижению высоких результатов исследований в короткие сроки. Научный совет стал интеллектуальным штабом, где обсуждались прогрессивные идеи, происходил обмен мнениями ученых РАН, решающих единую комплексную проблему. Оперативный информационный обмен мнениями, анализ результатов исследований и новых нетрадиционных подходов позволяли ускорить процесс продвижения вперед по выбранным направлениям исследований.

За 25-летний период работы Научного совета РАН в системе связи ВМФ создана и функционирует космическая подсистема связи с подводными и надводными объектами, введены в строй мощный центр передачи сигналов на сверхнизкой частоте и радиопередающие устройства различной мощности, разработаны и внедрены на подводные объекты автоматизированные комплексы связи нового поколения с новейшими стационарными и буксируемыми приемными антенными устройствами, позволяющими осуществлять прием на глубине в широком диапазоне частот, освоены новые технологии разработки техники связи с использованием перспективной элементной базы.

Работу Научного совета РАН за 25 лет Главком ВМФ оценивает по следующим основным показателям связи с погруженными объектами:

- обеспечена возможность практически глобальной связи с погруженными объектами;
- увеличена глубина связи в 2–3 раза;
- сокращено время доведения сигналов и сообщений до погруженных объектов в десятки раз;
- существенно улучшен ряд других важнейших параметров системы связи ВМФ.

Все эти успехи достигнуты за достаточно короткое время во многом благодаря Научному совету при Президиуме РАН, сумевшему своевременно и масштабно развернуть фундаментальные и прикладные исследования, позволившие также обеспе-

читать научный задел для новых направлений и новых инженерных решений в создании средств связи ВМФ».

В мае 2018 г. под руководством академика Ю. В. Гуляева было проведено Юбилейное заседание Научного совета, посвященное 40-летию создания, в котором приняли участие вице-президент РАН академик В. Г. Бондур, академик И. А. Соколов, практически все члены Научного совета, а также директора ведущих предприятий промышленности.

Эффективность работы Научного совета за 40-летний период подтверждена постановкой ряда фундаментальных работ, результаты которых позволили существенно улучшить показатели связи с подводными объектами.

Высокую оценку работы Научного совета в год его 40-летия дал Главнокомандующий ВМФ, который в приветственном письме на имя председателя Научного совета академика Ю. В. Гуляева отметил вклад Научного совета в решение проблем связи с ГППО.

В заключение как сотрудник Секции прикладных проблем при Президиуме Академии наук СССР, которая выполняла функции представителя Заказчика в части фундаментальных и поисковых исследований в интересах всех видов Вооруженных Сил, родов войск, главных и центральных управлений Минобороны, хотел бы отметить, что в 1970–1990-е гг. Управление связи ВМФ с опорой на научный потенциал 34 НИИ было одним из лучших заказчиков не только в ВМФ, но и в Минобороны СССР в целом. Его отличали широта научных интересов и глубина постановки научных задач.

1.2 Факторы, определившие создание Научного совета в конце 1970-х годов

А. А. Зацаринный

С позиций сегодняшнего дня на создание и деятельность Научного совета повлияли несколько важнейших факторов, которые сформировались во второй половине 1970-х гг.

Представляется целесообразным выделить пять таких факторов:

- военно-политическую обстановку в мире в этот период и стратегическое противостояние СССР и США;
- возросшую актуальность создания системы управления стратегическими ядерными силами;
- особую значимость морской составляющей в системе управления;
- реформирование структуры органов военного управления в части обеспечения разработок автоматизированных систем управления (АСУ);
- роль Академии наук СССР в создании и развитии современных средств вооруженной борьбы.

Рассмотрим эти факторы подробнее.

Военно-политическая обстановка в мире в послевоенный период характеризовалась постоянно возрастающей напряженностью отношений между СССР и Западом, прежде всего США. К середине 1970-х гг. это стратегическое противостояние достигло апогея. В результате небывалой до этого в истории по интенсивности и финансовым затратам гонки вооружений с обеих сторон две супердержавы СССР и США сумели создать мощные ядерные потенциалы, способные нанести огромный ущерб. Появился ужасающий термин «неприемлемый» ущерб. Этот период в истории получил название «холодной войны».

Со стороны СССР создание ядерного оружия преследовало цель сдержать агрессивные намерения Запада во главе с США

по отношению к нашей стране в послевоенный период. Вместе с тем, США имели агрессивные цели достижения глобального мирового превосходства. Такие цели определяли принципиальные отличия в подходах к созданию, размещению и применению ядерных сил в СССР и США.

Американцы создавали стратегические ядерные силы с ярко выраженной наступательной направленностью для нанесения внезапного удара по объектам на территории СССР и развязывания всеобщей ядерной войны. При этом ядерное оружие размещалось на десятках военно-воздушных и военно-морских баз на территориях стран НАТО вблизи границы СССР. Такой подход существенно сокращал полетное время ракет с носителей различных видов базирования и тем самым усиливал угрозы нанесения неприемлемого ущерба военным, промышленным и людским ресурсам нашей страны.

Вместе с тем, все компоненты ядерных сил СССР размещались на территории страны. И в этих условиях особую актуальность приобретали вопросы создания и развития целого комплекса взаимозавязанных автоматизированных систем в интересах противовоздушной обороны, раннего обнаружения пусков ракет противником, стратегической разведки, санкционирования применения ядерного оружия, а также системы управления стратегическими силами, которая обеспечила бы своевременное и надежное доведение сигналов боевого управления до носителей ядерного оружия различных видов базирования.

Не допустить явного военно-стратегического превосходства США — в этом заключалась суть **первого фактора**, обусловившего создание Научного совета. По существу, создание Научного совета было одним из «асимметричных», как принято сейчас говорить, ответов на те вызовы и угрозы, которые сложились к концу 1970-х гг. «Асимметричным» потому, что в Научном совете сконцентрировались наиболее компетентные научные потенциалы академических, военных и промышленных организаций практически на обще-

ственных началах, что обеспечивало наивысшее соотношение «эффективность–затраты».

Второй фактор заключался в необходимости создания эффективной системы боевого управления стратегическими ядерными силами. В 1960-е гг. была создана и в 1969 г. принята автоматизированная система боевого управления Ракетных войск стратегического назначения. Вместе с тем, на повестке дня остро стояла задача обеспечить надежное управление стратегическими силами, которые создавались в двух других видах Вооруженных Сил — ВВС и ВМФ. Именно на них возлагались важнейшие задачи по нанесению вероятному противнику ответно-встречных и ответных ядерных ударов. Такую систему централизованного боевого управления создавал НИИ автоматической аппаратуры (НИИ АА) во главе с академиком В. С. Семенихиным с кооперацией предприятий. В этой системе требовалось обеспечить высокие вероятностно-временные и надежность характеристики доведения информации до носителей ядерного оружия с учетом требований к циклу управления. В НИИ АА были созданы мощнейшие научно-производственные коллективы. Была создана кооперация предприятий-соисполнителей. В части создания управления морской ядерной компонентой и трактов доведения информации до глубоководных объектов разработки выполнялись головными предприятиями НПО «Марс» (г. Ульяновск) и НПО «Красная Заря» (г. Ленинград).

Третий фактор состоял в постоянно возрастающей значимости морской составляющей в системе вооруженной борьбы, особенно в XX в. Так, Первая мировая война, в которой, казалось бы, основную роль играли сухопутные войска, тем не менее повлияла на качественные изменения на флоте. Он становился разнородным и включал: надводные корабли, подводные объекты, морскую авиацию, средства различных видов обороны (противовоздушной, противолодочной, противоминной), системы наблюдения, наконец, радиоразведку.

В послевоенный период стратегическая значимость подводных объектов как рода ВМФ (прежде всего, атомных) еще больше возросла, так как на флот возлагались стратегические задачи по защите государства. Вместе с тем, при этом резко возросли требования по доведению на подводные объекты команд и сигналов, обеспечивающих их эффективное боевое применение в интересах решения поставленных задач, а также повысилась сложность условий управления подводными объектами, имеющими различные оперативные радиусы действия, автономность плавания и глубины погружения. Еще одно важнейшее требование — необходимость сохранять скрытность местоположения подводных объектов на всех этапах выполнения ими боевых задач.

Рассматривая исторические вехи становления Флота (от рождения и до нынешних времен), в части развития управления и связи можно выделить три следующих этапа.

I этап (до 1900-х гг.). Обеспечение управления через посредника с использованием средств сигнальной связи (предметной, флажной, световой и звуковой, пушечные выстрелы, литавры, барабаны сигнализации), наблюдение осуществлялось только визуально.

II этап (1900–1965 гг.). Обеспечение управления через посредника с использованием средств радиосвязи.



А. С. Попов

Известно, что А. С. Попов в 1895 г. после открытия радио и создания первого в мире действующего устройства беспроводного телеграфа провел его испытания на кораблях Балтийского флота. Поэтому зарождение и развитие радиосвязи неразрывно связано с историей ВМФ России в XX в. Радио стало основой важнейших направлений в современной науке и технике, получивших широкое распространение на Военно-морском флоте (радиолокация, радионавигация,

радиоразведка, радиопротиводействие, радиоастрономия и техника лучистой энергии).

III этап (с 1965 г. по настоящее время). Обеспечение автоматизированного управления путем личного общения флагмана с командиром с использованием средств радио- и космической связи. В этот период создаются и внедряются командная система боевого управления, включая систему обмена данными, а также автоматизированные тракты доведения информации до глубокопогруженных объектов.

Стремительное развитие подводной составляющей флота потребовало развития и совершенствования средств связи с подводными объектами. Доведение сигналов с береговых командных пунктов до командира подводного объекта становилось определяющим. В связи с этим эффективность выполнения поставленных задач в основном зависела от возможностей и качества функционирования морской связи.

Сложность управления подводными объектами и специфика их функционирования (различные оперативные радиусы действия, автономность плавания, глубины погружения, скрытность местоположения и др.) предъявляют к связи с ними целый ряд особых требований, включая обеспечение скрытности факта связи, быстроту обмена информацией подводных объектов с береговыми командными пунктами, защиту радиоканалов от преднамеренных помех противника, обеспечение связи с глубокопогруженными объектами в условиях сильного затухания электромагнитных волн в толще морской воды, обеспечение глобальной дальности связи (на тысячи километров).

Совокупность перечисленных и многих других научно-технических задач по обеспечению эффективной связи с глубокопогруженными объектами требовала проведения всесторонних междисциплинарных научных исследований, включая фундаментальные, что и предопределило необходимость создания Научного совета. И уже в 25-летний юбилей Главком ВМФ высоко оценил

работу Научного совета РАН по целому ряду показателей связи, включая:

- обеспечение возможности практически глобальной связи с погруженными объектами;
- увеличение глубины связи в 2–3 раза;
- сокращение времени доведения сигналов и сообщений до погруженных объектов в десятки раз;
- существенное улучшение ряда тактико-технических и эксплуатационных характеристик технических средств для связи с глубоководными объектами.

Четвертый фактор состоял в важнейших организационных решениях, которые были приняты в 1977 г. по реформированию структуры органов военного управления в части обеспечения работ АСУ. Так, начальник войск связи Министерства обороны маршал А. И. Белов добился решения о включении Управления связи в состав Генерального штаба и был назначен на должность «начальник связи — заместитель начальника Генерального штаба по связи и автоматизации». При этом он стал Генеральным заказчиком систем, комплексов, средств связи и автоматизированного управления для всех Вооруженных Сил, включая стратегические ядерные силы. В результате А. И. Белов стал Генеральным Заказчиком КСБУ, а в начале 1980-х — АСУ ВС СССР в целом.



А. И. Белов

Андрей Иванович Белов (1917–2001) — советский военачальник, маршал войск связи, начальник связи Вооруженных Сил СССР (1970–1987), Генеральный заказчик АСУ Вооруженных Сил. Лауреат Ленинской и Государственной премий СССР

Можно выделить три заслуги маршала А. И. Белова.

1. Объединение и координация усилий связистов всех видов Вооруженных Сил и родов войск при создании и развитии



А. И. Белов и начальник связи ВМФ Г. Г. Толстолицкий
автоматизированных систем связи и автоматизированного
управления.

2. Единые подходы к развитию систем связи и АСУ;
3. Реформирование Управления начальника связи путем включения в его состав управления автоматизации

С А. И. Беловым мне довелось лично пообщаться в последние годы его жизни (1999–2001). Мы подолгу беседовали у него на даче. И могу сказать, что он очень тепло, с глубоким уважением относился к военным морякам. Одна из встреч проходила в августе 2000 г., в те дни, когда происходила трагедия с подлодкой «Курск». Надо было видеть, с какой искренней душевной болью переживал маршал за военных моряков!

В результате реформирования в состав Управления начальника связи было включено управление заказов АСУ и ВТ во главе с генерал-лейтенантом К. Н. Трофимовым И об этом человеке хотелось бы сказать самые теплые слова.



К. Н. Трофимов

Трофимов Кирилл Николаевич (1921–1987), заместитель начальника связи Вооруженных Сил СССР по АСУ, активный участник Великой Отечественной войны, Герой Социалистического Труда, Лауреат Ленинской премии СССР, генерал-лейтенант.

Интересно, что К. Н. Трофимов по образованию — связист (начинал учиться в 1939 г. в Московском институте Инженеров Связи (МИИС), в настоящее время — Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ), завершал учебу заочно во время войны), служил в войсках ПВО. С 1961 г. служил в центральном аппарате Министерства обороны СССР. С 1977 г. — начальник управления заказов АСУ и вычислительной техники — заместитель начальника связи по АСУ. В 1981 г. ему было присвоено звание Героя Социалистического Труда за большие заслуги в создании новых средств специальной техники, а в 1988 г. была присуждена Ленинская премия «За создание средств автоматизации» (посмертно).

Он трагически погиб в октябре 1987 г. при исполнении служебных обязанностей в авиакатастрофе в Венгрии.

Таким образом, к 1980-м гг. сложился удивительно конструктивный симбиоз взаимодействующих структур в лице Генерального штаба (Начальник связи), ведущих предприятий промышленности и головных военных институтов; своеобразный треугольник успеха в части АСУ и ОАСС ВС СССР.

В конце 1970-х гг. в целом в результате совместных усилий Генерального заказчика, ведущих военных институтов (прежде всего 27 ЦНИИ и 16 ЦНИИИ) и головных предприятий промышленности (НПО «Красная заря», г. Ленинград и НИИ автоматической аппаратуры, г. Москва) был сформирован концептуальный облик крупных автоматизированных систем:



- автоматизированной системы управления Вооруженных Сил (включая командную систему боевого управления, информационно-расчетную систему, специальную автоматизированную систему сбора информации, автоматизированную систему управления войсками фронта (армии) и др.);
- объединенной автоматизированной системы связи Вооруженных Сил (ОАСС), включая подсистему связи ВМФ;
- объединенной системы обмена данными как совокупности базовой СОД и взаимодействующих с ней подсистем передачи данных ВМФ и ВВС.

И, наконец, **пятый фактор** – роль и значимость Академии наук СССР в решении целого ряда важнейших задач в области военной безопасности государства. Так, достаточно вспомнить, что именно советские ученые внесли бесценный вклад в предотвращение ядерной агрессии против нашей страны, реальная опасность которой появилась в первые послевоенные годы. Известно, что США, после того как первыми провели испытания атомной бомбы на полигоне штата Невада и затем в 1945 г. с помощью нового оружия уничтожили японские города Хиросима и Нагасаки, разработали масштабные планы ядерной агрессии против СССР, в которых предусматривалось уничтожение десятков советских городов и промышленных

объектов. И в этот угрожаемый период советские ученые в кратчайшие сроки разработали отечественное ядерное оружие (академики И. В. Курчатов, Ю. Б. Харитон, А. Д. Сахаров и др.), а также средства доставки в виде ракет большой дальности (С. П. Королев, М. К. Янгель и др.). Такой успех ученых и промышленности позволил руководству страны уже в 1949 г. заявить мировому сообществу о наличии в СССР атомного оружия. Обеспечение стратегического паритета в сфере ядерных вооружений, по существу, привело к срыву реализации агрессивных планов нападения на СССР. Безусловно, этот исторический факт во многом повлиял на создание Научного совета по сложнейшей наукоемкой проблематике обеспечения связи с глубокопогруженными объектами.

Важно отметить, что Академия наук является наиболее консервативным институтом в системе нашего государства, который на протяжении почти 300-летней истории сохраняет, поддерживает и развивает традиции российской научной школы, которая всегда была ориентирована на решение самых актуальных государственных проблем. К сожалению, реформа 2013 г. по кардинальному изменению статуса Российской академии наук не способствовала повышению ее роли и значимости в жизни российского общества. Бурные дискуссии об этом не утихают, в последнее время они усилились в связи с созданием Федерального агентства научных организаций и последующим его преобразованием в Министерство науки и высшей школы.

Вместе с тем, жизнь продолжается, научные организации РАН выполняют исследования по государственным заданиям, активно участвуют во всех сферах деятельности общества: политической, социально-экономической, внешнеполитической, военной, культурной, гуманитарной, социологической, экспертно-аналитической и др.

Научный совет при Президиуме РАН — яркое свидетельство огромной жизненной силы российских ученых.

1.3. Служба связи Военно-Морского Флота как инициатор создания Совета

Ю. М. Кононов, Г. С. Нероба

Защита национальных интересов государства на море является главной задачей военного флота. Для успешного ее решения флот должен действовать не только в закрытых и прибрежных морях, но и в удаленных районах Мирового океана.

Ядерная энергетика, использование которой в военном кораблестроении началось 60 лет назад, позволила не только обеспечить неограниченные дальности плавания, но и коренным образом изменила сам облик военного флота. Уже к середине 1970-х гг. ВМФ по силе и мощи стал способным проводить операции практически на всей акватории Мирового океана. Самые значительные изменения претерпели подводные силы. Атомные энергетические установки, устанавливаемые на подводных объектах, позволили им находиться в подводном положении практически без временных ограничений. Благодаря внедрению ракетно-ядерного оружия на подводные носители их боевые возможности выросли до стратегического уровня. В составе подводных сил была образована группировка морских стратегических ядерных сил (СЯС), которая вместе с наземной (РВСН) и воздушной (стратегическая дальняя авиация) составила ядерную триаду Вооруженных Сил.

Основной формой применения ракетных подводных крейсеров стратегического назначения (РПКСН), входящих в эту группировку, стало их боевое патрулирование с немедленной готовностью нанесения ракетного удара по приказу Верховного командования, переданного с берегового командного пункта. Обеспечение высокой скрытности действий подводных лодок на океанских театрах военных действий поставили перед Службой связи ВМФ задачу обеспечения непрерывного управления ими при нахождении их на больших дальностях и глубинах погружения. А к связи

с РПКСН предъявлялось требование гарантированного доведения до них команд абсолютной достоверности на санкционированное применение ядерного оружия. Автоматизированные комплексы связи нового поколения, устанавливаемые на атомных подводных объектах, должны были надежно функционировать при длительном плавании как в южных, так и в северных широтах, а также под арктическими льдами.

Трудности решения указанных задач объяснялись тем, что ранее используемые для связи с подводными объектами электромагнитные поля в диапазоне радиочастот не проникают вовсе или проникают, но на незначительные глубины в толщу морской воды. Кроме этого, потенциальные возможности развития средств традиционных каналов связи с подводными объектами к 1970-м гг. практически иссякли.

Ввиду постановки новых задач внимание ученых ВМФ и НИИ промышленности, АН СССР и вузов страны связных профилей было направлено на поиск новых, нетрадиционных решений, к которым, в первую очередь, следует отнести оценку возможностей использования физических полей и явлений, применяемых в других областях науки и техники.

Из известных в природе физических полей и явлений, способных переносить сигналы на расстояние, наибольший практический интерес представляли электромагнитные волны в диапазоне крайне низких (КНЧ) и сверхнизких (СНЧ) частот (единицы–сотни герц), лазерное излучение в сине-зеленом участке спектра, гидроакустические и сейсмические поля и, наконец, элементарные частицы (нейтрино). Все эти новые физические носители сигналов могут проникать в морскую воду на глубину до 100 м, а для элементарных частиц морская вода вообще не является преградой — они проникают на любую глубину практически без затухания.

Однако уже первые оценки показали, что ни один из этих физических носителей сигналов не может быть единственным универсальным каналом, обеспечивающим решение всех, порою про-

тиворечивых, требований военного управления к связи. Поэтому исследования в самом начале охватывали изучение спектра всего радиочастотного диапазона от крайне низких до оптических частот, нелинейных явлений в ионосфере, а также гидроакустических и сейсмических полей и связанных с их освоением и внедрением в действующую систему связи ВМФ сопутствующих проблем.

Инициатива разработки предложений по использованию для связи с глубоководными объектами радиочастотного диапазона от крайне низких до оптических частот принадлежала ученым АН СССР и ВМФ, которые еще в 1970-х гг. научно доказали необходимость и целесообразность развертывания широкого фронта фундаментальных и прикладных научно-исследовательских работ. Управление связи ВМФ как заказывающий орган вида Вооруженных Сил, полностью отвечающий за обеспечение управления силами на море, к решению этой проблемы привлекло десятки вузов и научно-производственных объединений Москвы, Ленинграда, Красноярска, Омска, Новосибирска, Томска, Минска и других крупных городов СССР, а также ряд институтов АН СССР, таких как Институт радиотехники и электроники, Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, Сибирское отделение АН СССР, Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова. И это далеко не полный перечень городов и научных организаций, в которых проводились работы по поиску путей решения проблемы.

Вместе с тем, широкомасштабный фронт разнонаправленных научно-исследовательских работ требовал их профессиональной координации и оптимизации. С этой целью начальник связи ВМФ вице-адмирал М. М. Крылов доложил Командованию ВМФ о необходимости создания Научного совета для координации развернутых работ по обеспечению связи с глубоководными подводными объектами. Практика создания Научных советов при Президиуме АН СССР по наиболее наукоемким проблемам ВМФ с привлечением известных ученых страны существовала с 1960 г. и полностью себя оправдывала. По докладу начальника

связи Главнокомандующий ВМФ обратился в АН СССР с соответствующим предложением, и в мае 1978 г. совместным решением Президиума АН СССР и ВМФ СССР был создан Научный совет «Радиофизические методы исследования морей и океанов». Его председателем стал академик Владимир Александрович Котельников — выдающийся ученый, вице-президент АН СССР, крупнейший специалист в области радиофизики, радиотехники и информатики. Знаменитая теорема цифровой обработки сигналов носит имя этого замечательного человека. Им создана теория потенциальной помехоустойчивости, используемая для определения качества любых каналов связи. В освоении космоса им положено начало планетной радиолокации.

В состав Научного совета вошли Бюро совета и 9 секций, курирующих исследования по всем направлениям. Членами Бюро совета на начальном этапе были академики А. С. Алексеев, Л. М. Бреховских, Б. В. Бункин, Ю. В. Гуляев, А. В. Гапонов-Грехов, В. В. Мигулин, А. Н. Скринский, И. Д. Спасский, позднее Н. А. Семихатов. Заместителями председателя совета были Н. А. Арманд и последовательно начальники связи ВМФ вице-адмиралы М. М. Крылов, Ю. М. Кононов, А. Г. Долбня, контр-адмиралы В. И. Жилинков, В. И. Земсков. Секции совета возглавляли руководители научных организаций промышленности, АН СССР и ученые институтов ВМФ.

Основными задачами Научного совета были: определение наиболее перспективных направлений решения проблемы, создание необходимой для этого кооперации исполнителей, разработка предложений по оптимальному финансированию работ, анализ результатов наиболее значимых работ и организация их государственной поддержки, системная координация проведения всех исследовательских работ.

Семидесятые годы прошедшего столетия были годами интенсивного строительства системы связи ВМФ. В сравнении с нынешним временем финансирование было неизмеримо выше и стабильнее. Под руководством Управления связи строились объекты

связи в центре и на флотах, прокладывались подводные кабельные магистрали, закупались комплексы и средства связи для сил ВМФ. Общая координация работ осуществлялась Военно-промышленной комиссией при Совете Министров СССР. В ее составе работал Научно-технический совет, возглавляемый академиком А. Н. Щукиным, на котором систематически рассматривались проблемные вопросы в области связи ВМФ. Благодаря взаимоувязанным планам и программам, скоординированной работе научных (Совет при Президиуме АН СССР) и промышленных (ВПК и ее НТС) советов начальник связи ВМФ был застрахован от крупных ошибок в развитии и строительстве системы связи ВМФ.

Создание Научного совета позволило обеспечить целенаправленное проведение фундаментальных и прикладных исследований, системный подход к решению поставленных задач с концентрацией выделенных средств на решении приоритетных проблем. Все это дало возможность создать прочный фундамент для эффективной работы больших исследовательских коллективов страны, способствовало достижению высоких результатов исследований в короткие сроки. Научный совет стал интеллектуальным штабом, где обсуждались прогрессивные идеи, происходил обмен мнениями ученых, решающих единую комплексную проблему, стоящую перед Управлением связи ВМФ.

1.4. О роли начальников связи Военно-Морского Флота в создании и работе Научного совета

В. И. Мирошников

В разд. 1.2 отмечено, что созданию Научного совета способствовал ряд объективных факторов. Вместе с тем, в истории многие знаменательные события происходят в результате сочетания объективных и субъективных факторов. Очевидно, что таким субъективным фактором со стороны Академии наук явилась активная позиция академика В. А. Котельникова, ученого с мировым именем. С другой стороны, инициатива Службы связи ВМФ была подкреплена тем, что ее на протяжении многих лет возглавляли такие незаурядные личности в области военной связи, как начальники связи ВМФ вице-адмиралы Г. Г. Толстолуцкий, М. М. Крылов и Ю. М. Кононов. Важно также, что автор этих строк в течение длительного времени был лично знаком с каждым из них.



Слева направо: вице-адмиралы М. М. Крылов, Г. Г. Толстолуцкий, Ю. М. Кононов

Вице-адмирал Григорий Григорьевич Толстолицкий

(начальник связи ВМФ 1955–1975 гг.)



Г. Г. Толстолицкий

Родился 4 февраля 1914 г. В 1931 г. был направлен на учебу в ВМУ им. Ф. Э. Дзержинского. В 1936 г., окончив училище с отличием, был назначен помощником флагманского связиста 3-й бригады подводных лодок Балтийского флота. В 1938 г. назначен на должность помощника начальника отдела Управления связи ВМФ. В 1939 г. зачислен слушателем Военно-морской академии (ВМА). С началом Великой Отечественной войны Г. Г. Толстолицкий по личной просьбе со второго курса ВМА 6 июля 1941 г. был отправлен на действующий флот. Занимал

должности: флагманского связиста Чудской флотилии, начальника связи Иокангской ВМБ, флагсвязиста конвоев.

По окончании ВМА проходил службу на Северном флоте (СФ) в должностях: флагманского связиста эскадры кораблей (1948–1949), начальника связи Северного флота. В 1952 г. был назначен заместителем начальника, а в 1955 г. — начальником связи ВМФ. Руководил созданием глобальной системы связи «Глобус», резервной системы связи «Комета» и космической системы связи «Парус». Возглавлял разработку теории и практики боевого использования новых средств и комплексов систем связи.

За большие заслуги перед Военно-морским флотом вице-адмирал Г. Г. Толстолицкий награжден десятью орденами и многими медалями, удостоен звания лауреата Государственной премии СССР (1975 г.). В 1976 г., после окончания службы в Военно-Морском Флоте, Г. Г. Толстолицкий был назначен заместителем Председателя Научно-технического совета Министерства промышленности средств связи, избран в ученый совет Института радиотехники

и электроники Академии наук СССР, в Президиум Всесоюзного научно-технического общества радиотехники и электроники.

В 1984 г. ему было присвоено звание «Заслуженный машиностроитель РСФСР».

В послевоенный период подводные объекты становятся основным родом сил ВМФ, в связи с чем управление ими, особенно морскими стратегическими ядерными силами, становится одной из важнейших государственных задач. Для ее решения требовался специалист, обладающий большим опытом практической работы, высокоэрудированный талантливый организатор, имеющий государственный кругозор для решения такого уровня задач. Именно таким человеком и оказался назначенный в 1955 г. начальником связи ВМФ Григорий Григорьевич Толстолицкий. Он вовремя понял, что в мире началась научно-техническая революция и, как следствие, Вооруженные Силы страны вступили в новую фазу своего развития. Поэтому огромную роль в строительстве и развитии флота и его системы должен был сыграть научно-технический прогресс.

Одной из важнейших черт характера Григория Григорьевича было решительное внедрения в систему связи ВМФ всего нового, что предлагалось академической и отраслевой наукой. Любое принципиально новое техническое решение, которое вело к повышению эффективности связи, он досконально изучал с привлечением сотрудников 34 НИИ связи ВМФ, кафедры связи ВМА и Управления связи. Но окончательное принятие решения он всегда оставлял за собой и брал на себя всю ответственность.

Появление атомных подводных объектов стратегического значения позволило ВМФ в 1960-е гг. перейти от эпизодических автономных плаваний к несению регулярной боевой службы, которая стала высшей формой поддержания боеспособности морских сил ядерного сдерживания (МСЯС) к их боевому применению. Большой пространственный размах их действий (практически весь Мировой океан) потребовал для обеспечения устойчивой связи

с ними создания на территории страны мощнейшей опорной сети взаимоувязанных центров и объектов глобальной связи ВМФ. Ее основой являлись мощные сверхдлинноволновые (СДВ) радиостанции. Под руководством Григория Григорьевича были разработаны требования к первому отечественному образцу СДВ передатчика большой мощности, что позволило развернуть строительство сети СДВ радиостанций в интересах управления МСЯС. Такие объекты мощного радиостроения требовали больших капитальных вложений и привлечения большой кооперации научных и производственных объединений. В то время для строительства этих объектов было необходимо совместное Постановление ЦК КПСС и СМ СССР. За весь период нахождения Г. Г. Толстолуцкого на посту начальника связи ВМФ благодаря его энергии, активности и настойчивости были подготовлены и выпущены 22 Постановления ЦК КПСС и СМ СССР, а также большое число других директивных документов, направленных на создание и совершенствование системы связи ВМФ.

Таким образом, к середине 1970-х гг. ВМФ располагал 6 мощными СДВ радиостанциями, сетью мощных передающих коротковолновых (КВ) радиоцентров, сетью специальных территориально разнесенных приемных радиоцентров с береговыми командными пунктами (БКП). Они явились основой созданной под руководством Г. Г. Толстолуцкого, системы дальней оперативной связи с подводными объектами ВМФ «Глобус».

Чтобы береговой пункт управления мог обмениваться информацией с силами в море, необходимо было создать такие комплексы технических средств обмена данными, которые бы обеспечили скрытность связи с подводными объектами. По заданию Управления связи ВМФ (УС) Научно-исследовательским институтом Электротехнических устройств (НИИ-778) в 1950-х гг. была разработана первая аппаратура сверхбыстродействующей (СБД) связи «Акула» (Главный конструктор Д. Л. Партин). Эта аппаратура позволяла скрытно передавать информацию в цифровом виде с подводных объектов на береговой пункт управления (БПУ).

В конце 1950-х гг. для обеспечения приема информации на подводном объекте при его нахождении в подводном положении или подо льдом была разработана и в начале 1960-х гг. принята на вооружение аппаратура быстродействующей связи (БД) «Глубина» (Главный конструктор Л. А. Колосов). Эта аппаратура работала с использованием СДВ радиоканалов.

На встречи коллектива УС ВМФ по поводу знаменательных дат приглашали и представителей промышленности. В своих выступлениях Григорий Григорьевич часто вспоминал следующий эпизод. Когда аппаратура «Акула» была установлена на нескольких подводных объектах, то работу их бортовых передатчиков контролировали аппаратурой радиотехнической разведки (РТР). Подводные объекты выходили в Атлантический океан. Вначале передача донесений с них осуществлялась обычным способом. На экране комплекса РТР четко видны были сигналы от работающих передатчиков этих подводных объектов. Затем в определенное время выходили на связь с БПУ с использованием аппаратуры СБД связи «Акула». На экране средств РТР сигналы от работающих передатчиков подводных объектов (ПО) пропадали, что свидетельствовало о скрытности связи.

Большой пространственный размах действий МСЯС при одновременном поддержании их в постоянной боеготовности потребовал увеличения объема передаваемой информации. Потребовалось также дальнейшее повышение требований оперативности, надежности и безопасности связи БПУ с подводными объектами и силами, обеспечивающими их боевую устойчивость.

Под руководством Г. Г. Толстолицкого были разработаны и выданы в промышленность принципиально новые требования. Дальнейшее совершенствование БД связи в 1960-х гг. по этим требованиям привело к разработке комплекса автоматизированной радиотелеграфной связи «Дальность» (Главный конструктор — Л. А. Колосов), обеспечивающего полную автоматизацию процессов передачи и приема больших объемов сообщений бук-

венно-цифрового текста. Комплекс обеспечивал одновременное дублирование передаваемых сообщений по нескольким КВ и СДВ каналам, и впервые было внедрено автоматическое линейное за-секречивание. Это позволило осуществить надежную, быструю и безопасную доставку информации силам в море.

В 1960-х гг. был также разработан и принят на вооружение новейший автоматизированный комплекс СБД скрытной связи «Интеграл» (Главный конструктор — М. И. Ветчинкин). Для существенного сокращения времени доставки информации адресату в этом аппаратном комплексе максимально автоматизированы все основные процессы связи. Все это позволило сократить время доставки информации адресату от подводных объектов, находящихся в удаленных районах Мирового океана, в 10–15 раз.

Далее мне хотелось бы рассказать о совместной работе с Г. Г. Толстолуцким в период 1965-1990 гг.

После окончания института я был в 1963 г. распределен на работу в НИИ-778 (НИИ ЭТУ) и попал как раз в тот отдел, который и разрабатывал в 1950-е гг. аппаратуру «Акула» и «Глубина». На момент моего прихода отдел вел разработку аппаратуры БД и СБД связи второго поколения («Дальность», «Интеграл»).

Г. Г. Толстолуцкий часто посещал НИИ ЭТУ и контролировал ход разработок. Я работал в коллективе разработчиков комплекса «Дальность». Разработка комплекса «Дальность» уже была на стадии наладки опытного образца, когда случилось чрезвычайное происшествие. Группа разработчиков запоминающего устройства (магнитный накопитель) не смогла его создать и уволилась с предприятия. Попытки начальника лаборатории поручить дальнейшую работу ведущим специалистам коллектива не принесли результата. Руководство лаборатории сделало предложение возглавить мне эту работу как выпускнику кафедры «вычислительной техники» и, следовательно, знакомому с тематикой запоминающих устройств. Предложение мною было принято. Разработка находилась на стадии наладки изготовленного опытного образца приемного ком-

плекта радиолинии «Дальность», предназначенного для установки на первый корпус ПО проекта 705. Все массогабаритные размеры аппаратуры проектантам ПО были уже выданы, и их нельзя было изменить, так как проектная документация была разработана. Ознакомившись подробно с устройством магнитного накопителя, я пришел к выводу, что реализованная в нем схема построения не работоспособна. Требовалось найти принципиально новое решение. Оно было найдено.

Вся судьба комплекса зависела от успешного результата решения сложившейся проблемы. Поэтому в первый же приезд Г. Г. Толстолуцкого в 1965 г. в НИИ ЭТУ я был ему представлен как разработчик магнитного накопителя (запоминающего устройства) и доложил ему ход работ. С этого момента мы неоднократно встречались по разрешению возникающих проблем и обсуждению задач развития системы связи ВМФ. Наше творческое сотрудничество продолжалось более двадцати пяти лет.

На примере создания магнитного накопителя для комплекса «Дальность» хотелось бы показать работу Г. Г. Толстолуцкого по внедрению новых технических решений в средства связи флота. Ход создания ПО проекта 705 был на контроле Политбюро. Изготовленный комплект аппаратуры «Дальность» проходил наладку и подлежал поставке на ПО. И в этот критический момент предлагается создать принципиально новое запоминающее устройство. Если Г. Г. Толстолуцкий как заказчик даст согласие на его разработку, то он берет на себя всю ответственность по срокам сдачи ПО. Григорий Григорьевич дал «добро», и мы с удвоенной энергией продолжили работу. Накопитель был создан, прошел все виды испытаний, но остро встал один принципиальный вопрос. По техническому заданию емкость накопителя должна быть десять тысяч знаков кода МТК-2, а созданный накопитель в заданных габаритах мог вместить только 2 тыс. знаков. В НИИ ЭТУ собралось совещание под руководством Г. Г. Толстолуцкого. Присутствовали: от заказчика — руководство ведущих отделов Управления связи,

военной приемки и НИИ связи, от промышленности - заместитель директора по науке Ю. Г. Данилевский и я. Обсуждение было таким яростным, что Г. Г. Толстолицкий дважды прерывал совещание и представители заказчика без представителей промышленности обсуждали проблему наедине. Наконец, Г. Г. Толстолицкий собрал нас всех и объявил свое решение. Несмотря на возражения главного инженера Управления связи и еще ряда сотрудников, он сказал примерно следующее: «Подводному объекту и двух тысяч знаков в сеанс хватит для решения своих задач». Вот почему длительность сеанса связи радиолинии «Дальность» и до настоящего времени составляет указанную величину.

Таким образом, к концу 1960-х гг. указанные аппаратные комплексы СБД и БД связи стали технической основой системы дальней оперативной и тактической связи ВМФ. Эти комплексы устанавливались практически на всех проектах ПО и НК, а также на стационарных береговых командных пунктах, приемных и передающих радиоцентрах ВМФ.

Научно-технический уровень указанных комплексов соответствовал мировому, а в части СБД связи превосходил его. За разработку, освоение в серийном производстве и внедрение в эксплуатацию аппаратных комплексов дальней автоматизированной скрытой засекреченной радиосвязи ВМФ коллективу разработчиков и заказчика была присуждена Государственная премия СССР.

Появление на подводных объектах стратегического ядерного оружия практически неограниченного радиуса действия и огромной разрушительной силы поставило перед ВМФ новую государственную задачу по исключению возможности случайного или несанкционированного пуска ракет с ракетных подводных лодок стратегического назначения (РПОСН). Решение этой задачи в конце 1960-х гг. было поручено коллективу НИИ ЭТУ. В результате проведения ОКР «Замок» (Главный конструктор — В. И. Мирошников) и «Команда» (Главный конструктор — Ю. М. Петров) за короткий срок был разработан автоматизированный комплекс, обеспечива-

ющий централизованное надежное доведение сигналов на разблокировку ракетного оружия, в том числе ядерного, до сил в море с гарантированным соблюдением требований по предотвращению случайного или несанкционированного его использования. Это в полной мере решило задачу технической защиты от несанкционированного или случайного использования ядерного оружия РПОСН в соответствии с Соглашением о мерах по уменьшению опасности возникновения ядерной войны между СССР и США, подписанным 30 сентября 1971 г. в Вашингтоне.

Комплекс «Команда» не имел аналогов ни в отечественной, ни в мировой практике. Технические решения при разработке этого комплекса были полностью использованы при создании командной системы боевого управления (КСБУ). Это комплекс по сути был предшественником КСБУ в ВМФ, так как он позволял на трассах большой протяженности (более 10000 км) по радиоканалам очень низкого качества (вероятность ошибки в канале $5 \cdot 10^{-2}$) надежно передавать три формализованных сообщения на применение стратегического ядерного оружия с одновременным обеспечением его гарантированной защиты. Из вышесказанного можно сделать вывод, что ВМФ к 1970 г. имел существенный научно-технический потенциал и крупную материально-техническую базу системы связи, созданную под руководством Г. Г. Толстолицкого.

С 1970 г. в стране началась разработка КСБУ Вооруженными Силами. В нее входили подсистемы высшего звена управления (ГШ ВС), двух видов Вооруженных Сил (ВМФ и ВВС), система обмена данными (СОД), а также комплексы технических средств боевого управления и обмена данными (КТС БУ и ОД) ПО и НК (Р-066) и самолетов Дальней авиации. К КСБУ предъявлялись очень высокие требования по надежностным и вероятностно-временным характеристикам доведения информации до объектов исполнительных звеньев. Обоснование таких беспрецедентно высоких требований исходило из необходимости применения стратегических ядерных сил ВВС и ВМФ в ответно-встречном

ударе, обеспечивавшего нанесение противнику неприемлемого ущерба. Таким образом, КСБУ выполняла роль сдерживающего фактора, не позволявшего безнаказанное нанесение неожиданного ракетно-ядерного удара по объектам на территории нашей страны.

Под руководством Г. Г. Толстолицкого были разработаны тактико-технические требования на комплексы боевого управления и обмена данными для командных пунктов ВМФ всех уровней, а также для сил в море. В дальнейшем НИИ ЭТУ совместно с НИИ «Марс» приступил к созданию комплексов средств автоматизации (КСА) и береговых объектов связи. Завершилась эта работа в 1979 г. уже под руководством преемника Г. Г. Толстолицкого — начальника связи ВМФ вице-адмирала М. М. Крылова.

В плане создания глобальной системы связи, в которой ВМФ был очень заинтересован, в начале 1960-х гг. были организованы первые шаги по созданию нового вида связи — с использованием космических аппаратов. Григорий Григорьевич сразу оценил преимущества спутниковой связи для ВМФ, и по заданию флота в НИИ ЭТУ началась разработка оконечной аппаратуры для спутниковых каналов связи. Благодаря его энергии и настойчивости ВМФ первым в мире получил космическую навигационно-связную систему для связи БКП с ПО, находящимися практически в любой точке Мирового океана. За эту работу Г. Г. Толстолицкий был удостоен Государственной премии СССР.

В 1960-е гг. резко увеличился фронт работ по созданию принципиально новых средств связи, автоматизации средств и процессов связи, совершенствования организации связи с силами в море. В связи с этим Григорий Григорьевич добивался выхода Постановления Правительства СССР о преобразовании Научно-исследовательского управления связи в составе 14 НИИ ВМФ в самостоятельный НИИ связи ВМФ. В 1967 г. Григорий Григорьевич находился в НИИ ЭТУ, шло совещание. В то время городских телефонов с выходом на междугородные линии было крайне мало. Секретарь доложила мне, что Москва просит пригласить к город-

скому телефону Г. Г. Толстолицкого. Я провел Григория Григорьевича к телефону. После завершения разговора с Москвой он выглядел буквально счастливым и сообщил, что вышло Постановление Правительства о создании 34 НИИ ВМФ. Мы не стали нарушать народную традицию, и в обед у Ю. Г. Данилевского в кабинете поздравили Г. Г. Толстолицкого и произнесли тосты за новый институт, за Г. Г. Толстолицкого и за весь ВМФ. УРА! УРА! УРА! Трехкратное «ура» было обязательным завершением тоста у Г. Г. Толстолицкого. Мы с удовольствием переняли этот боевой клич, и до настоящего времени им пользуемся. Находиться с Г. Г. Толстолицким в одной компании всегда было для всех одно удовольствие. Он становился центром компании, так как располагал к себе всех своей душевностью, приветливостью, добротой и большим чувством юмора.

После завершения в 1975 г. действительной военной службы и перехода на работу в Министерство промышленности средств связи (МПСС) в качестве заместителя председателя научно-технического совета, нам приходилось часто встречаться с ним по вопросам формирования планов фундаментальных и поисковых исследований, подготовке и проведению заседаний НТС. Григорий Григорьевич готовил советы с высочайшей тщательностью, соблюдая при этом правдивость и объективность.

Страна и мы все гордимся выдающимся начальником связи ВМФ, вице-адмиралом Григорием Григорьевичем Толстолицким, внесшим определяющий вклад в создание уникальной системы связи флота, что позволило эффективно управлять силами в море и, в первую очередь, морскими стратегическими ядерными силами.

Вице-адмирал Михаил Михайлович Крылов

(начальник связи ВМФ 1975–1990 гг.)



М. М. Крылов

Родился 10 ноября 1928 г. По комсомольской путевке в 1947 г. поступил в ВВМУ связи. После окончания училища назначен командиром боевой части связи эсминца на СФ. В 1953–1955 гг. — командир боевой части связи крейсера. В 1955 г. направлен на Высшие специальные офицерские классы. После их окончания в течение 5 лет был флагманским связистом дивизии крейсеров, а затем еще 5 лет — флагманским связистом дивизии кораблей противолодочной обороны Северного флота (ПЛО СФ). В 1966 г. направлен в командировку в Республику Куба. В 1967 г. назначен флагманским связистом Средиземноморской оперативной эскадры, а через год — заместителем начальника связи Черноморского флота (ЧФ). С 1969 по 1974 гг. М. М. Крылов — начальник связи ЧФ. Незаурядные способности, талант руководителя, солидный опыт корабельной службы и отличная морская выучка явились основанием для выдвижения М. М. Крылова на должность заместителя, а затем и начальника связи ВМФ.

За активное участие в разработке, создании и постановке на боевое дежурство КСБУ силами ВМФ ему была присуждена Государственная премия СССР.

Вице-адмирал М. М. Крылов награжден двумя орденами Красной Звезды и многими медалями.

Михаил Михайлович Крылов вступил в должность начальника связи ВМФ в период, когда в стране полным ходом шла разработка КСБУ Вооруженными Силами и, в первую очередь, СЯС. Размах создаваемой системы и требования к ней были уникальными для того времени и не имели аналогов в мире.

В состав системы входили два вида Вооруженных сил — ВМФ и ВВС, объекты высшего звена управления и территориально-распределенная система обмена данными. Строилось большое число защи-

щенных пунктов управления (ПУ) всех уровней с охватом территории СССР от западных границ до Тихого океана. ПУ ВМФ осуществляли управление подводными объектами и надводными кораблями, находящимися практически в любой точке Мирового океана. Для флота разрабатывались комплексы средств автоматизации (КСА) для всех уровней управления ВМФ (головная организация – НИИ «Марс», главный конструктор — В. В. Алексейчик), береговые объекты связи (БОС) и комплексы технических средств (КТС) боевого управления и обмена данными ПО и НК (головная организация – НИИ ЭТУ ЛНПО «Красная Заря», главный конструктор М. И. Ветчинкин, первый заместитель главного конструктора В. И. Мирошников). КСБУ разрабатывалось под руководством академика В. С. Семенихина (головная организация — НИИ АА). В Вооруженных Силах работу возглавлял первый заместитель начальника Генерального штаба, генерал армии С. Ф. Ахромеев. Эффективно функционировали органы управления созданием системы: Совет главных конструкторов и Межведомственный координационный совет.

Однако в 1975 г. не удавалось достигнуть приемлемой надежности функционирования КСА на разработанных программных средствах, и даже рассматривался вопрос о других вариантах создания системы. Сроки этапов работ неоднократно срывались и переносились. Особенно отставал в разработке по сравнению с КСА процессов управления береговой объект связи. Сложность создания КСБУ состояла в том, что одновременно разрабатывались принципиально новые средства боевого управления и связи на базе широкого применения вычислительной техники, создавались уникальные испытательные стенды главных конструкторов, включая их капитальное строительство, строились и оснащались защищенные командные пункты всех уровней видов Вооруженных Сил, велась подготовка личного состава для работы с вычислительной техникой. Таким образом, в дополнение к руководству действующей системы связи флота, где всегда было много своих проблем, прибавилось руководство ходом создания КСБУ в части ВМФ, где постоянно возникали

непредвиденные ситуации, которые требовали быстрого решения. В работе Управления связи Михаил Михайлович в основном сохранил традиции и порядок, которые сложились при Г. Г. Толстолицком, но организовал работу с учетом решения новых задач.

В 1976 г. состоялся первый визит Михаила Михайловича в НИИ ЭТУ. Я доложил о вкладе нашего предприятия в создание и развитие средств управления и обмена данными для ВМФ. Было подробно доложено о ходе работ по созданию КСБУ, проведена демонстрация работы берегового объекта связи и комплекса боевого управления и обмена данными ПО. Отмечены возникшие проблемы и доложены предложения по их решению. М. М. Крылов доброжелательно и внимательно слушал, вопросов задавал мало, очевидно, хотел подробно разобраться с новейшей техникой обмена данными и боевого управления, которая должна была вскоре поступить на объекты заказчика. Мне запомнилась его подтянутая фигура, внимательный и доброжелательный взгляд, спокойный голос. Все это с первой встречи располагало к нему. В дальнейшем были сотни встреч, включая наши доклады о ходе работ по КСБУ на высоком уровне, но всегда у него был аккуратный внешний вид, спокойный и дружелюбный взгляд. Правда, обстановка, которая складывалась при выполнении заказа (частые переносы сроков этапов) никак не располагала к спокойствию и дружелюбию, но он прилагал большие усилия, чтобы сохранить уважительные взаимоотношения с представителями промышленности. На межведомственном координационном совете (МКС), в состав которого входили заместители министров всех ведомств, участвующих в работе, директора головных предприятий и главные конструктора, часто возникали острые дебаты по оценке состояния дел и причинах отставаний от сроков. На них я представлял НИИ ЭТУ, а от Управления связи часто присутствовал Н. Г. Орлов. У меня сложилось впечатление, что, благодаря рекомендациям М. М. Крылова, данным своему заместителю Н. Г. Орлову, между нами на МКС не возникало жарких дебатов.

В 1975–1976 гг. разработка КСБУ оказалась в серьезном кризисе. В этот критический момент В. С. Семенихин и С. Ф. Ахромеев, благодаря доверительным отношениям, смогли переломить ситуацию. Было решено организовать к августу 1977 г. на объектах заказчика участок опытной проверки. При этом разрешалось поставлять на объекты комплексы средств автоматизации, не прошедшие в полном объеме заводских испытаний. М. М. Крылов с пониманием отнесся к предлагаемым мерам и оказал активное содействие в подготовке КСА и БОС на Северном флоте к включению их в состав участка опытной проверки. Спустя некоторое время было принято решение о привлечении КСА, БОС и комплексов боевого управления и обмена данными ПО к командно-штабным учениям, спланированным на сентябрь 1977 г.

В течение этого периода мне пришлось находиться в Североморске, как руководителю работ по созданию тракта обмена информацией «берег–море–берег». В отличие от КСА, которые замыкались на систему обмена данными, с БОС все было гораздо сложнее. Береговой объект связи кроме стандартной связи с СОД, имел связи с приемными и передающими радиоцентрами действующей системы связи ВМФ и далее с комплексами технических средств боевого управления и обмена данными подводных объектов. Практически в процессе разработки БОС и КТС БУ и ОД согласно выданных на них тактико-технических заданий (ТТЗ), пришлось фактически создавать автоматизированную подсистему обмена данными береговых пунктов управления с подводными объектами и надводными кораблями. Были разработаны структура подсистемы, система адресования, кодограммы, протоколы информационного обмена в тракте «берег–море–берег».

Командно-штабные учения в сентябре 1977 г. прошли успешно, включая и работу комплексов боевого управления и обмена данными в составе участка опытной проверки первой очереди. Это позволило приступить в 1977–1979 гг. к этапу оснащения объектов заказчика до уровня опытного участка второй очереди. В него вошли БОС

на защищенном ПУ Тихоокеанского флота и БОС на защищенном ПУ ВМФ под Москвой.

Михаил Михайлович Крылов уверенно руководил процессом внедрения новой техники боевого управления и обмена данными на Тихоокеанском флоте и в Центральной зоне. С 1978 г. начались государственные испытания КСБУ. Председателем комиссии по государственным испытаниям был назначен С. Ф. Ахромеев. К этому времени в тракте «берег–море–берег» выявились две серьезные проблемы. Первая проблема заключалась в том, что БОС не выполнял заданные требования по надежности, которая оценивалась показателем «коэффициент готовности». Но вторая проблем носила принципиальный характер и заключалась в том, что вероятностно-временные характеристики тракта «берег–море–берег» были хуже, чем в действующей системе связи с силами на море. Государственные испытания продолжались, а объяснить председателю комиссии причину ухудшения вероятностно-временных характеристик (ВВХ) в новой системе никто не смог. Опять встал вопрос о возможной приостановке разработки системы. Тогда С. Ф. Ахромеев решил лично разобраться в этом вопросе и попросил В. С. Семенихина дать представителя промышленности для совместного заслушивания докладов разработчика и заказчика. Была названа моя фамилия, а по линии заказчика С. Ф. Ахромеев попросил доложить начальника связи ВМФ вице-адмирала М. М. Крылова.

Доклады мы сделали прямо на борту самолета, на котором группа членов государственной комиссии во главе с С. Ф. Ахромеевым отправлялись на Северный флот. Эту встречу я подробно описал в статье «Создание автоматизированной подсистемы обмена данными ВМФ командной системы боевого управления Вооруженными силами и вклад в него академика И. А. Мизина» (глава в коллективной монографии «И. А. Мизин — ученый, конструктор, человек» / Под ред. академика И. А. Соколова. — М.: ИПИ РАН, 2010). Важность этой встречи и принятые С. Ф. Ахромеевым решения имели для разработчиков КСБУ и Управления связи ВМФ большое

и принципиальное значение. Во-первых, председатель комиссии понял причину ухудшения ВВХ и то, что в рамках ТТЗ на КСА ВМФ ее не решить. Чтобы наглядно показать причину ухудшения ВВХ подсистемы управления ВМФ мне пришлось обратиться к времени исследований изобретателя радио А. С. Попова. В радиоканалах, где на приемном конце вместо человеческого уха применено техническое средство, требования к достоверности в ответственных системах возрастает на 2–3 порядка. Но все способы повышения достоверности были исчерпаны, и дальнейшее применение методов разнесения и кодирования только увеличивали время передачи, что уже было неприемлемо. Тогда мною и был сделан вывод, что в сложившихся условиях возможен только единственный путь — это повышение энергетики радиолиний. И это касалось всей системы связи ВМФ, обеспечивающей связь с РПОСН. Переоборудование системы связи ВМФ более мощными передатчиками требовало немало времени и финансовых вложений. Председатель комиссии С. Ф. Ахромеев с моими выводами и предложениями согласился и дал указания М. М. Крылову проработать этот вопрос и доложить.

Таким образом, нам с М. М. Крыловым удалось решить три вопроса. Первое — государственные испытания должны продолжаться. Второе — предприятие ЛНПО «Красная заря» за 6–8 месяцев должно довести коэффициент готовности БОС до требований ТТЗ. Третье — начальнику связи ВМФ дать предложения по повышению энергетики радиолиний.

В результате через шесть месяцев удалось довести надежность БОС до требований ТТЗ, в 1979 г. завершить государственные испытания КСБУ, и за пять лет система связи ВМФ была доведена до требований КСБУ. Это позволило в 1985 г. поставить КСБУ на боевое дежурство. Заслуги М. М. Крылова в решение этих вопросов были определяющими, и в итоге по результатам работ по созданию КСБУ он был удостоен Государственной премии СССР. Завершением работ по тематике КСБУ явилось активное участие Управления связи ВМФ и лично М. М. Крылова в подготовке основополагающего документа

по дальнейшему переходу от КСБУ к разработке АСУ ВС РФ (Постановления ЦК КПСС и СМ СССР от 1983 г., в обиходе — ствольное постановление).

К середине 1970-х гг. стало ясно, что традиционные каналы связи ВМФ с подводными объектами практически исчерпали свои потенциалы и не позволяли повышать эффективность связи, особенно с глубокопогруженными подводными объектами. Таким образом, необходимо было искать новые нетрадиционные каналы связи на новых физических принципах. Для решения этих задач потребовалось подключить потенциал Академии наук СССР.

Начальник связи ВМФ вице-адмирал М. М. Крылов и Институт связи ВМФ добились образования Научного совета при Президиуме АН СССР по проблемам связи с глубокопогруженными подводными объектами.

Продолжались работы по созданию нового типа уникальных СДВ радиопередатчиков повышенной мощности. К ним можно отнести радиопередатчик «Титан» мощностью 2000 кВт, введен в эксплуатацию в 1986 г., и сверхмощный радиопередатчик «Океан» мощностью 4000 кВт, введенный в эксплуатацию в 1988 г. в Краснодарском крае. Этот передатчик позволял обеспечить радиосвязь в СДВ диапазоне радиоволн практически в большинстве районов Мирового океана. Этими работами было завершено создание опорной сети дальней оперативной связи ВМФ с характеристиками, удовлетворяющими КСБУ. В 1980-е гг. в СССР была создана СНЧ радиостанция «Зевс» для связи с глубокопогруженными подводными объектами.

Подводя итоги по деятельности М. М. Крылова на посту начальника связи ВМФ, необходимо отметить, что его основная заслуга и коллектива, который он возглавлял, состоит в организации и внедрении на боевое дежурство КСБУ в части ВМФ, завершении создания опорной сети с учетом требований КСБУ и обеспечении перехода к разработке АСУ ВМФ.

Вице-адмирал Юрий Михайлович Кононов

(начальник связи ВМФ 1990–2003 гг.)



Ю. М. Кононов

Родился 30 декабря 1947 г. в городе Луга Ленинградской области. В 1966 г. поступил на первый курс Ленинградского электротехнического института связи. Через год поступил в Высшее военно-морское училище радиоэлектроники (ВВМУРЭ) им. А. С. Попова, которое окончил в 1972 г. с золотой медалью по специальности военного инженера радиосвязи. По окончании училища был направлен на Балтийский флот, где с 1972 по 1975 гг. проходил службу на узле связи флота в должности дежурного по связи. С ноября 1975 по август 1978 гг. был флагманским связистом бригады подводных лодок в г. Лиепая. В 1978 г. поступил в Военно-морскую академию, которую окончил с отличием в 1980 г. и был назначен начальником связи Балтийской ВМБ. В августе 1983 г. назначен заместителем начальника связи, а в 1984 г. — начальником связи Балтийского флота.

В апреле 1989 г. Ю. М. Кононов становится заместителем, а через год — начальником связи ВМФ.

Вступив в должность в сложный для Службы связи ВМФ период, вице-адмирал Ю. М. Кононов настойчиво проводил в жизнь меры, направленные на поддержание боеготовности системы связи и АСУ, недопущение снижения ее боевых возможностей и соответствия ее структуры новым задачам и боевому составу Военно-Морского Флота. Вице-адмирал Ю. М. Кононов награжден орденом «За военные заслуги» и пятнадцатью медалями. Заслуженный работник связи Российской Федерации. Почетный радист СССР и Российской Федерации. Мастер связи.

В 1990 г. неопределенность путей развития страны нарастала. Уходя в запас и напутствуя нового начальника связи ВМФ, которым

стал контр-адмирал Ю. М. Кононов, Михаил Михайлович Крылов сказал: «Все, что мы строили многие годы, едва ли тебе, Юрий Михайлович, удастся сохранить». Это напутствие умудренного опытом и жизнью человека верно предсказало последующие разрушительные события в истории нашего государства. Тем не менее благодаря энергии и правильным действиям нового молодого начальника связи Ю. М. Кононова и руководимого им Управления связи в этот самый сложный для страны и ее ВМФ период удалось не только сохранить с небольшими потерями систему связи ВМФ, но и продолжить ее развитие с учетом новых требований.

Через два года не стало великого Советского Союза. Наступили лихие 1990-е гг. В этих экстремально неблагоприятных условиях Юрий Михайлович осуществлял меры по поддержанию главных структурных элементов системы связи, не допуская снижения ее оперативно-технических характеристик. Одновременно с этим им изыскивались средства для продолжения ее развития. Необходимо было решить задачи функционирования ряда объектов, обеспечивающих стратегический уровень управления силами и войсками, которые в результате распада СССР оказались в государствах ближнего зарубежья, принять решения по компенсации ущерба для системы связи из-за утраты узлов, центров и объектов, отошедших к вновь образованным государствам, а также ликвидации зональных узлов связи. Не менее важной для начальника связи ВМФ была задача сохранения, насколько возможно, предприятий основной кооперации.

По моему мнению, тот факт, что и Управлению связи ВМФ, и предприятиям основной кооперации удалось выстоять и сохраниться в эти тяжелые годы, связан со следующими обстоятельствами. Флот России имел трехвековую историю и давние традиции, а предприятия основной кооперации пережили февральскую, октябрьскую революции и Великую Отечественную войну и имели сплоченные коллективы квалифицированных рабочих и инженеров с глубокими традициями. В сохранении сложив-

шихся и проверенных временем производственных связей в этот период Ю. М. Кононов сыграл большую роль. Во-первых, Юрий Михайлович сам высоко эрудированный, грамотный и опытный специалист. Во-вторых, он довольно быстро ознакомился с предприятиями и научными организациями, входящими в кооперацию, и проводимыми ими работами. Ну, и самое главное, он очень уважительно относился к представителям промышленности, внимательно выслушивал собеседника по наиболее важным вопросам, консультировался с главными конструкторами.

Свою практическую деятельность Ю. М. Кононов на посту начальника связи ВМФ начал с посещения и знакомства с работой военных организаций и ведущих предприятий кооперации. Но первая моя встреча с Ю. М. Кононовым произошла на Балтийском флоте в 1984 г., когда Юрий Михайлович был заместителем начальника связи Балтийского флота. В это время на флотах проверялась готовность к постановке КСБУ на боевое дежурство. Коллектив НИИ ЭТУ совместно с личным составом отдела связи Балтийского флота вводил на узле связи четвертый береговой объект связи. Я был в составе комиссии по приемке работ, а Юрию Михайловичу было поручено обеспечить работу комиссии, представлять вводимый объект и обслуживающий его персонал. Он со знанием дела, энергично, руководил всем процессом проверки, и мы относительно быстро справились с этой задачей.

После официального вступления в должность начальника связи ВМФ свою первую поездку Ю. М. Кононов предпринял в Ленинград для знакомства с деятельностью 34 института связи ВМФ. Он старательно вникал в тематику работ каждого отдела и лаборатории, познакомился с личным составом. При рассмотрении работ отдела, отвечающего за связи береговых пунктов управления с силами в море, он пригласил меня на это заслушивание. Затем состоялся его визит в НИИ ЭТУ ЛНПО «Красная Заря», где он познакомился с руководством предприятия и коллективом разработчиков средств боевого управления и обмена данными ВМФ. Мною был

сделан подробный доклад о ведущихся работах в интересах ВМФ, а на стенде продемонстрирована работа техники.

Однако кризис в стране достиг своего апогея, и руководителям организаций основное внимание приходилось уделять работе в своих коллективах, чтобы достойно пережить этот сложный период. В Вооруженных Силах России начался процесс «оптимизации», другими словами сокращение личного состава и урезания финансирования НИОКР. Юрий Михайлович, как мог, отстаивал всеми доступными способами минимально потребное финансирование работ Управления связи, но потери были неизбежны. При очередной встрече в Москве он заявил, что у него в системе связи ВМФ на сегодня существуют две крупные проблемы. Одна из них связана с тем обстоятельством, что технические средства КСБУ выработали свой ресурс и требуется их смена. Вторая — повышение помехозащищенности каналов связи ВМФ с силами в море. Но мне выделены средства только на решение одной из проблем. С чего начать? Я не задумываясь сказал, что необходимо удерживать в работоспособном состоянии КСБУ в части ВМФ, в противном случае и помехозащищенные каналы не к чему будет подключать. Юрий Михайлович был такого же мнения, но, как я понял, хотел услышать мнение головного предприятия по этой проблеме. С этого момента впервые в стране началась разработка и создание автоматизированной подсистемы обмена данными (АПОД) ВМФ с одновременным созданием АСУ ВМФ. Но в 1992–1994 гг. НИИ ЭТУ переживало трудный период, как и многие предприятия основной кооперации. В 1994 г. НИИ ЭТУ одним из первых акционировался и преобразовался в АООТ «Информационные телекоммуникационные технологии» («Интелтех»). В Управлении связи понимали, что начинает нарушаться координация работ головной кооперации по тематике ВМФ. Необходимы были действенные меры по недопущению ослабления системы связи и управления ВМФ. В целях восстановления координации работ и проведения скоординированной научно-технической политики в Управлении

связи ВМФ принимается решение, одобренное Главкомандующим Военно-Морским Флотом, о необходимости введения должности Генерального конструктора автоматизированной системы связи и обмена данными ВМФ. На эту должность я был назначен в мае 1994 г. Необходимо отметить, что в НИИ ЭТУ научные разработки не прекращались даже в самое тяжелое время. В итоге, в начале 1990-х гг. была разработана новая аппаратно-программная платформа, использующая мировые достижения в области микроэлектроники, системотехники и компьютерных технологий. Эти разработки и легли в основу создания АПОД ВМФ (главный конструктор В.И. Мирошников).

То, что в таких тяжелых условиях удалось осуществить разработку технически и организационно очень сложной подсистемы, большая заслуга Ю.М. Кононова. На всех этапах разработки он принимал личное активное участие в приемке всех ее этапов, координировал работу промышленности и организации ВМФ и Минобороны. При внедрении технических средств АПОД ВМФ на Северном флоте он непосредственно от ВМФ руководил этим сложным процессом. Благодаря этому, АПОД ВМФ в 2003 г. была принята на вооружение. В 2005 г. за работу по созданию и внедрению АПОД ВМФ Ю.М. Кононов был удостоен премии Правительства Российской Федерации по науке и технике.

Необходимо отметить, что Ю.М. Кононову пришлось решать сложнейшую проблему обеспечения автоматизированными комплексами связи стратегических ПО. Суть проблемы заключалась в том, что комплексы боевого управления и обмена данными были переданы в КБ завода «Сигнал» (г. Кишинев) и после распада СССР в начале 1990-х гг. эта тематика была утрачена. Во-вторых, автоматизированный комплекс связи (АКС) подводных объектов был передан в НИИ автоматики (г. Свердловск), который данной тематикой не занимался и не смог обеспечить создание комплекса связи. Этот НИИА вел разработки на своей аппаратно-программной платформе, которая принципиально не позволяла решать связанные

задачи из-за малой производительности. Как было сказано выше, единственным предприятием, владеющим новой аппаратно-программной платформой, был НИИ ЭТУ, поэтому Ю. М. Кононов принял решение тематику АКБУ и ОД из КБ «Сигнал» передать в НИИ ЭТУ и АКС создавать на аппаратно-программной платформе НИИ ЭТУ.

После того как удалось организовать работы по созданию АПОД ВМФ и по разработке АКС подводных объектов, Управление связи изыскало возможность выделить деньги и на решение второй проблемы, а именно: разработки помехозащищенных радиолиний ВМФ. Юрий Михайлович пригласил меня в очередной раз для консультации. При обсуждении этой проблемы я высказал мысль, что при разработке помехозащищенных радиолиний в ВМФ главные проблемы будут при организации их работы в автоматизированном контуре боевого управления ВМФ, включая автоматизированную подсистему обмена данными. При этом создание технических средств собственно радиолиний КВ и СДВ диапазонов будет заключаться, в основном, в переводе на новую аппаратно-программную платформу технических средств указанных радиолиний, разработанных еще в 1980-е гг. Одновременно аппаратуру необходимо строить с максимальным применением программных решений, а также внедрением технических разработок, повышающих эффективность их функционирования. Юрий Михайлович был того же мнения и предложил эту работу выполнить АООТ «Интелтех» в качестве головного предприятия. Предприятие дало согласие.

В результате в период с 2000 по 2009 гг. был разработан унифицированный комплекс помехозащищенной связи СДВ и КВ диапазонов, который прошел испытания, и внедрен в настоящее время в АКС на ряде проектов подводных объектов.

После того, как резко было сокращено время обмена сообщениями между береговыми командными пунктами и силами в море, а также разработаны и стали внедряться помехозащи-

щенные радиолинии ВМФ, на повестке дня встал вопрос о резком повышении живучести системы связи ВМФ. Это наиболее сложный и дорогостоящий процесс. К нему мировые сверхдержавы смогли подойти только к 1980-м гг. Надо отметить, что Ю. М. Кононов всегда уделял этому вопросу большое внимание, и в конце 1990-х гг. были начаты работы по созданию комплексов связи и обмена данными повышенной устойчивости функционирования.

Развитие системы связи ВМФ при Ю. М. Кононове позволило достигнуть определенной законченности в достижении таких важных показателей, как ее надежность, оперативность, помехозащищенность и скрытность, что, в свою очередь, позволило системе управления МСЯС надежно управлять РПК СН. Одновременно были начаты работы по резкому повышению живучести системы связи ВМФ, что в конечном итоге позволит создать автоматизированную систему связи ВМФ, осуществляющую обмен информацией в любых условиях обстановки. Кроме того, были заложены основы построения системы связи как открытой системы, что, в свою очередь, в дальнейшем позволило объединить командную и информационную составляющие в единой интегрированной системе обмена данными ВМФ. Большая заслуга вице-адмирала Ю. М. Коконова состоит в сохранении в 1990-е гг. и дальнейшем развитии системы связи ВМФ, а также в создании АПОД ВМФ с уникальными тактико-техническими характеристиками. Эти работы внесли существенный вклад в повышение обороноспособности нашей Родины.

1.5 О вкладе ученых 34 Института связи Военно-Морского Флота в создание и развитие системы связи с глубоководными объектами

В. А. Пахотин, В. В. Сергеев

В 1927 г. флотский командир — выпускник Военно-морской академии по курсу радиотехники Аксель Иванович Берг обосновал необходимость создания специализированного исследовательского подразделения при секции связи Научно-технического комитета Морского ведомства (НТКМ) для опытной проработки возникающих технических проблем. В результате слияния секции связи НТКМ и Научно-испытательного полигона связи 3 сентября 1932 г. был создан Научно-исследовательский морской институт связи (НИМИС) ВМС РККА. Первым начальником НИМИСа стал А. И. Берг.

Именно НИМИС (далее — Институт) явился научно-исследовательским и испытательным центром по разработке и внедрению на объекты флота средств связи и наблюдения, гидроакустических станций связи, средств радиоуправления. Институт развернул фундаментальные, поисковые и прикладные научные исследования по следующим направлениям:

- обеспечение связи с погруженными подводными объектами (ПО);
- разработка теории сверхдальнего распространения радиоволн КВ диапазона;
- создание гидроакустической аппаратуры связи и наблюдения;
- разработка первых отечественных УКВ станций и корабельной аппаратуры радиолокации.

В дальнейшем Институт преобразовался в Научно-исследовательский морской институт связи и телемеханики (НИМИСТ) (1938 г.), 8 НИИ ВМФ (1949–1963 гг.), 34 НИИ связи ВМФ (1967–1998 гг.), Научно-исследовательский центр связи ВМФ (1999–2009 гг.), НИЦ телекоммуникационных технологий ВМФ, корабельных комплексов и средств обмена информацией и разведки ВУНЦ ВМФ «ВМА им. Н. Г. Кузнецова» (с 2012 г.).

Восьмидесятилетнюю деятельность Института связана с периодом возрождения, становления и развития ВМФ на этапах его строительства и развития в разные годы — предвоенные, Великой Отечественной войны и послевоенный период создания океанского ракетно-ядерного флота. За это время через научно-исследовательские подразделения Института прошли тысячи людей — создателей новой техники связи, многие из которых оставили заметный след в истории Службы связи ВМФ и Института.

Благодаря усилиям коллектива Института в области техники связи произошел гигантский скачок, начиная от искровых радиостанций Кронштадтской мастерской и заканчивая автоматизированными береговыми и корабельными комплексами радио- и космической связи, явившимися основой создания глобальной автоматизированной системы связи ВМФ.

Обеспечение непрерывной связи пунктов управления с основными и взаимодействующими силами флота, участвующими в боевых действиях, всегда было важнейшим требованием военного руководства. К началу Великой Отечественной войны флоты имели на вооружении радиоаппаратуру систем «Блокада-1» и «Блокада-2», обеспечивавших эффективное управление силами флота на всех морских театрах страны. В 1941 г. на вооружение ВМФ была принята гидроакустическая станция наблюдения «Тамир-1» с режимом связи. Подводные объекты, оборудованные такой станцией, при совместном плавании могли использовать подводную звуковую связь. С целью снижения вероятности обнаружения подводного объекта во время сеанса связи была исследована возможность организации

двусторонней связи в перископном положении. К 1944 г. сотрудниками Института и предприятий промышленности была разработана выдвигная коротковолновая антенна (ВАН-ПЗ) для подводного объекта, обеспечивающая двустороннюю радиосвязь на расстоянии до 200 км при нахождении подводного объекта в перископном положении. Прием сигналов мощных береговых радиопередающих средств с помощью антенны ВАН-ПЗ мог осуществляться на дальностях более 1500 км.

Для подводных лодок вплоть до середины XX в. основным видом связи была слуховая радиотелеграфная связь с применением азбуки Морзе, что в немалой степени снижало ее скрытность. Применение сигнально-кодовых конструкций требовало дополнительного времени на обработку сообщений, что увеличивало общее время доведения информации. Проблема сохранения скрытности обострилась с началом строительства подводных лодок с ядерной энергетикой. Атомные подводные объекты могли длительное время находиться на глубине, но для связи требовалось периодически занимать надводное положение. Проблема усугублялась тем, что к этому времени расширились возможности средств разведки противоборствующих сторон.

Выход сил флота в удаленные районы Мирового океана и начало несения боевой службы в конце 1960-х гг. поставили перед связистами ВМФ задачу обеспечения дальней связи с глубокопогруженными подводными объектами. Возникла необходимость расширения спектра исследований по этой проблеме.

В 1974 г. Постановлением Правительства СССР в Институте связи было создано новое научно-исследовательское управление по проблемам дальней связи с глубокопогруженными подводными объектами. Управление возглавил Н. Ф. Директоров. Научно-исследовательские отделы этого управления, решая проблему связи с подводными объектами, проводили изыскания по созданию каналов связи в КНЧ, СНЧ и СДВ диапазонах (начальник отдела — Л. Б. Песин), каналов с применением спутников связи



Контр-адмирал
Н. Ф. Директоров

(начальник отдела — А. П. Шипин), выпускных информационных устройств и антенн подводных объектов (начальник отдела — А. И. Сусяков), средств гидроакустической и сейсмической связи (начальник отдела — А. П. Колобаев), а также средств оптической лазерной связи с ПО (начальник отдела — А. Г. Гречин).

Важной областью работ нового управления являлось исследование проблем развития сети СДВ связи и повышения энергетического потенциала низкочастотных каналов передачи сигналов на подводные объекты. Решение указанной проблемы осуществлялось путем вооружения существующей системы СДВ связи новыми радиостанциями, поиска способов повышения их энергетического потенциала и освоения нового диапазона частот. Развитие сети СДВ связи, основой которой стали 1000-киловаттные радиостанции, осуществлялось специалистами Управления Связи ВМФ с участием сотрудников Института связи. В дополнение к СДВ радиостанциям, построенным в 1952, 1960 и 1962 гг. в европейской части страны, были введены в эксплуатацию еще две радиостанции такой же мощности (1970 и 1974 гг.).

Совершенствование системы радиоэлектронного подавления противоборствующих сторон требовало постоянного повышения энергетического потенциала СДВ каналов связи ВМФ. В результате теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в Институте связи ВМФ совместно с учеными предприятий промышленности, была решена задача увеличения мощности СДВ радиостанций. Результатом этих исследований явилось создание и внедрение в 1986 г. в систему связи ВМФ сверхмощной СДВ радиостанции. В этот же период под руководством профессора Э. В. Сырникова группа ученых Института, в которую входили

В. В. Тополов, И. В. Гудушин, Б. И. Кузнецов, А. Г. Малов, Н. П. Голунов, разработала теорию и наметила пути создания принципиально новых СДВ передающих устройств с применением ключевых методов генерирования, позволяющих повысить надежность, снизить массогабаритные характеристики и эксплуатационную стоимость радиостанций. В 1985 г. на этих принципах Ленинградским НИИ мощного радиостроения был изготовлен и введен в систему связи ВМФ первый отечественный СДВ передатчик с ключевыми методами генерирования. Этот передатчик, не имевший в то время аналогов в мире, обладал характеристиками, превосходящими достигнутые ламповыми передатчиками первого поколения.

К концу прошлого века группе ученых Института в составе В. В. Тополова, Э. В. Сырникова, И. В. Гудушина, Г. В. Пашутина, а также В. В. Сергеева, Н. В. Белугина, разработавших проект новой антенной системы, удалось ввести в эксплуатацию СДВ радиостанцию «Ротор». Внедрение этой радиостанции позволило значительно повысить энергетический потенциал радиолиний связи с подводными объектами на СФ.

Кроме того, сотрудниками Института связи ВМФ совместно с учеными Физико-технического института (ФТИ) им. А. Ф. Иоффе были проведены оригинальные исследования по построению принципиально новых генераторов на быстродействующих ключевых приборах – реверсивно включаемых динисторах (РВД). В Институте связи ВМФ был создан макет такого ключевого генератора на РВД мощностью 40 кВт. На основе полученных учеными Института связи технических решений по заказу Института атомной энергии РАН в Институте постоянного тока и ФТИ им. А. Ф. Иоффе были выполнены технологические разработки генераторов на РВД различной мощности.

Одновременно с развитием СДВ связи велись работы по освоению новых диапазонов радиочастот. Исследования, выполненные в Институте связи, а также зарубежные публикации показали, что заметный вклад в решение проблемы надежной передачи сиг-

налов на ПО могут внести электромагнитные волны сверхнизких и крайне низких частот.

Идея использования КНЧ и СНЧ для передачи радиосигналов принадлежит сотрудникам Института связи ВМФ: еще в конце 1960-х гг. начальником отдела профессором П. П. Павловым была впервые сформулирована и научно обоснована возможность использования этих радиоволн в интересах передачи сигналов на большие глубины погружения ПО. Первые исследования проводились в диапазоне КНЧ (единицы герц). Впервые в мировой практике мощного радиостроения для излучения использовалась предложенная сотрудниками Института П. П. Павловым, В. В. Сергеевым, А. А. Косинским передающая антенная система, включающая действующий участок линии электропередач (ЛЭП) системы Крымэнерго и развитую систему заземления, опускаемую в море. При первых экспериментах проводилось простое замыкание и размыкание с частотой 50 Гц контура, состоящего из ЛЭП и заземлителей, а в дальнейшем использовались специальные передатчики мощностью 50 и 500 кВт.

Отличие от традиционных КВ, СДВ передающих устройств, при создании передатчиков КНЧ–СНЧ диапазона были реализованы последние достижения в области силовой преобразовательной техники в электроэнергетике, так как диапазон излучаемых частот был близок к промышленной частоте. Такой подход был достаточно новым в области мощного радиостроения, что потребовало проведения специальных теоретических и экспериментальных исследований, которые успешно выполнили Б. К. Горбунов, А. С. Панфилов, Л. И. Запорожец, В. П. Герасимов. Уже первые эксперименты показали принципиальную возможность использования электромагнитных волн КНЧ–СНЧ диапазона для связи с подводными объектами. В дальнейшем большое значение для изучения распространения и методов приема электромагнитных полей в диапазонах СНЧ и КНЧ имело создание в 1970-х гг. макета передающего устройства мощностью 1000 кВт, который для проведения эксперимен-

тов подключался к антенне, построенной на основе действующего участка ЛЭП системы Колэнерго. Общее руководство работами осуществлялось начальником отдела Л. Б. Песиним, а в состав группы ученых, проводивших непосредственную эксплуатацию КНЧ–СНЧ передающей радиостанции, входили Б. К. Горбунов, А. С. Панфилов, В. Н. Степанов, В. Н. Быстров.

Результаты выполненных экспериментальных работ позволили перейти к этапу создания специального передающего объекта ВМФ. Антенная система этого объекта в виде двух параллельных ЛЭП длиной несколько десятков километров каждая обеспечила возможность работы со сложением мощностей в пространстве двух передающих модулей мощностью несколько тысяч киловатт. В создании этого объекта принимала участие основная группа ученых Института под руководством Л. Б. Песина, в которую входили Б. К. Горбунов, В. В. Сергеев, А. С. Панфилов, В. Е. Пониматкин, Ю. Д. Лисицын и др. Внедрение этого объекта в действующую систему передачи сигналов на подводные объекты позволило значительно увеличить глубины приема и впервые обеспечить бессеансовую связь с подводными объектами.

В последнее 20-летие прошлого века усилиями сотрудников Института связи ВМФ Л. Б. Песина, А. С. Панфилова, Б. К. Горбунова, В. В. Сергеева, В. С. Акулова, Ю. Д. Лисицына, Н. В. Белугина, А. А. Катановича с участием представителей организаций промышленности были разработаны предложения по двойному применению электромагнитного излучения в диапазоне КНЧ — для связи с подводными объектами и поиска полезных ископаемых и прогноза землетрясений, что нашло отражение в публикациях и материалах патента на изобретение.

В 1982 г. 34 НИИ связи ВМФ за успехи в научно-производственной деятельности и в связи с 50-летием со дня основания был награжден орденом Трудового Красного Знамени.

По итогам работы в 1986 г. Приказом МО СССР от 10.06.87 г. № 0143 Научно-исследовательскому институту связи ВМФ как по-

бедителю Всесоюзного соревнования научно-исследовательских и испытательных учреждений МО СССР было присуждено переходящее Красное знамя Министерства обороны СССР и ЦК профсоюзов работников судостроительной промышленности с первой денежной премией. Этой наградой подтверждалась оценка, данная Главной инспекцией Министерства обороны СССР по результатам проверки научно-производственной деятельности коллектива Института в 1986 г. Участники работ по созданию радиопередающего устройства и антенно-фидерной системы низкочастотного диапазона и внедрению СНЧ связи в систему связи ВМФ были удостоены Государственной премии СССР в 1988 г., а по совершенствованию системы СДВ связи — в 1989 г.

На вооружение ВМФ в 1990 г. были приняты комплекс стационарных антенн подводных лодок и буксируемая кабельная приемная СДВ–КВ антенна.

В 1990-х гг. деятельность Института усложнилась. Большие усилия прилагались для сохранения института как основной организации, обеспечивающей научное обоснование и сопровождение создания перспективных средств связи в рамках государственной программы вооружения. Хотя и недостаточными темпами, но все же продолжались работы по созданию помехозащищенных КВ и СДВ радиолиний, оконечных средств обработки информации нового поколения, по модернизации СДВ–СНЧ радиостанций, совершенствованию буксируемых кабельных антенн и автономных выпускных устройств связи подводных объектов.

Разработанные и принятые на вооружение новые средства связи с подводными объектами в настоящее время обеспечивают бесшумный прием сигналов вызова на связь и прием сообщений и сигналов в информационных каналах СДВ–ДВ–СВ–КВ диапазонов.

Созданы также предпосылки для внедрения ДЦВ спутникового канала приема на кабельные антенны. Продолжались работы по разработке новых автоматизированных комплексов связи подводных лодок на основе цифровых технологий, в развитии этого

направления участвовали В. А. Лаврухин, Е. Н. Востриков, Ю. Г. Передни, Б. М. Федоров, Ю. П. Кузнецов, М. Ф. Доценко, В. Ф. Лаптев, В. А. Андреев, С. Н. Рогушин, Г. В. Зайцев, С. Н. Ёлкин, А. П. Смирнов, Н. В. Хорев, Е. А. Репринцев. В создании автоматизированного комплекса боевого управления принимали участие П. С. Филинский, А. Д. Романов, С. А. Сахаров, И. С. Буторин, А. Ф. Кутейников, А. А. Черемухин и др.

В разработку скрытных помехозащищенных линий связи большой вклад внесли В. С. Михайлов, Б. Д. Осипов, Е. М. Бабинцев, И. И. Селезнев, А. В. Семенов, М. А. Коржов, В. А. Сасов, Л. Н. Угрик, В. С. Акулов, С. Д. Коваленко, Б. Д. Каган, С. С. Ковров и др. В разработку выпускных буксируемых антенных устройств наибольший вклад внесли А. Ф. Михеев, В. В. Чигирь, В. Н. Полиенко, А. В. Додонов, В. Э. Альбертович, Г. Р. Молотков, Д. Я. Рубченко, А. Г. Поваров, И. Г. Архипова, В. А. Китов, О. М. Панасенко, Д. В. Ильмер и др.

Наряду с созданием средств и каналов традиционной связи с ПО в КВ, СВ, ДВ, СДВ, УКВ–ДЦВ диапазонах стояла задача поиска возможности использования для связи с глубоководными объектами (ГПО) нетрадиционных полей, явлений и технических решений как альтернативы традиционным каналам связи. Большую роль в поиске новых физических полей — носителей передаваемой информации играл Научный совет при Президиуме АН, возглавляемый академиком В. А. Котельниковым. При организации в Институте управления систем и средств связи с ГПО был специально создан отдел нетрадиционных каналов связи с ГПО, в который входили наиболее теоретически подготовленные сотрудники Института в данной области знаний — Б. А. Семенов, В. А. Пахотин, Н. В. Белугин, Ю. В. Шокин, Б. В. Шитов, Волич Тен, В. В. Сергеев, А. А. Светлых, В. А. Гусев и др. В этих исследованиях (в рамках фундаментальных и поисковых НИР) принимали участие крупные ученые, входящие в состав Научного совета, и возглавляемые ими институты и другие организации АН и Сибирского отделения АН СССР (ФИАН, ИФВЭ, ОИЯИ, ИЯФ, ВЦ), а также ведущие (в области связи) институты

и организации промышленности (ОНИИП, МНИИРС, РИМР, КБ «Связьморпроект» и др.).

В результате поиска и фундаментальных исследований была обоснована возможность использования для связи с ГПО лазерных, сейсмических, оптоакустических, нейтринных, крайне низкочастотных и других излучений и каналов. Наиболее близкими к реализации оказались каналы лазерной, сейсмической и КНЧ связи. Работы по созданию лазерного канала связи с ГПО проводились в нескольких направлениях. Изготовленные опытные образцы приемопередающего ретрансляционного комплекса для самолета и приемопередающего комплекса для ПО были испытаны в реальных условиях на СФ. Двусторонняя связь в направлении «самолет–ПО» была обеспечена в течение всех вылетов самолета в район испытаний при глубинах погружения ПО до 150 м. Были также проведены успешные эксперименты по связи между космическим аппаратом и заглубленными фотоприемниками, опускаемыми с борта надводного корабля. Дальнейшие работы заключаются в поиске приемлемой современной элементной базы оптоэлектроники и реальной перспективы создания одностороннего лазерного канала в направлении «КА–ПО». От Института в работах по созданию лазерного канала связи с ГПО активное участие принимали А. Г. Гречин, В. А. Лебедев, А. А. Светлых, Ю. В. Шокин, Б. В. Шитов, В. А. Евдовин, А. И. Воронин и др.

Решением проблемы создания сейсмической линии связи с ПО в Институте занимались лаборатория, а затем отдел, возглавляемый В. И. Михайловым. Активно работали в данном направлении М. А. Баранов, Н. Н. Левин, А. И. Сальников, В. В. Мошкин и др. Экспериментальные испытания изготовленных в рамках ОКР приемного и передающего комплексов, установленных в районе Новосибирска (передающий) и области (приемный), показали, что при существующей в то время элементной базе создание опытных образцов (особенно передающего центра), способных обеспечить дальность связи с ПО до 5–7 тыс. км, практически невозможно,

так как необходима разработка специальной элементной базы, что потребует больших финансовых затрат. В 1988 г. ОКР по сейсмической тематике была прекращена.

Дальнейшие работы по нетрадиционным линиям связи продолжают в рамках фундаментальных и поисковых НИР по созданию элементной базы, применение которой позволило бы построить соответствующие комплексы связи в условиях ограниченного финансирования.

Начиная с 1990 г., проводились поисковые исследования по изысканию технических путей создания линий и средств связи в диапазоне крайне низких частот. В 1993 г. впервые в мировой практике был выполнен эксперимент по излучению электромагнитных волн в диапазоне КНЧ. Регистрация полей осуществлялась на расстоянии до 1500 км. В ходе эксперимента было установлено, что в перспективе передающая КНЧ радиостанция может быть использована как по своему прямому назначению — для связи с ПО на больших глубинах, так и в интересах решения прикладных задач геофизики (поиск полезных ископаемых, прогнозирование землетрясений и др.). В этих работах принимали участие: от Института — Л. Б. Песин, В. С. Акулов, А. С. Панфилов, В. В. Сергеев, Б. К. Горбунов, Ю. Д. Лисицын.

Следует отметить, что в Институт со всей страны приходили самые разнообразные предложения по решению проблемы связи с ГПО, спектр авторов которых простирался от простых механиков до известных ученых. Как правило, эти идеи были ошибочными. Ошибки были обусловлены зачастую незнанием специфики распространения электромагнитных волн в различных средах либо незнанием требований, предъявляемых к линиям связи, например, по времени доведения сигналов. Поскольку число таких предложений исчислялось десятками, то можно сказать, что квалифицированная экспертиза, проведенная сотрудниками Института, позволила сэкономить миллионы рублей, которые могли быть потрачены на проведение НИР.

Многогранная научная деятельность Института связи ВМФ по непрерывному совершенствованию систем и средств связи ВМФ, развитию отечественной радиоэлектроники, теоретическому и практическому решению многих важных научных проблем военно-морской связи проводилась сплоченным коллективом высококвалифицированных сотрудников. Институт связи ВМФ всегда возглавляли авторитетные ученые, высококвалифицированные специалисты в области связи флота: адмиралы А. И. Берг, Я. Г. Вараксин, А. П. Супрун, В. В. Лопатинский, Н. Ф. Директоров, В. И. Шпорин. В различное время в Институте служили и работали вице-адмиралы: А. Г. Долбня, В. И. Калабин, М. А. Крупский, Е. А. Томко, С. П. Чернаков; контр-адмиралы: А. И. Волков, Б. Н. Голин, Н. М. Елагин, В. Г. Калинин, Б. И. Карлов, И. А. Катченков, А. И. Пустовалов, В. Е. Сергадеев, Ю. П. Тихонов, Н. И. Трухнин, А. П. Чижов, Б. Н. Шатров, В. И. Яковлев; генерал-лейтенант А. Н. Щукин, генерал-майор М. А. Зернов.

За большой вклад в развитие отечественной радиоэлектроники ряд сотрудников Института были удостоены Государственной премии СССР — В. К. Адамский, Н. И. Апрелев, Б. А. Белоусов, Ю. С. Бухинник, Р. А. Гальбрайх, С. Н. Вербицкий, В. И. Житомирский, Н. В. Заплетин, Р. С. Ковалевский, В. С. Кузин, П. П. Кузьмин, В. В. Лопатинский, А. А. Львович, Б. Н. Павлов, А. С. Панфилов, Л. Б. Песин, Н. Ю. Поляк, В. М. Семенов, Э. В. Сырников, Н. И. Трухнин, Д. Н. Шапиро.

Более 10 разработок, удостоенных Государственной премии СССР, и более двух тысяч авторских свидетельств и патентов на изобретения являются убедительным подтверждением выдающихся заслуг научных коллективов Института.

Институт связи ВМФ являлся и до сих пор является одной из ведущих научных организаций, обеспечивающих совместно со Службой и Управлением Связи ВМФ наукоемкое развитие системы, комплексов и средств связи для достижения необходимого качества управления силами и оружием ВМФ.

Руководству Управления Связи ВМФ и командованию Института связи ВМФ удалось создать высокий научно-технический потенциал, достигнутый ценой гигантских усилий ученых Института, которые всегда были и остаются гордостью военной науки ВМФ. Развитию этого потенциала во многом способствовало активное участие сотрудников Института в работе Научного совета при Президиуме Академии наук СССР (впоследствии Российской академии наук) по проблемам связи с глубоководными объектами и многолетнее творческое сотрудничество с ведущими учеными Академии наук.

Глава 2

Научные проблемы обеспечения связи
с глубоководными объектами

2.1 Основные научные и научно-технические проблемы обеспечения связи с глубоководными объектами

В. А. Пахотин

2.1.1 Общие положения

Ввиду специфических особенностей погруженных объектов (ПО) и их боевого использования, а также свойств морской воды соответствующие системы и средства связи ВМФ, как правило, не имеют аналогов в других видах ВС.

Система доведения сигналов для управления силами и применения оружия ВМФ должна удовлетворять требованиям к основным показателям качества связи (своевременность, достоверность и безопасность), обладать высокой готовностью к выполнению поставленных задач и охватывать зоны связи, адекватные масштабу действия сил. В настоящее время универсальное физическое поле — переносчик информации, который удовлетворял бы всем перечисленным требованиям, — в природе не существует. Поэтому для связи с глубоководными объектами (ГПО) с заданными требованиями обоснован принцип комплексного использования различных каналов связи.

До настоящего времени для связи с ПО используются электромагнитные волны различных участков спектра. В ВМФ создана система передающих центров для передачи сигналов в различных диапазонах частот — от сверхнизких до сверхвысоких. Погруженные объекты оборудованы комплексами связи, позволяющими принимать сигналы передающих центров. Существующая система связи в целом обеспечивает потребности флота. Однако изменение геополитической обстановки в мире и соответствующих взгля-

дов на боевое применение сил и средств ВМФ, появление новых способов противодействия системам связи и управления в виде информационного оружия вызвали появление новых требований к связи, которым существующая система связи ВМФ удовлетворяет не в полной мере, особенно в условиях военного времени. Так, наземные центры дальней радиосвязи обладают низкой скрытностью и живучестью, что усугубляется появлением у вероятного противника оружия точного поражения, управляемого с помощью космических средств связи и навигации. Альтернативным вариантом стационарных передающих центров являются мобильные комплексы связи. Однако их развитие сдерживается отсутствием эффективных малогабаритных передающих антенн. Поэтому необходимо продолжать поиск путей построения эффективных излучающих антенн мобильных комплексов связи.

Существенные недостатки имеют и приемные антенные устройства, особенно приемные антенны кабельного типа для подводных лодок, которые не только обладают низкой надежностью, но и препятствуют как маневрированию, так увеличению скорости хода. В настоящее время проблема приема радиоволн на рабочих глубинах бортовыми средствами не решена. Вообще задачи по совершенствованию радиоприема имеют большое значение, поскольку их решение позволяет повысить энергетический потенциал радиолиний с меньшими затратами по сравнению с затратами на создание мощных передающих центров. Каждый шаг в направлении незначительного повышения эффективности мощных излучающих систем и просто поддержания их работоспособности требует значительного ресурсного обеспечения, в том числе финансового. В связи с этим необходимо продолжать фундаментальные и поисковые исследования по совершенствованию существующих средств связи и поиску новых нетрадиционных способов обеспечения связи. Для проведения таких исследований в интересах связи ВМФ необходимо целевое привлечение научных организаций Российской академии наук [1].

2.1.2 Проблема частотной зависимости глубины проникновения электромагнитных волн в морскую воду

Морская вода является электрическим проводником и на низких частотах имеет очень высокий показатель преломления. Поэтому при падении волны на поверхность воды практически под любым углом в глубину волна будет распространяться вдоль нормали к поверхности (рис. 2.1.1). Следовательно, векторы напряженности электрического E и магнитного H полей при распространении волны в воде будут лежать в горизонтальной плоскости. Это обстоятельство указывает на то, какими свойствами должны обладать приемные антенны, чтобы наиболее эффективно регистрировать электромагнитное поле под водой. Наличие проводимости у воды приводит также к сильному ослаблению амплитуды волны по мере продвижения волны в глубину (см. рис. 2.1.1), причем степень затухания волны зависит от частоты и удельной проводимости воды. Указанные свойства существенно ограничивают возможности связи с объектами, находящимися под водой. Среда, в которой действуют ПО, не пропускает радиоволн подавляющей части освоенного частотного диапазона (рис. 2.1.2). Отсюда и вытекает необходимость использования для связи с ПО как различных участков радиочастотного спектра, так и каналов различной физической природы.

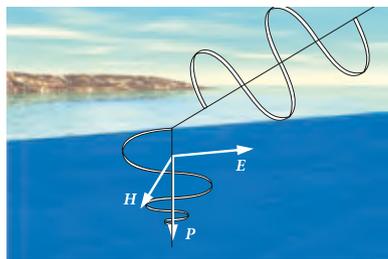


Рис. 2.1.1 Трансформация электромагнитной волны при проникновении в воду. E и H — соответственно векторы напряженности электрического и магнитного полей; P — вектор Пойнтинга

Как видно из рис. 2.1.2, наибольшей проникающей способностью обладают волны наиболее низких частот и волны оптического диапазона (видимый свет), а также рентгеновские и гамма-лучи. Последние являются опасными для человека. Поэтому наибольший практический интерес для связи с ГПО представляют электромагнитные поля в диапазоне крайне низких частот (КНЧ), сверхнизких частот (СНЧ), сверхдлинных волн (СДВ) и сине-зеленого участка оптического диапазона.

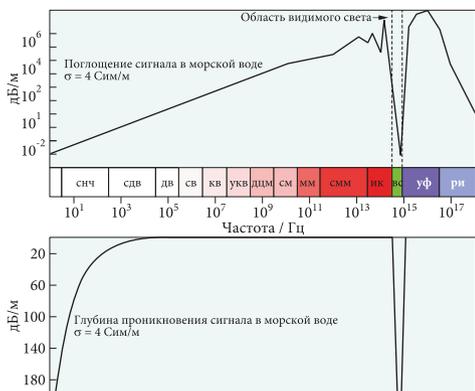


Рис. 2.1.2 Проникающая способность различных волн

2.1.3 Проблема создания электромагнитного поля низкой частоты

Как известно из электродинамики, для эффективной работы на излучение размеры антенны должны быть сопоставимы с длиной рабочей волны. На низких частотах длины волн могут составлять многие километры.

На поверхности Земли построить антенну таких размеров не представляется возможным. Антенны, которые уже построены для дальней связи в СДВ диапазоне, занимают площади до 700 га и имеют высоту до 400 м. Например, антенна передающего центра, расположенного в Австралии имеет центральную мачту высотой

390 м (рис. 2.1.3). Рабочая частота — 15,5 кГц (длина волны 19,3 км). Антенна является, по существу, плоским конденсатором, имеющим большее реактивное сопротивление (63 Ом) по сравнению с сопротивлением излучения, равным 0,14 Ом [2]. Это является причиной высокой добротности и узкой полосы рабочих частот. Ширина полосы равна приблизительно 130 Гц на частоте 15 кГц.



Рис. 2.1.3 Антенна передающего центра

Реактивная мощность составляет 434 МВА при токе 2,63 кА и напряжении 165 кВ. Это напряжение должны выдерживать антенна и элементы настройки. Входная реальная мощность составляет 2 МВт, входное активное сопротивление равно приблизительно 0,3 Ом. Излучаемая мощность составляет 1 МВт. Несмотря на такие грандиозные размеры, подобные антенны являются электрически короткими и имеют небольшую электрическую емкость. Это приводит к перенапряжениям, потенциал на элементах антенны достигает сотен тысяч вольт, и возникающие электрические разряды ограничивают излучаемую антенной мощность.

С переходом к более низким частотам размеры антенн должны быть еще больше увеличены. Построить высокие электрические антенны становится уже невозможным, и поэтому используются магнитные антенны в виде линий электропередачи длиной в де-

сятки километров, концы которой замкнуты на землю с низкой электропроводностью [3]. Согласующие элементы для таких антенн представляют собой капитальные дома, наполненные конденсаторными батареями. Эффективность подобных антенн, несмотря на размеры, крайне мала, при потребляемой мощности в единицы мегаватт их коэффициент полезного действия составляет доли процента. Так, например, в штате Висконсин (США) был создан передающий СНЧ центр, включающий две передающие антенны длиной около 22,5 км и передатчик мощностью около 2 МВт, позволяющий подавать в антенны ток около 300 А на частотах возбуждения 40–48 и 72–78 Гц. Антеннами служили два горизонтальных провода, ориентированные примерно взаимно перпендикулярно и имеющие хорошие заземлители на обоих концах. Эффективная электрическая проводимость земли под антеннами на частотах 45–75 Гц приблизительно равна $3 \cdot 10^{-4}$ См/м; излучаемая мощность при этом составляет 0,25–1 Вт [4].

К настоящему времени получены основные закономерности распространения СНЧ волн в волноводе «земля-ионосфера», позволяющие рассчитать уровень сигнала и его фазу на любом расстоянии от источника. Затухание электромагнитных волн на частотах 40–100 Гц составляет около 1 дБ на 1000 км. При распространении в волноводе на ночной стороне Земли амплитуда сигналов изменяется во времени на несколько децибел за одну ночь, достигая в некоторых случаях 7 дБ. Для обеспечения заданной вероятности правильного приема сообщений в диапазоне СНЧ необходима служба прогноза состояния нижней ионосферы на высотах от 40 до 120 км и оценки затухания сигналов. Недостаточное количество одновременных измерений СНЧ сигналов в разных районах земного шара не позволяет сделать вывод о возможностях прогноза затухания электромагнитных волн СНЧ диапазона по некоторой трассе распространения, если известны затухания по другим трассам [4].

Использование низких частот порождает еще одну важную проблему. Может быть утерян один из компонентов качества свя-

зи, а именно: своевременность доведения сообщения. Из теории информации известно, что с понижением частоты уменьшается и скорость передачи информации. Длительность сеанса связи заметно увеличивается, что недопустимо в боевых условиях. В таких случаях вместо научно-технических факторов вступают в действие другие, в частности организационные, факторы, регламентирующие выбор вариантов связи.

Для обеспечения устойчивости система радиосвязи должна включать мобильную компоненту. Однако создание мобильных, например СДВ радиостанций, представляет серьезную проблему, что обусловлено, прежде всего, большими массогабаритными и стоимостными характеристиками антенных устройств. Поэтому размещение радиопередатчиков на мобильных узлах связи, а следовательно, и организация радиосетей боевого управления связаны, главным образом, с проблемой построения для них передающих антенн. Вместе с тем, даже при современном уровне развития антенной техники большинство этих антенн являются дорогостоящими, сложными и неэффективными инженерными сооружениями.

Таким образом, создание передающих низкочастотных антенн, удовлетворяющих специфическим требованиям мобильных передающих комплексов, является весьма важной и актуальной задачей. Решение этой задачи возможно только путем создания относительно малогабаритных антенн, обладающих большей живучестью и устойчивостью по отношению к средствам поражения.

2.1.4 Проблема приема сигналов электромагнитного поля низкой частоты

Обеспечение связи с погруженными объектами обуславливает существенные отличия приемных антенн ПО от антенн надводных кораблей. Для подводного радиоприема используют буксируемые кабельные приемные антенны [5–8]. В соответствии с рис. 2.1.1

низкочастотные антенны могут быть электрическими с заводнителями на концах (электродные антенны) и магнитными в виде длинного соленоида [5].

Разработаны также кабельные антенны с концевым бумом, движущимся по поверхности моря, в котором размещена широкополосная антенна, обеспечивающая связь даже через космические аппараты [8]. Конечно, при использовании подобной антенны нарушается основное свойство ПО — ее скрытность.

Радиоприем на низких частотах с использованием буксируемых антенных устройств (БАУ) кабельного типа сопровождается шумами движения, уровень которых возрастает с увеличением скорости хода ПО и понижением несущей частоты радиосигналов [9, 10]. Поэтому надежный прием возможен при скоростях буксировки, не превышающих нескольких узлов. Одной из составляющих собственных шумов БАУ является ток, наводимый в сигнальном проводнике антенны при ее механических колебаниях в геомагнитном поле. Механические колебания антенны возникают из-за воздействия на ее поверхность турбулентных пульсаций давления в потоке воды, движущимся в непосредственной близости к антенне. Наличие металлических электродов (заводнителей) приводит к возникновению так называемых электродных шумов. Природа этих шумов до настоящего времени окончательно не выяснена. Еще одна составляющая шума связана с возникновением электретных состояний диэлектрических материалов кабельной антенны при различных деформациях антенны [11], например при укладке ее на лебедку. Пока неясны уровни этого шума, а также его спектральные характеристики.

Наряду с собственными шумами, возникающими при движении кабельной антенны в воде, серьезную проблему при приеме сигналов низких частот представляют сосредоточенные помехи, источниками которых являются различные бортовые устройства (вращающиеся валы с гребными винтами, помпы и др.), а также помехи естественного происхождения и преднамеренные помехи. Борьба с узкополосными (квазимонохроматическими) помехами

остается важной проблемой во всех системах передачи информации. При приеме сигналов сосредоточенные помехи снижают возможности линий связи. При попадании таких помех в полосу частот сигнала прием становится практически невозможен.

2.1.5 Нетрадиционные методы излучения и регистрации физических полей. Пути улучшения параметров антенных устройств и снижения помех

В литературе рассматриваются технические предпосылки для решения вышеперечисленных проблем, однако теория соответствующих способов и устройств разработана недостаточно. Ниже коротко представлены некоторые возможные пути улучшения параметров антенных устройств и снижения помех.

Представляет интерес такое конструктивное выполнение покрытия (оболочки) провода антенны, при котором она приобретает свойства либо поглощающего слоя, либо фазоинвертора. Прямоугольная рамочная антенна, одна из сторон которой имеет подобную оболочку, не имеет эффекта компенсации электромагнитного поля и на низких частотах излучает как диполь с равномерным распределением тока [12, 13]. Напряженность поля излучения определяется током в рамке, который может достигать нескольких тысяч ампер благодаря низкому входному импедансу. При этом важно, что для достижения большого тока достаточно относительно небольшого напряжения. Создание токов даже в 20 кА в настоящее время уже не проблема [14], имеется соответствующая преобразовательная техника и силовая электроника. Значительный токовый момент позволяет создавать малогабаритные антенны. Для стационарных или разворачиваемых на побережье СДВ антенн поглощающая оболочка может иметь толщину ~ 1 м, а высота антенн — до ~ 10 м вместо нескольких сотен метров у существующих антенн. В 2013 г. было предложено группировать подобные антенны с целью осуществ-

вления направленного излучения [13]. Свойства оболочки-фазоинвертора с замедляющей структурой, в частности, определяются эффективной диэлектрической проницаемостью оболочки ϵ . Если ϵ достаточно велика, то электрическую толщину оболочки можно сделать кратной половине длины волны и управлять фазой электромагнитного поля вне оболочки. Среды с большой ϵ в определенном направлении (анизотропия) известны — это искусственные диэлектрики и замагниченная плазма. Важным достоинством плазменных оболочек по сравнению с твердотельными является возможность регулирования электрических параметров антенны. Большие надежды исследователи возлагают на метаматериалы в конструкциях оболочек антенн [15]. Эти антенны, по мнению авторов исследований, за счет свойств оболочек могли бы обеспечивать их согласование с окружающей средой, обладать хорошими излучающими свойствами, иметь меньшие габариты и занимать площади на порядок меньше существующих, что важно также при создании сети мобильных станций.

Как бы эффективны ни были передающие антенны, наличие шумов и опасных преднамеренных помех или промышленных помех движущегося ПО может полностью нарушить связь или недопустимо увеличить ее длительность. Собственные шумы приемной антенны существенно возрастают на низких частотах и при увеличении скорости хода объекта, при этом доминируют электродные шумы. Необходимо найти определенную топологию электрода, при которой турбулентность не модулирует электрофизические параметры системы электрод – морская вода.

Так, в [9] предложено для защиты электродов от импульсных шумов обтекания, возникающих за счет разрушения на поверхности электродов микро- и макрогальванических пар обтекающим потоком жидкости, покрывать их поверхность тонким слоем микропористых фильтров, создающих неподвижный микрослой морской воды у поверхности электродов. Микропористые фильтры не должны оказывать существенного влияния на импеданс элект-

родов и гидродинамику буксируемой антенны. Проверку этой идеи можно сделать в результате теоретических и экспериментальных исследований электрических шумов, возникающих при воздействии пульсаций давления на движущуюся кабельную антенну.

Необходима также компенсация узкополосных помех. Слабым звеном существующих компенсаторов помех является необходимость определения параметров помехи, что требует времени и специального оборудования. Поскольку частота сигнала нам известна, то легче в одном из каналов компенсатора удалить сигнал, а в другом принимать аддитивную смесь сигнала и помех. Затем вычесть процессы в каналах и получить только полезный сигнал [16]. В таком когерентном (известна частота и фаза сигнала) компенсаторе помех на приеме входная смесь подвергается дискретизации в одном канале в предполагаемых нулевых точках полезного сигнала, а в другом канале — в предполагаемых экстремальных точках полезного сигнала. Компенсация выполняется, как всегда, с некоторой ошибкой. Но энергетическая эффективность при этом может достигать нескольких тысяч.

2.1.6 Нетрадиционные каналы связи

Традиционные пути повышения вероятностно-временных характеристик каналов связи, основанных на использовании электромагнитных волн, особенно по дальности и глубине, в основном, исчерпаны [1]. В этой связи важны фундаментальные и поисковые исследования, направленные на получение новых знаний и разработок новых технологий. Из нетрадиционных физических полей изучались возможности использования когерентного оптического излучения, сейсмических волн, а также элементарных частиц — нейтрино и мюонов. На рис. 2.1.3 представлены некоторые из этих каналов. В настоящей книге оптический и сейсмический каналы рассмотрены отдельно, поэтому ниже кратко рассмотрены каналы на элементарных частицах, нагреве ионосферы и квантовый. Со-

здание новых каналов связи сопряжено с большими трудностями как научного, так и экономического характера.

Каналы связи на элементарных частицах

Одним из путей решения проблемы создания скрытой и помехоустойчивой линии связи может быть использование уникальных свойств пучков релятивистских заряженных частиц. В перерывах в работе пучковые антенны не существуют как физическое тело в пространстве. В то же время пучок можно быстро включать и выключать. Наибольшее число опубликованных работ по пучковым антеннам относится к использованию пучков электронов в космосе. В связи с большим поглощением в атмосфере электронные пучки невозможно использовать для формирования эффективных антенн в плотных слоях атмосферы. Пучки нейтрино не создают практически значимого электромагнитного поля. Достоинством пучков нейтрино является их высокая проникающая способность, позволяющая в принципе осуществить связь с объектами без ограничения глубины и дальности [17–19]. В [20, 21] предлагается использовать слабое поглощение мюонного пучка для проникновения на большие глубины океана (рис. 2.1.4).

Во всех случаях использования непосредственного взаимодействия частиц с детектором необходимо точное наведение на ПО. Проблема попадания пучка в ГПО до сих пор не решена. Начаты работы по исследованию возможности изменения пространственного положения пучка [22]. Поэтому реализация проектов каналов связи на основе нейтрино, а также других носителей информации с сильно локализованным в пространстве полем, например мюонов [20], пока не представляется возможной

Самым серьезным препятствием на пути создания канала связи на элементарных частицах остается сложность формирования пучка, схема которого приведена на рис. 2.1.5. Для разгона частиц до релятивистских скоростей (близких к скорости света) необходим ускоритель. Пока ускорители частиц — это многокилометровые сооружения, необходимыми элементами кото-

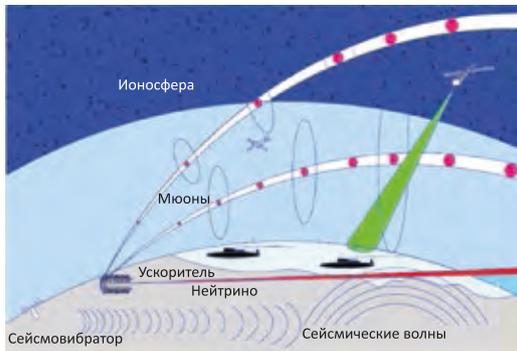


Рис. 2.1.4 Примеры нетрадиционных каналов связи
рых являются вакуумированные каналы, находящиеся глубоко под землей (рис. 2.1.6).

Мюоны в отличие от нейтрино обладают электрическим зарядом, поэтому создают электрическое поле, которое можно регистрировать на удалении от траектории пучка. Структура электромагнитного поля мюонной антенны такова, что основная энергия сосредоточена в статических полях, имеющих иной закон убывания с расстоянием по сравнению с полями дальней зоны обычных антенн. Ситуация здесь похожа на работу в ближнем поле вибратора, движущегося со скоростью, лишь на одну десятитысячную отлича-

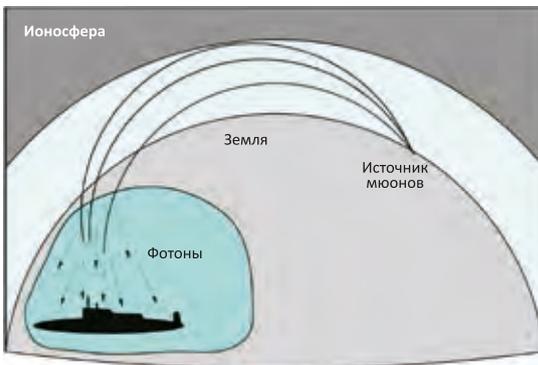


Рис. 2.1.5 Вариант мюонного канала связи [20]

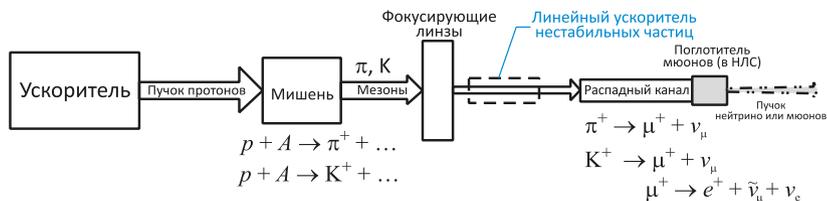


Рис. 2.1.6 Формирование пучка частиц (нейтрино и мюонов): p — протон; A — атом мишени; π^+ и K^+ — мезоны; μ^+ — мюон; ν_μ — мюонное нейтрино, движущееся со скоростью света. Пучок как бы приближает поле к месту приема. Поля движущихся зарядов пучка трансформируются в диски с усиленной в тысячи раз напряженностью поля, что облегчает их регистрацию. Мюонная передающая антенна представляет собой последовательность сгустков релятивистских заряженных мюонов, следующих со средней частотой $f \leq 100$ Гц. Электрическое поле сгустка представляет собой диск, диаметр которого увеличивается при удалении от ускорителя. При постоянстве заряда сгустка средний ток пучка составит qf . Так как частицы разогнаны до энергии W , то мощность пучка составит qfW . Например, при числе частиц $N = 10^{13}$, общем электрическом заряде $q = Ne$, $W = 70$ ГэВ и частоте следования 100 Гц мощность будет равна 11,2 МВт.

Пока не появятся ускорители небольших размеров, реализовать нейтринные или мюонные каналы передачи информации не представляется возможным. Разумеется, большие габариты ускорителей усложняют исследования, в первую очередь в области физики, поэтому ученые интенсивно работают в направлении уменьшения размеров ускорителей. Уже появились новые методы ускорения частиц с помощью плазмы, применение которой позволит значительно уменьшить размеры и стоимость ускорителей для физики высоких энергий (100 ГэВ и больше). Ускорение в плазменном кильватерном поле недавно было продемонстрировано на Стэнфордском линейном коллайдере (SLC). В плазменной установке энергия пучка электронов увеличивалась на 4 ГэВ на пути всего 10 см, для чего на обычном СВЧ-ускорителе потребовалась бы секция

длиной 200 м. Плазменные установки могут ускорять и более тяжелые частицы, например протоны. Но энергия ускоряемых протонов должна быть не меньше нескольких гигаэлектронвольт [23].

Каналы связи на основе возбуждения ионосферы

По данным зарубежной печати в США (Аляска, шт. Гакона) создан экспериментальный центр для исследования ионосферы, основанный на нагреве ионосферы мощным радиочастотным излучением КВ диапазона (HAARP). При частоте излучения 10 МГц и мощности 3 ГВт в верхних слоях ионосферы образуется низкочастотное электромагнитное поле с различными частотами колебаний. Стоимость только наземной антенной системы составляет 25–30 млн долл. США. Суть этого эффекта заключается в возникновении стимулированного СНЧ радиоизлучения в нижнем слое ионосферы при воздействии на нее первичным амплитудно-модулированным излучением ДВ–КВ диапазона. Нелинейное взаимодействие первичной радиоволны проявляется в периодическом нагреве электронов и ионов ионосферы, что вызывает соответствующие изменения удельной проводимости ионосферной плазмы и модуляцию протекающего через нее естественного квазистационарного тока. В результате в нижних слоях ионосферы образуется виртуальный пространственно-распределенный излучатель, спектр сигнала которого практически повторяет форму спектра, модулирующего СНЧ колебания первичной радиоволны [24].

Данный эффект можно использовать при создании мобильного корабельного средства с помощью КВ передатчика, который нагревает ионосферу своим радиоизлучением на несущей частоте, модулированной по амплитуде передаваемым СНЧ сигналом [25]. Расчет проведен для мощности ионосферного источника 100 кВт. Как показали расчеты, днем на частоте 100 Гц ионосферный источник обеспечивает предельный уровень поля на дальности 300 км и в зоне от 750 до 1500 км, на частоте 200 Гц дальность увеличивается до 4 тыс. км, а на частоте 300 Гц составляет приблизительно 5,5 тыс. км. В ночных условиях на частоте 100 Гц дальность составляет 250 км, на частоте 200 Гц ионосферный источник обес-

печивает предельный уровень поля на дальности 80 км и в зоне от 450 до 800 км, а на частоте 300 Гц составляет приблизительно 2,5 тыс. км.

Таким образом, мобильное средство связи, имеющее по сравнению с наземным средством на порядок меньшую мощность передатчика, позволяет в любое время суток обеспечить передачу СНЧ сигналов на частотах ≥ 100 Гц на расстоянии ≈ 100 км. Несмотря на относительно небольшую дальность действия, определяемую допустимой мощностью КВ передатчика, корабельное средство благодаря своей мобильности в ряде случаев вполне может конкурировать с более мощным наземным средством, построенным на традиционном принципе и имеющим глобальную дальность. Разумеется, выбор того или иного средства для решения конкретной задачи должен зависеть как от характера поставленной задачи, так и от различных факторов, влияющих на ее решение. Меньшая дальность действия мобильной радиостанции, являющаяся недостатком в одних условиях, в других условиях может оказаться преимуществом. Например, в задаче радиосвязи с повышенным требованием к оперативности передачи информации, например, в группировке разнородных сил, меньшая дальность до ПО позволяет увеличить скорость передачи сигналов из-за уменьшения поглощения и затухания на радиотрассе [25].

Каналы связи на основе квантовомеханических эффектов

В настоящее время имеется ряд направлений, с которыми связано понятие квантовой информации. Это квантовая телепортация, квантовая криптография и квантовые вычисления (компьютер). Поскольку квантовая криптография основана на передаче ключа для расшифровки посредством квантовой связи путем передачи и преобразования кубитов, то процессы квантовой связи, квантовой телепортации и криптографии принципиально неразделимы.

Наиболее фундаментальная величина в науке об информации — это бит. Это система, которая может принимать два значения: «0» и «1». Кубит [26], квантовый аналог бита, должен, следовательно, так-

же быть системой из двух состояний: «0» и «1». Кубитом может служить практически любая квантовая система, имеющая, по меньшей мере, два состояния. Можно придумать множество вариантов таких систем, и многие из них уже были реализованы экспериментально. Наиболее необходимая черта квантовых состояний, используемых в качестве битов, — это свойства когерентности и суперпозиции.

Перепутанные состояния — это суперпозиции произведений независимых состояний. Есть много способов создать перепутанные состояния. Манипулируя двумя частицами, можно закодировать два бита информации. В общем случае квантовый компьютер, содержащий N кубитов, может одновременно оперировать с $2N$ числами. Система из 300 атомов, каждый из которых представляет квантовый бит, может хранить больше значений, чем число частиц во всей Вселенной! При большом количестве частиц, входящих в систему, измерения состояний отдельных кубитов неизбежно будут зависеть друг от друга. Такой эффект, называемый «квантовой перепутанностью», можно представить как невидимую сеть, связывающую все частицы вместе. Принципы действия подобной сети невозможно объяснить с помощью законов классической физики.

Существуют несколько источников перепутанных квантовых систем: источник перепутанных атомов, основанный на квантовой электродинамике резонаторов; перепутанные ионы приготавливаются в электромагнитных ловушках Пауля; управляемое перепутывание между ядерными спинами в единичной молекуле реализуется в методе ядерного магнитного резонанса. Источники перепутывания в квантовой оптике оказались, на сегодняшний день, наиболее удачными для создания эффективного перепутывания [27].

Наибольшее практическое применение принципы квантовой информации находят сегодня в сфере защиты информации, передаваемой по волоконно-оптическим линиям связи. Целью криптографии является: предоставить отправителю и адресату защищенный канал обмена информацией и механизм проверки секретности такого обмена. Секретным и абсолютно защищенным,

в принципе, можно сделать любой канал передачи информации. Достаточно лишь, чтобы обмен шел сообщениями, зашифрованными криптостойким шифром и качественным секретным ключом. Секретным считаем ключ, известный лишь отправителю и адресату. Качественный ключ представляет собой абсолютно случайную последовательность 0 и 1. За относительно недолгое время существования квантовой криптографии разработано несколько квантовых протоколов, или, другими словами, алгоритмов выработки общего секретного ключа с помощью квантов и квантовых каналов связи.

Развитие квантовой связи продолжается быстрыми темпами. В 2012 г. китайским ученым удалось передать фотоны на рекордное расстояние, равное 97 км, по открытому воздуху [28]. Передача перепутанных фотонов осуществлялась при помощи лазера, мощность которого 1,3 Вт. Опыты проводились над озером, расположенным на высоте 4000 м над уровнем моря. Основная проблема в процессе передачи фотонов на такое значительное расстояние была связана с уширением луча, поэтому ученые использовали дополнительный направляющий лазер, при помощи которого подстраивались приемник и передатчик. Кроме того, фотоны терялись не только из-за уширения луча, но и по причине несовершенства оптики и турбулентности воздуха. В ходе эксперимента на расстоянии 97 км удалось передать порядка 1100 запутанных фотонов. В 2017 г. в Китае был проведен эксперимент по передаче квантовых ключей со спутника на Землю на дистанции в 1200 км. Также удалось связать две разных точки на поверхности Земли на таком же расстоянии и провести первые опыты по орбитальной квантовой телепортации. Благодаря этому было на порядок улучшено качество связи по сравнению с оптоволоконными системами.

Отметим, что ученые и раньше проводили исследования по передаче перепутанных фотонов, но дальность передачи не была большой — порядка километра. Причина тому — взаимодействие частиц со средой распространения и, как результат, потеря корреляции.

Как и в предыдущих исследованиях, передача информации была осуществлена двумя каналами — обычным и квантовым. Важным моментом в указанных процессах квантовой телепортации и квантовой криптографии является необходимость использования обычных каналов связи для передачи небольших объемов информации, в частности, о том, в каком базисе проводились измерения. Поэтому эти каналы должны быть очень надежными. Это, конечно, снижает преимущества квантовой связи. В традиционных методах связи похожая идеология осуществляется при передаче адреса (небольшой объем информации), позволяющего найти необходимую инструкцию (большой объем информации).

Можно предполагать, что сам факт редукиции состояния можно использовать для передачи информации без использования обычных каналов связи. Однако подобные эксперименты пока не проводились.

Таким образом, результаты исследований в области квантовой информации позволяют сделать вывод о возможности осуществления двусторонней дальней связи на принципах квантовой механики в недалеком будущем. Такая связь не будет иметь ограничений по дальности и глубине погружения и будет практически мгновенной и абсолютно безопасной. Учитывая революционные последствия создания подобных каналов передачи информации не только для военных целей, но и для общества в целом, целесообразно поставить это направление в ряд приоритетных исследований перспективных каналов связи.

Литература

1. Кононов Ю. М., Щорс Ю. Г. Научные проблемы связи с подводными лодками // Роль российской науки в создании отечественного подводного флота / Под ред. А. А. Саркисова. — М.: Наука, 2008. С. 409–412.
2. Lagace R. L., Curtis D. A., Foulkes J. D., Rothery J. L. Transmit antennas for portable VLF to MF wireless mine communications. — Cambridge, MA,

- USA: Arthur D. Little, Inc., 1977. USBM Contract Final Report (h0346045) Task C. Task Order No. 1. 158 p.
3. Бернштейн С. Л., Барроуз М., Эванс Д.Э. и др. Дальняя связь на крайне низких частотах // ТИИЭР, 1974. Т. 62, № 3. С. 5–30.
 4. Рязанцев А. М. Теоретические и экспериментальные результаты изучения распространения радиоволн СНЧ диапазона в волноводе Земля–ионосфера. — М.: Экос, 1982. 28 с.
 5. Burrows M. L. The submarine — towed ELE loop antenna // Radio Sci., 1976. Vol. 11. No. 4. P. 357–366.
 6. Кинг Р., Смит Г. Антенны в материальных средах / Пер. с англ. — В 2-х кн. Кн. 2. — М.: Мир, 1984. 824 с. (*King R. W. P., Smith G. S. Antennas in matter: Fundamentals, theory, and applications.* — MIT Press, 1981. 880 p.)
 7. Додонов А. В., Михеев А. Ф. Подводный радиоприем. — М.: Военное изд-во, 1996. 189 с.
 8. Чигирь В. В. Антенны подводных лодок. Принципы построения, история создания // Роль российской науки в создании отечественного подводного флота / Под. ред. А. А. Саркисова. — М.: Наука, 2008. С. 413–422.
 9. Акиндинов В. В., Нарышкин В. И., Рязанцев А. М. Электромагнитные поля в морской воде // Радиотехника и электроника, 1976. Т. 21. Вып. 5. С. 913–944.
 10. Карнаушенко Н. Н. Естественное электромагнитное поле морей и океанов в диапазоне сверхнизких частот — Севастополь, 2001. 328 с.
 11. Kaiser K. L., Palmer K. I. Cable transient voltages due to microphonics // J. Electrostat., 2007. Vol. 65. No. 12. P. 723–727.
 12. Harmuth H. F. Radiator for slowly varying electromagnetic waves. US Patent 5307081, 1994.
 13. Wood J. R. Low frequency directed energy shielding. US Patent 8373594, 2013.
 14. Сукер К. Силовая электроника. Руководство разработчика. — М.: Издательский дом «Додэка XXI», 2008. 252 с.
 15. Слюсар В. И. Метаматериалы в конструкциях антенн // Электроника: НТБ, 2009. № 8. С. 66–70.
 16. Семенов Б. А. Алгоритм компенсации помех, отличающихся от полезного сигнала симметрией спектров // 6-я Междунар. науч.-техн. конф. «Радиолокация, навигация, связь». — Воронеж, 2000.

17. Saenz A. W., Uberall H., Kelly F. J., Padgett D. W., Seeman N. Telecommunication with neutrino beams // *Science*, 1977. Vol. 198. P. 295–297.
18. Хиндин А. Проекты систем связи на атомных частицах // *Электроника*, 1978. № 11.
19. Викторов В., Александрин С. Возможность связи с помощью пучков нейтрино // *Зарубежное военное обозрение*, 1981. № 10.
20. Arnold R. C. Telecommunication using muon beams. US Patent 3970936, 1976.
21. Джоши Ч. Плазменные ускорители // *В мире науки*, 2006. № 5. С. 17–23.
22. Вейлер Т., Джелмини Г., Кузенко А. Глазами нейтрино // *В мире науки*, 2010. № 7. С. 16–23.
23. Афонин А. Г., Бирюков В. М., Гаврилушкин В. А. и др. Новые результаты по изучению эффективного вывода протонов кристаллом из 70 ГэВ ускорителя ИФВЭ // *Письма в ЖЭТФ*, 1998. Т. 68. № 7. С. 544–548.
24. Papadopoulos K. Method and apparatus for establishing low frequency/ultra low frequency and very low frequency communications. US Patent 8299936, 2012.
25. Авдеев В. Б. Оценка скоростей передачи сигналов в линиях СНЧ радиосвязи при традиционном и новом ионосферном принципах генерации сигналов // *Радиотехника*, 1997. № 5. С. 3–5.
26. Бауместер Д., Экерт А., Цайлингер А. *Физика квантовой информации*. — М.: Постмаркет, 2002. 376 с.
27. Монро К., Уайнленд Д. Ионы для квантовых компьютеров // *В мире науки* 2008. № 11. С. 72–79.
28. Прорыв в области квантовой связи. *Военное обозрение*. Вооружение. Технологии 27 сентября 2012. <https://topwar.ru/>.

2.2 Этапы развития СНЧ–СДВ радиосвязи с глубоководными объектами

В. И. Мирошников

Принятое в 1954 г. Постановление Правительства СССР о разработке баллистических ракет для ВМФ и размещения их на подводных объектах (ПО) потребовало создания системы для управления таким оружием. Задача по устойчивому доведению приказов до глобально удаленных ПО, находящихся в подледном или глубоководном состоянии, не могла быть решена с помощью традиционно используемой КВ радиосвязи. С учетом этого в рамках Программы «Глубина» по развитию связи с ПО было запланировано создание новых и модернизация существующих СНЧ–СДВ центров дальней связи, а также технических средств, включая радиопередающие и радиоприемные устройства, помехозащищенные радиолинии и антенно-фидерные устройства для береговых и подводных объектов.

Преимуществом СНЧ–СДВ радиосвязи по сравнению с декаметровый связью является относительная стабильность распространения радиоволн при возмущениях ионосферы, а также существенно меньший коэффициент ослабления напряженности поля при распространении в водной среде (см. рис. 2.1.2), что позволяет обеспечить прием информации на ПО при залипании антенны водой, а также в подледном и подводном положении при использовании буксируемых антенных устройств. Однако шумы эфира в низкочастотном диапазоне радиоволн (менее 30 кГц) значительно выше, чем в ДКМ диапазоне (см. рис. 2.2.1), что в результате приводит к необходимости снижения скорости и увеличения мощности передачи для протяженных радиотрасс.

Для примера на рис. 2.2.2 приведены значения напряженности поля сигнала в зависимости от дальности связи при ионосферном распространении СДВ и ДКМ волн. На этом же графике приведены

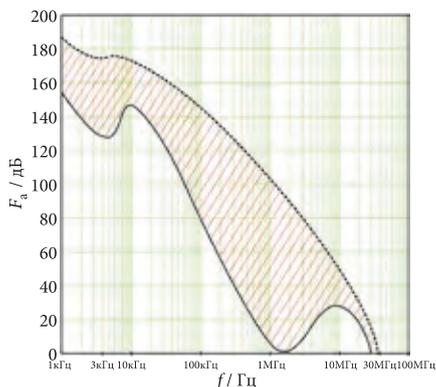


Рис.2.2.1 Значения коэффициентов внешнего шума

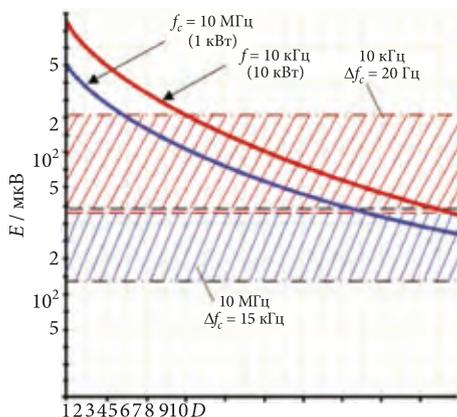


Рис. 2.2.2 Значение напряженности поля сигнала при ионосферном распространении СДВ–ДКМ волн

максимально и минимально ожидаемые значения напряженности поля шумов для соответствующих частот f_c , частотных полос Δf_c и мощности P излучаемых сигналов.

Из анализа графика следует, что в отсутствие случайных (преднамеренных) помех в ДКМ диапазоне волн даже на радиотрассах с глобальной протяженностью может быть достигнута значитель-

ная скорость передачи информации. Так, для трассы с $D \approx 6000$ км и мощности излучения сигнала $P_c \approx 1$ кВт, исходя из соотношения:

$$V = \log_2 \left(1 + \frac{P_c}{\Delta f_c N_0} \right)^{\Delta f_c},$$

где V — скорость передачи; N_0 — спектральная плотность шума, получим следующий диапазон возможных скоростей передачи для рассматриваемого случая: $V_{\min-\max} \approx 10$ –150 кбит/с, что позволяет обеспечить доведение приказа до надводных кораблей (НК) или ПО (в «перископном» положении) в реальном масштабе времени.

Оперативность управления морским объектом по СДВ каналу существенно ниже. Например, даже при минимально ожидаемом уровне атмосферных помех (см. рис. 2.2.2, черная штриховая линия) скорость передачи для достоверного доведения команды до объекта для $D \approx 6000$ км и $P_c \approx 10$ кВт составит примерно $V \approx 80$ –90 бит/с. Из представленного анализа следует, что достоверное доведение информации до удаленных ПО в СДВ диапазоне волн при скорости передачи до 10 бит/с ($\Delta f_c \approx 10$ Гц) может быть обеспечено только при $P_c > 100$ кВт.

Таким образом, для реализации требований Заказчика по устойчивому своевременному доведению приказов до глобально удаленных ПО потребовалось, в первую очередь, решить вопрос по созданию передающих СДВ радиостанций с максимальной технологически доступной мощностью излучения.

Первая в СССР мощная ($P \approx 1$ МВт) СДВ радиостанция «Голиаф» начала функционировать в 1952 г. Затем последовательно были созданы и поставлены на боевое дежурство СДВ радиостанции, символически названные в честь могущественных богов древнегреческой мифологии: «Геркулес» (г. Хабаровск, 1962 г.), «Антей» (г. Вилейка, 1964 г.), «Атлант» (г. Архангельск, 1970 г.), «Прометей» (г. Фрунзе, 1974 г.), «Геракл» (г. Краснодар, 1987 г.), а в 1985 г.

вступила в строй сверхмощная СНЧ радиостанция «Зевс» (г. Североморск).

В 1999 г. на вооружение ВМФ принят СДВ радиопередатчик «Ротор» с мощностью до 500 кВт, имеющий, за счет внедрения новых технических решений, КПД до 80 %. Кроме того, в конце прошлого века была создана приемопередающая радиостанция СДВ диапазона «Фрегат» для самолета-ретранслятора ТУ-142 МР («Орел»). Используя выпускную буксируемую тросовую антенну длиной 8,6 км, «Орел», обеспечивает доведение приказов до глубокопогруженных подводных объектов (ГППО), при этом не демаскируя их положения благодаря реализации устойчивой связи на протяженных радиотрассах.

В 2005–2015 гг. были созданы эффективные СДВ радиопередатчики в мобильном и контейнерном исполнении, в том числе РПДУ «Пятидесятник-Э» (разработчик АО «РИМР», г. Санкт-Петербург), характеристики которого приведены в табл. 2.2.1.

Параллельно с созданием континентальной инфраструктуры для передачи команд в направлении «берег–море» велась разработка и внедрение новых СДВ радиоприемных средств для сил в море, модемов с реализацией сигнально-кодовых конструкций, обеспечивающих возможность доведения информации до объектов в море в условиях воздействия случайных и преднамеренных помех. Кроме того, большое внимание уделялось созданию эффективных антенно-фидерных устройств.

На начальном этапе развития СДВ связи (в 1950-х гг.) осуществлялась передача текста сообщений азбукой Морзе. Прием на ПО велся в слуховом (неавтоматизированном) режиме, при этом использовались гониометрическая антенна «Сучок» и ламповый РПУ Р-672 «Туман» (производство Ленинградского завода № 619).

Необходимость повышения вероятностно-временных характеристик по доведению приказов на применение оружия требовало автоматизации процесса приема (для исключения субъективных ошибок оператора при работе «в слуховом режиме»).

Таблица 2.2.1 Основные технические характеристики СДВ РПДУ «Пятидесятник-Э»

№ п/п	Наименование	Значение
1	Номинальная выходная мощность	100 кВт
2	Диапазон рабочих частот	15–30 кГц
3	Режим работы: – телеграфная работа в режиме А – телеграфная работа в режиме ЧТ – телеграфная работа в режиме ОФТ с фазовым сдвигом 0° и 180°	Со скоростью до 100 бод Со скоростью от 4 до 100 бод Со скоростями 50 и 100 бод
4	Промышленный КПД радиостанции (РПДУ) в режиме несущей частоты	Не менее 70% при коэффициенте мощности 0,9
5	Время перестройки на любую частоту рабочего диапазона	Не более 30 с
6	Телеграфные искажения на выходе усилителя мощности в режимах АТ и ЧТ при скоростях до 100 бод	Не превышают 10%
7	Время перехода фазы в режиме ОФТ	Не более 2,5 мс
8	Оборудование радиостанции рассчитано для работы в следующих климатических условиях: – температура внутри контейнера – относительная влажность при температуре $+30 \pm 2$ °С	От 10 до 35 °С 70%
9	РПДУ сохраняет способность после воздействия предельных температур окружающей среды: – повышенная – пониженная	+40 °С –40 °С

Таблица 2.2.1 Основные технические характеристики СДВ РПДУ «Пятидесятник-Э»

№ п/п	Наименование	Значение
10	Электропитание радиостанции	– От внешней сети 3-фазного переменного тока напряжением 10 кВ частотой 50 Гц; – От внешней сети 3-фазного переменного тока напряжением 380 В частотой 50 Гц
11	Перестройка усилителя мощности и функциональных блоков во всем рабочем диапазоне при переходе на заданную частоту	Осуществляется автоматически
12	Возможность работы на антенну с параметрами входного импеданса – Q – X_a – R_a	До 200 От -220 до +3 Ом От 3 до 10 Ом
13	Время работы	Круглосуточно

В начале 1960-х гг. началось оснащение подводных лодок и берегового СДВ радицентра техническими средствами первой автоматизированной линии быстродействующей связи «Глубина» и новой приемной магнитной антенной СДВ диапазона типа К-656, обеспечивающей прием информации при заглублении до 5 м, при этом на ПО устанавливались радиоприемное устройство Р-676 (производство Петропавловского радиозавода п/я 6641) и оконечная приемно-регистрирующая аппаратура (разработка НИИ ЭТУ).

Таким образом, используя новую приемную магнитную антенну К-656, подводные объекты, не выдвигая демаскирующих

устройств, находясь в подповерхностном слое воды, могли скрытно осуществлять автоматический прием и регистрацию приказов от береговых пунктов управления.

В дальнейшем ПАО «Интелтех» (правопреемник НИИ ЭТУ) проводило разработку и внедрение новых комплексов (радиолиний) связи для ПО. В настоящее время разработана и поставлена на серийное производство новейшая аппаратура типа «Трасса-Э».

Аппаратура «Трасса-Э» предназначена для автоматизированного двустороннего скрытного информационного обмена береговых командных пунктов (БКП) с силами в море в режимах быстройдействующей (БД) и сверхбыстройдействующей (СБД) связи с использованием бортового и берегового СДВ–УКВ приемопередающего оборудования.

В состав аппаратуры «Трасса-Э» входят унифицированный комплект береговой аппаратуры, предназначенный для установки на БКП, и унифицированный комплект бортовой аппаратуры, предназначенный для установки на ПО и НК.

Совместно бортовая и береговая аппаратура «Трасса-Э» в автоматическом режиме осуществляет:

- двусторонний обмен короткими сообщениями БКП с ПО и НК и ПО и НК между собой в режимах БД и СБД связи;
- формирование структуры, помехоустойчивое кодирование и передачу коротких сообщений (пакетов сообщений) с БКП на силы в море и НК;
- прием, декодирование, обработку и сложение на БКП коротких сообщений (пакетов сообщений), поступивших от сил в море через территориально разнесенные КВ ПРЦ;
- одновременный прием и сложение на ПЛ и НК копий сообщений, поступивших с БКП через территориально разнесенные СДВ и КВ ПДРЦ;
- взаимный автоматический обмен квитанциями (сообщениями о приеме) БКП, силы в море при приеме каждого сообщения;

- информационное взаимодействие территориально разнесенных БКП, оборудованных аппаратурой «Трасса-Э», с целью их взаимозаменяемости;
- санкционированный ввод исходных данных, адресных таблиц, частотно-временных расписаний и программ сеансов связи на БКП, силы в море;
- визуальное отображение, документирование (распечатку) всех входящих и исходящих сообщений, ведение архива, фиксацию действий оператора аппаратуры на БКП, ПО и НК;
- разграничение доступа, сигнализацию и фиксацию фактов несанкционированного доступа к программно-техническим средствам аппаратуры;
- непрерывность информационного обмена при техническом обслуживании и ремонте аппаратуры;
- возможность включения в процесс обмена сообщениями до 100 ПО и НК;
- возможность автоматического управления исполнительными устройствами на ПО (НК).

В аппаратуре «Трасса-Э» используются программно реализованные сетевые алгоритмы автоматизированного обмена цифровой информацией и аппаратно-программные средства взаимодействия с береговым и бортовым приемо-передающим оборудованием.

Радиоприемные устройства также «прошли» длинный путь модернизации: от ламповых одноканальных до вседиапазонных многоканальных РПУ, реализованных с использованием SDR-технологии. В табл. 2.2.2 приведены характеристики современного радиоприемного устройства разработки ФГУП ОНИИП (г. Омск).

Несмотря на значительные успехи российских предприятий по созданию современных технических средств для обеспечения СДВ-радиосвязи с ГППО, перспективы развития средств разведки стран НАТО требуют дальнейшего совершенствования комплексов связи и управления ПЛ в части реализации доведения приказов до ПО, находящихся на глубинах свыше 150 м. Хотя приме

Таблица 2.2.2 Многоканальное радиоприемное устройство Р-693				
Функциональные параметры	Аппаратура			
	Р-693-1	Р-693-2	Р-693-3	Р-693-4
Всеволновый диапазон рабочих частот (0,00800–79,99999), МГц	+	+	+	+
Количество каналов приема	16	12	8	4
Количество подключаемых антенн	18	14	10	6
Поставка в составе 19-дюймовой стойки	+	+	+	+
Группа эксплуатации по ГОСТ РВ 20.39.304:				
2.1.1	+	+	+	+
2.2.1	+	+	+	+

нение радиоволн СНЧ диапазона дает возможность обеспечения связи в таких условиях, однако медленная передача (1 байт информации за 3–5 мин) не позволяет передать приказ в реальном масштабе времени с заданной достоверностью, Поэтому СНЧ связь может быть использована, в основном, в случае передачи команды для подвсплытия ПО на сеанс связи.

Из изложенного следует, что для совершенствования связи с глубоководными подводными объектами помимо создания помехозащищенных СДВ радиолиний, эффективных буксируемых антенных систем необходимо разрабатывать новые направления связи с ПО, в том числе с использованием составных радиогидроакустических каналов с задействованием буев-ретрансляторов, автономных необитаемых подводных аппаратов, выпускаемых с ПО и выполняющих задачи связи с БКП. Кроме того, необходимо развивать альтернативные нетрадиционные направления доведения информации до глубоководных подводных, ряд из которых рассмотрен в разд. 2.4.

2.3 Научные и научно-технические проблемы обеспечения оптической связи для глубоководных объектов

В. А. Яковлев, А. Г. Журенков, Ю. В. Шокин

Гидрооптика — одна из самых молодых областей как оптики, так и океанологии. С конца 1970-х гг. интенсивность исследований и число публикаций по оптике моря как в нашей стране, так и за рубежом резко возросли. Вообще, 1970–1980-е гг. — время расцвета отечественной фундаментальной и прикладной гидрооптики. С одной стороны, это стимулировалось качественно новым уровнем развития оптико-электронных методов и средств (лазерная техника, успехи спутниковой океанологии), с другой — возрос интерес к изучению и освоению Мирового океана, в том числе в военно-прикладных аспектах.

Несмотря на неблагоприятные геополитические изменения и экономические трудности, связанные с распадом СССР, Россия остается одной из ведущих морских держав, протяженность морских границ которой составляет 98,8 тыс. км, а площадь находящегося под ее юрисдикцией шельфа превышает 4,2 млн км².

В связи с этим, в числе первоочередных задач государства в этой сфере деятельности остаются повышение обороноспособности морских рубежей РФ и обеспечение экологической безопасности своих территориальных вод.

Приоритетным направлением решения этих задач является создание эффективных методов наблюдения, контроля и оценки состояния толщи морской среды и границы раздела океан–атмосфера с широким применением современных информационно-измерительных технологий.

Наиболее эффективные из них — оптические методы и средства зондирования океана с различных носителей аппаратуры,

обеспечивающие труднодостижимые другими способами высокие оперативность и репрезентативность измерительной информации в реальном масштабе времени и (главное) организацию высокоскоростных оптических каналов связи ее передачи в реальном масштабе времени для принятия необходимых управленческих решений.

По сути, обсуждаемые выше разработки оказались возможными благодаря развитию в ГОИ им. С. И. Вавилова одного из разделов оптики — оптики рассеивающих сред, к которым относятся атмосфера, гидросфера, стекло, растворы и т. п.

Основы современной оптики рассеивающих сред заложены трудами А. А. Гершуна, Н. Г. Болдырева, В. Б. Вейнберга. Фундаментом современных исследований в области оптики моря являются труды проф. А. А. Гершуна, опубликованные в 1940–1950-е гг. Практически все крупные работы за рубежом, посвященные оптике природных сред, содержат ссылки на эти труды. Одной из первых в мировой литературе работ, посвященных описанию оптических процессов в море, является монография [1].

В 1958 г. вышел в свет сборник фундаментальных трудов А. А. Гершуна [2]. Термин «гидрооптика» появился именно в это время. Позднее ограниченным тиражом вышла в свет монография [3], написанная В. Б. Вейнбергом и посвященная памяти А. А. Гершуна.

Фундаментальные работы ГОИ в эти и последующие годы в области гидрооптики были посвящены теории фотометрии полей в мутных средах, а также разработке методов приближенного решения управления переноса излучения в поглощающей и рассеивающей среде.

К таким средам относится и морская вода. Поэтому именно перечисленные выше исследования легли в основу разработки и создания элементов, узлов и комплексов открытых линий оптической связи на вертикальных (океан–атмосфера–космос) и горизонтальных (море–суша, море–море) трассах. При этом при определении требований к параметрам каналов связи всегда учитывались потребности средств освещения подводной и надводной обстановки, систем

и комплексов пеленгации, локации и управления различными видами носителей оптической аппаратуры, включая выдачу целеуказаний для морского подводного оружия.

Исторически для обеспечения беспроводным обменом информацией в атмосфере успешно используются радиоволны, а в толще водной среды — акустика. В связи с возникшей потребностью организации вертикальных каналов передачи информации между абонентами по трассе «атмосфера – морская поверхность – толща океана» начались интенсивные исследования возможностей их создания.

По понятным причинам акустические технологии с использованием подвижных авиакосмических носителей приемопередающей аппаратуры не рассматривались. Основное внимание было уделено электромагнитным волнам, включая оптический диапазон. При этом одним из важных параметров перспективности и области применимости того или иного диапазона длин волн (частот) электромагнитных колебаний являются глубина их проникновения в толщу морской среды с обеспечением возможности регистрации сигнала на подводном объекте (ПО). Именно наличие «окон прозрачности» морской воды в оптическом диапазоне электромагнитного излучения (рис. 2.3.1), серьезный научно-технический задел по теоретическим и экспериментальным исследованиям в области оптики природных сред (атмосфера, морская поверхность, океан) предопределили резкий скачок интереса к организации оптических каналов связи по трассе «летательный аппарат (ЛО) – ПО» [4–9].

По мере возрастания требований к каналам связи:

- сохранение скрытности местоположения ПО;
- отсутствие ограничений по маневрированию по курсу и скорости хода ПО;
- обеспечение высокой скорости и объема передаваемой информации;
- помехозащищенность от преднамеренных помех и скрытность — оказалось, что оптические каналы связи во многом способны удовлетворять запросам ВМФ РФ.

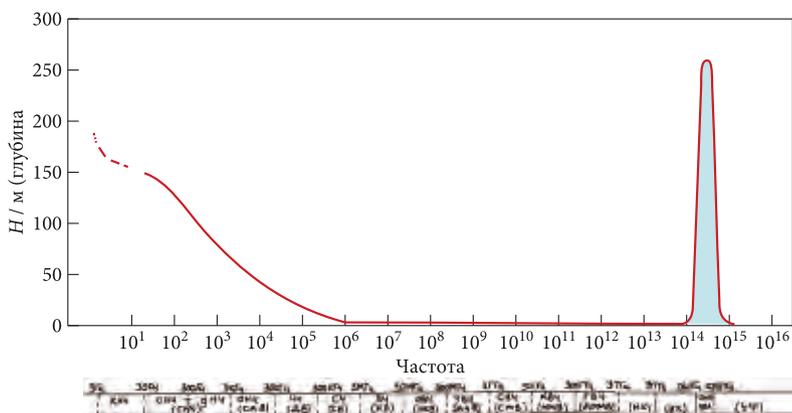


Рис. 2.3.1 Место оптического диапазона в создании канала связи «атмосфера–океан»

Именно по этим направлениям с начала 1970-х гг. и по настоящее время в ГОИ им. С. И. Вавилова проводятся исследования и разработки (более двух десятков успешно выполненных НИОКР).

В этих работах были выполнены:

- теоретические расчеты по распространению лазерного излучения в атмосфере и воде с учетом границы раздела сред;
- расчеты оптических систем различной конфигурации и для различных носителей;
- разработаны и созданы светофильтры, в том числе «атомные»;
- созданы системы наведения и сканирования;
- созданы и оптимизированы лазеры и оптические системы фотоприемников.

С 1974 г. ГОИ участвовал в натуральных экспериментальных испытаниях каналов связи на Тихом океане (самолет–ПО, тема «Люмен»), в Баренцевом море (самолет–ПО, по теме «Эпоха») (рис. 2.3.2) в эксперименте по передаче оптических сигналов с космического аппарата на погруженный фотоприемник (НИОКР «Свет») (рис. 2.3.3). В ряде натуральных экспериментов был испытан двусторонний канал связи между вертолетом и подводным объектом (рис. 2.3.4, НИОКР «Альбатрос»).



Рис. 2.3.2 Натурные испытания по теме «Эпоха»



Рис. 2.3.3 Схема натурального эксперимента «Свет»



Рис. 2.3.4 Натурные эксперименты в рамках НИОКР «Альбатрос»

нических характеристик (ТТХ) канала. Для этого специалистами ГОИ впервые в мировой практике был создан лазер на парах меди для борта вертолета (самолета) со средней мощностью 20–100 Вт

В начале 1980-х гг. в Абхазии была создана морская научно-исследовательская станция (МНИС ГОИ) — филиал ГОИ им. С. И. Вавилова. В течение 15 лет на аттестованном гидрооптическом полигоне МНИС ГОИ проходили испытания оптических средств связи для разнородных объектов ВМФ (рис. 2.3.5) Получен обширный массив экспериментальных данных, созданы достоверные, экспериментально проверенные методики расчета тактико-тех-



Пирс МИНС



Лабораторный корпус МИНС



НИС «Гидрооптик»

Рис. 2.3.5 МИНС ГОИ им. С.И. Вавилова

в окнах прозрачности морской воды, созданы многоспектральные фотоприемники ПО (рис. 2.3.6) для пространственной селекции фона, фотодетекторы с автоматическим выбором (с предсказанием) в условиях флуктуаций фоновой засветки.

В 1987 г., как уже упоминалось выше, при участии ГОИ был проведен натурный эксперимент «Свет». В эксперименте участвовали: космический аппарат «Прогресс» с КТС «Свет-Б», состыкованный с орбитальной станцией «Мир», и два надводных корабля (в Атлантическом



Рис. 2.3.6 Подводный приемный модуль для оптической линии связи»

и Тихом океанах) с погружаемыми фотоприемниками (см. рис. 2.3.3). Из запланированных 22-х сеансов успешно было проведено 18. В результате эксперимента продемонстрирована возможность создания космической линии связи с ПО и на практике подтверждены положения физико-математической модели данной линии связи.

Последующие работы планировалось направить на сбор статистических данных, необходимых для создания штатной линии связи

и совершенствования элементов аппаратуры, с целью обеспечения функционирования при любых гидрометеороусловиях в любое время суток. К 1989 г. работы по данным направлениям подошли к стадии создания экспериментальной лазерной линии связи «космический аппарат – ПО» Однако, начиная с 1990 г., эти работы практически не финансировались и головной исполнитель — Московский научно-исследовательский институт радиосвязи (МНИИРС) прекратил все разработки по данной тематике.

Несмотря на это в ГОИ продолжались работы по данному направлению по темам «Полюс», «Толка» и «Токай» совместно с КБ «Салют» и в/ч 60130.

Именно в это тяжелое для научного направления время создания оптических каналов связи в гидросфере в интересах ВМФ (впрочем, как и для всей отечественной науки в целом) неопределимую помощь и поддержку оказал Научный Совет при Президиуме РАН по комплексной проблеме «Радиофизические методы исследования морей и океанов» (руководитель — академик В. А. Котельников, ученый секретарь — доктор физ.-мат. наук Ю. Г. Щорс). Несмотря на жесточайший кризис в финансировании научно-исследовательских работ,

благодаря предложению Научного Совета и поддержке Управления Связи ВМФ и Радиотехнического управления ВМФ, были открыты с 2001 г. две научно-исследовательские темы ГОИ в области информационно-оптических технологий в гидросфере:

- НИР «Исследование возможности создания принципиально новой и совершенствования существующей элементной базы для оптических линий связи с подводными объектами (ПО) ВМФ» (шифр «НОКС-НКС»);
- НИР «Исследование принципов и путей создания оптических приемников звука на основе теневого метода для антенных систем гидроакустических средств» (шифр «Эхо»).

Анализ результатов НИР «Эхо» не входит в тематику данной статьи, поэтому остановимся на основных результатах НИР «НОКС-НКС», которая, по нашему мнению, является базовой для всех последующих работ по данному направлению. Эта работа выполнялась по заказу Управления Связи ВМФ (по плану фундаментальных прогнозных и поисковых работ). Ниже перечислены основные результаты:

1. Систематизирована и уточнена физико-математическая модель лазерного канала связи «космический аппарат – подводный объект» (КА–ПО). Эта модель может быть использована не только для разработки лазерного канала связи и его составляющих элементов, но и для оперативного применения при расчете возможности доведения сообщений до ПО в различные районы Мирового океана.
2. Разработана имитационная модель лазерного канала связи с погруженными ПО. На основании этой модели возможно оптимизировать орбитальное построение системы с учетом районов плавания ПО (рис. 2.3.7), оптимизировать лазерный передающий тракт КА и фотоприемника ПО с точки зрения обеспечения необходимой своевременности и надежности связи.
3. Обоснованы требования к оптико-электронным системам и узлам. Показано, что для связи с глубоководными погруженными ПО средняя мощность лазера должна составлять 100–200 Вт. Определено,

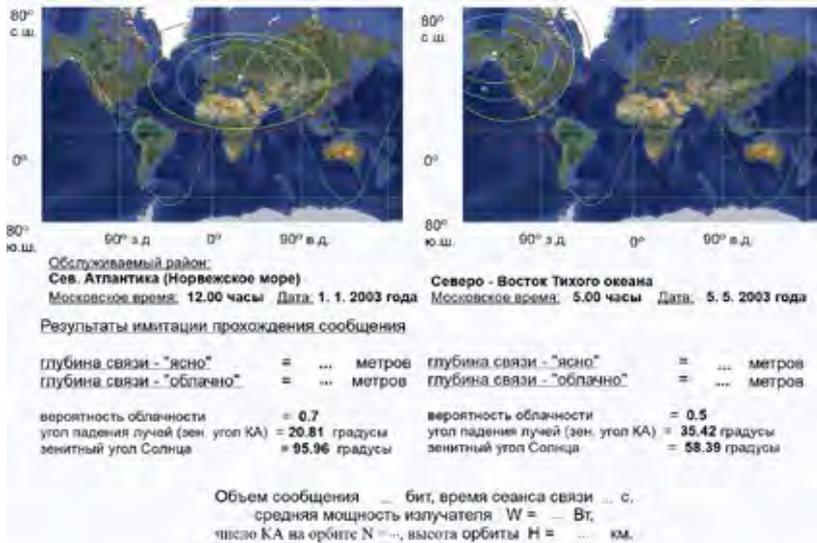


Рис. 2.3.7 Пример имитационного моделирования оптического канала связи с погруженными объектами

что для повышения глубины связи целесообразно применение двух фотоприемников: один для дневных условий — с узкополосным светофильтром, а другой — со стеклянным светофильтром и повышенной площадью фоточувствительной поверхности. Ширина полосы пропускания узкополосного светофильтра должна быть менее 0,001 нм, а угол зрения — более 120°.

4. Выполнен анализ последних достижений по созданию лазеров с требуемыми параметрами. В качестве лазерного излучателя на космическом аппарате целесообразно использовать твердотельные неодимовые лазеры и лазеры на основе титан-сапфира, способные перестраиваться в голубую область спектра. Перспективны твердотельные лазеры с диодной накачкой и эксимерные лазеры на ХеСl с вынужденным комбинационным рассеянием на парах свинца. Также даны технические предложения по созданию лазеров на парах меди с высокой частотой повторения

импульсов (до 5 кГц), которые перспективны для лазерного канала связи «самолет (вертолет) – подводный объект».

5. Рассмотрены пути построения узкополосных светофильтров с широким полем зрения. Показано, что по критерию собственной характеристики фотоприемника среди разработанных в ГОИ светофильтров наиболее эффективен атомный резонансный фильтр на парах цезия с полосой пропускания 0,001 нм и углом зрения более 90°. Недостаток этого фильтра — в фиксированной рабочей частоте. Для его устранения целесообразно разработать атомные резонансные фильтры на парах металлов с лазерной накачкой. В качестве альтернативных решений по узкополосной фильтрации рассеянного света предложены фильтры на основе выжигания узких спектральных провалов в матрицах с примесными центрами и на основе упорядоченных трехмерных структур в оптических материалах.

За рубежом также проводились и проводятся исследования и разработки по оптической связи с погруженными подвижными объектами. К 1987 г. в рамках проекта «DOLPHIN» разработана экспериментальная линия связи «самолет–ПЛ», на которой были проведены испытания и исследована техническая возможность создания двусторонней связи ЛА или КА с ПЛ [10–14]. В результате выполненных работ создан узкополосный по частоте и широкоугольный по полю зрения светофильтр на парах цезия для устранения помех солнечной засветки. Но к тому времени еще не было создано достаточно надежных и эффективных лазерных систем для работы с этим фильтром.

В 1980-х гг. основное внимание уделялось глобальной связи со стратегическими ПЛ с использованием КА с лазерами на борту. Однако из-за ненадежности, низкого КПД и ресурса работы лазеров, а также из-за большей стоимости КА широкомасштабные работы в этом направлении в 1990-х гг. были приостановлены, но разработка элементов (лазеров, фотоприемников, фильтров) продолжалась при резко ограниченном финансировании.

В дальнейшем, к 2005 г. в США были достигнуты успехи в разработке лазеров голубого диапазона, пригодных для работы с цезиевым фильтром, что позволило возобновить прерванные ранее работы. Ввиду ограниченного финансирования эти работы продолжаются, в основном, в плане создания тактической связи с погруженными ПО. После приобретения опыта эксплуатации и накопления статистических данных по распространению и приему оптических сигналов на погруженных ПО возможно дальнейшее развитие космической оптической связи с ПО.

В США по программе, проводимой управлением DARPA (DARPA-ВВА-10-25) [11–14], разрабатывается система тактической оптической связи с ПО «The Tactical Relay Information Network» (шифр «TRITON») для передачи сообщений с ЛА на ПО без использования ею выпускных буксируемых устройств, снижающих маневренность и скрытность ПО. В системе «ТРИТОН» предусматривается также и передача оптических сигналов с ПО в направлении на ЛА. Данная система повысит эффективность решения задач поиска, обнаружения и слежения за ПО при тактическом взаимодействии разнородных сил и средств ВМС США.

Основная проблема состоит в том, что для оптического канала связи (ОКС) нужен чрезвычайно узкополосный светофильтр с полосой пропускания порядка 0,01–0,001 нм. Такой фильтр разработан, но лазера для него с такой узкой полосой излучения и достаточно высоким КПД не было создано. По заказу Управления DARPA разработан новый голубой лазер с приемлемым КПД для эффективного фотоприемника с цезиевым фильтром (CsFLF). Ранее использовался эксимерный лазер на ХеСl или твердотельный лазер на сапфире с примесью титана. Оба лазера имели низкий КПД, ненадежны в работе и были сложными в эксплуатации, особенно ХеСl лазер.

Общее назначение программы «TRITON» состоит в создании системы дуплексной оптической связи для ПО, работающей в голубом спектре, испытание которой проведено в 2012 г. во время учений ВМС в Тихом океане (RIMPAK). Целью испытаний было подтверждение

того, что голубой лазер обеспечивает значительное улучшение связи с ПО, идущим на скорости и большой глубине. Основная задача — наведение ПО на район поиска, поиск и слежение за ПО вероятного противника и уничтожение целей по целеуказанию, переданному на погруженный ПО. В программе «TRITON» продемонстрирована дуплексная связь для ПО, находящегося на глубине, значительно превосходящей глубину связи при использовании мощного зеленого лазера, применяемого ранее с кварцевыми или двухцветными фильтрами для испытаний компонентов системы связи.

В таблице представлен образец целей испытаний и приоритетов.

Тактико-технические характеристики по программе «TRITON» включают в себя требования к поиску ПО в определенном районе, требования относительно слежения и сопровождения ПЛ, требования к лазерному передатчику и фотоприемнику с цезиевым фильтром.

Для обеспечения дуплексной связи по задачам противолодочной обороны (ASW) предполагается стратегия запрос–ответ. Оценивается, насколько предлагаемый проект удовлетворяет требованиям ВМС США для работы в открытых океанических водах, в прибрежных водах, в ясную погоду и при облачности. Скрытность восходящей линии связи, особенно в ночное время, является ключевым условием ее осуществления в дальнейшем. Должна быть также отработана модель ОКС для различных условий приема.

По выполнении проекта «TRITON» должны быть определены возможности его применения для поиска, слежения и сопровождения ПО, использования в силах специального назначения, для разведки, наблюдения, рекогносцировки, а также в информационных операциях для дезинформации вероятного противника и нанесения точного удара по данным целеуказания.

По нашим оценкам данная линия высокоскоростной тактической связи «TRITON» может обеспечить глубину связи в открытых океанических водах 250 м ночью (80 м при облачности) и 120 м днем (50 м при облачности) без использования выпускных буксируемых

Образец целей испытаний и приоритетов		
Приоритет	Цель	Категория
1	Демонстрация требований к системе связи	Операционная
2А	Демонстрация дуплексной лазерной связи	Операционная
2В	Демонстрация создания канала связи	Операционная
2С	Демонстрация автоматического захвата и сопровождения с целью получения данных	Операционная
3	Демонстрация связи при нисходящих углах $> 70^\circ$	Операционная
4А	Измерение оптических свойств облаков и океана	Техническая
4В	Оценка количества выделенных средств на систему	Техническая
4С	Демонстрация вероятности обнаружения во время учений SCORE и RIMPAC	Техническая
5	Выполнение эксперимента по определению стратегии капиталовложений для использования на платформах, находящихся на большей высоте	Полезность Экономическая выгода
6	Определение оптических потерь и временного расширения импульса при распространении от облаков и океанской воды и сравнение с моделями B-SLC	Научная

устройств, которые обычно используются при радиосвязи и ограничивают скорость, маневрирование, глубину связи, а также снижают скрытность ПО. Скорость передачи информации при этом ограничена из-за существенных энергетических потерь в воде и рассеянии в воде и облаках. Рассеяние в воде не позволяет превысить скорость передачи свыше 10 Мбит/с при глубинах погружения ПО

свыше 100 м, а рассеяние в облаках ограничивает скорость передачи до 0,1 Мбит/с.

Возможны варианты создания на базе данных исследований относительно низкоскоростного ОКС для увеличения глубины связи. В этом случае при скорости передачи 100–200 бит/с можно обеспечить глубину связи в открытых океанических водах 300 м ночью (120 м при облачности) и 150 м днем (80 м при облачности) без использования выпускных буксируемых устройств.

В нашей стране также рассматривается возможность создания двустороннего ОКС между ПО и ЛА, в том числе высотным беспилотным ЛА (БЛА) или КА. Согласно работам [15, 16] двусторонний ОКС позволит осуществить высокоскоростной обмен данными, передать на ПО целеуказания, полетные задания, навигационную информацию и получать от ПО квитанции и различные сообщения без всплытия его на поверхность моря.

В связи с прекращением финансирования ВМФ фундаментальных научно-исследовательских работ дальнейшие разработки ГОИ по данному направлению после окончания НИР «НОКС-НКС» велись в рамках перспективных исследований за счет собственных средств и средств Минобрнауки.

Важно, что планы и результаты исследований и разработок ГОИ согласовывались и обсуждались широким кругом специалистов промышленности, РАН и ведущих институтов ВМФ. В ходе исследований были разработаны предложения по постановке ОКР «Разработка и создание оптического канала связи и навигации «летательный аппарат – подводный объект» (шифр «НОКС-ЛА»).

Данные предложения доложены и согласованы Научным Советом при Президиуме РАН по комплексной проблеме «Радиофизические методы исследования морей и океанов» (исх. № 10313 от 23.06.08 и исх. № 17_110313 от 23.12.11).

В 2012 г. Экспертный совет ВМФ провел экспертизу по теме: «Рассмотрение предложений ФГУП «НПК «ГОИ им. С. И. Вавилова» о создании оптических каналов связи (ОКС) по трассе «кос-

мос – атмосфера – толща океана» в интересах ВМФ» и подтвердил целесообразность выполнения разработок по данной тематике (исх. № 28/1/192 от 04.12.2012). В 1913 г. совместно Управлением Связи ВМФ РФ и ГОИ им. С. И. Вавилова была разработана концепция организации каналов оптической связи между разнородными объектами ВМФ РФ, которая была подробно рассмотрена и одобрена на двух заседаниях НТС ВПК при Правительстве РФ в 2013 г. (14.02.2013 и 09.04.2013). В итоге было принято решение о поэтапной реализации каналов связи для разнородных объектов ВМФ РФ (рис. 2.3.8 и 2.3.9).

Во исполнение данного решения в ГОИ были продолжены исследования за счет средств федерального бюджета, полученных по контракту с Министерством образования и науки РФ в рамках НИР «Исследование принципов создания беспроводной оптической связи для дистанционного управления подводными роботизированными объектами», тематика которой имела много общего с рассматриваемой здесь проблемой.

В частности, речь шла об оптимизации оптических фильтров для обсуждаемых каналов связи. В качестве примеров результатов работы на рис. 2.3.10 показано, как при использовании светофильтров мощность применяемых лазерных источников может быть снижена на несколько порядков при одной и той же пространственной конфигурации каналов связи.



Рис. 2.3.8 Оптические каналы связи с разнородными объектами

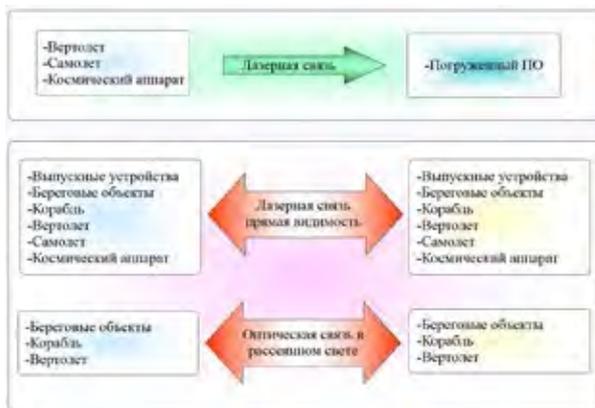


Рис. 2.3.9 Основные направления разработок ОКС

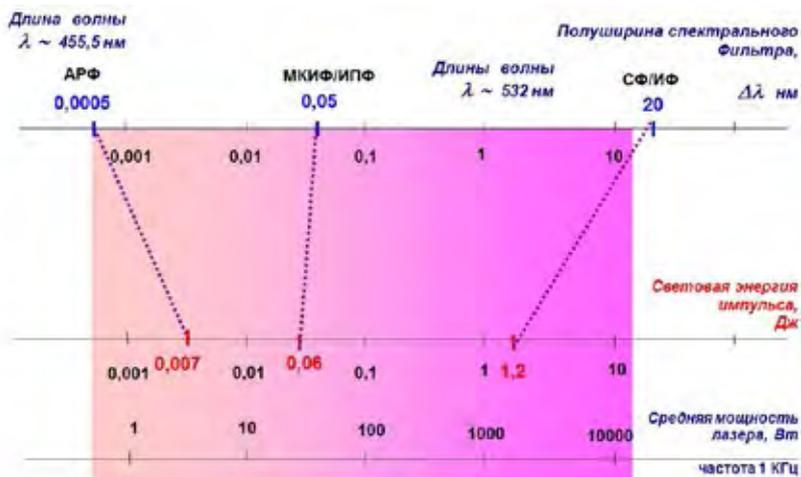


Рис. 2.3.10 Зависимость мощности лазерного источника от ширины полосы пропускания светофильтра приемного устройства. Расчеты проведены при следующих параметрах: Солнце находится в зените; глубина приема = = 100 м; отношение сигнал/шум = 10

Наиболее реальным для практического применения вариантом является использование оптических фильтров на основе атомарных сред [17, 18], которые характеризуются высокой однородностью параметров по апертуре фильтра и независимостью длины волны пропускания от внешних условий, обусловленной стабильностью частоты атомных переходов. В силу всех этих уникальных качеств фильтры на атомарных средах являются наиболее оптимальными для селекции узкополосного рассеянного сигнала на фоне широкополосных оптических помех. В ГОИ им. С. И. Вавилова в 1986 г. был создан и исследован фильтр на парах цезия, работающий в голубой области спектра (455,5 нм), а также разработан твердотельный титан-сапфировый лазер для излучения в данной области.

Типичная для этих фильтров ширина полосы пропускания 0,001 нм. Они имеют высокую однородность оптических характеристик по апертуре фильтра, широкий угол зрения, обусловленный изотропностью атомных паров, и гарантированную стабильность положения центральной частоты полосы пропускания. Последнее обстоятельство позволяет создавать матричные конструкции узкополосных фильтров, состоящих из большого количества одинаковых ячеек с атомными парами, которые имеют принципиально одинаковые характеристики.

На рис. 2.3.11 приведены вероятности доведения сообщений на глубине 100 метров в дневное время при мощности лазера 100 Вт и использовании атомно-резонансного цезиевого оптического фильтра в спектральной полосе $\lambda = 455,5 \pm 0,0005$ нм.

Для обсуждения перечисленных выше проблем в ноябре 2018 г. состоялось специальное заседание Бюро Научного Совета при Президиуме РАН по комплексной проблеме дальней связи (председатель Научного Совета — академик Ю. В. Гуляев, ученый секретарь Научного Совета — доктор физ.-мат. наук Ю. Г. Щорс). На заседании был заслушан доклад Главного конструктора ГОИ по гидрооптике и оптической связи, доктора физ.-мат. наук В. А. Яковлева о состоянии дел по направлению «Оптическая связь в интересах ВМФ».

Объем сообщения (бит)	Ясно	Облачно
10^1 (режим сканирования площадками $10 \times 10 \text{ км}^2$)	100 %	100 %
10^2 (режим сканирования площадками $30 \times 30 \text{ км}^2$)	100 %	70 %
10^6 (без сканирования)	60 %	55 %

Рис. 2.3.11 Вероятность доведения сообщений на глубине 100 метров в дневное время, при мощности лазера 100 Вт в спектральной полосе $\Delta\lambda = 0,0005$ нм ($\lambda = 455,5$ нм)

По результатам обсуждения доклада для практического решения рассмотренных проблем была рекомендована постановка комплексной НИР по актуализации данного направления с учетом современного состояния отечественной элементной базы. В рамках КНИР предполагается выполнение теоретических и экспериментальных исследований по:

- созданию мощного лазерного источника со специальным режимом генерации излучения, обладающим высокой надежностью и длительным рабочим ресурсом;
- оптимизации работы пары «лазерный излучатель – приемник» в задаче распространения света «космос–атмосфера–вода–приемник»;
- стабилизации длины волны оптического лазерного излучателя с высокой точностью (до $\Delta\lambda \sim 0,001$ нм) для согласования со спектром пропускания воды и фильтров, отсекающих солнечный свет;

- созданию нового поколения сверхузкополосных светофильтров, в том числе атомно-резонансных цезиевых фильтров, и высокочувствительных малощумящих селективных приемников;
- разработке методики измерения светового поля под водой многоканальной фотоприемной системой при плавании подводного объекта в реальных условиях (глубины, акватории океана, гидрометеоусловия и т. п.);
- разработке программы и методики натурных экспериментальных исследований на макете оптического лазерного канала связи.

Кроме того, на упомянутом выше заседании Бюро Научного совета при Президиуме РАН в силу комплексности и многоплановости данной работы был обсужден состав участников кооперации по ее выполнению из числа организаций промышленности, институтов РАН, ведущих институтов ВМФ.

Литература

1. Березкин В. А., Гершун А. А., Янишевский Ю. Д. Прозрачность и цвет моря. — Л.: Изд-во ВМА ВМФ, 1940. 123 с.
2. Гершун А. А. Избранные труды по фотометрии и светотехнике. — М.: ГИТТЛ. 1958. 548 с.
3. Вейнберг В. Б. Гидрофотометрия. — М.: Техника, 1958.
4. Конов Ю. М., Щорс Ю. Г. Научные проблемы связи с подводными лодками // Роль российской науки в создании отечественного подводного флота. — Электронная библиотека «История Росатома», 2008. http://elib.biblioatom.ru/text/rol-nauki-v-sozdanii-podvodnogo-flota_2008/go,410/.
5. Гончаров Э. Г., Журенков А. Г., Шульженко П. К., Яковлев В. А. Работы «ГОИ им. С. И. Вавилова» по созданию и применению гидрооптических систем различного назначения: Исторический обзор и перспективы // Сб. материалов конференции «Прикладная оптика». — СПб., 2010. С. 131–137.
6. Рочев А. М., Шокин Ю. В. Системы беспроводной высокоскоростной оптической связи между подводными объектами // Научно-технич. сб. НИЦ связи ВМФ 24 ЦНИИ МО РФ, 2013. Вып. 1(165).

7. Пахотин В. А., Рочев А. М., Шокин Ю. В. Принципы построения оптических линий связи с кораблями ВМФ // Научно-технич. сб. НИЦ ТТ ВМФ КК и СОИ и Р НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ «ВМА», 2015. Вып. 1(167).
8. Журенков А. Г., Яковлев В. А. Оптические технологии в гидросфере: история и перспективы // Оптический ж., 2018. Т. 85. № 11. <http://www.opticjourn.ru/ВР/08-11П-18.doc>.
9. Журенков А. Г. Применение информационно-оптических технологий для исследования и освоения Мирового океана // Освоение морских глубин. — Издательский дом «Оружие и технологии», 2018. 468 с.
10. Submarine communications systems. <http://whatreallyhappened.com/RANCHO/CRASH/TWA/SUBCOMM.html>.
11. Broad Agency Announcement "Tactical relay information network" (TRITON). Program strategic technology DARPA-BAA-10-25, January 29, 2010. https://www.fbo.gov/index?s=opportunity&mode=form&id=da3c628f0d6e49c896222da7487b7699&tab=core&_cview=1; <https://www.fbo.gov/utills/view?id=5aea852e3226df6429b655611523036b>.
12. DARPA pushes submarine laser communications technology for ASW operations // Military Aerospace Electronics, Jan 31, 2010. <http://www.militaryaerospace.com/index/display/article-display/372765/articles/military-aerospace-electronics/online-news-2/2010/01/darpa-pushes-submarine-laser-communications-technology-for-asw-operations.html>.
13. QinetiQ lands \$32M submarine laser project // Optics.org. NEWS & ANALYSIS, Sep 27, 2010. <http://optics.org/news/1/4/21>.
14. RIMPAC 2012: Great Green Fleet, communications and Yellow Sea security. Submarine-friendly blue laser communications, June 12, 2012. naval-technology.com.
15. Катенин В. А., Сысуев Ю. Н., Чернов В. И., Чубыкин А. А. К вопросу об использовании лазеров космического базирования для подводной навигации // Военная мысль, 2010. Вып. 2.
16. Катенин В. А., Чубыкин А. А. Способ координатно-информационного обеспечения подводных мобильных объектов. Патент РФ № 2390098, 2010.
17. Кулясов В. Н., Шилов В. Б., Яковлев В. А. Флуоресцентные фильтры на парах атомов щелочных металлов // Оптический ж., 2016. Т. 83. № 6. С. 44–47.
18. Кулясов В. Н., Шилов В. Б., Яковлев В. А. Быстродействие флуоресцентных фильтров на парах атомов цезия и рубидия // Оптический ж., 2016. Т. 83. № 11. С. 31–33.

2.4 Научные и научно-технические проблемы обеспечения дальней передачи сейсмических сигналов на глубоководные объекты

*Академик РАН А. С. Алексеев,
д.т.н. М. С. Хайретдинов*

2.4.1 Основные идеи использования сейсмических волн для передачи сигналов на глубоководные объекты

В историческом плане вопросы сверхдальнего распространения сейсмических волн впервые стали изучаться в связи с регистрацией удаленных землетрясений, а с 1950-х гг. — ядерных взрывов. В обоих случаях приходилось иметь дело с мощными источниками сейсмических волн, которые регистрируются во всех частях Земли. С точки зрения экологической безопасности и повторяемости результатов исследований в 1970-х гг. в СССР были начаты работы по передаче–приему на дальние расстояния сравнительно мало-мощных колебаний, возбуждаемых в среде сейсмическими вибраторами. Интерес к проблеме передачи информационных сигналов через Землю обусловлен рядом преимуществ, которыми обладает сейсмический канал по сравнению с традиционными каналами морской связи. Основные из них [1]:

- неограниченная глубина действия;
- неразрушаемость среды распространения волн;
- высокая живучесть средств передачи–приема в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций.

Средства передачи–приема этого канала могут быть размещены глубоко под землей, а непосредственно среда переноса сейсмических колебаний — Земля — принципиально неразрушаема. На боль-

ших удалениях от излучателя сейсмический волновой фронт имеет направление выхода к границе «дно–море», близкое к вертикали. Это означает, что уровень принимаемых сейсмических колебаний с помощью заглубленных датчиков тем выше, чем больше величина их заглубления. К тому же при этом повышается помехоустойчивость приема, поскольку известно, что уровень поверхностных шумов с глубиной убывает по экспоненциальному закону.

С учетом перечисленных преимуществ можно говорить о потенциальной возможности гарантированной передачи информационных сигналов через Землю в чрезвычайных условиях. Такие сигналы передаются с помощью сейсмических волн, возбуждаемых в Земле мощными подземными вибраторами в инфранизком диапазоне частот. Благодаря этому обеспечивается высокая проникающая способность сейсмических колебаний по глубине и дальности.

Постановка работ по проблеме создания систем дальней передачи сейсмических сигналов (в дальнейшем «система») была инициирована, начиная с 1977 г., рядом директивных постановлений центральных органов власти в СССР.

Основные направления работ по созданию системы, определенные директивными документами, включали в себя:

- разработку и создание мощных сейсмических вибраторов, и построение на их основе излучающего центра;
- изучение закономерностей распространения сейсмических колебаний вдоль сверхпротяженных трасс и условий их приема на заглубленных объектах с целью оптимизации параметров средств излучения и приема сейсмических колебаний;
- разработку и создание аппаратуры регистрации и обработки сейсмических сигналов и анализа помех;
- проведение широкого круга натурных экспериментов по зондированию наземных и смешанных («берег–море») трасс;
- изыскание методов повышения основных характеристик сейсмической системы;

- разработку физических основ функционирования системы и построение ее физико-математической модели;
- создание действующего макета системы и оценивание ее основных характеристик.

В период 1977–2003 гг. были поставлены и успешно выполнены ряд НИР, которые охватывали весь спектр исследований, включая физические основы линии дальней передачи, разработки и создания источников излучения сейсмических колебаний, систем приема и алгоритмов обработки информации и широкий круг экспериментальных работ на суше и акваториях.

2.4.2 Особенности излучения и распространения сейсмических колебаний на протяженных трассах

По аналогии с традиционными радиосистемами дальней передачи сигналов система дальней передачи сейсмических сигналов (ДПСС) состоит из источника регулярных сейсмических колебаний — вибраторов, канала распространения колебаний — Земли, преобразователей сейсмических колебаний — сейсмоприемников либо гидрофонов, устройства выделения полезных сейсмических сигналов на фоне многократно превосходящих помех. Для проведения экспериментальных исследований в качестве сейсмических источников были разработаны и использованы мощные вибраторы как наземного, так и подводного базирования, морские пневмоизлучатели. Наиболее широко использовались наземные вибраторы как наиболее отработанные для проведения массовых и продолжительных экспериментов. Несмотря на разнообразие конструктивного исполнения, все вибраторы по сути своей представляют осциллирующий на дневной поверхности штамп, порождающий в земле разные типы волн — продольные P , поперечные S и поверхностные волны типа релеевских — R .

Для ДПСС наибольший интерес представляют «скоростные» волны P и S , достигающие скорости распространения на расстояниях до 104 км соответственно $V_p = 10\text{--}11$ км/с, $V_s = 6\text{--}6,5$ км/с.

Как канал для передачи сигналов Земля характеризуется следующими основными особенностями.

1. Суперпозиция различного типа волн в точке приема, поэтому по мере их вступления варьируют амплитуда и фаза суммарного колебания. С этой точки зрения по аналогии с радиосвязью, например, в КВ-диапазоне, наблюдается явление многолучевости распространения колебаний. Особенность ее состоит в том, что она обладает высокой повторяемостью, поскольку геофизические характеристики Земли во времени дрейфуют очень медленно. Следовательно, многолучевость может быть предварительно изучена и учтена. Многолучевость в сейсмическом канале может быть причиной провалов приема на некоторых частотах в заданной точке пространства. Такие точки («черные дыры») в вероятностном смысле будут проявляться в пространстве периодически и станут источником регулярной флуктуации амплитуды сигнала по пространственной координате. Это повлечет к снижению помехоустойчивости приема, особенно на движущемся приемнике.
2. Частотно-зависимое затухание сигналов с увеличением дальности приема. Это происходит вследствие проявления эффектов рассеяния волн на неоднородностях и диссипативных потерь энергии сейсмических волн из-за неидеальной упругости среды. Как следствие проявления этих факторов на телесеismicкие расстояния (до 1000 км и более) с малым затуханием распространяются лишь сигналы низких частот (1–5 Гц).
3. Высокая проникающая способность сейсмических волн по глубине. Это обстоятельство дает несомненное преимущество сейсмическому каналу перед остальными, когда речь идет о передаче сигналов на заглубленные приемники без ограничения глубины.
4. Индивидуальные особенности («портрет») неоднородностей для заданной трассы «излучатель–приемник». Это позволяет реализовать имитостойкий прием «своего» источника информации в отличие от «чужого».

5. Наличие зоны тени, обусловленной преломлением P -волн на границе «мантия–ядро». Зона тени приводит к резкому ослаблению P -волн в диапазоне дальностей 1000–1500 км, после чего уровень их восстанавливается. Экспериментально это явление подтверждено при регистрации землетрясений и ядерных взрывов [2]. Эта особенность накладывает требование на расположение пунктов приема.
6. Нарастание скоростей распространения основных типов волн в зависимости от глубины [3], которые могут быть оценены с помощью годографов Джефриса [4] в диапазоне эпицентральных расстояний до 180°.
7. Проявление нелинейных процессов излучения и распространения вибросейсмических сигналов. Учет такой особенности способствует повышению помехоустойчивости и имитостойкости приема.

Принципиальные возможности дальнего распространения и приема сейсмических колебаний были доказаны в работах [5–7].

2.4.3 Оценивание энергетических характеристик линии дальней передачи сейсмических колебаний

В сейсмологии характер затухания сейсмических волн в диапазоне расстояний 100–10000 км описывается с помощью калибровочных кривых затухания продольных волн P [2]. Такие кривые являются результатом усреднения по множеству данных регистрации ядерных и промышленных взрывов, землетрясений и соответственно отражают закономерность ослабления сейсмических волн по расстоянию. Вид их представлен на рис. 2.4.1.

Особенность представленных графиков состоит в том, что они описывают в логарифмическом масштабе закономерность затухания волн в диапазоне 100–900 км по линейному закону.

В диапазоне 900–1100 км амплитуда волн практически постоянна и далее нарастает по мере выхода из зоны тени с последующим

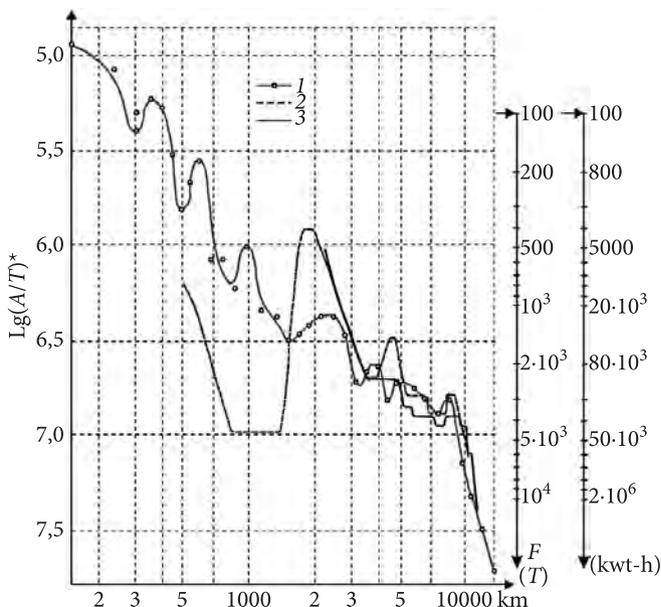


Рис. 2.4.1 Закономерность ослабления сейсмических волн по расстоянию спадом до расстояний 10 000 км и свыше. Очевидно, что, располагая численными оценками амплитуд волн, зарегистрированных от определенного типа вибратора на заданном расстоянии с заданным соотношением сигнал/шум, можно спрогнозировать требования к силовым характеристикам источника в диапазоне больших расстояний. В качестве примера такие оценки получены по отношению к выделению широкополосных свип-сигналов, излучаемых центробежным вибратором в полосе частот 5–10 Гц. Соответствующие оценки возбуждающей силы F и мощности N представлены справа от графиков. По отношению к монохроматическим сигналам, обладающим почти на порядок более высокой помехоустойчивостью (это будет показано в подразд. 2.4.5), приведенные оценки могут быть почти на порядок ниже.

2.4.4 Обобщенные уровни и модели шумов Мирового океана

Решение проблемы приема геоакустических сигналов на погруженных объектах (ПО) связано во многом с компенсацией помех, воздействующих на приемники сигналов, расположенных на борту — сейсмодатчики, гидрофоны либо буксируемые антенны. Были проанализированы различные источники помех, которые лежат в полосе частот геоакустических сигналов. При этом рассмотрены различные виды внешних шумов — донные, океанической турбулентности. Приведены обобщенные количественные характеристики шумов для различных районов Мирового океана по материалам публикации российских ученых.

Сейсмические шумы

Сейсмические источники помех проявляются на частотах 1–100 Гц и могут достигать высокого уровня. Амплитуда волны давления, регистрируемая в воде с помощью гидрофона, связана с амплитудой сейсмической волны известным соотношением $p = 2\pi f \rho c a$, где f — частота колебаний; ρ — плотность воды; c — скорость звука в воде; a — амплитуда смещения. Сейсмические шумы непосредственно могут быть измерены с помощью донных станций. Измеренные таким образом шумы называют донными. На сегодня накоплен значительный опыт регистрации таких шумов в различных районах Мирового океана. Обширный список литературы по этому вопросу приведен в [8, 9]. В целом, общий уровень шумов медленно флуктуирует во времени в пределах 5–7 дБ. На фоне этих изменений наблюдаются кратковременные возрастания шумов, достигающие 20–40 дБ. Низкий уровень шумов лежит в районе 20 нМ/с.

Внешние помехи являются фоновыми, как правило аддитивными, и образуются многочисленными посторонними источниками сейсмической и акустической энергии. Внешние помехи — это шумы Мирового океана. Основные закономерности поведения спектров донных шумов в Мировом океане характеризуются гра-

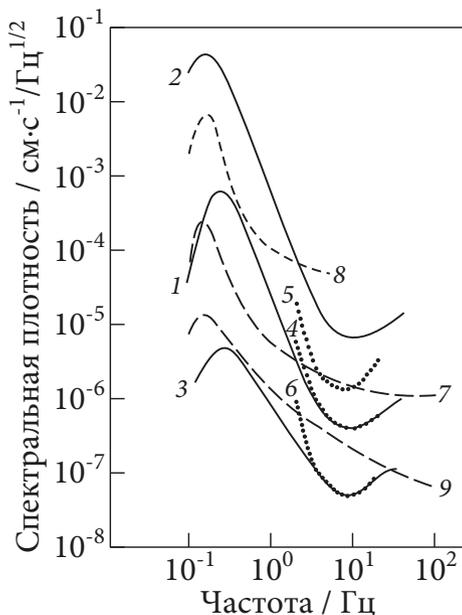


Рис. 2.4.2 Максимальный, минимальный и статистически средний спектры донных сейсмических шумов Мирового океана: 1–6 — спектры донного сейсмического шума, представленные разными авторами; 7–9 — спектры континентальных шумов

фиками обобщенных максимального, минимального и статистически среднего спектров донных сейсмических шумов Мирового океана [8]. Обобщение выполнено по 98 спектрам записей донных шумов в различных районах Мирового океана. На рис. 2.4.2 кривые, демонстрирующие максимальные и минимальные значения шума, являются сглаженными огибающими отдельных спектров.

Кривая 1 представляет средний спектр донного сейсмического шума в диапазоне частот от 0,1 до 100 Гц. Она построена в результате вычисления средних арифметических значений спектральных плотностей на различных частотах, принадлежащих рассматрива-

емому диапазону. Точечными линиями нанесены кривые, демонстрирующие средний (5), максимальный (2) и минимальный (3) спектры донного шума в диапазоне частот 2–20 Гц. Для сравнения пунктиром проведены кривые (7–9), характеризующие континентальные сейсмические шумы. Под последними подразумеваются усредненные спектры, полученные на суше. Численные значения спектральной плотности, представленной на рис. 2.4.2 средней сплошной линией (кривая 1), меняются от $6 \cdot 10^{-4} \text{ см} \cdot \text{с}^{-1} \text{ Гц}^{-1/2}$ для частоты максимума, равной 0,2 Гц, до $5 \cdot 10^{-7} \text{ см} \cdot \text{с}^{-1} \text{ Гц}^{-1/2}$ на частоте минимума, равной 10 Гц. Верхняя кривая (2) демонстрирует еще больший перепад значений спектральной плотности — от $5 \cdot 10^{-2} \text{ см} \cdot \text{с}^{-1} \text{ Гц}^{-1/2}$ на частоте 0,15 Гц до $8 \cdot 10^{-6} \text{ см} \cdot \text{с}^{-1} \text{ Гц}^{-1/2}$ на частоте 10 Гц. Для нижней кривой (3) соответствующие значения спектральной плотности равны $4 \cdot 10^{-6} \text{ см} \cdot \text{с}^{-1} \text{ Гц}^{-1/2}$ ($f = 0,3 \text{ Гц}$) и $5 \cdot 10^{-8} \text{ см} \cdot \text{с}^{-1} \text{ Гц}^{-1/2}$ ($f = 10 \text{ Гц}$).

Исходя из данных, представленных на рис. 2.4.2 в диапазоне частот 1–7 Гц, функцию спектральной плотности шумов $W(f)$ зададим следующими аналитическими зависимостями:

- для максимального шума:

$$W(f) = 10^{-5,3} f^{-2,3} \frac{M}{c \cdot \Gamma_{\text{ц}}^{1/2}} ;$$

- для среднего шума:

$$W(f) = 10^{-6,7} f^{-2,3} \frac{M}{c \cdot \Gamma_{\text{ц}}^{1/2}} ;$$

- для минимального шума:

$$W(f) = 10^{-8,1} f^{-1,5} \frac{M}{c \cdot \Gamma_{\text{ц}}^{1/2}} .$$

На рис. 2.4.3 приведена сводка спектров донных шумов в Южной Атлантике, полученных разными авторами [8].

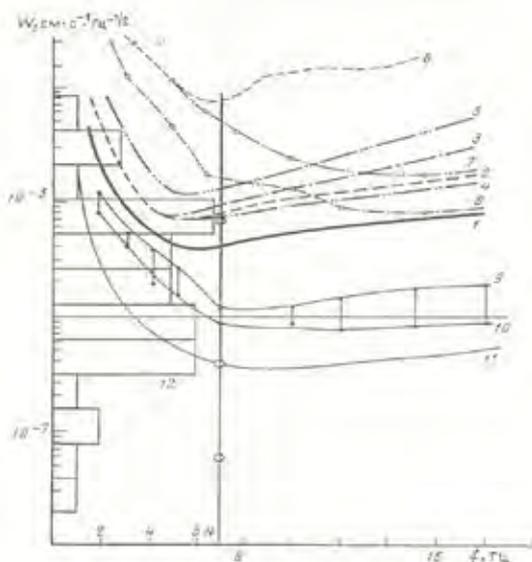


Рис. 2.4.3 Сводка спектров донных шумов в Южной Америке и сравнение с опубликованными результатами измерений и обобщений различных авторов: 1–5 — данные наблюдений на Анголо-Бразильском геотраверсе (1 — нижний предел спектра данных шумов; 2 — верхний предел спектра низких шумов; 3 — верхний предел спектров синхронных наблюдений (полоса 1–3 характеризует 80% времени наблюдений (вне осевой зоны)); 4 и 5 — соответственно нижний и верхний пределы спектров шумов в осевой зоне Северо-Атлантического хребта); 6 — характерный спектр акустических шумов в глубоком океане; 7 и 8 — спектры, измеренные соответственно в Филиппинской и Марианской котловинах Тихого океана; 9–10 — пределы трех спектров, измеренных соответственно для Ангольской, Бразильской котловин Атлантического океана и для центральной части Индийского океана в рейсе «Дмитрий Менделеев»; 11 — средний обобщенный спектр донных шумов. Кружки на вертикальной линии для частоты 7 Гц отмечают положение кривых максимального, среднего и минимального уровней обобщенных спектров; 12 — распределение N величин спектральной компоненты на 7 Гц для донных шумов, измеренных по опубликованным спектрам различных авторов

Из анализа приведенных графиков на рис. 2.4.2 и 2.4.3 следует, что спектры по форме сходны и имеют минимум на частотах 5–8 Гц. Значения минимумов различных спектров на частоте 7 Гц выделены на вертикальной прямой, пересекающей различные спектрограммы (см. рис. 2.4.3).

Как следует из рассмотрения приведенных данных, большая часть значений минимумов лежит в пределах $3 \cdot 10^{-7} - 1 \cdot 10^{-5} \text{ см} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Гц}^{-1/2}$. Исключением являются уровни шумов, зарегистрированные в котловине Подводников, где значения шумов опускаются до $1 \cdot 10^{-7} \text{ см} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Гц}^{-1/2}$.

Из приведенного анализа следует, что данные, полученные разными исследователями, как правило, дают хорошую сходимость, и значения спектров оказываются близкими для существенно разных районов наблюдений, различаясь чаще всего не более, чем в 2 раза.

Математическая модель донных шумов в Мировом океане

Обобщенный график спектров данных шумов для Мирового океана характеризуется следующими особенностями:

- монотонным спадом уровня шумов с низких частот (около 1 Гц) до минимальных значений, лежащих в районе 8–10 Гц. При этом перепад шумов составляет около 40 раз;
- выше диапазона 8–10 Гц наблюдается монотонное возрастание уровня шумов. В пределах 10–20 Гц среднее значение шума возрастает приблизительно в 1,5–1,6 раза;
- разброс абсолютных значений уровней шумов составляет около $2 \text{ нм} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Гц}^{-1/2}$ в районе 1 Гц.

С учетом предварительных замечаний математическая модель обобщенного спектра шумов может быть представлена в виде суперпозиции

$$F(\omega) = F_1(\omega) + F_2(\omega),$$

где

$$F_1(\omega) = \begin{cases} F(\omega_1)e^{-\alpha_1(\omega-1)} + \varepsilon(\omega) & \text{при } \omega_1 < \omega < \omega_2; \\ 0 & \text{при } \omega < \omega_2; \end{cases}$$

$$F_2(\omega) = \begin{cases} F_{\min}e^{-\alpha_2\omega} + \varepsilon(\omega) & \text{при } \omega > \omega_2; \\ 0 & \text{при } \omega < \omega_2. \end{cases}$$

Здесь $\varepsilon(\omega)$ — относительные случайные флуктуации уровня шума; F_{\min} — минимальные значения уровня шума; α_1 и α_2 — коэффициенты, характеризующие соответственно скорость спада и скорость нарастания; ω_2 — частота, соответствующая F_{\min} .

В целом донные шумы характеризуются наличием устойчивой компоненты низкого уровня и переменных компонент, связанных с шумами судоходства либо эпизодически сильными шумами. В диапазоне частот 0–5 Гц располагаются шумы максимальной интенсивности, превышающие высокочастотную часть спектра до двух порядков. Такой шум можно охарактеризовать значениями 10^{-5} – 10^{-3} см·с⁻¹Гц^{-1/2}.

Спектры интенсивных шумов являются неустойчивыми и варьируют по амплитуде в пределах до одного порядка в диапазоне частот 3–20 Гц. Учитывая, что спектры донных шумов имеют минимум на частотах 5–8 Гц, следует выбирать в этой полосе рабочий диапазон частот «передачи–приема» геоакустических сигналов. Этот вывод усиливается тем обстоятельством, что основные непрерывные низкочастотные шумы кораблей и самих ПО также лежат в диапазоне 0–5 Гц.

Низкочастотные шумы Мирового океана

Основными источниками шумов в Мировом океане являются:

- приливы и гидростатические явления, связанные с волнениями на поверхности моря;
- сейсмическая активность Земли, порождаемая множеством мелких землетрясений и вулканической деятельностью;

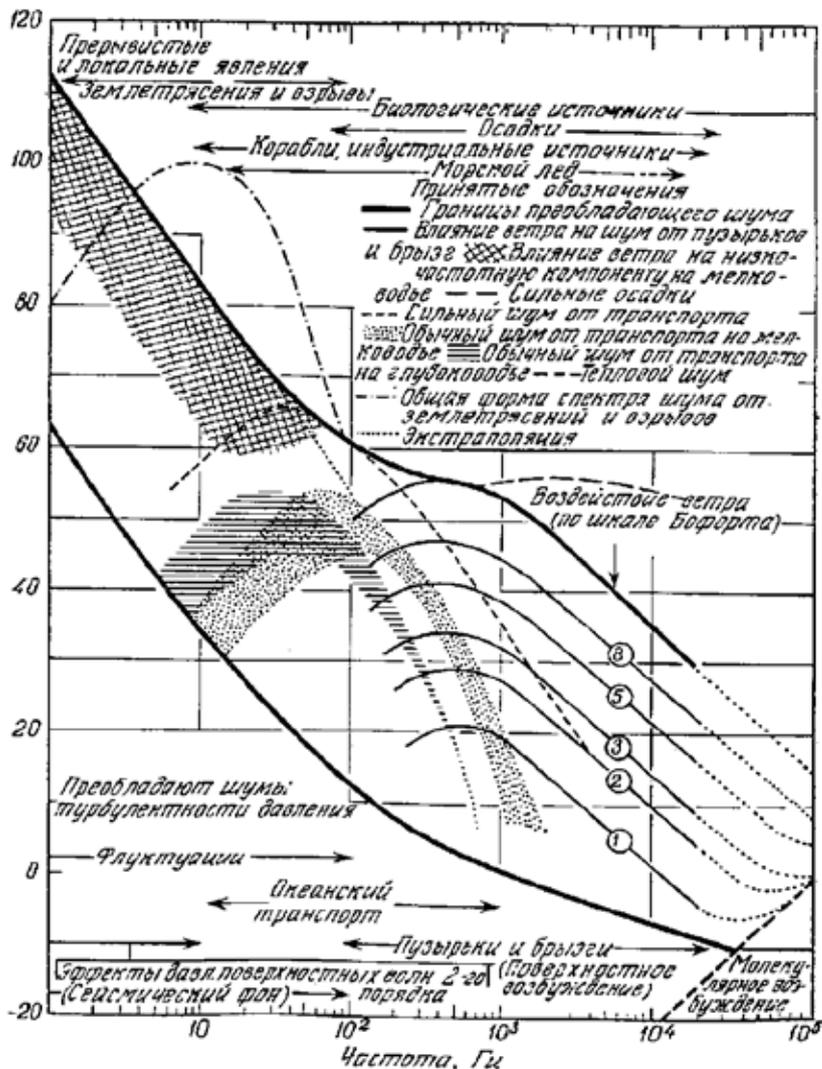


Рис. 2.4.4 Распределение шумов по частоте

- океаническая турбулентность в форме нерегулярных случайных токов воды малого или большого объема;
- судоходство.

Другие источники помех здесь не рассматриваются, поскольку именно перечисленные здесь источники являются определяющими для приема сигналов на ПО.

Океаническая турбулентность и корабельные шумы

Распределение по частоте этого типа шумов, а также сейсмических шумов, рассмотренных выше, представлено на диаграмме Венца (рис. 2.4.4). Океаническая турбулентность является источником низкочастотного шума, сосредоточенного, в основном, в диапазоне частот 1–10 Гц и с расчетным уровнем в пределах 30–50 дБ относительно дин/м². Достаточно подробно этот тип шумов проанализирован в [10].

Шумы судоходства являются источником мощных помех в диапазоне частот 1–100 Гц. Источниками этих шумов являются низкочастотные вибрации корпуса судна и вращающиеся механизмы (вал, лопасти, вентиляционные установки, различные электродвигатели и т. д.).

2.4.5 Обобщенная многофакторная модель канала дальней передачи сигналов

Для целей оперативного расчета свойств канала наибольшую важность представляют количественные оценки уровней принимаемых сигналов. Оценки их с учетом выполненного теоретического анализа и учета данных натуральных экспериментов можно записать в виде многофакторного выражения:

$$A = D(t, z, f, \bar{x}_u, \bar{x}_n) \Psi_u(f, \bar{x}_u) \Psi_n(f, \bar{x}_n) \Psi_p(f, \Delta) \times \\ \times B(f, z, v, \Delta) \Phi^{1/2}(\bar{x}_u - \bar{x}_n) F_\Sigma. \quad (1)$$

Здесь \bar{x}_u и \bar{x}_n — координаты источника и приемника соответственно; $\Delta = |\bar{x}_u - \bar{x}_n|$; f — частота в Гц; z — глубина приема сигналов; D — коэффициент флуктуации амплитуд, Ψ_u — коэффициент передачи земной коры в точке излучения; Ψ_n — коэффициент передачи земной коры в точке приема (коэффициент трансформации сейсмической волны в гидроакустическую); Ψ_p — коэффициент переноса излучения по лучу; Φ — коэффициент направленного действия антенны; F_Σ — суммарная сила в источнике; B — коэффициент, равный $|\cos[z\alpha(\Delta, V)]|$ для амплитуды смещений и $2\pi f\rho V_0 |\sin[z\alpha(\Delta, V)]|$ для амплитуды давления; V_0 — скорость звука в воде; V — радиальная компонента скорости движения приемника; $\alpha(\Delta, V) = 2\pi \cos\theta(\Delta) / (\beta V_0)$, где $\beta = 1 - V \sin\theta(\Delta) / V_0$, $\theta(\Delta)$ — угол выхода волны из осадков в толщу воды.

Полная мощность излучения P_Σ для поверхностного источника приближенно находится следующим образом:

$$P_\Sigma = \frac{\pi f^2 F_\Sigma^2}{\rho V_p^3 \sqrt{N}} \varphi(\gamma). \quad (2)$$

Здесь $\varphi(\gamma)$ — некоторая функция от $\gamma = V_s / V_p$, где V_p и V_s — скорости продольной и поперечной волн соответственно; N — число излучателей в антенне (источнике). Зависимость от параметра получена в предположении, что расстояние между отдельными излучателями в антенне оптимально и составляет половину длины продольной волны.

Отдельные факторы в формуле (1), отвечающие за различные физические процессы, могут быть выписаны либо в аналитической форме, либо в виде численных решений соответствующих эталонных задач.

Выражение для Ψ_p найдено в результате обобщения большого объема экспериментальных данных о распространении волн на большие расстояния ($\Delta > 2000$ км). Оно имеет вид:

$$\Psi_p(f, \Delta) = 10^{-18} \frac{1}{\sqrt{V(\Delta)}} e^{-\alpha(\Delta)} f L(\Delta), \quad (3)$$

где $L(\Delta)$ — длина сейсмического луча; $V(\Delta)$ — фактор лучевого расхождения; $\alpha_p(\Delta)$ — коэффициент поглощения.

Функции $L(\Delta)$ и $V(\Delta)$ — это протабулированные экспериментальные зависимости. В первом приближении коэффициент поглощения $\alpha_p(\Delta)$ характеризуется следующими значениями [2]:

$$\alpha_p(\Delta) = (4,88 \pm 1,31) \cdot 10^{-4} f \Gamma \text{ц}^{-1} \text{км}^{-1};$$

при $\Delta > 3500$ км

$$\alpha_p(\Delta) = (1,82 \pm 0,63) \cdot 10^{-4} f \Gamma \text{ц}^{-1} \text{км}^{-1}.$$

Разброс в значениях обусловлен горизонтальной неоднородностью мантии Земли.

Фактор $\Psi_p(f, \Delta)$ учитывает явления расхождения фронта волны и диссипации упругой энергии в реальной Земле.

Коэффициент трансформации $\Psi_n(f, \bar{x}_n)$ оценивался в предположении слоисто-однородного строения толщи океанической коры. Границы слоев считались плоскими и параллельными поверхности воды. Путем численных расчетов на ЭВМ совокупности разрезов было установлено, что функция Ψ_n меняется в пределах одного порядка — от 0,5 до 5.

Как известно, плотность потока энергии нормально падающей плоской волны выражается следующей формулой:

$$P = \rho \omega^2 \alpha^2 V,$$

где ρ — плотность среды; ω — круговая частота волны; α — амплитуда волны; V — скорость распространения волны в среде. Отношение плотности потока энергии отраженной волны $\Phi_{\text{от}}$ к плотности потока падающей волны Φ_p равно квадрату коэффициента отражения:

$$\frac{\Phi_{\text{от}}}{\Phi_p} = \chi_{PP}^2,$$

а отношение плотности потока энергии прошедшей волны $\Phi_{\text{ПР}}$ к падающей равно разности между единицей и квадратом коэффициента отражения:

$$\frac{\Phi_{\text{ПР}}}{\Phi_P} = 1 - \chi_{\text{РР}}^2.$$

Для нормального падения плоской волны коэффициенты отражения $\chi_{\text{ОТ}}$ и прохождения $\chi_{\text{ПР}}$ выражаются через соответствующие жесткости среды простыми соотношениями:

$$\chi_{\text{ОТ}} = \frac{\rho_1 V_1 - \rho_2 V_2}{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2}; \quad \chi_{\text{ПР}} = \frac{2\rho_1 V_1}{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2},$$

где ρ_1 и V_1 — плотность и скорость волны в первой среде; ρ_2 и V_2 — то же во второй среде. Пусть волна падает на границу раздела суша–вода со стороны суши. Припишем индекс 1 суше, 2 — воде. Значения плотности и скорости волны в воде равны (в среднем) соответственно $\rho_2 = 1 \text{ г/см}^3$ и $V_2 = 1,5 \text{ км/с}$.

Плотность потока энергии прошедшей волны, нормальной к границе раздела суша–вода, для разных сред может уменьшиться почти в 3 раза, что соответствует результатам моделирования. Как известно, получаемые при этом коэффициенты являются максимальными для границы раздела «дно–море». В случае наклонного падения волны к границе раздела значения коэффициентов уменьшаются и определяются углом наклона волны к границе. В предельном случае, когда этот угол стремится к нулю, то и коэффициент прохождения стремится к нулю. Это обстоятельство, а также наличие шероховатостей границ раздела увеличивают вариации коэффициента прохождения. Для телесейсмических расстояний ($\Delta > 1000 \text{ км}$) угол подхода волны к границе раздела приближается к нормальному.

Зависимость Ψ_n от частоты содержит острые резонансные пики в окрестности точек

$$f_{2n+1} = \frac{2n+1}{4} \frac{V_0}{H \cos O(\Delta)}, \quad n = 0, 1, 2, \dots,$$

где H — глубина моря.

Ширина пиков составляет сотые доли герца. В промежутках между пиками уровень Ψ_n почти на порядок меньше максимальных значений.

Использовать резонансные свойства земной коры при приеме сигналов на ходу не представляется возможным из-за резких вариаций уровня регистрируемого поля. Ослабить влияние этого фактора возможно за счет выбора распределенной по длине буксируемой приемной антенны.

Амплитуда полезного сигнала является осциллирующей функцией $B(f_z, V, \Delta)$ глубины погружения приемника. Законы изменения давления и смещения противоположны: в тех точках, где давление максимально, амплитуда смещения (скорости смещения) близка к нулю, и наоборот. Чтобы избежать этого ограничения, следует регистрировать давление и смещение (скорость смещения) одновременно. Вследствие движения ПО возникает доплеровский сдвиг частоты. В реальных условиях он не выйдет за пределы 0,4% (скорость ПО меньше 100 км/ч).

Коэффициент флуктуаций амплитуд D является количественной характеристикой процесса становления гармонического режима в точке приема. Пределы изменений обратно пропорциональны значению функции $B(f_z, V, \Delta)$.

Вследствие явления интерференции волн в Земле значения амплитуд сигнала на приеме в монохроматических режимах излучения могут меняться от нуля до максимальных значений, что вызовет резкое понижение надёжности приема. Демпфировать влияние вариаций уровней сигналов по пространству на надёжность возможно за счет одновременного приема в разных точках пространства с помощью распределенной приемной антенны.

Коэффициент направленного действия $\Phi = (\bar{x}_u - \bar{x}_n)$ определяется конфигурацией и размерами излучающей антенны. Размеры антенны не могут быть больше определенного предела из-за расфазировки поля вследствие горизонтальных неоднородностей земной коры. В наиболее «хороших» районах этот предел не превосходит 50 км (для частоты 1 Гц). С возрастанием частоты оптимальные размеры антенн падают в связи с воздействием на волновое поле неоднородностей более мелкого масштаба. Путем теоретического анализа показано, что благодаря использованию антенн вместо сосредоточенного источника можно добиться экономии излучаемой в среду энергии в $N^{1/2}$ раз, где N — число излучателей в антенне. При этом расстояние между отдельными излучателями должно быть порядка $\lambda/2$, где λ — длина продольной волны. Суммарная сила является инвариантом относительно размеров антенны (для направления главного излучения). Сформулированные закономерности антенного излучения отражены в формулах (2)–(4).

Приведем пример расчета энергетических параметров канала.

Выражение для отношения сигнал/шум после оптимальной обработки сигнала имеет вид:

$$q_{\text{ВЫХ}} = \frac{T(2\pi f A)^2}{2G(f)} M, \quad (4)$$

где T — длительность сигнала; M — коэффициент, характеризующий выигрыш за счет антенного приема; $G(f)$ — спектральная плотность помех.

Предположим, что прием осуществляется в точке, которая освещается главным лепестком диаграммы направленности или находится на глубине, где $B = 1$. Тогда из соотношений (3) и (4) находим уравнение для определения суммарной силы:

$$F_{\Sigma}(f) = \frac{1}{\Psi_u \Psi_p \Psi_n} \frac{1}{\pi f} \sqrt{\frac{q_{\text{ВЫХ}}}{2TM}} W(f), \quad (5)$$

где

$$W(f) = \sqrt{G(f)}.$$

Коэффициент флуктуаций опущен в (5) в связи с тем, что он может быть учтен при задании значения $q_{\text{вых}}$.

Оптимальная частота и сила находятся путем минимизации правой части выражения (5) как функции частоты при заданных значениях других параметров в этом выражении.

Для простоты предположим, что факторы Ψ_u и Ψ_n не зависят от частоты. Положим $\Psi_u = 20$ и $\Psi_n = 5$ (идеальное согласование частотных характеристик), $T = 300$ с, $M = 2$, $\Delta = 2000$ км, $\alpha_p = 3,5 \cdot 10^{-4} f \text{ км}^{-1} \text{ Гц}^{-1}$ (минимальное из возможных), $q_{\text{вых}} = 20$ (достоверность 10^{-4}), а шум будем считать минимальным. Получим следующее представление: $F_{\Sigma}(f) = 2 \cdot 10^6 f^{2,5} 10,75f$. Минимум $F_{\Sigma}(f)$ достигается при $f = 3,3$ Гц и равен:

$$F_{\Sigma} = 1,2 \cdot 10^6 \text{ Н} = 120 \text{ Тс}.$$

Излучаемая в среду мощность составит

$$P_{\Sigma} = \frac{350}{\sqrt{N}} \text{ кВт}.$$

При $\Psi_n = 1$, т. е. когда приемник не настроен на резонансные частоты земной коры в точке регистрации, параметры F_{Σ} и P_{Σ} примут значения:

$$F_{\Sigma} = 600 \text{ Тс}; \quad P_{\Sigma} = \frac{900}{\sqrt{N}} \text{ кВт}.$$

Если вибратор поставлен на скальный грунт ($\Psi_u = 1$), а приемник настроен указанным выше способом, то

$$F_{\Sigma} = 2,4 \text{ кТс}; \quad P_{\Sigma} = \frac{20}{\sqrt{N}} \text{ кВт}.$$

Все оценки мощности приведены для поверхностного и щелевого источников. Для источника типа пульсирующей сферы достаточно отдавать мощность на порядок меньшую, чтобы обеспечить требуемое отношение сигнал/шум в точке приема. Дополнительные возможности экономии излучаемой мощности возникают в связи с использованием многоэлементных антенн.

Вышеописанный пример иллюстрирует только часть возможностей построенной физико-математической модели канала. Данная модель количественно описывает основные закономерности и ограничения, а также может служить исходной базой для разработки и проектирования систем.

Выражение (4) может быть использовано для приближенного оценивания помехоустойчивости сейсмоакустической системы с учетом расстояния и уровня шумов.

Анализ этого выражения показывает, что основной вклад в закон затухания амплитуды сейсмоакустического сигнала вносит множитель $\exp(-\alpha r_1)$, характеризующий ослабление сейсмических колебаний в земле по расстоянию. В логарифмическом масштабе закон затухания является приближенно линейным. Это подтверждается экспериментально полученным графиком затухания сейсмических волн в диапазоне расстояний 10–2000 км.

2.4.6 Выбор характеристик системы дальней передачи геоакустических сигналов

Решение проблемы дальней «передачи-приема» геоакустических колебаний связано с большими энергетическими затратами. Как следует из рис. 2.4.1, для обеспечения передачи сигнала, например, на 1000 км, необходимо затратить энергию порядка 20 МВт·ч. С учетом этого проблема минимизация энергетических затрат при заданном качестве функционирования системы является весьма актуальной задачей. Ниже анализируются пути решения поставленной задачи методами оптимизации структуры и параметров системы.

Постановка задачи

В обобщенном виде процесс «передачи–приема» сигналов может быть описан уравнением:

$$U(x, y, z, t) = \int_0^T K(t, \tau, \bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) S(t - \tau) d\tau + n(t) = v(t) + n(t), \quad (6)$$

где $K(t, \tau, \bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ — импульсная функция среды для координат излучателя и приемника $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$; $S(t)$ — зондирующий сигнал, $n(t)$ — шум в точке регистрации, $v(t)$ — отклик среды в виде сейсмограммы в ответ на зондирование $S(t)$.

Качество выделения сигналов на фоне многократно превосходящих шумов может быть охарактеризовано отношением сигнал/шум в виде:

$$\gamma_{P,S}^2 = \frac{\int_{\Omega} |v(\omega)|_{P,S}^2 d\omega}{\int_{\Omega} N(\omega) d\omega}. \quad (7)$$

Здесь в числителе энергия волн P и S в полосе частот зондирования Ω соответственно; в знаменателе — энергия шума в той же полосе. Параметр γ^2 является, в общем случае, функционалом от ряда параметров вибросейсмической системы:

$$\gamma^2 = \{E_{P,S}, r, k(t, \tau, \bar{x}), R_S(\tau), R_n(\tau), L[U(t)]\}. \quad (8)$$

Здесь $E_{P,S}$ — энергии сейсмических волн P и S в точке излучения; r — расстояние «излучатель–приемник», $R_S(\tau)$ и $R_n(\tau)$ — параметры зондирующего сигнала и шума, представленные в виде соответствующих корреляционных функций; $L[U(t)]$ — оператор обработки регистрируемых сигналов.

В математическом плане задача оптимизации формулируется как достижение некоторого $\gamma^{*2} = \max(\gamma^2)$ при $E = const$, т. е. получение максимума помехоустойчивости системы при постоянстве энергии E , потребляемой вибратором. Упрощенное выражение

для γ^2 в аналитическом виде для модели среды в виде квазиоднородного полупространства, на которое действует штамп с вертикально ориентированной силой F и частотой ω_0 , имеет вид:

$$\gamma^2 = A_0^2 k_{p,s}^2 r^{2n} G_0^{-1} F^2 f^2 T \exp(-2\alpha r), \quad (9)$$

где A_0 — амплитуда колебаний в точке излучения; $k_p^2 = 0,0852/(\pi\rho V_p^3)$ — для продольных волн; $k_s^2 = 0,299/\pi\rho V_s^3$ — для поперечных волн; ρ — плотность среды под вибратором; T — время зондирования; $n = -1$ — для объемной волны; $\alpha = 2.5 \cdot 10^{-4} f \text{ км}^{-1}$, V_p и V_s — скорости продольных и поперечных волн в среде под вибратором; F — возмущающая сила, развиваемая вибратором, значение F^2 пропорционально сейсмической мощности излучения; f — частота излучения; r — расстояние излучатель–приемник.

Для реальной среды максимизация функционала (3) может быть достигнута за счет следующих факторов:

- резонансного согласования вибратора с грунтом;
- учета частотно-зависимых свойств среды распространения волн и спектральных характеристик микросейсм;
- оптимизации алгоритма обработки $L[u(t)]$;
- оптимизации выбора типов зондирующих сигналов $S(t)$ (с частотной и фазовой модуляцией монохроматических сигналов и др.);
- снижения влияния внешних помех за счет пространственно распределенной регистрации;
- учета особенностей физических процессов излучения и распространения зондирующих колебаний.

Резонансное согласование вибратора с грунтом

Один из основных резервов повышения излучаемой сейсмической мощности связан с реализацией резонансной схемы возбуждения в цепи вибратор–грунт [11]. Например, для излучающего полигона Быстровка, характеризуемого геологическим разрезом в виде слоев с последовательно нарастающей толщиной: $H_1 = 10$ м, $H_2 = 150$ м, $H_3 = 480$ м, $H_4 = 2000$ м, расчетная кри-

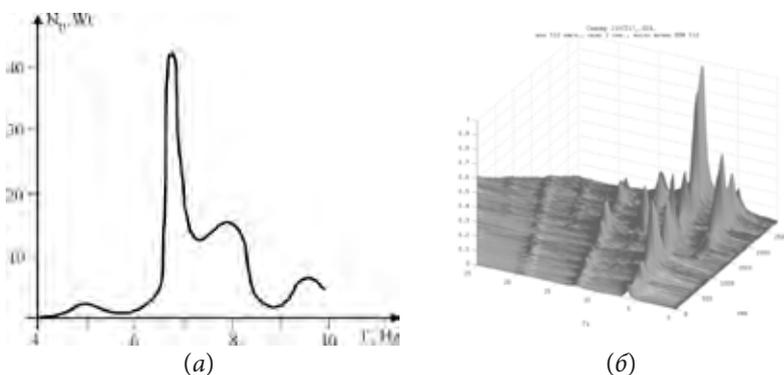


Рис. 2.4.5 Расчетная кривая мощности излучения волн P вибрационным источником ЦВ-100 на Быстровском полигоне (а) и измеренная спектрально-временная функция зондирующего свип-колебания вибратора ЦВ-40(б)

вая мощности излучения волн P в зависимости от частоты имеет острорезонансный характер вблизи частоты излучения 6,95 Гц (рис. 2.4.5, а), являющейся характерной для данного полигона. Излучение сейсмической энергии в области резонанса позволяет поднять эффективность излучения до одного порядка [12].

Для сравнения на рис. 2.4.5, б представлена измеренная спектрально-временная функция зондирующих колебаний от вибратора типа ЦВ-40, установленного на полигоне Быстровка. Приведенная функция демонстрирует появление основного резонанса в районе частоты 7 Гц и подтверждает наличие механического резонанса.

Выбор рабочего диапазона частот с учетом частотно-зависимых свойств среды распространения волн и характеристик микросейсм

По отношению к естественным шумам обобщенная модель их спектра мощности с учетом затухания спектра колебаний в земле [13] приближенно может быть представлена в виде [14]:

$$N(\omega) = \frac{D \exp(-\beta\omega/(2\pi))}{1 + \omega/(2\pi)}. \quad (10)$$

Здесь D — дисперсия шума; β — коэффициент, определяющий крутизну спада огибающей спектра шума в зависимости от частоты. В расчетах принималось экспериментально определенное значение $\beta = 0,025$. В качестве зондирующих вибросейсмических сигналов в расчетах выбирались монохроматические сигналы вида $S(t) = \exp(-\eta^2 t^2) \cos(2\pi f_0 t)$, где η — параметр, определяющий скорость нарастания–спада огибающей сигнала. С учетом данного вида сигналов, частотной характеристики среды $G(\omega)$, спектра шума $N(\omega)$ (10) в соответствии с (7) рассчитывалось соотношение сигнал/шум как функция частоты f и эпицентрального расстояния Δ . Графики полученной зависимости в диапазоне эпицентральных расстояний от 1° до 80° приведены на рис. 2.4.6.

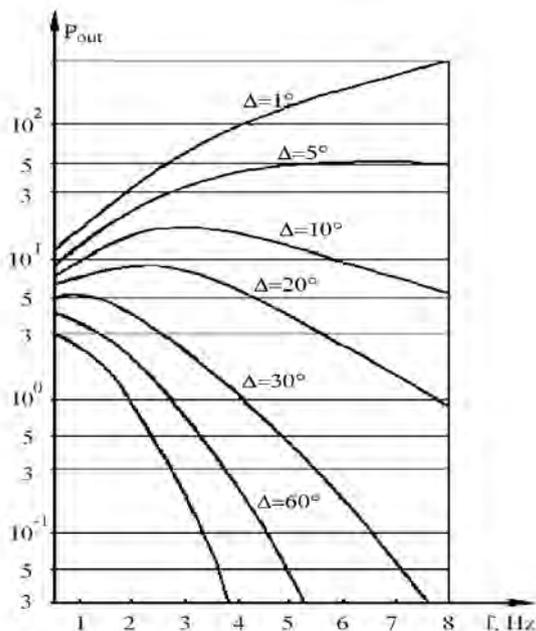


Рис. 2.4.6 Соотношение сигнал/шум как функция частоты f и эпицентрального расстояния Δ

Таблица 2.4.1 Оптимальный диапазон частот зондирующих сигналов при разных эпицентральных расстояниях

r , км	100	500	1000	2000	3500	6500	9000
f , Гц	8,0	5,0–8,0	2,0–4,0	1,5–2,0	0,5–1,0	0,5	0,5

Из полученных зависимостей вытекают рекомендации по выбору оптимального диапазона частот зондирующих сигналов при разных эпицентральных расстояниях (табл. 2.4.1). В частности, как следует из таблицы, на расстояниях порядка 500 км диапазон зондирования разумно выбирать в пределах 5–8 Гц. На расстояниях свыше 1000 км целесообразно переходить в область более низких частот (от 4 до 0,5 Гц).

Оптимизация выбора классов зондирующих сигналов и алгоритмов обработки

Современные мощные вибраторы способны возбуждать в среде три типа сигналов: монохроматические; с частотной модуляцией (свип-сигналы); с фазовой модуляцией (фазоманипулированные сигналы). С учетом этого возникает задача выбора класса сигналов и их параметров, обеспечивающих высокую помехоустойчивость в соответствии с критерием (8) с учетом особенностей среды распространения. Если сейсмические сигналы $S(t)$ описываются корреляционной функцией $R_s(\tau)$, то критерий (8) для этого случая примет вид [15]:

$$\gamma_c^2 = \frac{E_s \sigma_k^2}{N_0} \int_0^\infty \int_0^\infty R_k(\tau, \theta) R_S(\tau) R_S(0) d\tau d\theta, \quad (11)$$

где $R_k(\tau, \theta)$ — нормированная корреляционная функция среды; E_s — энергия зондирующего сигнала; N_0 — спектральная плотность помехи.

Из (11) следует, что при фиксированной энергии E_s наиболее высокой помехоустойчивостью (т. е. максимумом γ_c^0) в отношении такой сложно построенной среды распространения, волн как Зем-

ля, обладают сигналы с протяженной функцией $R_s(\tau)$. Этому требованию отвечают узкополосные сигналы, в частности монохроматические. На основе результатов численного моделирования по оценке критерия γ_c^2 применительно к гармоническим, фазоманипулированным и свип-сигналам было показано, что полученные оценки помехоустойчивости (11) находятся приблизительно в соотношении 1:0,4:0,1 [15]. В частности, это означает, что помехоустойчивость монохроматических сигналов на порядок выше, чем свип-сигналов. Соответственно, здесь появляется дополнительный резерв увеличения дальности зондирования при неизменной потребляемой вибратором энергии.

Результаты теоретических оценок помехоустойчивости подтверждены результатами экспериментов, которые проводились на удалении в сотни километров от источника ЦВ-100. Для подтверждения сказанного на рис. 2.4.7 приведены результаты одновременного накопления на дальности 320 км разного типа сигналов — свип-сигнала с полосой частот зондирования 5,5–8,5 Гц и длительностью 43 мин 12 с, а также монохроматического сигнала с частотой 7,25 Гц и длительностью 600 с. Вычисление вибрационной коррелограммы $R(m)$ осуществлялась на основе алгоритма корреляционной свертки регистрируемого сигнала $u(t)$ с опорным сигналом $S(t)$, который восстанавливался в точке приема по закону развертки зондирующего сигнала. В дискретном варианте свертка имеет вид:

$$R(m) = \frac{1}{N - m} \sum_{i=1}^{N-m} u_i S_{i+m},$$

$$m = 1, \dots, L, \quad i = 1, \dots, N. \quad (12)$$

Здесь L — число отсчетов вибрационной коррелограммы; N — число отсчетов входного сигнала $u(t)$. По отношению к протяженным свип-сигналам свертка реализуется в реальном масштабе времени с использованием секционирования входного и опорного сигналов. В результате такой обработки получена сжатая во времени

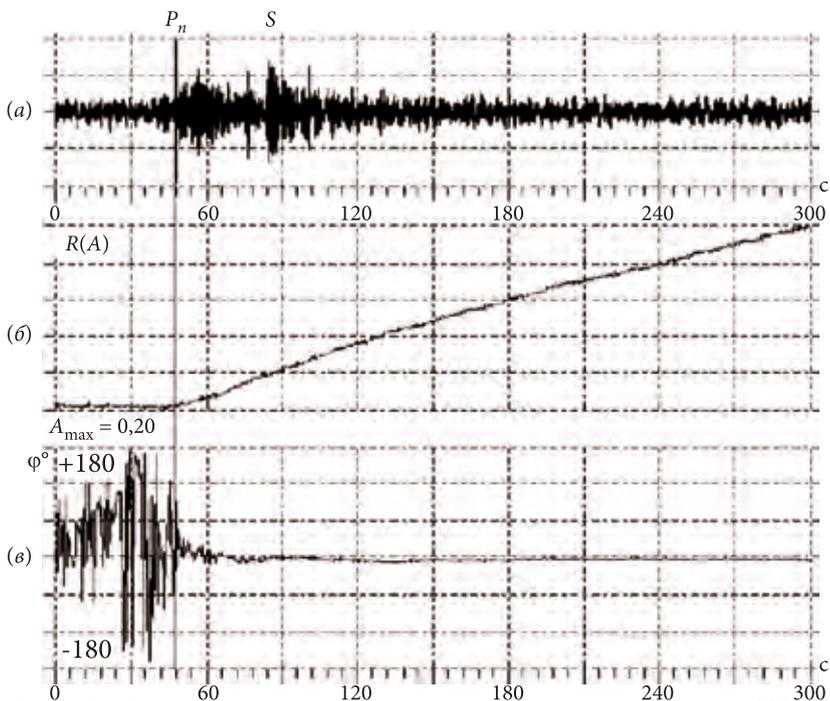


Рис. 2.4.7 Результаты одновременного накопления на дальности 320 км разного типа сигналов: (а) свип-сигнала с полосой частот зондирования 5,5–8,5 Гц и длительностью 43 мин 12 с; (б) монохроматического сигнала с частотой 7,25 Гц и длительностью 600 с; (в) фаза регистрируемого монохроматического колебания

вибрационная сейсмограмма (см. рис. 2.4.7, а), на которой выделяются в первом вступлении продольная волна P_n , преломленная на границе Мохоровичича (с временем вступления 48 с), а также поперечная волна S с временем вступления 84 с.

С другой стороны, для тех же условий рассматривается накопление и оценивание параметров гармонических колебаний на фоне многократно превосходящих шумов для модели сигнала вида:

$$f(t) = A_{i \max} \sin(\omega_0 i t + \varphi_0 t) + n(t), \quad i = 1, \dots, M,$$

где $A_{i\max}$, ω_{oi} и φ_{oi} — амплитуды, частоты и начальные фазы сигналов, $n(t)$ — шум с нормальным распределением. Искомые параметры определяются с помощью рекуррентного квадратурного алгоритма путем оценивания установившихся значений статистик вида $R[n]$ и $\varphi[n]$ [16]:

$$\left. \begin{aligned} R[n] &= \sqrt{X[n]^2 + Y[n]^2}; & \varphi[n] &= \arctan \frac{Y[n]}{X[n]}; \\ X[n] &= X[n-1] + \gamma(Z_y[n] - X[n-1]); \\ Y[n] &= Y[n-1] + \gamma(Z_x[n] - Y[n-1]); \\ \gamma &= \frac{\Delta t}{T}; & Z_x &= f(t) \sin \omega_0 t; & Z_y &= f(t) \cos \omega_0 t. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Здесь $R[n]$, $\varphi[n]$, $X[n]$ и $Y[n]$ являются дискретными аналогами представлений в непрерывном виде:

$$\begin{aligned} R(A, \varphi) &= \sqrt{X^2(A, \varphi) + Y^2(A, \varphi)}; & \varphi &= \arctan \frac{Y(A, \varphi)}{X(A, \varphi)}; \\ X(A, \varphi) &= \frac{1}{T} \int f(t) \sin \omega_0 t dt; & Y(A, \varphi) &= \frac{1}{T} \int f(t) \cos \omega_0 t dt. \end{aligned}$$

Δt и T — соответственно интервал дискретизации и длительность обрабатываемого входного сигнала.

Представленный алгоритм реализуется в реальном масштабе времени в темпе поступления данных. Вступление монохроматического колебания на фоне многократно превосходящего шума отмечается двумя признаками: превышением накапливаемой оценки амплитуды $R[n]$ заданного порога, с одной стороны, и скачкообразным установлением оценки фазы $\varphi[n]$. При этом установившееся значение фазы соответствует значению начальной фазы стоячей волны в пункте регистрации.

Как следует из сравнения рис. 2.4.7, а и 2.4.7, б, помехоустойчивость свип-сигнала, определяемая соотношением амплитуд волн к среднеквадратическому значению шума, является невысокой

и составляет около 3–4. Алгоритм (13) является оптимальным алгоритмом обработки сигналов на неподвижном приемнике.

Если приемник перемещается в сейсмическом поле со скоростью \bar{V} , тогда регистрируемый сигнал можно представить в виде:

$$S(\bar{x}, t) = A \left(\int \bar{V}(t) dt \right) \cdot \sin \left(\omega t + \varphi \left(\int \bar{V}(t) dt \right) \right).$$

Если скорость перемещения существенно меньше скорости распространения волны, можно считать $S(t)$ узкополосным случайным процессом и на основе этой априорной информации решать задачу обнаружения.

В предположении, что корреляционная функция сигнала имеет вид $R(\tau) = \sigma^2 \exp(-\alpha|\tau|) \cos \omega\tau$, а микросейсмический шум является равномерным, обобщенный алгоритм приема для движущегося приемника по аналогии с (13) может быть представлен в виде системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} x'_i &= f(t_i) \sin 2\pi f_0 t_i; \\ z'_i &= z'_{i-1} + \gamma_1 (x'_i - z'_{i-1}); \\ p'_i &= z'_i x'_i; \\ r'_i &= r'_{i-1} + \gamma_2 (p'_i - r'_{i-1}); \\ x''_i &= f(t_i) \cos 2\pi f_0 t_i; \\ z''_i &= z''_{i-1} + \gamma_1 (x''_i - z''_{i-1}); \\ p''_i &= z''_i x''_i; \\ r''_i &= r''_{i-1} + \gamma_2 (p''_i - r''_{i-1}); \\ R_i &= \sqrt{r_i'^2 + r_i''^2}. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Здесь $\gamma_1 = \Delta t/T_k$, $\gamma_2 = \Delta t/T$, где Δt — интервал дискретизации; T_k — время корреляции квадратуры ($T_k = 1/\alpha$); T — длительность накопления.

Предложенный алгоритм обнаружения за счет изменения параметра γ_1 оптимизирует обработку сигналов с различной шириной спектра.

2.4.7 Низкочастотные источники геоакустических колебаний

В Сибирском отделении АН СССР в процессе поисковых работ мощных вибраторов было экспериментально опробовано несколько конструктивных схем вибрационных источников и вибровозбудителей. Среди них наиболее эффективными оказались вибраторы центробежного типа, основанные на возбуждении возмущающей силы с помощью синхронно вращающихся масс дебалансов. К ним относятся мощные стационарные вибраторы класса 100 тс — ЦВ-100, ЦВА, НЦВ [7], а также передвижной вибратор ЦВ-40 класса 40 тс. Разработка и изготовление вибраторов осуществлялись в кооперации организаций СО АН СССР, включая Институт горного дела, СКБ гидроимпульсной техники, СКБ прикладной геофизики. Источники другого типа — гидрорезонансные вибраторы ГРВ-50, ГРВ-200 с усилием 50–250 тс в диапазоне частот 1–15 Гц [7] — были созданы в Вычислительном центре СО АН СССР. Вибратор с горизонтально направленной силой ГСВ-100 с усилием 100 тс в диапазоне частот 1–3 Гц был разработан и изготовлен в Институте гидродинамики СО АН СССР. Силовые и частотно-временные характеристики, а также места базирования вибраторов представлены в табл. 2.4.2. Мелкосерийное изготовление вибраторов ЦВ-100 осуществлялось на заводе «Промстальконструкция» (г. Новосибирск).

Внешние виды созданных источников наземного и морского типа приведены на рис. 2.4.8–2.4.16, а их сводные характеристики представлены в табл. 2.4.2 и 2.4.3. Передвижные источники ЦВ-40 в настоящее время используются в работах по глубинному зондированию Земли в Восточной Сибири.

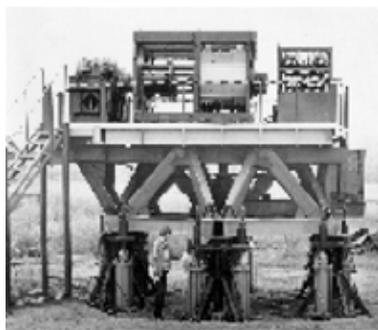
Таблица 2.4.2 Характеристики разработанных вибраторов					
Тип	ЦВ-40	ЦВ-100 ЦВО-100	ГСВ-100	ГРВ-50	ГРВ-200
Характеристика					
Амплитуда силы, т	50	100	100	60	250
Полоса частот, Гц	6–15	5–12	1–3	1–15	1–10
Поляризация силы	Универсальная	Вертикальная	Горизонтальная	Вертикальная	Горизонтальная
Конструктивная схема	Дебалансная		Гидрорезонансная		
Площадь контакта, м ²	15	25	60	30	500
Источник энергии	Промышленная сеть		Компрессор		
Потребляемая мощность, кВт	40	60	75	150	150
Габариты, м	5 × 2 × 2	5 × 5 × 4	20 × 3 × 3	3 × 3 × 10	Ø 1,2 × 50
Масса снаряженная, т	40	120	100	15/75	60/300
Места установки	Новосибирская область Быстровский полигон СОРАН	Быстровский полигон, Байкальский полигон, Краснодарский полигон	Новосибирская область, Быстровский полигон СО РАН		



Быстровский полигон ЦВ-100



Быстровский полигон ЦВН



Быстровский полигон ЦВА



Быстровский полигон ГРВ-60



Байкальский полигон ЦВО



Краснодарский полигон ВМ-100

Рис. 2.4.8 Сейсмические вибраторы на излучающих полигонах: Быстровский — ЦВ-100; ЦВН, ЦВА, ГРВ-50; Байкальский — ЦВО; Краснодарский — ВМ-10



Стационарный центробежный виброисточник ЦВ-100 дебалансного типа создает возмущающую силу амплитудой 100 т. Эффективный диапазон частот 5,5–8,5 Гц

Передвижной центробежный виброисточник ЦВ-40 сборно-разборного типа с амплитудой возмущающей силы 40 т, диапазон частот 6,25–11,23 Гц

Рис. 2.4.9 Мощные сейсмические виброисточники центробежного типа

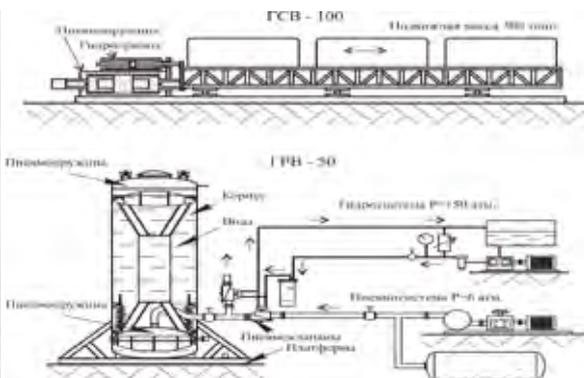


Рис. 2.4.10 Гидрорезонансный вибратор ГРВ-50 и конструктивная схема

Созданные источники обладают прецизионными метрологическими силовыми и частотно-временными характеристиками. Для таких металлоемких конструкций весом до 200 т, каковыми являлись созданные вибраторы, характерными были точность



Рис. 2.4.11 Низкочастотный центробежный вибратор НЦВ

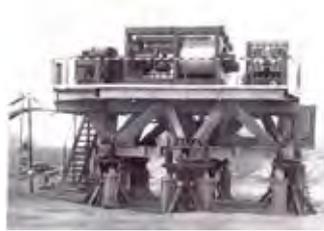


Рис. 2.4.12 Центробежный сейсмический вибратор анкерный ЦВА



Рис. 2.4.13 Передвижной вибратор СВ-20/60



Рис. 2.4.14 Передвижной вибратор VSH-8

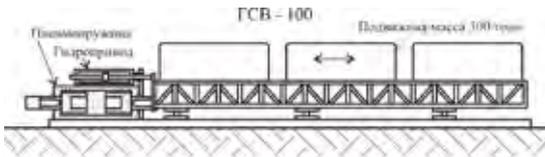


Рис. 2.4.15 Горизонтальный сейсмический вибратор ГСВ-100



Рис. 2.4.16 Сейсмический вибратор СВ-10/100

Таблица 2.4.3 Сводные характеристики источников

№	Наименование параметров	Тип источника			
		компресс ЭГ-100/200	ГСВ-100	ЦВ-100	ЦВ-40
1	Поляризация силы	Горизонтальная	Горизонтальная	Вертикальная	Вертикальная
2	Максимальная амплитуда силы, тС	100	100	100	40
3	Диапазон частот, Гц	2,083	1–3	5–8	6–12
4	Инерционная масса, т	—	250	120	40
5	Амплитуда колебаний, мм	—	160	10	10
6	Площадь излучения виброплатформы, м ²	—	10	20	10
7	Давление в пневмопружине, атм	—	150	—	—
8	Потребляемая мощность, кВт	2000	440	220	2 × 45
9	Габариты, м	—	3×3×10	4×5×4	2,2×4,2
10	Вес, т	1500	—	150	55
11	Максимальный объем рабочей камеры	—	—	—	—
12	Мощность излучения, Вт	—	—	17 · 10 ³	—
13	Тип излучаемых сигналов	Гармонический	Монохромный	Гармонический, свип	Гармонический, свип
14	Разработчик	ИТПМ СОРАН	ИГ СОРАН	СКБПГ СОРАН	НОМВ СОРАН

наземного морского типа							
Тип источника							
ЦВА	НЦВ	ГРВ-50	СВ10/100	МСИ-1	ПИ-5	СВ20/60	ГДИ-30
Вертикаль- ная	Верти- кальная	Верти- кальная	Верти- кальная	—	—	Верти- кальная	Верти- кальная
100	100	50	10	—	—	20	30
5–8	2–5	1,5–15	5–100	5–20	5–15	2–50	1–10
60	60	60	2,5	0,25	—	6,6	
—	800	100	—	—	—	125	
через 6 анкеров	185	30	2,5	0,78	—	2,5	
—	0,3	1,8–1	—	—	120	—	
220	220	2×75	130	—	—	200	
8,6×7,5×6,5	16×6	3×10					
—	80	20	2,5	-	61		
—	—	—	300	30			
—	—	—	500	380	8000 Дж/с		
Гармониче- ский, свип	Гармони- ческий, свип	Гармони- ческий, свип	Свип, гармо- ниче- ский	Гармони- ческий			
СКБПГ СОРАН	СКБПГ СОРАН	ВЦ СОРАН	СКБСТ Гомель	СКБПГ СОРАН	ВНИИ геофиз	СКБСТ Гомель	П.-т ин. Пермь

поддержания относительной нестабильности частоты излучения на уровне 10^{-5} – 10^{-6} , фазы 1° – $1,5^{\circ}$, возмущающей силы на уровне 5%. Несомненно, это было выдающимся достижением мирового уровня. Следует сказать, что такими характеристиками не обладают зарубежные вибраторы рассматриваемого класса. Благодаря выполненным работам был реализован макетный вариант ОКР «Мантия-1», который в конечном счете в силу разрушительных процессов в 1990-х гг. не был доведен до конца.

2.4.8 Приеморегистрирующая аппаратура геогидроакустических сигналов

В *Ифуујв* подразделе рассматриваются различные виды приеморегистрирующей аппаратуры геогидроакустических сигналов, включая комплексы КРОСС-М, КРОСС-РС, РОСА, бортовой сейсмоприемник, донную станцию ЦДС-1 и скважинный сейсмоприемник СС-3.

Приемники геоакустических сигналов КРОСС-М, КРОСС-РС

Для регистрации и обработки сейсмических и гидроакустических сигналов на земле и непосредственно на борту были разработаны помехоустойчивые алгоритмы приема сигналов (см. подразд. 2.4.6) и макеты приеморегистрирующей аппаратуры КРОСС-М [16], КРОСС-РС [17] и РОСА.

Приемник сейсмических сигналов «КРОСС-М» предназначен для многоканальной регистрации и обработки сейсмических и гидроакустических сигналов с выдачей результатов обработки на экране дисплея и печатающего цифрового устройства (ПЦУ). Основными функциями устройства являются: регистрация, усиление и фильтрация сейсмических сигналов по 12 каналам; ввод данных в ЭВМ и запись их на твердый носитель (диск типа «винчестер», магнитную ленту), обработка данных регистрации по 12 каналам по программам спектрального анализа шумов и приема час-

точно-манипулируемых и линейно-частотно-модулированных (ЛЧМ) сигналов на фоне шумов. Другими функциями приемника являются: дискретизация входных сигналов от опорного генератора типа «Сонет» с относительной погрешностью $\Delta f/f \approx 10^{-8}$, формирование и запись кодов текущего времени синхронно со входными сигналами; коррекция «внутреннего» времени по внешним сигналам точного времени (СТВ); контроль записываемых сигналов по экрану дисплея; автоматический запуск и останов программ записи сигналов по внутренним часам; контроль и калибровка каналов регистрации по внутреннему генератору.

Основными узлами приемного устройства являются:

- низкочастотный трехкомпонентный сейсмоприемник в карданном подвесе, предназначенный для регистрации сейсмоакустических сигналов непосредственно на борту ПО. Внешний вид его приведен совместно с приемником на рис. 2.4.17;
- низкочастотные сейсмодатчики типа СК1-П; низкочастотный датчик гидроакустических сигналов в контейнере. Оба датчика представлены на рис. 2.4.18 совместно с приемником сейсмических сигналов КРОСС-РС;



Рис. 2.4.17 Приемник «КРОСС-М»



Рис. 2.4.18 Приемник «КРОСС-РС»

- скважинный 3-компонентный низкочастотный сейсмодатчик СС-3, разработанный для регистрации сейсмических сигналов в диапазоне частот 0,5–100 Гц в глубоких скважинах в составе системы подземной связи. Конструктивная и функциональная схема этого сейсмодатчика, а также краткие технические

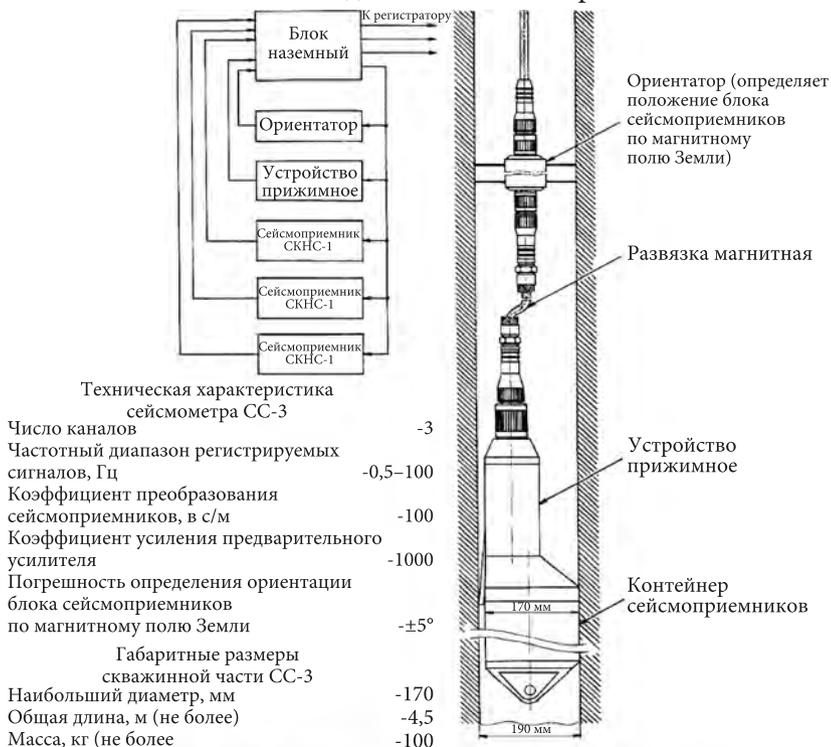


Рис. 2.4.19 Схема скважинного сейсмоприемника СС-3

характеристики приведены на рис. 2.4.19. Здесь же приведен внешний вид сейсмодатчика СС-3;

- 12-канальный входной блок, каждый из каналов в котором состоит из последовательно соединенных усилителей, фильтров нижних частот с частотами среза 11, 22 и 110 Гц и перестраиваемого узкополосного фильтра с постоянной полосой пропускания в 1 Гц в диапазоне частот 1–20 Гц.

Разработано программное обеспечение, выполняющее функции управления процессами сбора и ввода, сигналов в ЭВМ с одновременным их контролем. Одновременно реализуются программы обработки дискретных частотных сигналов в виде совокупностей монохроматических сигналов различных частот, а также корреляционного приема ЛЧМ-сигналов с последующей дешифрацией принимаемой информации.

Были разработаны два варианта приемного устройства. Первый был выполнен на базе микропроцессора-ЭВМ «Электроника-МС 1201» и встроенного устройства внешней памяти на основе НМЛ «Изот-5003» и НГМД К5600. Внешний вид этого варианта приемного устройства приведен на рис. 2.4.17.

Второй вариант приемного устройства «КРОСС-РС» (см. рис. 2.4.18) был сделан на поколении персональных компьютеров



Рис. 2.4.20 Структурная схема приемника РОСА

Таблица 2.4.4 Основные технические характеристики приемника КРОСС-РС	
Характеристика	Значение
Полоса рабочих частот, Гц	1–11, 1–22, 1–100
Количество каналов	12
Разрядность АЦП	12
Полоса селективного фильтра, Гц	1
Типы принимаемых сигналов	МПЧТ, ЛЧМ, ФМ
Точность установки частоты квантования	Не хуже 10^{-6}
Стабильность поддержания частоты квантования	Не хуже 10^{-7} – 10^{-8}
Точность синхронизации внутреннего таймера по сигналам СТВ, GPS	Не хуже ± 1 мс
Отображение результатов обработки	Дисплей, ЦПУ
Форма представления результата обработки	Графики, числовой характер

РС и современных периферийных устройств. В табл. 2.4.4 приводятся основные технические характеристики приемника КРОСС-РС:

Цифровой приемник геоакустических сигналов «РОСА»

В качестве современного устройства приема сейсмических сигналов на земле и геоакустических на борту приводится описание приемного комплекса «РОСА». Комплекс представляет собой распределенную цифровую систему сбора данных для сейсмических исследований и является многоточечной сетью передачи данных, объединяющей центральный и шесть периферийных модулей. Управляющая программа выполняется на IBM PC-совместимом компьютере типа Notebook, подключенном к центральному модулю через стандартный параллельный порт. Структурная схема приведена на рис. 2.4.20.

Центральный модуль содержит высокостабильный опорный генератор и приемник GPS для его синхронизации по всемирному времени. Каждый периферийный модуль преобразует сигналы трехкомпонентного сейсмометра в 16-разрядный цифровой код и выдает его в сеть по запросу центрального модуля. Поступающие в режиме реального времени данные от периферийных модулей записываются на жесткий диск компьютера. Расстояние между периферийными модулями 100–200 м (в зависимости от типа кабеля и скорости передачи), общая длина сейсмической антенны 500–1000 м.

Основные характеристики приемника РОСА:

- количество каналов — 18;
- максимальное расстояние между периферийными модулями — 200 м;
- количество периферийных модулей — 6;
- опорный генератор — высокостабильный, с синхронизацией по GPS;
- полная 3-канальная 16-разрядная система сбора данных в каждом периферийном модуле;
- синхронная дискретизация по всем каналам;
- цифровая обработка сигнала;
- цифровой интерфейс между центральным и периферийными модулями;
- программная конфигурация системы;
- скорость передачи, выбирается программно — 38,4К, 76,8К, 153,6К;
- формат асинхронной посылки — 1 стартовый бит, 16 бит данных, 1 стоповый бит, без контроля паритета.

Для коммуникаций в системе РОСА используют гальванически изолированные модули системы РОСА и кабель в виде одиночной витой пары для передачи и приема данных. Связь между периферийными модулями и host-компьютером осуществляется через последовательный двунаправленный интерфейс RS-485. В процессе

взаимодействия между модулями системы РОСА host-компьютер передает команды и принимает ответы периферийных модулей. Каждая команда передается адресно, и только адресованный модуль отвечает. Кроме того, передается команда синхронной дискретизации, позволяющая осуществлять одновременную дискретизацию во всех периферийных модулях системы.

Структура и свойства периферийного модуля

Периферийный модуль (рис. 2.4.21) принимает сигналы от антенны. Входные аналоговые сигналы масштабируются 3-канальным программируемым услителем и оцифровываются 3-канальным 16-разрядным сигма-дельта преобразователем.

Механические свойства:

- размеры — 160×100×75 мм.

Питание (внутреннее):

- батарейки — 4 штуки типа D;
- потребляемый ток: 15 мА — рабочий режим; < 1 мА — режим готовности.

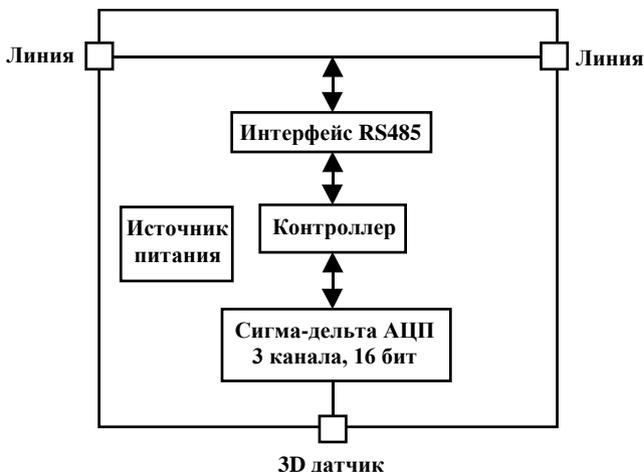


Рис. 2.4.21 Структурная схема периферийного модуля

Аналого-цифровой преобразователь:

- тип: с сигма-дельта модуляцией, первая частота дискретизации 308 кГц;
- частота преобразования: 20, 50, 60, 250 Гц;
- программируемый коэффициент усиления: 1, 2, 32, 128;
- полный входной сигнал: 2,5 В;
- выходной шум: 65 нВ;
- входной импеданс: 2 МОм;
- дрейф нуля: 1 мкВ/град.

Структурная схема центрального модуля

Центральный модуль (рис. 2.4.22) обеспечивает две коммуникационные линии между host-компьютером и периферийными модулями. Центральный модуль подключается к host-компьютеру через стандартные параллельный и последовательный порты. Все данные, принятые от периферийных модулей, записываются на жесткий диск компьютера. Приемный модуль системы GPS пред



Рис. 2.4.22 Структура и свойства центрального модуля



Рис. 2.4.23 Центральный регистратор приемника РОСА

назначен для синхронизации часов на базе термостатированного кварцевого генератора по всемирному времени.

Механические свойства:

- размеры — 300×200×100 мм.

Питание (внешнее):

- напряжение: нестабилизированное +12 ... +30 VDC;
- потребляемый ток: 100 мА, защита от переплюсовки.

Опорный генератор:

- частота: 10 МГц, термостатированная; относительная нестабильность — 10^{-8} в диапазоне 10–50 °С.

Внешний вид центрального регистратора для цифровой системы сбора данных РОСА представлен на рис. 2.4.23.

Регистратор состоит из компьютера типа Notebook, интерфейсного блока и антенны GPS. Интерфейсный блок имеет два канала RS485, к каждому из которых подключаются до трёх периферийных модулей при общей длине линий связи по 600 м. Помехоустойчивость канала передачи данных определяется спецификациями интерфейса RS485. При необходимости количество периферийных модулей и длина линий связи могут быть увеличены.

Программная система реального времени для управления процессами приема и записи исходных сигналов

Современные бортовые системы представляют собой многофункциональные комплексы, реализующие набор функций, необходимый для успешного проведения экспериментальных работ. В число основных функций входят следующие:

- сбор и передача данных от антенны в компьютер;
- контроль качества данных по ходу эксперимента;
- начальная установка параметров аппаратуры и программ, а также режимов регистрации во времени;
- цифровая запись исходных данных на жесткий носитель;
- функциональная обработка данных по ходу эксперимента и визуализация результатов на экране дисплея.

Все эти функции поддерживаются программной системой реального времени, краткое описание которой приводится ниже.

Программный комплекс Аксон предназначен для решения следующих задач, связанных с функционированием бортовой приемной аппаратуры «РОСА» [18]:

- управление аппаратной частью системы регистрации РОСА в том числе запись на жесткий диск поступающих к системам данных;
- преобразование записанных данных в формат РС, используемый для их дальнейшей обработки;
- диагностика и наладка системы регистрации РОСА;
- обучение пользователя работе с подсистемой регистрации (демонстрационный режим);
- возможность преобразования файлов формата *.ARM в формат РС с возможностью слияния файлов.

Комплекс представляет собой объединение нескольких функционально законченных подсистем в одном исполняемом файле. Интерфейс задач, в основном, комбинированный, т. е. управление задачами возможно как в пакетном режиме (из командной строки), так и в диалоговом. Нужная задача выбирается указанием

первого ключа командной строки (КС) при запуске программы. Также доступна иерархически организованная система помощи по ключам КС.

При разработке особое внимание уделялось надежности работы системы в целом, ее диагностике, автоматизации работы, а также отчетности. Таким образом, в составе комплекса можно выделить две подсистемы, не являющиеся задачами: подсистема диагностики и журнал. Первая обеспечивает выявление неисправностей подключенной аппаратуры и компьютера, контролирует соответствие программной и аппаратной конфигурации ПК системным требованиям. В журнал заносятся результаты диагностики (обнаруженные несоответствия и неисправности); кроме того, журнал является отчетом о работе системы, поскольку содержит сведения обо всех сколько-нибудь существенных событиях, произошедших с момента запуска программы до ее завершения.

Ниже приведен перечень подсистем комплекса и их основные задачи (в скобках указан соответствующий ключ КС).

Регистратор (/reg). Является основным режимом работы программы. Предназначен для управления системами регистрации и записи на жесткий диск компьютера поступающих данных. Составляющими Регистратора являются графическая оболочка пользователя и набор драйверов, обеспечивающих взаимодействие с аппаратурой регистрации. В настоящее время в программу Аксон встроены следующие драйверы: драйверы РОСА для управления соответствующей системой регистрации и драйвер Демо для работы Регистратора в демонстрационном (обучающем) режиме без подключения к компьютеру какой-либо аппаратуры.

Режим энергосбережения (/doze). Используется для снижения энергопотребления включенного компьютера во время паузы между сеансами регистрации. Также позволяет программно выключать компьютер, поддерживающий спецификацию расширенного управления питанием АРМ.

Преобразователь формата Аксон в формат РС (вместо ключа КС указывается имя файла в формате Аксон). Позволяет одновременно с преобразованием (распаковкой) файла Аксон удалить постоянную составляющую записанного сигнала.

Измеритель частоты кварцевых резонаторов (/tune). Предназначен для измерения (с целью подстройки) частоты кварцевых резонаторов «Сонет» в центральных модулях систем РОСА и ВИРС-М, а также в периферийных модулях системы РОСА. Относительная погрешность измерения — не хуже. Используется также для диагностики приемника GPS, встроенного в центральный модуль обеих систем.

Генератор импульсов (/wave). Используется для настройки времязадающих цепей периферийных модулей системы РОСА.

Монитор параллельного порта (/lmon). Предназначен для диагностики и управления состоянием систем регистрации РОСА и ВИРС-М. Кроме того, позволяет выявлять неисправности стандартного режима (SPP) параллельного порта.

Сборщик файлов формата ARM в один файл формата ARM (/join). Объединяет несколько файлов формата ARM, образующих непрерывную по времени трассу, в один файл того же формата.

Подсказка по ключам командной строки (/help). Предназначена для получения оперативной подсказки по командной строке программы.

Цифровая донная станция ЦДС-1. Для измерения параметров сейсмоакустических волн на границе перехода дно-

Рис. 2.4.24 Цифровая донная станция ЦДС-1

море и изучения донных шумов разработана глубоководная донная станция ЦДС-1. Внешний вид станции представлен на рис. 2.4.24.



В состав ЦДС-1 входят трехкомпонентный сейсмоприемник в карданном подвесе — СВ1-Н, гидроакустический датчик, цифровой блок управления, реализующий функции сбора данных и записи их на цифровой магнитофон, а также управления аппаратурой двусторонней связи. Последняя обеспечивает качественную передачу геофизической информации с ЦДС на надводное судно по гидроакустическому каналу связи и прием сигналов управления с судна на ЦДС. Станция обеспечивает регистрацию сигналов в полосе частот 1–30 Гц, скорость передачи информации — до 1600 бод, приема — 50 бод. Корпус станции рассчитан на глубины погружения до 6000 м.

Скважинный сейсмоприемник СС-3

Скважинный сейсмоприемник предназначен для регистрации сейсмических сигналов в глубоких скважинах. Преимущество скважинной регистрации обусловлено необходимостью ухода от влияния поверхностных шумов. Применение скважинных наблюдений оправданно для районов с высоким уровнем шумов и резким убыванием их по глубине. Так, например, по данным Токийского метеорологического института для глубины 50 м (вертикальная компонента) отношение амплитуд шума в скважине и на поверхности составляет около 0,05 в диапазоне частот 6,3–10 Гц. Этим определяется создание скважинного сейсмоприемника СС-3. Схема его приведена на рис. 2.4.19. По своим характеристикам это трехкомпонентный сейсмодатчик, предназначенный для регистрации сейсмических колебаний в диапазоне частот 5–100 Гц с коэффициентом преобразования 100 В/м/с и точностью ориентации по магнитному полю Земли 5°. Вес прибора — 100 кг. Разработчик прибора — СКБ ВТ СО РАН.

2.4.9 Результаты экспериментальных исследований

Задачи экспериментальных исследований

Регулярно проводимые эксперименты по «передаче–приему» геоакустических сигналов ставят своей задачей:

- оценивание абсолютных уровней сигналов от конкретного типа вибраторов и законов их затухания вдоль заданных сейсмотрасс. В конечном счете это позволяет оценивать энергию сейсмических волн на излучение для достижения необходимой помехоустойчивости приема при измеренном уровне помех;
- изучение особенностей распространения сейсмических волн по смешанным трассам: берег–море, море-берег от различного типа вибраторов, сравнительный анализ возможностей различного типа вибраторов для передачи сигналов на телесейсмических расстояниях;
- оценивание уровней шумов и помех в разных условиях приема;
- оценивание эффективности различных алгоритмов приема сейсмических волн для реальных сейсмотрасс и шумов. При этом эксперименты по трассам море–берег проводились с учетом того, что прием на земле может быть осуществлен в условиях более низкого фона помех в отличие от приема в море и облегчить, таким образом, задачу изучения особенностей распространения сейсмических волн по смешанным трассам.

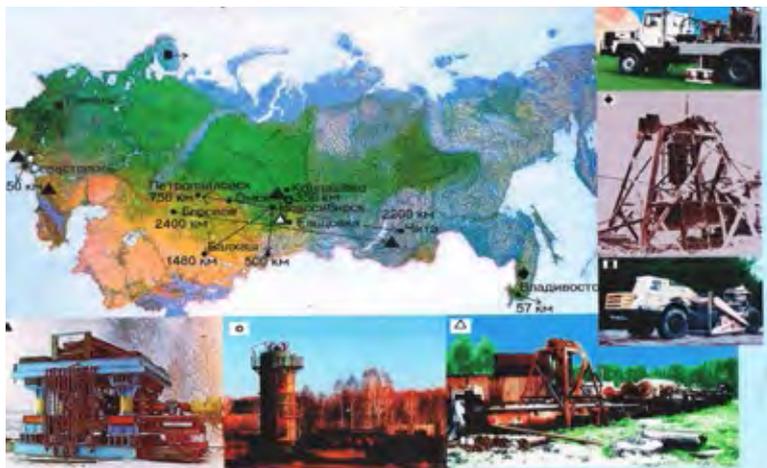


Рис. 2.4.25 Сибирское отделение РАН

География районов проведения работ с указанием расстояний и используемых источников представлена на рис. 2.4.25. На полях карты приведены внешние виды сейсмических источников, которые использовались при проведении экспериментов. Места установки их на карте помечены соответствующими символами. Как следует из карты, были охвачены акватории Черного, Баренцева морей и Тихого океана, а также протяженные наземные трассы.

Результаты работ на трассах «берег–море», «море–берег»

Одна из задач, возникающая при передаче сигналов в направлении смешанной трассы «берег–море», связана с изучением условий перехода через границу по отношению к известным типам вибраторов. Изучение возникающих здесь особенностей преследует своей целью выбор типа источника, наиболее оптимального для целей передачи сейсмических колебаний в воду, т. е. по отношению к которому обеспечивается условие минимального ослабления сигналов на границе перехода. Как известно, в воде на больших глубинах распространяются лишь продольные волны. В связи с этим вправе ожидать, что такого типа источником должен быть источник продольных волн, т. е. с вертикально поляризованной возмущающей силой. Для оценивания эффективности разного типа мощных вибраторов по указанному критерию были выполнены эксперименты с одновременной регистрацией сейсмических колебаний на берегу и гидроакустических колебаний в воде.

На рис. 2.4.26 представлена схема проведения экспериментальных работ на трассе «берег–море» на Черном море. Карта района представлена на этом же рисунке. В качестве источника сейсмических колебаний использовался передвижной вибратор VSH-8 (см. табл. 2.4.3 и рис. 2.4.14). Источник располагался на высоком скалистом берегу в 200 м от уреза воды. Регистрация гидроакустических колебаний осуществлялась с помощью спускаемого гидрофона с борта гидрографического судна в режиме дрейфа. Регистрация производилась на удалениях 8, 20 и 45 км и глубинах соответственно 40, 80 и 250 м. Сеансы возбуждения сейсмических



Рис. 2.4.26 Схема и результаты проведения работ на трассе «берег–море»

колебаний соответствовали набору дискретных частотных сигналов длительностью 240 с каждый. Из анализа спектров следует, что основной широкополосный диапазон помех (шумы вибраций корпуса) от судна лежит на частотах 0–3 Гц. Это определяет выбор частот зондирующих сигналов.

По результатам экспериментов, соответствующих дальности регистрации гидроакустических сигналов 45 км, могут быть получены ориентировочные оценки необходимых энергетических затрат для обеспечения больших дальностей регистрации. При этом принимается во внимание, что оценка мощности излучения в продольную волну от вибратора VSH-8 составляет 35 Вт, а сеанс зондирования на гармоническом сигнале составляет 240 с, что соответствует мощности излучения 8400 Дж. С учетом квадратичного закона затухания колебаний по энергии оценка потребной энергии излучения сейсмической волны для обеспечения дальности регистрации 1000 км для частот зондирования, которые использовались в экспериментах (5 Гц), составит ориентировочно $84 \cdot 10^6$ Дж, или 23 кВт·ч. Это приблизительно совпадает с оценкой, вытекающей из графика на рис. 2.4.1 (около 20 кВт·ч).

Результаты работ на трассе море–берег

Источником колебаний в море являлись два пневмоисточника ПИ-5 (см. табл. 2.4.3), которые буксировались на глубине 20–30 м судном «Евпатория» (рис. 2.4.27). Пневмоисточники буксировались со скоростью 5 узлов. Гидроакустические колебания от источников возбуждались в воде путем мгновенного выпуска в воду сжатого воздуха давлением 150 атм. Интервал между выхлопами пневмоисточников составлял 2 мин. Запасенная энергия в пневмокамере источника соответствует 8000 Дж. Возбуждаемый источником спектр колебаний охватывает полосу 7–30 Гц. Распространяющиеся в море гидроакустические колебания от источника на границе «море–дно» переходят в сейсмические колебания, которые регистрируются на берегу с помощью среднечастотных сейсмодатчиков



Рис. 2.4.27 Схема и результаты регистрации на берегу Черного моря (район пос. Форос)

СК1-П. Датчики этого типа рассчитаны на регистрацию колебаний в полосе частот 0,5–100 Гц. На берегу регистрация колебаний осуществлялась в районе пос. Форос. Записи сигналов в диапазоне дальностей 15–50 км представлены в правой части рис. 2.4.27. Вычисленные времена пробега волн, а также графики затухания сигнала по расстоянию и уровню шумов представлены на рис. 2.4.27 слева. Из анализа графиков следует, что регистрируемым волнам первых вступлений соответствуют скорости распространения около 3 км/с.

Выбранная схема регистрации сейсмических сигналов является обратной по отношению к рассмотренной выше схеме работ в направлении «берег–море». Принимая во внимание совпадение энергетических характеристик излучаемых волн для прямой и обратной схем проведения работ, вправе ожидать близость получаемых результатов. Такая близость подтверждается результатами регистрации, приведенными на рис. 2.4.26, для дальности 45 км и на рис. 2.4.27 для дальности 48 км соответственно. Таким образом, экспериментально подтверждено соответствие энергетических характеристик источников ожидаемым дальностям регистрации.

Оба проведенных экспериментов — на трассе «берег–море», «море–берег» — доказывают возможности преобразования сейсмических колебаний в гидроакустические и регистрации их на больших глубинах в море, и наоборот — преобразования гидроакустических колебаний в сейсмические и регистрации их на берегу.

Результаты работ на протяженных наземных трассах.

Оценивание законов затухания колебаний по расстоянию

Такие эксперименты ставили своей целью:

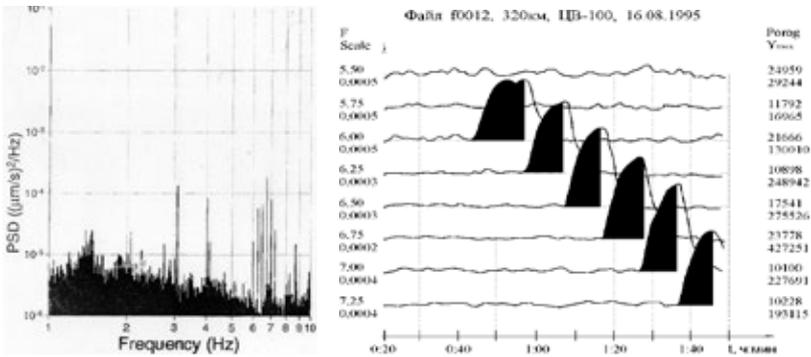
- изучение возможностей накопления сверхслабых вибросейсмических сигналов вибраторов (см. табл. 2.4.2) на фоне многократно превосходящих шумов в диапазоне дальностей 0–2200 км;
- оценивание помехоустойчивости типов зондирующих сигналов;
- получение закономерностей затухания вибросейсмических сигналов.

Регистрация сигналов от вибраторов вдоль наземных трасс производилась в диапазоне дальностей до 2200 км. Регистрация осуществлялась в 2-х режимах излучения — дискретных частотных сигналов (ДЧС) и широкополосных сигналов с линейной частотной модуляцией (свип-сигналов). Пример накопления сигналов первого типа (ДЧС) от вибратора ЦВ-100 на дальности 320 км в диапазоне частот 6–7,25 Гц при шаге перестройки по частоте 0,25 Гц, длительности каждой посылки 600 с представлен на рис. 2.4.28, *а*. В качестве алгоритма обработки применялся многоканальный вариант квадратурного накопления гармонических сигналов на фоне многократно превышающих помех. Как следует из рисунка достигается высокая помехоустойчивость приема сигналов с соотношением сигнал/шум на уровне 40. На рис. 2.4.28, *б* представлен результат спектрального накопления тех же сигналов. Здесь результат накопления представлен модами в области частот, расположенных в полосе 6–7,25 Гц. Аналогичный результат накопления для дальности 430 км представлен на рис. 2.4.28, *в*.

Для режима излучения свип-сигналов от вибратора ЦВ-40 результаты многоканального накопления в диапазоне дальностей 6–342 км представлены на рис. 2.4.29. Значения расстояний указаны над соответствующими рисунками. Результат обработки для этого режима излучения характеризуется вступлением различных волн, прежде всего первичных продольных волн и вторичных поперечных волн.

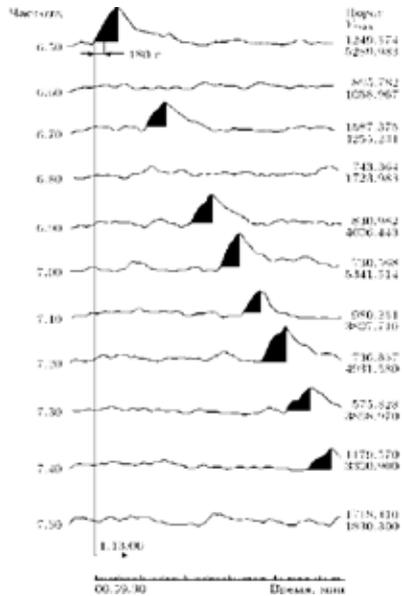
Из сравнения результатов накопления для обоих режимов излучения следует существенно более высокая помехоустойчивость приема по отношению к ДЧС-сигналам в сравнении со свип-сигналами.

Для большой дальности приема образец накопления гармонического сигнала частотой 6,0 Гц от вибратора ЦВ-100 на удалении 850 км представлен на рис. 2.4.30. В верхней части рисунка представлен результат накопления в частотной области, в нижней — фазовременной области. По амплитудному уровню соотношение сигнал шум составляет около 5.



(а)

(б)



(в)

Рис. 2.4.28 Результаты регистрации ДЧС-сигналов в диапазоне частот 6,0–7,25 Гц от вибратора ЦВ-100: (а) в частотной области; (б) во временной области на удалении 320 км; (в) во временной области на удалении 430 км

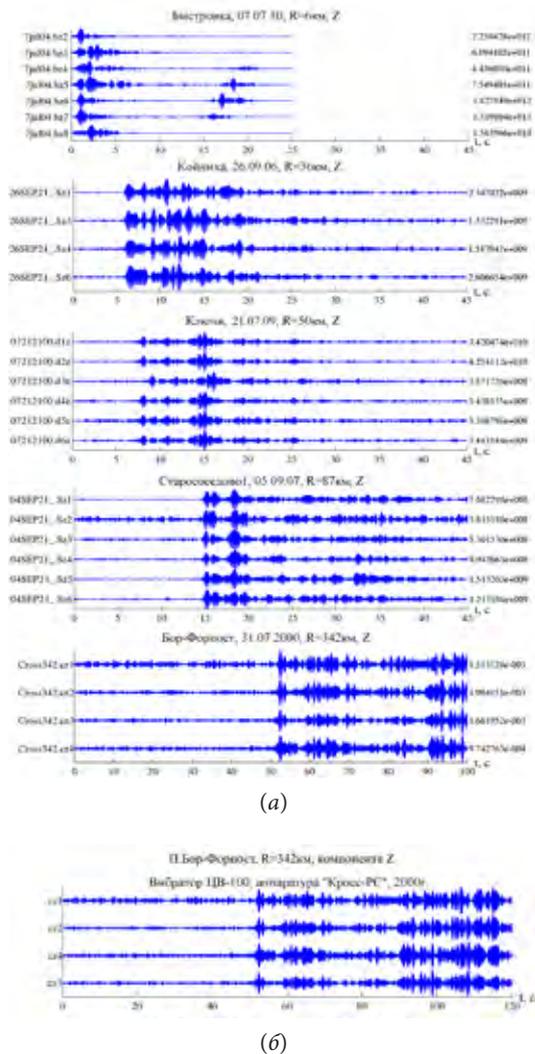


Рис. 2.4.29 Вибрационные сейсмограммы, полученные от вибратора ЦВ-40 на удалениях 6, 36, 50 и 87 км (а) и на удалении 342 км (б)

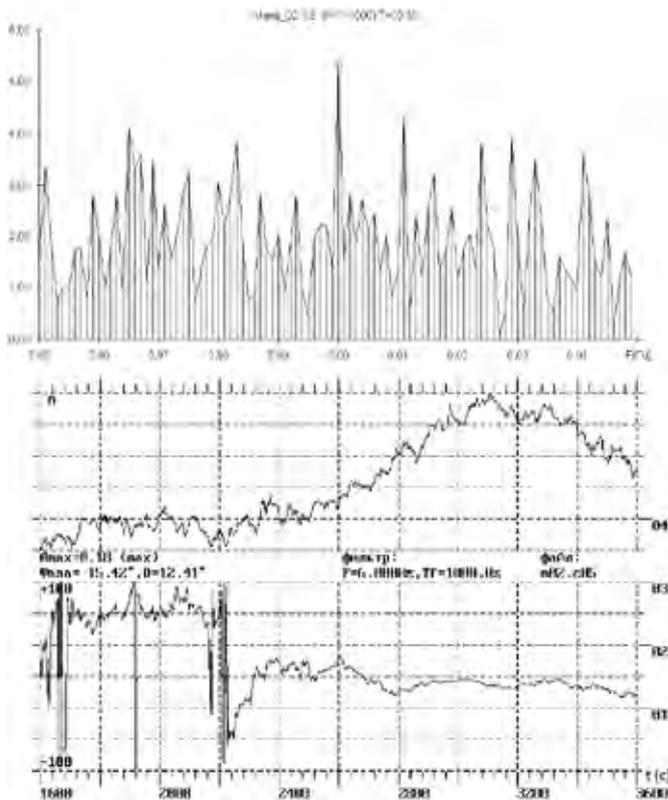


Рис. 2.4.30 Результат накопления гармонического сигнала частотой 6,0 Гц от вибратора ЦВ-100 на удалении 850 км в частотной (сверху) и амплитудно-фазовой областях (внизу)

Как следует из рисунка, момент прихода сигнала точно фиксируется скачкообразным изменением фазы сигнала от случайных вариаций ее к установившемуся значению.

Оценивание законов затухания колебаний по расстоянию

На основе измеренных уровней продольных сейсмических волн (первичных волн) построены графики их затухания по рас-

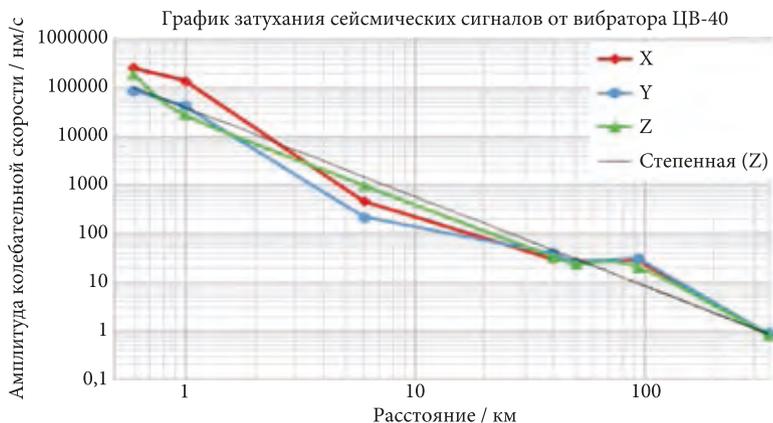


Рис. 2.4.31 График затухания вибросейсмических сигналов по расстоянию

стоянию, отнесенные к компонентам X , Y и Z . Соответствующие графики затухания представлены на рис. 2.4.31 в логарифмическом масштабе. Здесь же представлена экспоненциальная функция, аппроксимирующая исходные графики. В среднем закон затухания в логарифмической шкале носит линейный характер. Это совпадает с общим характером затухания волн, представленным на рис. 2.4.31.

Уровни донных и промышленных шумов подводных объектов

Форма спектра помех, регистрируемых на дне моря, зависит от близости к судоходным линиям и складывается из широкополосных и преобладающих спектральной плотности мощности шума (рис. 2.4.32) узкополосных помех судоходства. Ниже приводятся результаты измерений на дне Черного моря с помощью автономной донной станции, расположенной на глубине 2170 м с координатами: 43039'8" с.ш., 34048'6" в.д. Здесь уровень низкоамплитудного широкополосного шума составляет около $1 \cdot 10^{-18} \text{ м}^2/(\text{с}^2\text{Гц})$.

На широкополосный шум накладывается высокоамплитудная узкополосная помеха на частоте 9,4 Гц. Низкочастотная часть спект-

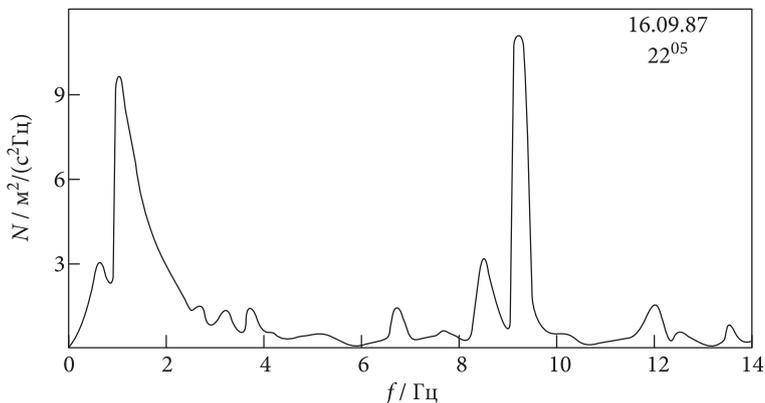


Рис. 2.4.32 Форма спектра помех

ра сосредоточена в пределах до 3 Гц. Ограничение спектра снизу вызвано тем, что канал регистрации открыт снизу начиная с 0,5 Гц.

Приведенный спектр по своим свойствам соответствует приведенным выше донным шумам. Что касается пространственной зависимости внешнего шума, т. е. его направленности, то принято считать, что на низких частотах максимум интенсивности направлен по горизонтали, поскольку основными источниками помех являются проходящие суда и корабли.

Для сравнения на рис. 2.4.33 приводятся уровни шумов, соответствующие наземным пунктам регистрации в районах с низким уровнем шумов.

Как видно, самый низкий уровень шума регистрируется в районе расположения сейсмостанции Усть-Кан. Из сравнения приведенных на графиках уровней широкополосных донных и наземных шумов вытекает сопоставимость их уровней.

Проблема эффективной компенсации промышленных помех погруженного объекта при приеме непосредственно на борту является ключевой. Как известно, эта проблема проистекает из расположения приемных антенн непосредственно в источнике помех —

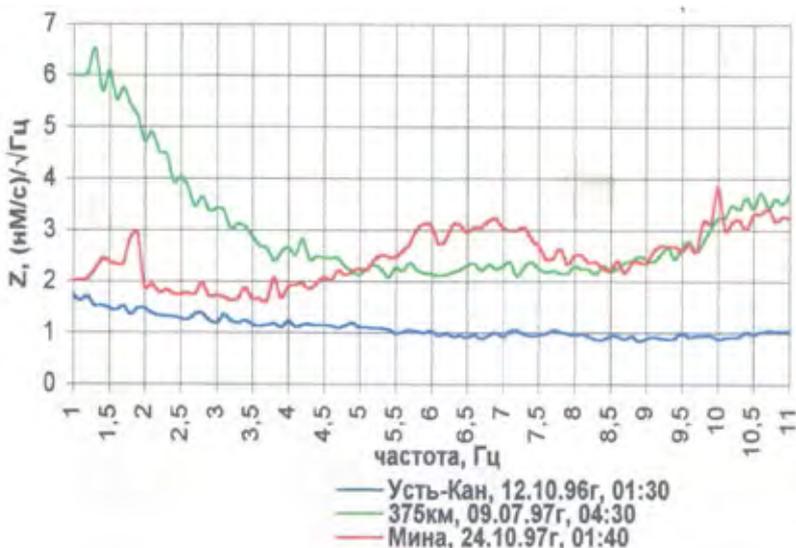


Рис. 2.4.33 Уровни наземных сейсмических шумов в пунктах регистрации в местах расположения сейсмостанций «Усть-Кан» (республика Горный Алтай), «Мина» (Красноярский край)

на борту погруженного объекта. Существенное ослабление влияния помех достигается при выносе приемной антенны за борт. В связи с проблемой передачи сигналов на борт погруженного объекта важно получить информацию о распределении промышленных помех в сейсмическом диапазоне частот и оценивание их количественных характеристик. Были проведены многочисленные эксперименты по регистрации и анализу промышленных помех на борту разного типа проектов погруженных объектов — с использованием разного типа датчиков: сейсмоприемников в карданном подвесе СК1-М, устанавливаемых непосредственно в прочном корпусе, штатных гидрофонов станции МГ-17, спускаемого за борт гидрофона в режиме дрейфа.

Измерения были выполнены в разных режимах: дрейфа и разных скоростях хода. Регистрировались уровни помех с помощью

Таблица 2.4.5 Уровень сейсмических шумов на борту ПО

Диапазон частот, Гц	Уровень помех по компонентам, мкм/(с·Гц ^{1/2})			Примечание
	X	Y	Z	
0,5–1,5	30–180 (1,3–7,7)	90 (8,8)	450 (19)	
1,5–2,5	9,0 (0,33)	45 (0,9)	20 (0,9)	V = 2,5 узл.
2,8–3,1	3,5 (0,142)	55–130 (2,4–5,8)	6 (0,25)	H = 40 м
3,8–6,0	1,0 (0,04)	12–24 (0,5–1,0)	4 (0,18)	Датчик СК-1М
8,8–9,2	5–10 (0,2–0,5)	3 (0,13)	6 (0,26)	() — значения в мкм/с·(1/600 Гц) ^{1/2}
10–20	0,12–0,18 (0,005–0,007)	0,6 (0,025)	0,08 (0,003)	

низкочастотного сейсмоприемника в карданном подвесе СК1-М по компонентам X, Y и Z. Обобщенные данные измерений в виде среднеквадратических значений шумов в определенных полосах частот, а также комментарии по режимам измерений представлены в табл. 2.4.5.

На рис. 2.4.34 представлены соответствующие спектрограммы помех, зарегистрированные с помощью сейсмодатчика СК1-М на борту ПО. В этих измерениях компонента X была ориентирована вдоль продольной оси ПО. На горизонтальной компоненте Y отчетливо проявляются вальные составляющие помех. Это явление становится очевидным, если учесть, что компонента Y ориентирована параллельно плоскости вращения валов. Напротив, на компоненте X отчетливо проявляются лопастные составляющие.

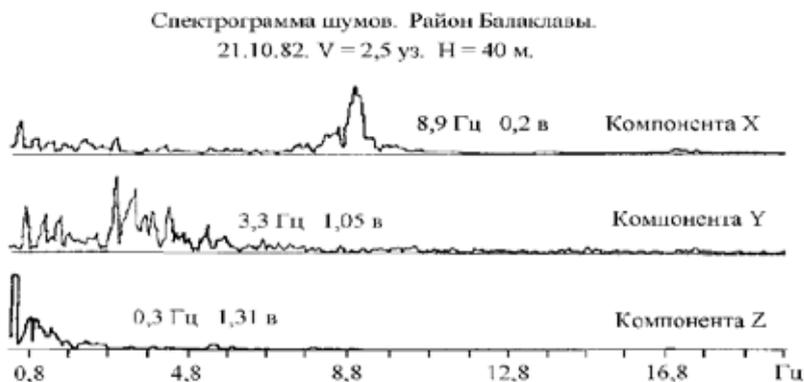


Рис. 2.4.34 Спектр помех по компонентам X, Y и Z на борту ПО. Трехкомпонентный сейсмодатчик в карданном подвесе СК1-М с ориентацией компоненты X вдоль продольной оси ПО. Скорость хода 2,5 узл., глубина погружения 40 м

На вертикальной компоненте Z характер помех определяется низкочастотными «рысканиями» в вертикальной плоскости (здесь скорость хода составляла 2,5 узл. на глубине 40 м). Как видно из приведенных сейсмограмм, основные помехи определяются узкополосными составляющими, на которые накладывается широкополосный шум в области низких частот до 3 Гц.

Сравнительный анализ помех на борту ПО выполнен на основе регистрации сейсмических и гидроакустических колебаний с помощью разного типа датчиков — трехкомпонентного сейсμοприемника в карданном подвесе типа СК1-М, который устанавливался в прочном корпусе, штатных гидрофонов станции МГ-17, спускаемого за борт гидрофона в режиме дрейфа. Обобщенные спектры помех представлены графически на рис. 2.4.35 в диапазоне частот 1–20 Гц.

Из анализа приведенных спектрограмм помех и количественных оценок табл. 2.4.5 следует:

- промышленные шумы состоят из широкополосного шума, на который накладываются узкополосные помехи от вращения

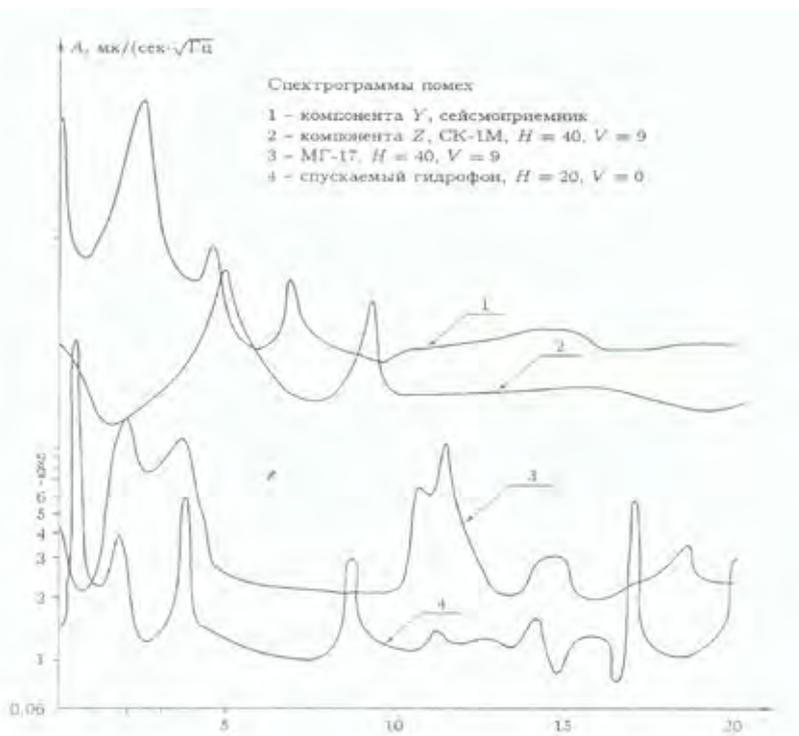


Рис. 2.4.35 Спектрограммы помех ПО для разного типа датчиков

ющихся механизмов ПО. Это, прежде всего, вальные и лопастные составляющие. Наиболее высокий их уровень регистрируется в корпусе ПО;

- основной уровень узкополосных помех регистрируется соответственно на поперечной Y и продольной X компонентах сейсмодатчика. Вертикальная компонента Z наиболее чувствительна к медленным «рысканиям» ПО в вертикальной плоскости. С изменением скорости вращения валов пропорционально по частотной оси будут нарастать узкополосные помехи.

Таблица 2.4.6 Результаты оценивания уровней шумов			
Диапазон частот, Гц	Шумы, Па/Гц ^{1/2}	Шумы, нм/Гц ^{1/2}	Примечание
0,5–12	0,08	1,2	Коса в покое
0,5–1,5	15–20	—	V = 5–6 узл.
12	0,05–0,1	5–10	V = 5–6 узл.

Результаты оценивания уровней шумов от пьезокосы, буксируемой на скорости 5–6 узлов и глубине погружения около 30 м, приводятся в табл. 2.4.6.

Соотношение уровней сигналов и помех

По результатам оценивания в зависимости от дальности уровней сигналов от вибрационных источников ЦВ-100, ГСВ-100 и полученных оценок уровней сейсмических шумов на земле, в море в режиме дрейфа и на ходу от буксируемой пьезокосы, а также измеренных уровней сейсмических шумов непосредственно на борту построены совмещенные графики уровней сигналов и шумов. Такие графики приведены на рис. 2.4.36.



Рис. 2.4.36 Уровни сигналов и помех

На графике уровни помех, отнесенные к изучаемым условиям приема, помечены соответствующим цветом. Видно, что переход от одного уровня к другому сопровождается изменением уровня шумов приблизительно на порядок.

Обсуждение результатов

Результатам проведения экспериментальных работ:

- доказаны принципиальные возможности регистрации и накопления виброрейсмических сигналов на фоне многократно превосходящих шумов в условиях регистрации на земле на расстояниях до 2000 км;
- доказаны возможности распространения сейсмических колебаний от наземных вибраторов через границу перехода «дно–море» и регистрации в воде гидроакустических колебаний. По результатам экстраполяции данных регистрации в воде получены энергетические оценки для обеспечения приема на дальности приема 1000 км, равные приблизительно 23 кВт·ч. Полученная оценка подтверждается данными экспериментов по линиям «берег–море», «море–берег» и согласуется с обобщенными данными, полученными по отношению к регистрации ядерных взрывов;
- экспериментально измеренные уровни шумов в условиях регистрации на земле в районах с низкой шумностью, в море с буксируемой антенной и непосредственно на борту ПО показывают возрастание уровней шумов приблизительно на порядок;
- из полученных результатов вытекает, что проблема компенсации шумов для приема на борту ПО является одной из ключевых. Одним из путей повышения помехоустойчивости приема на ПО является применение принципа распределенной по пространству регистрации гидроакустических колебаний с помощью буксируемой пространственно распределенной антенны. Похожая технология используется в морской сейсморазведке на углеводороды.

Применение вибрационных технологий в интересах науки и народного хозяйства

На основе вибраторов, созданных в СО РАН, были разработаны новые геотехнологии, которые позволяют избежать ряда ограничительных обстоятельств сейсмологии землетрясений и больших взрывов. Они имеют следующие преимущества:

- точно определенные координаты источника и времени начала его работы;
- многократное воспроизведение идентичных воздействий на изучаемую среду (повторяемость эксперимента);
- возможность возбуждения колебаний заранее заданной формы и поляризации;
- возможность автоматизации управления экспериментом на компьютерной основе;
- повсеместность применения, включая густозаселенные и не-сейсмоактивные зоны;
- экологическая безопасность, так как регистрируемый сигнал находится под микросейсмами.

Созданные программно-технические средства явились основой развития ряда вибрационных геотехнологий. Наиболее развитыми из них на сегодня являются:

- технология исследования глубинного строения земной коры и верхней мантии территории Сибири;
- технология активного вибросейсмического мониторинга зон подготовки природных и техногенных катастроф с целью повышения достоверности их прогноза. В первую очередь, сюда относятся сейсмовулканоопасные зоны;
- технология инженерно-сейсмических исследований сейсмостойчивости зданий и сооружений;
- технология повышения нефтеотдачи выработанных пластов;
- технология вибросейсмической калибровки сейсмотрасс и сейсмомостанций.

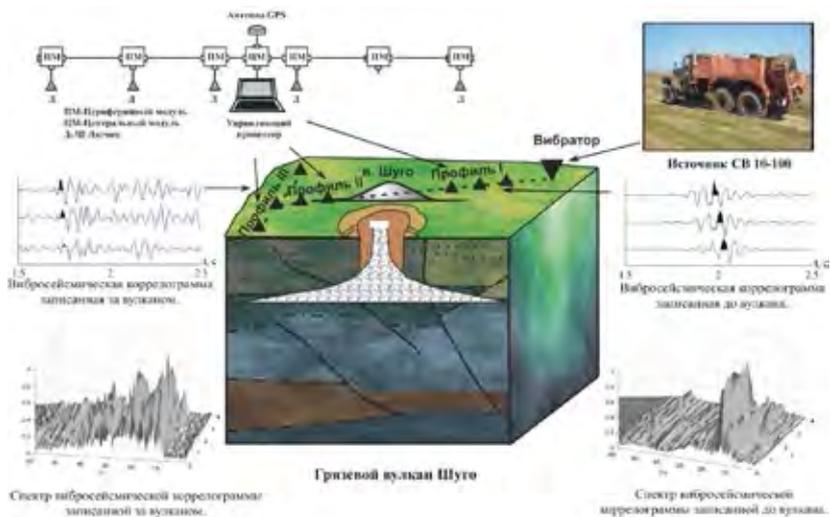


Рис. 2.4.37 Грязевый вулкан Шуго

Технология активного вибросейсмического мониторинга предусматривает наблюдения за состоянием земной коры по изменению характеристик распространения сейсмических волн, возбуждаемых вибрационным источником сейсмических колебаний. В данном случае имеется в виду грязевый вулкан Шуго (рис. 2.4.37), расположенный в Таманской грязевулканической провинции (Краснодарский край) [19]. На рисунке представлены основные компоненты применяемой технологии: широкополосный вибратор СВ-10/100, аппаратура регистрации и обработки сейсмических сигналов РОСА, объект исследования — вулкан Шуго, результаты обработки сейсмических сигналов до вулкана и за вулканом.

Применяемая вибрационная технология предназначена за слежением геодинамических процессов, развивающихся в жерле вулкана, путем регулярного просвечивания его с последующим контролем откликов среды в интересах решения прогнозной задачи.

Вибросейсмическая технология повышения нефтеотдачи пластов

Разработана и экспериментально исследована методика вибросейсмического воздействия на массив горных пород с целью создания научных основ и поиска путей повышения эффективности вибросейсмических технологий, предназначенных для увеличения нефтеотдачи пластов, дегазации угольных толщ и предотвращения горных ударов.

Выполнены комплексные исследования влияния вибросейсмического воздействия на жидкую и газовую фазы нефтенасыщенных пород (рис. 2.4.38). Изучено влияние вибросейсмического воздействия на увеличение дебита попутного газа, изменение физико-химических свойств и состава нефти и попутного газа, увеличение дебита и снижение обводненности жидкости, отбираемой из скважин. Впервые многие явления, возникающие при вибросейсмическом воздействии на массив горных пород, исследованы в натуральных условиях во времени и в пространстве. Полученные результаты положены в основу технологии вибросейсмического воздействия на нефтепродуктивные пласты. В ходе проведения опытно-промышленных работ на Правдинском, Северо-Салымском и Суторминском месторождениях Западной Сибири впервые доказана технико-экономическая эффективность вибросейсмического воздействия с дневной поверхности на нефтепродуктивные пласты в промысловых условиях [20].

Многие научно-практические вопросы обеспечения дальнейшей передачи сейсмических сигналов в той или иной мере рассматривались в [21–23].

Заключение

1. Рассмотрена проблема построения системы передачи сигналов управления на ПО. Оценены и рекомендованы к использованию резервы минимизации энергетических затрат

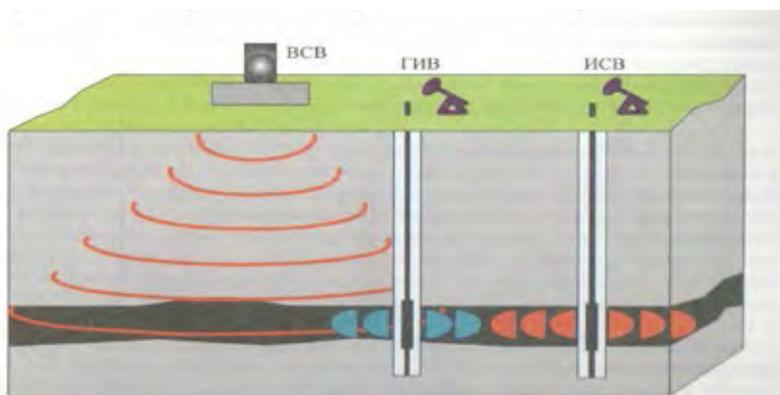


Рис. 2.4.38 Основные разновидности сейсмического воздействия на нефтяные залежи: ВСВ — вибросейсмические; ГИВ — гидроимпульсные, ИСВ — имплозионно-сейсмические

в системе, основанные на резонансном согласовании вибратора с подстилающим грунтом, учете частотно-зависимых свойств среды распространения волн, особенностей перехода сейсмических колебаний на границе «дно–море» и характера помех на борту ПО. Дополнительные резервы связаны с оптимизацией выбора классов зондирующих сигналов и алгоритмов их обработки, со снижением влияния внешних помех за счет пространственно-распределенной антенны. Показано, что наиболее эффективными являются резонансный метод излучения вибросейсмических колебаний в монохроматическом режиме. При этом выигрыш в энергетических затратах может достигать двух порядков. Использование распределенного приема на ПО может увеличить выигрыш еще на порядок.

2. Создание мощных сейсмических вибраторов стимулировало постановку и проведение работ в интересах науки и народного хозяйства, связанные с созданием вибрационных геотехнологий в интересах решения проблем:

- калибровки сейсмических трасс и сейсмостанций в интересах повышения точности локации землетрясений и ядерных взрывов;
 - уточненного исследования глубинного строения земной коры и верхней мантии территории Сибири;
 - вибросейсмического мониторинга зон подготовки природных и техногенных катастроф с целью повышения достоверности их прогноза;
 - инженерно-сейсмических исследований сейсмоустойчивости зданий и сооружений;
 - повышения нефтеотдачи выработанных пластов.
3. По данным натуральных экспериментов с помощью созданных технических средств достигнуты впечатляющие новые результаты: возможности обнаружения и выделения сейсмических колебаний на уровне долей нанометров и акустического давления на уровне 10^{-3} – 10^{-4} Па. Достигнутые результаты и на сегодняшний день сохраняют актуальность, являются уникальными и не имеют аналогов в мире. Достижение таких показателей в мире стало возможным в результате создания новых вибрационных сейсмоакустических технологий, приоритет создания которых по праву принадлежит российской науке. Отсюда большой интерес к таким источникам со стороны зарубежных ученых.
4. Проведение работ по проблеме стало возможным благодаря вниманию и решающей поддержке со стороны Научного Совета «Радиофизические методы исследования морей и океанов» при Президиуме АН СССР (впоследствии РАН), ВМФ, Минпромсвязи на всех этапах проведения работ.
- Решение основных задач по проблеме стало возможным благодаря участию широкого круга ученых и инженеров, во главе которых стояли выдающиеся ученые — академики В. А. Котельников, Г. И. Марчук, А. С. Алексеев, член-корреспондент РАН А. В. Николаев, проф. И. С. Чичинин и др. В проведении работ

в период 1977–2003 гг. участвовали высококвалифицированные исполнители из академических институтов Сибирского отделения РАН, ИФЗ РАН, а также промышленных предприятий ОНИИП, СКБ сейсмической техники (г. Гомель) и ряда других организаций.

В целом за период 1980-х гг. были созданы значительные научные заделы и мощная технологическая база, которые, к сожалению, оказались не востребованными и не получили дальнейшего развития вследствие распада Союза и последовавших в 1990-е гг. разрушительных процессов.

Литература

1. Котельников В. А. Радиосвязь между берегом и морем // Вестник РАН, 1996. Т. 66. № 11. С. 1012–1013.
2. Пасечник И. П. Характеристики сейсмических волн при ядерных взрывах и землетрясениях. — М.: Наука, 1970. 191 с.
3. Жарков В. Н. Внутреннее строение Земли и планет. — М.: Наука, 1983. 415 с.
4. Джеффрис Г. Земля, ее происхождение, история и строение / Пер с англ. — М.: ИЛ, 1960. 484 с. (*Jeffreys H. The Earth: Its origin, history and physical constitution. 4th ed. Cambridge University Press, 1959. 436 p.*)
5. Николаев А. В., Артюшков Е. В., Галкин И. Н., Троцкий П. А., Чичинин И. С. Вибрационное просвечивание Земли. Деп. ВИНТИ № 2549-74, 1974. 158 с.
6. Алексеев А. С., Глинский Б. М., Еманов А. Ф., Кашун В. Н., Ковалевский В. В., Маништейн А. К., Селезнев В. С., Сердюков С. В., Соловьев В. М., Собисевич А. Л., Собисевич Л. Е., Хайретдинов М. С., Чичинин И. С., Юшин В. И. Новые геотехнологии и комплексные геофизические методы изучения внутренней структуры и динамики геосфер // Вибрационные геотехнологии / Под ред. М. П. Лаверова. — М.: Региональная общественная организация ученых по проблемам прикладной геофизики, 2002. С. 474.
7. Алексеев А. С., Глинский Б. М., Геза Н. И., Еманов А. Ф., Кашун В. Н., Ковалевский В. В., Маништейн А. К., Селезнев В. С., Сердюков С. В., Соловьев В. М., Собисевич А. Л., Собисевич Л. Е., Хайретдинов М. С.,

- Чичинин И. С., Юшин В. И.* Активная сейсмология с мощными вибрационными источниками / Отв. ред. Г. М. Цибульчик. — Новосибирск: Изд-во СО РАН «Гео», 2004. 350 с.
8. *Зверев С. М.* Мониторинг донных сейсмических шумов в Южной Атлантике // Вулканология и сейсмология, 1996. № 4. С. 62–85.
 9. *Островский А. А.* Донные сейсмозксперименты. — М.: Наука, 1998. 255 с.
 10. Применение цифровой обработки сигналов / Под ред. Э. Оппенгейма; пер. с англ. — М.: Мир, 1980. 550 с. (Applications of digital signal processing / Ed. A. Oppenheim. — Prentice Hall, 1978. 499 p.)
 11. *Ивашин В. В., Милорадов И. А., Симкин С. А., Чичинин И. С.* Резонансные схемы согласования вибратора с грунтом // Проблемы вибрационного просвечивания Земли. — М.: Наука, 1977. С. 115–128.
 12. *Воронина Т. А., Добринский В. И.* Влияние неоднородностей Земной коры на мощность вибросейсмических волн // Математическое моделирование в геофизике: Труды Вычислительного центра СО РАН. Математическое моделирование в геофизике, 1993. № 2. С. 35–39.
 13. *Кондратьев О. К.* Сейсмические волны в поглощающих средах. — М.: Недра, 1986. 175 с.
 14. *Хайретдинов М. С., Кривоуцкий В. С.* Анализ пространственно-частотных параметров среды применительно к задачам вибрационного просвечивания Земли // Проблемно-ориентированные вычислительные комплексы. — Новосибирск, 1990. С. 42–53.
 15. *Хайретдинов М. С., Кривоуцкий В. С., Сенин А. Г.* О помехоустойчивости сигналов при глубинном просвечивании Земли // Проблемно-ориентированные вычислительные комплексы. — Новосибирск, 1991. С. 28–40.
 16. *Хайретдинов М. С., Родионов Ю. И., Дворецкая Л. Г.* Программно-технические средства обработки вибросейсмических сигналов и анализа микросейсм. — Новосибирск: ВЦ СО РАН, 1993. Препринт № 969. 42 с.
 17. *Григорюк А. П., Родионов Ю. И., Хайретдинов М. С.* Система регистрации и обработки вибросейсмосигналов на базе персонального компьютера // Труды ВЦ СО РАН. Серия: математическое моделирование в геофизике, 1994. Вып. 3. С. 130–137.
 18. Методы решения прямых и обратных задач сейсмологии, электромагнетизма и экспериментальные исследования в проблемах изучения

- геодинамических процессов в коре и верхней мантии Земли / Под ред. Б. Г. Михайленко, М. И. Эпова. – Новосибирск: Сибирское отделение Российской академии наук, 2010. 309 с.
19. *Сердюков С. В.* Экспериментальное обоснование вибросейсмической технологии добычи нефти: Дис. ... д-ра техн. наук. Новосибирск: Институт горного дела СО РАН, 2001. 418 с.
 20. Проблемы вибрационного просвечивания Земли / Под ред. А. В. Николаева. — М.: Наука, 1977. 240 с.
 21. Исследования Земли невзрывными сейсмическими источниками / Под ред. А. В. Николаева, И. Н. Галкина. — М.: Наука, 1981. 336 с.
 22. Проблемы нелинейной сейсмологии / Под ред. А. В. Николаева. — М.: Наука, 1987. 288 с.
 23. Физические основы сейсмического метода. Нетрадиционная геофизика / Под ред. А. В. Николаева. — М.: Наука, 1991. 240 с.

2.5 Некоторые аспекты связи с глубоководными объектами в диапазоне сверхнизких частот

Н. Л. Астахова, А. В. Васильев, Д. Н. Владимиров

АО «Российский институт мощного радиостроения»

1. История

Постоянный интерес к проблемам распространения электромагнитных волн низких и сверхнизких частот (СНЧ) объясняется помимо исследовательских целей еще и тем, что только в этом диапазоне частот возможно решение таких стратегически важных технических задач как обеспечение устойчивой связи с глубоководными объектами, поиск радиофизическими методами глубинных залежей полезных ископаемых и ряда других.

Качественно новый этап в освоении диапазонов сверхдлинных волн (СДВ, 3–30 кГц) и сверхнизких частот (СНЧ, 30–300 Гц) начался тогда, когда с особой остротой встала проблема связи при решении задач в удаленных районах Мирового океана [1]: возможность бессеансового приема сигналов на ГО без снижения их скорости и необходимости подъема на поверхность.

Фундаментальные исследования по изучению принципиальной возможности использования электромагнитного поля в диапазоне СНЧ в интересах создания линий связи с ГО завершились созданием в СССР и США СНЧ-радиостанций.

2. Особенности СНЧ диапазона

Преимущества использования СНЧ радиоволн для связи с объектами, находящимися на большой глубине, связаны с уникальными особенностями электромагнитного поля СНЧ диапазона:

- благодаря значительной длине волны, СНЧ волны, распространяясь в волноводе Земля-ионосфера, проникают довольно

глубоко в стенки волновода. На акваториях морей эта глубина на частотах ниже 100 Гц достигает 100–150 м, а на территориях кристаллических щитов — 10–15 км;

- слабое затухание СНЧ радиоволн в сферическом волноводе Земля-ионосфера, его величина уменьшается с понижением частоты от 10–20 дБ/1000 км на частоте 1 кГц до 1–2 дБ/1000 км на частоте 100 Гц. Это позволяет обеспечивать практически глобальную связь с удаленными объектами при неподвижном положении передатчика;
- параметры распространения СНЧ радиоволн слабо зависят от рельефа, магнитных бурь, естественных и искусственных ионосферных возмущений, что обеспечивает более высокую стабильность связи по сравнению с высокочастотными радиопередатчиками.

Однако, несмотря на очевидные преимущества СНЧ радиосвязи, нельзя не указать и отрицательные моменты:

- односторонний характер связи: большие длины волн требуют сооружения громоздких излучающих антенн с линейными размерами в несколько десятков (до сотни) километров;
- малая пропускная способность СНЧ радиоканала;
- низкая эффективность СНЧ антенн и, соответственно, значительные потери при излучении требуют использования мощных источников.

3. Антенная система: пути повышения эффективности

Оптимальным излучателем СНЧ радиоволн на сегодняшний день является низкорасположенная горизонтальная электрическая антенна, заземленная с обеих сторон. Общеизвестно, что эффективность излучения таких антенн обратно пропорциональна корню квадратному из проводимости земли σ и, соответственно, тем выше, чем меньше электропроводность [2–8]. В то же время сооружение заземлителей в районах с высоким удельным сопротивлением представляет собой весьма трудоемкую задачу. В предположении модели однородной земли указанное противоречие

может быть разрешено выбором таких размеров заземлителей, которые позволят получить максимально возможный токовый момент при фиксированной мощности генератора и линейного размера антенной системы. Такие протяженные заземлители непосредственно участвуют в формировании поля в дальней зоне, улучшая тем самым эффективность излучения антенны.

Другой подход состоит в поиске вблизи концов полотна антенны локальных неоднородностей с пониженным удельным сопротивлением. В этом случае необходимо проводить не только геофизические исследования, но и экспериментальные работы по прогнозированию сопротивления заземлителей и выбору их оптимальной конструкции. Последнее обусловлено тем, что теоретический анализ заземлителей в средах с ярко выраженными вертикальными неоднородностями мало эффективен. Наличие участков с пониженным удельным сопротивлением позволяет спроектировать и построить заземлители с достаточно большими линейными размерами. При этом очевидно, что ввиду малости размеров сосредоточенных заземлителей, излучением последних можно пренебречь. А это, в свою очередь, означает, что вклад заземлителей в формирование излучательных характеристик антенной системы крайне незначителен.

4. Вопросы электромагнитной совместимости

Для СНЧ диапазона весьма актуальной является задача об электромагнитном взаимодействии низкорасположенных проводников и металлических объектов: линии электропередачи, телефонные линии, ограждения, трубопроводы и т.д. Под влиянием излучения СНЧ антенн в близкорасположенных линиях электропередачи наводятся синфазные токи, которые могут привести к срабатыванию релейных защит и отключению энергосистемы. Воздействие на проводные линии связи также может привести к аварийной ситуации. Поэтому при проектировании низкочастотных излучателей, протяженность которых исчисляется десятками километров, решение вопросов электромагнитной совместимости приобретает

значительную остроту. Следует также отметить, что наводимые токи находятся в противофазе по отношению к основному току и, следовательно, эффективность излучения антенны снижается.

Таким образом, создание радиопередающего комплекса СНЧ диапазона является комплексной инженерной задачей. Ввиду большого количества факторов, определяющих облик излучающей системы, решение этой задачи должно выполняться в несколько этапов.

5. Этапы реализации проекта

На первом этапе, исходя из наиболее общих представлений о геологическом строении и инфраструктуре предполагаемого района размещения антенной системы, выполняется оценка ее основных энергетических характеристик, а также рассчитывается радиус действия в заданном диапазоне частот. Наиболее перспективными являются районы с проводимостью меньшей $5 \cdot 10^{-4}$ См/м. Следует также учитывать, что антенная система требует значительных площадей для размещения.

Дальнейшие работы на первом этапе должны сопровождаться детальными геоэлектрическими исследованиями с применением всех современных методов электроразведки, в том числе и с контролируемыми источниками. По результатам этих исследований уточняется трасса антенны, определяются координаты конечных заземлителей и их конструкция. После этого с учетом реального геоэлектрического разреза должны быть проведены уточненные расчеты конфигурации антенной системы и её параметров, глубины приема и дальности действия радиоустановки, необходимой мощности радиопередатчика, оптимальных частот. Кроме того, необходимо уделить самое пристальное внимание вопросам электромагнитной совместимости с существующей инфраструктурой: взаимное влияние с воздушными и кабельными линиями, промышленными объектами, трубопроводами, а также снижению влияния на экосистему.

Второй этап – проектирование оборудования. Большие длины волн предполагают сооружение громоздких антенн с линейными

размерами до одной сотни километров. Конструктивно такие антенны близки к линиям электропередачи высокого напряжения. Следует заметить, что возможно построение антенной системы в виде заглубленных кабельных линий. Такое решение позволяет повысить защищенность антенной системы, сделав ее равнопрочной с самим объектом управления. На основании параметров антенной системы выполняются расчетные работы по определению мощности генераторных установок и диапазона рабочих частот. Определяются технические решения, разрабатывается рабочая конструкторская документация, проекты антенной системы и технических зданий.

Третий этап включает в себя изготовление оборудования, строительство антенной системы и технических зданий.

Заключительный этап – монтаж оборудования, проведение пусконаладочных работ и сдача комплекса в эксплуатацию.

Большой опыт проектирования и строительства систем связи СНЧ диапазона, имеющийся у АО «РИМР», а также предлагаемая организация работ показывает, что система может быть построена в кратчайшие сроки с необходимыми характеристиками.

6. Перспективы использования

Кроме организации связи с глубоководными объектами, применение мощного контролируемого источника СНЧ полей открывает новые перспективы для решения задач фундаментальной и прикладной геофизики, в частности для глубинной электроразведки, прогноза землетрясений, исследований ионосферы.

Это связано с тем, что использование гармонически изменяющихся полей для глубинных электромагнитных исследований позволяет получать более достоверные по сравнению с другими методами данные. Экспериментальные работы, подтверждающие возможности использования мощных контролируемых источников, проводились на протяжении последних 20 лет АО РИМР совместно с Центром электромагнитных методов СПбГУ (ранее НИИЗК), ПГИ КНЦ РАН, НИРФИ и «ВИРТ-Рудгеофизика» [9, 10].

Таким образом, с помощью радиосредств СНЧ диапазона могут быть решены следующие задачи научного и прикладного характера:

- изучение параметров глубинного электрического разреза и верхней мантии;
- изучение прочностных свойств кристаллических пород фундамента и стабильности массивов под строительство промышленных сооружений, включая особо опасные;
- работы по прогнозированию сейсмической активности;
- исследования по изучению ионосферы и распространению радиоволн.

Освоение диапазона крайне низких частот (единицы герц), создание передающего комплекса позволят увеличить глубину связи с объектами, находящимися под водой, а также расширить возможности геофизических исследований, в частности, поиска глубинных залежей углеводородов.

Авторы от имени АО «Российский институт мощного радиостроения» выражают глубокую признательность Научному совету при Президиуме РАН по проблеме связи с глубоководными объектами за его неоценимый вклад в развитие связи с глубоководными объектами, который в значительной степени способствовал конечному успеху работ по созданию системы связи СНЧ диапазона.

Литература

1. <http://enterprise.spawar.navy.mil/>
2. *Burrows M.L.* ELF Communications Antennas. Lincoln Laboratory. Massachusetts Institute of Technology. USA.
3. *King R.W., Smith G.S.* Antennas in matter. V.1,2.–Cambridge, Massachusetts, 1981.
4. *Sommerfeld A.* Annalen der Physik, 1919. В.28.
5. *J. Wait.* IEEE Trans. 1974. V.22. № 4.
6. *Вайнштейн Л.А.* Волны тока в тонком цилиндрическом проводнике // Журнал технической физики, 1961. Вып. 1.

7. *Вайслейб Ю.В., Собчаков Л.А.* Диполь вблизи плоской границы раздела двух сред//*Антенны*, 1979. Вып. 27.
8. *Лавров Г.А., Князев А.С.* Приземные и подземные антенны.—М.: Советское радио, 1965. 474 с.
9. Геоэлектрические исследования с мощным источником тока на Балтийском щите/ Под. ред. Е.П. Велихова—М.: Наука, 1989. 271 с.
10. *Велихов Е.П., Жамалетдинов А.А., Собчаков Л.А., Вешев А.В., Сараев А.К., Токарев А.Д., Шевцов А.Н., Васильев А.В., Сонников А.Г., Яковлев А.В.* Опыт частотного электромагнитного зондирования земной коры с применением мощной антенны СНЧ-диапазона// *ДАН*, 1994. Т. №338. №1. С. 106–109.

2.6 Три источника и три составные части системного подхода к обеспечению связи с глубоководными объектами

А. А. Зацаринный

Проблематика обеспечения связи с глубоководными объектами является сложной, наукоемкой, принципиально междисциплинарной и поэтому требует комплексного системного подхода к решению всего спектра поставленных задач.

Методы решения задач на основе системного подхода в той или иной степени применяются более 150 лет и применялись на всех этапах развития систем связи с надводными и подводными объектами. Однако лишь в течение трех–четырёх последних десятилетий их применение во всех сферах жизнедеятельности человека стало действительно повсеместным.

Говоря о системном подходе, следует отметить, что речь идет о выработке неких принципов, общих подходов к решению сложных задач, о попытке взглянуть на создаваемую систему в целом, более того — попытаться заглянуть вперед. При этом чем сложнее система, тем важнее системно подходить к ее созданию. И совсем не обязательно при этом детальное знание конкретных элементов системы, необходимых для реализации найденного решения. Важны принципы, подходы, умение видеть систему как целое. Известный постулат К. Гельвеция «Знание некоторых принципов легко возмещает незнание некоторых фактов» — справедлив и сегодня.

Действительно, сегодня никого убеждать не надо в том, что человечество вступило в эпоху всеобщей информатизации. В этом огромные преимущества и позитивные стороны развития общества, но одновременно, надо прямо признать, и множество новых проблем.

Первая — глобальность информационного общества, множество информационных связей, огромное число средств информатизации,

порождающих информацию в самом различном представлении (файлы, видео, аудио, презентации, документы, средства массовой информации и т. д.). Объемы информации растут лавинообразно, примерно по показательному закону. Что с этим делать?

Вторая проблема — принципиальная гетерогенность (разнородность) глобального информационного пространства. Стандартизация, унификация, типизация — все это очень часто остается в виде деклараций.

И, наконец, третья проблема — информационная безопасность, особенно в сфере защиты персональных данных. Глобальная автоматизация процессов повседневной деятельности не только юридических, но и физических лиц создала благоприятные условия для киберпреступлений в информационной сфере.

Приведенные проблемы не менее остро стояли и стоят в настоящее время при обеспечении связи с глубокопогруженными объектами. Действительно, если представить эти проблемы комплексно, то они затрагивают целый ряд взаимоувязанных процессов, а именно:

- требования к трактам доведения информации до глубокопогруженных объектов на основе оперативных требований к системе управления морской стратегической компонентой;
- декомпозиция этих требований применительно к различным периодам обстановки, к видам информации и др.;
- обоснование логической модели организации связи;
- разработка протоколов информационного обмена в трактах доведения с учетом специфических особенностей различных родов связи;
- обоснование основных требований к техническим средствам связи, включая технико-эксплуатационные характеристики с учетом их размещения и применения на подводных объектах.

Необходимость если не решения всех этих сложнейших проблем, то, по крайней мере, их систематизации и постановки требует активизации развития и применения методов системного подхода.

Отметим, что научные школы системного подхода в СССР стали формироваться к концу 1950-х гг. До этого системы связи создавались непосредственно пользователями на основе серийно выпускаемых средств связи, которые были полностью отечественными. Системный подход стал формироваться тогда, когда стали появляться такие средства связи, применение которых могло осуществляться только на основе достаточно сложных «объединяющих» технологий, получивших впоследствии название системных решений. Такие технологии могли быть разработаны только конструкторами и разработчиками средств связи или с их участием. Разработка таких решений в процессе проектирования отдельных средств связи, по существу, объективно вызвала необходимость постановки работ по созданию соответствующих систем связи. Наметилась тенденция постепенного переноса «центра тяжести» в проведении исследований и разработки отдельных комплексов и средств связи к проблематике системных и сетевых задач.

Отметим, что подобные системные постановки задач во все времена являлись предметом интенсивного обсуждения применительно к конкретным специализированным системам, в том числе и к системам, обеспечивающим связь с глубоководными объектами.

На протяжении многих десятилетий системный подход развивался, трансформировался и совершенствовался.

Период конца 1960-х – начала 1970-х гг. считается началом серьезного поворота в сторону усиления системных исследований; системный подход стал постепенно пронизывать практически все исследования и разработки, усиливая процессы взаимодействия и согласованность действий научных организаций.

Основные принципы создания систем, обеспечивающих связь с глубоководными объектами, формировались на протяжении многих лет в процессе проведения научных и прикладных работ по их разработке, проектированию и внедрению.

В середине 1990-х гг. оказалось, что реализация заданного объема функций при создании системы определяется не только выделяе-

мыми финансовыми средствами. Заказчику потребовалось очень тщательно оценивать научно-технические и производственные возможности потенциальных исполнителей работы или попросту принципиальную возможность выполнения работы. Прямая зависимость «эффективность–стоимость» оказалась нарушенной. Естественно, это явилось следствием резкого снижения потенциала предприятий научно-производственного комплекса страны, в том числе оборонно-промышленного комплекса, которые всегда приоритетно поддерживались государством на стабильно высоком уровне. Существенно снизился и потенциал военных научно-исследовательских учреждений, которые традиционно вносили значительный вклад в разработку новых систем и комплексов. Вот тогда появился уже трехмерный показатель «эффективность–стоимость–реализуемость». И сегодня такой подход продолжает сохранять свою актуальность.

При разработке организационно-технического замысла любой работы, особенно системной, заказчику необходимо очень взвешенно и обоснованно подойти к определению трех параметров: требования (объем работы), сроки выполнения и стоимость работы. Часто отсутствие обоснованного баланса этих параметров уже при задании работы создает предпосылки к срыву ее выполнения даже самым квалифицированным исполнителем. Вот почему постановки новых работ должны проходить тщательную предварительную экспертизу.

С учетом изложенного можно утверждать, что суть системного подхода в концентрированном виде заключается в выборе наиболее эффективных организационных и системотехнических решений для создания конкретной системы управления с учетом приведенных принципов и включает:

- обоснование перечня требований к системе;
- определение исходных условий;
- формализованное представление системы и разработку вариантов (обликов) ее построения, описываемых множеством параметров;

- выбор показателя эффективности;
- выбор варианта, обладающего наибольшей эффективностью.

Можно утверждать, что во многом благодаря системному подходу в период конца 1970-х – 1980-е гг. в развитии специальных систем военной связи был достигнут ряд научно-практических результатов, которые в полной мере могут быть отнесены к революционным, а реализованные технологии не просто к перспективным, а к прорывным.

В этот период тщательнейшим образом отрабатывались технические задания на основе исследований НИО Минобороны, учитывались результаты фундаментальных исследований Институты Академии наук, ведущих вузов страны. Непосредственной разработке и проектированию предшествовали этапы научно-исследовательских работ системного характера, разработка крупных системных проектов (аванпроектов). В результате этого разработка крупных систем велась достаточно долго, однако качество системной проработки при этом было очень высоким.

Хотелось бы обратиться к некоторым историческим аспектам системного подхода при формировании военно-технической политики развития систем и комплексов военной связи, включая средства ВМФ. Эти аспекты, обращаясь к известной формуле классиков, позволю себе представить, как «Три источника и три составные части системного подхода».

Три источника — это (рис. 2.5.1):

- органы управления военной связью — Генеральный штаб Вооруженных Сил, прежде всего Управление начальника связи ВС СССР, Управления связи видов и родов войск ВС СССР, включая Управление связи ВМФ;
- военная наука в лице, прежде всего, 16 ЦНИИИ МО, ВАС им. С. М. Буденного, видовых НИИ (среди них — 34 НИИ связи ВМФ), военных вузов связи и Уральского военного испытательного полигона связи;
- ведущие предприятия промышленности, прежде всего Минпромсвязи, Минсвязи, Минрадиопрома.



Рис. 2.5.1 Три источника системного подхода

Три составные части системного подхода — это:

- система требований к АСУ и связи (функциональные, технические, информационная безопасность);
- принципы системного подхода к созданию и развитию АСУ и связи (системотехнические и организационные);
- системотехнические решения (технологии, протоколы, стандарты).

Взаимосвязь «источников и составных частей» представляется следующим образом.

1. Требования к АСУ и связи разрабатывались органами управления или так называемыми «функциональными заказчиками» на основании:
 - требований к управлению войсками, силами, оружием;
 - анализа опыта применения и эксплуатации аналогичных систем, в том числе в развитых странах;
 - анализа имеющихся научных, технологических и производственных заделов у потенциальных организаций-разработчиков;
 - выделяемых лимитов финансирования в соответствии с Государственной программой вооружения и государственным оборонным заказом.

Естественно, что для обоснования таких требований привлекаются военные институты, вузы, а также институты РАН (ныне Миннауки).

2. Принципы создания и развития АСУ и связи (системотехнические и организационные) разрабатывались военной наукой под руководством органов управления военной связью.
3. Технические решения (технологии, протоколы, стандарты) разрабатывались предприятиями промышленности с непосредственным участием как военной науки, так и органов управления военной связью, как Заказчиков работ.

Управление начальника связи Вооруженных Сил совместно с Управлением связи ВМФ, подчиненными НИО и вузами активно занималось формированием научно-технической политики в области связи на основе оперативно-стратегических замыслов, разрабатываемых Генеральным штабом.

Каковы тенденции развития системы управления в условиях различных форм и способов вооруженной борьбы? Каким образом строить систему связи? Какие средства связи необходимы с учетом специфики применения боевых средств? А как у «них», у наших вероятных противников? Каковы ресурсы отечественной промышленности в части разработки и серийного производства? Как спрогнозировать темпы перевооружения? Можно ли быстро заменить технику связи? Но как тогда обеспечить совместную работу в войсках нескольких поколений техники: существующей и перспективной? Какова этапность внедрения перспективной техники? Как соразмерить все эти и другие подобные вопросы, чтобы сформулировать такие «ответы», которые обеспечили бы, с одной стороны, устойчивость и непрерывность управления, а с другой — повышение качества, улучшение тактико-технических характеристик. Именно так и зарождались направления научно-технической политики развития и совершенствования систем, обеспечивающих связь с глубоководными объектами.

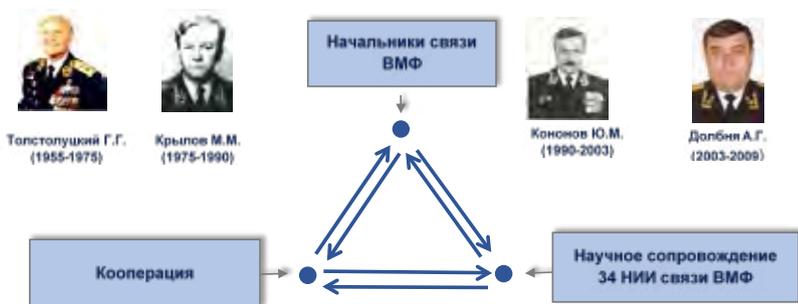


Рис. 2.5.2 Три составные части организации связи ВМФ

В этот период сложился аналогичный треугольник и в части морской составляющей АСУ и связи Вооруженных Сил (рис. 2.5.2):

На вершине этого треугольника - Управление связи ВМФ, которое почти полвека возглавляли выдающиеся руководители: вице-адмиралы Г. Г. Толстолуцкий, М. М. Крылов и Ю. М. Кононов. Об их созидательной и конструктивной деятельности подробно рассказано в разд. 1.3, в статье члена Научного Совета Генерального конструктора АО «Интелтех» В. И. Мирошникова, который лично знал каждого из них.

В кооперацию по созданию специальных систем связи и АСУ для ВМФ СССР входили ведущие предприятия промышленности, прежде всего Минпромсвязи, Минсвязи и Минрадиопрома СССР.

Большой вклад в создание средств связи для опорной сети связи Военно-Морского Флота внесли НПО им. Коминтерна (радиопередающие устройства сверхдлинноволнового и сверхнизкочастотного диапазонов, а также автоматизированные комплексы связи подводных лодок типа «Молния»), Омский НИИ приборостроения (радиоприемные устройства), КБ НПО им. Козицкого (радиопередающие устройства), КБ «Связьморпроект» (буксируемые антенные устройства подводных лодок), НИИ ЭТУ (комплексы технических средств обмена данными радиолиний).

В создание космической связи для Военно-Морского Флота внесли значительный вклад Московский НИИ радиосвязи

(МНИИРС), НПО прикладной механики (в настоящее время — ОАО «Информационные спутниковые системы им. академика М. Ф. Решетнева»), Московский научно-исследовательский радиотехнический институт (МНИРТИ).

Нельзя не отметить вклад в развитие морской составляющей АСУ и связи ВМФ и головных предприятий промышленности в части АСУ Вооруженных Сил:

– НИИ АА (в настоящее время АО «НИИ автоматической аппаратуры им. Академика В. С. Семенихина») как головную организацию по разработке комплексов средств автоматизации верхних звеньев управления и базовой системы обмена данными;

– Ереванский НИИ математических машин (ЕрНИИ ММ) как головную организацию по разработке комплексов средств автоматизации всех уровней управления Военно-Воздушных Сил и вычислительной технике;

– НИИ «Марс» как головную организацию по разработке комплексов средств автоматизации всех уровней управления Военно-Морского Флота;

– НИИ ЭТУ как головную организацию по разработке береговых объектов связи и комплексов технических средств связи и обмена данными с подводными лодками и надводными кораблями.

Научное сопровождение работ, ведущихся предприятиями промышленности, обеспечивал 34 НИИ связи ВМФ, который был создан в 1932 г. как Научно-исследовательский морской институт связи (НИМИС) на базе секции связи Научно-технического комитета морских сил (НТКМ-1923). Первым председателем секции был выдающийся российский ученый в области связи Имант Георгиевич Фрейман, а первым начальником НИМИС — инженер флагман 2-го ранга Аксель Иванович Берг. Начальниками Института были такие незаурядные личности, как контр-адмиралы Виктор Васильевич Лопатинский (1968–1983), Николай Федорович Директоров (1983–1993), Валерий Иванович Шорин (1993–1998).

Представляется необходимым отметить плодотворную деятельность А. И. Берга.



А. И. Берг

Аксель Иванович Берг (1893–1979), советский ученый-радиотехник и кибернетик, основоположник отечественной школы биологической кибернетики и биотехнических систем и технологий, адмирал-инженер, заместитель министра обороны СССР. Академик АН СССР. Герой Социалистического труда (1963).

Берг А. И. — личность уникальная. Будучи адмиралом и действительным членом Академии наук СССР, он в 1959 г. создает Научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика», который объединил

на общественных началах большое число ученых из различных научных и учебных учреждений Советского Союза. В 1960-е и 1970-е гг. в Совете активно работали 16 секций, которые охватывали различные научные направления: математические вопросы кибернетики, техническая кибернетика, вычислительные системы, химическая кибернетика, математическая теория планирования эксперимента, искусственный интеллект и др. Эти секции возглавляли ведущие ученые соответствующих специальностей. Совет был инициатором и организатором многочисленных научных конференций, семинаров и школ. В течение 20 лет Совет по кибернетике был центром организации и проведения важнейших теоретических и прикладных работ по различным направлениям кибернетики. А. И. Берг понимал термин «кибернетика» весьма широко. Он четко сформулировал основную задачу кибернетики: «Задачей кибернетики является повышение эффективности деятельности человека во всех случаях, когда ему необходимо осуществлять управление».



Рис. 2.5.3 Научный треугольник ВМФ

Таким образом, совместная работа различных государственных институтов позволила создать уникальный научный треугольник ВМФ (рис. 2.5.3).

О роли и вкладе 34 НИИ связи ВМФ подробно рассказано в статье ветеранов этого института В. А. Пахотина и В. В. Сергеева (см. разд. 1.5 настоящей книги). Вместе с тем, в дополнение мне бы хотелось отметить, что сотрудники 34 НИИ связи ВМФ на протяжении многих лет активно взаимодействовали с 16 ЦНИИИ МО по проблематике систем радиосвязи, распространения радиоволн, антенно-фидерных устройств, комплексов системы военной спутниковой связи, взаимодействия с базовой системой обмена данными. Самые приятные воспоминания от творческого сотрудничества с научными сотрудниками 34 НИИ: А. А. Смирновым, В. М. Шатуновым, Р. А. Ястребовым, В. И. Дульцевым, Л. Н. Новожиловым, В. И. Дорошенко, А. Н. Полубоком, В. М. Сеньковым и др.

Не могу не отметить, что начальник 16 ЦНИИИ МО (1986–1992) генерал-майор В. М. Якунин после окончания ВМУРЭ им. А. С. Попова несколько лет служил в 34 НИИ связи и всегда с уважением и теплотой вспоминал об этом периоде.

Существенный вклад в развитие системного подхода сотрудники Управления связи ВМФ и 34 НИИ связи внесли в период 2001–2005 гг. в рамках работы Координационного НТС при 16 ЦНИИИ МО РФ.

Очень сильной была в период 1970–1980-х гг. отраслевая наука. На головных предприятиях были созданы научные подразделения, которые во взаимодействии с заказчиком осуществляли функции научно обоснованной конкретизации системных требований применительно к разрабатываемым техническим средствам, а также элементной и компонентной базе. Наиболее результативно такие подразделения трудились в НИИ-778 (с 1966 г. — НИИ электротехнических устройств, с 1974 г. — НИИ ЭТУ, головное предприятие Ленинградского НПО «Красная Заря», с 1994 г. по настоящее время — АО «Информационные телекоммуникационные технологии» (АО «Интелтех»)).



В. А. Котельников

И, наконец, третий компонент — фундаментальную науку — представлял созданный в 1978 г. Научный Совет Президиума АН СССР, который возглавил выдающийся советский ученый с мировым именем академик В. А. Котельников. В рамках Совета концентрировались самые лучшие интеллектуальные ресурсы ученых ряда академических институтов, прежде всего ИРЭ АН, Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе, Вычислительного центра Сибирского Отделения АН СССР, Института атомной энергии им. И. В. Курчатова.

Важно, что председатель Научного Совета был не только выдающимся ученым в области связи (теорема временных отсчетов, теорема о критериях математически недешифруемой системы, теория потенциальной помехоустойчивости — основа статистической радиофизики, новые научные направления: радиолокационная астрономия, космическая радиофизика, планетная радиолокация), но и выдающимся инженером. Так, под его руководством и непосредственном участии были созданы: первая в стране многоканальная буквопечатающая установка для работы по радио (1934),

многоканальная телефонно-телеграфная аппаратура однополосной радиосвязи (линия Хабаровск–Москва), аппаратура кодирования речи для закрытой радиолинии в интересах Ставки Верховного командования (1943–1945). Это редкостное качество позволяло Владимиру Александровичу гармонично синтезировать теоретические достижения в области связи и практику разработки конкретных технических устройств с учетом специфики требований ВМФ.

В рамках Совета рассматривались три группы фундаментальных научных проблем:

- исследование распространения электромагнитных, сейсмических и гидроакустических сигналов различных диапазонов волн в воздушной и водной средах на больших дальностях и глубинах;
- исследование системотехнических вопросов построения многофункциональных антенно-фидерных устройств;
- исследование методов передачи информации в условиях случайных и преднамеренных помех и радиопротиводействия, а также исследование скрытных методов передачи информации.

Нельзя не отметить постоянную «живую связь» В. А. Котельникова с Военно-Морским Флотом, его заинтересованность и участие в решении военно-научных проблем ВМФ. Он всегда с большим интересом и вниманием участвовал в обсуждении этих проблем, предлагая всесторонне обоснованные и глубоко продуманные решения. Владимир Александрович, несмотря на большую занятость и нагрузку, всегда находил время для встречи с представителями научно-исследовательских организаций и руководством ВМФ. Наряду с этим, он активно взаимодействовал и с Управлением начальника связи Вооруженных Сил.

Так, в апреле 2002 г. мне довелось лично докладывать В. А. Котельникову о выполнении его поручения по проведению комплексного анализа проблем создания многоцелевых антенно-фидерных устройств (АФУ), в том числе для специальных объектов. Результаты такого анализа были обсуждены на представительном научном семинаре, который я провел в марте 2002 г. на базе 16 ЦНИИИ МО РФ

с участием военных институтов Военной академии связи, ведущих предприятий промышленности, а также нескольких академических институтов. Хотел бы отметить его очень скрупулезное, я бы сказал дотошное, отношение по каждой позиции доклада.

Литература

1. Автоматизация управления и связь в ВМФ / Под общ. ред. начальника связи ВМФ вице-адмирала Ю. М. Кононова. — СПб.: Элмор, 2001.
2. *Зацаринный А. А.* Комплексный системный подход — основа научно-технической политики Управления начальника связи ВС РФ // Сборник, посвященный 85-й годовщине войск связи. — М., 2004. С.30-40.
3. *Зацаринный А. А.* Роль военной науки в создании, развитии систем и комплексов военной связи // История отечественных средств связи. — М: Столичная энциклопедия, 2013. С. 455–459.
4. *Зацаринный А. А., Кононов Ю. М., Щорс Ю. Г.* Фундаментальные научные проблемы исследования морей и океанов // История отечественной морской радиоэлектронной техники. — М: Столичная энциклопедия, 2018. С. 255–259.
5. *Зацаринный А. А., Мирошников В. И.* Средства связи в ВМФ // История отечественных средств связи. — М.: Столичная энциклопедия, 2013. С.506–513.
6. *Кононов Ю. М., Щорс Ю. Г.* Научные проблемы связи с подводными лодками // Роль российской науки в создании отечественного подводного флота / Под ред. А. А. Саркисова. — М.: Наука, 2008. С. 409–412.
7. *Николашин Ю. Л., Мирошников В. И.* Вклад в развитие средств связи и управления подводными лодками ВМФ // Подводные силы России. — М.: Оружие и технологии, 2006.
8. О создании и развитии войск связи: Тематический сборник, посвященный 85-й годовщине войск связи / Под общ. ред. генерал-полковника Н. П. Лясколо. — М., 2004. 200 с.
9. *Саркисов А. А.* Российская наука — Военно-Морскому Флоту. — М.: Наука, 1997. 398 с.
10. 100 лет Службе связи Военно-Морского Флота. — М.: ИРИАС, 2009.

Глава 3

Как это было
Воспоминания членов Совета в эпизодах

3.1 Заметки ученого секретаря об академике В. А. Котельникове

Ю. Г. Щорс

С академиком В. А. Котельниковым мы проработали в Научном Совете РАН около 28 лет. В. А. был его бессменным председателем с 1978г., а я — ученым секретарем.

Отличительная особенность В. А. — он всегда глубоко вникал в суть проблем и задач, вне зависимости от того, была ли эта задача теоретического или инженерного характера.

Вторая особенность в том, что он внимательно читал все бумаги, которые подписывал: от решения Бюро Научного Совета до выдачи пропуска техническому секретарю Научного Совета.

Внимательно выслушивал своего собеседника, вне зависимости от его научного или должностного ранга, и всегда был настроен вести с ним научный творческий диалог.

Пример. Один научный сотрудник 34 НИИ связи ВМФ сообщил, что совершил некий переворот в науке. Доложил в своем и ряде ленинградских НИИ. Никто не смог найти в его теории изъянов. Организовали встречу с академиком. В. А. сначала спросил его, в рамках каких физических законов будет идти обсуждение: известных или автор претендует на открытие новых. Последовал ответ, что известных. В результате длительной, почти трехчасовой, дискуссии с привлечением методов компьютерного моделирования В. А. доказал собеседнику, что тот был не прав, с чем автор «нового открытия» вынужден был согласиться.

В. А. был трудоголик. Всегда и при любых обстоятельствах готов был обсуждать интересующие его проблемы

Пример. Одно из немногих выездных заседаний Бюро Научного совета в 1980 г. было проведено в Ленинграде в 34 НИИ ВМФ с выездом на полигон на Лебяжье озеро.

После обильного обеда, на котором В. А. был оживлен, провозгласил тост за хозяев и успехи в решении их задач, высказав удовлетворение от увиденного, В. А. вместе с хозяевами возвращался в Ленинград. По дороге хозяева предложили заехать в Петергоф. Стояла золотая осень, была чудесная погода, посетителей парка было мало. После активного и плодотворно проведенного дня у всех было элегическое настроение. В начале прогулки В. А. пригласил двоих сотрудников ИРЭ РАН присесть на лавочку в саду Петергофа и все время, пока члены Научного Совета прогуливались по парку, обсуждал с ними проблемы возможности реализации малогабаритных плазменных антенн.

В. А. был чрезвычайно точен и пунктуален. Несмотря на чрезвычайную занятость, практически все заседания Бюро Научного Совета проводил лично, хотя некоторые из них затягивались до 4–5 ч.

Заседания Бюро Научного Совета последнего десятилетия, как правило, проходили в актовом зале ИРЭ РАН, расположенного на 3-м, последнем, этаже здания. Потолки в ИРЭ РАН высокие, поэтому добраться до актового зала непросто. В. А. буквально до самых последних лет жизни преодолевал эти подъемы самостоятельно, без остановок, не прибегая к помощи лифта.

В. А. был и останется для меня человеком высочайших научных, нравственных, подвижнических начал. Такие люди, как В. А., прививают всем, кому посчастливилось общаться с ними, эликсир высоких жизненных принципов.

3.2 Воспоминания

Г. С. Нероба

Научный Совет РАН по комплексной проблеме дальней связи с глубоководными подводными лодками (ПЛ) во главе с бессменным его председателем выдающимся ученым академиком В. А. Котельниковым сыграл огромную роль в координации фундаментальных, поисковых и прикладных исследований, определении наиболее перспективных направлений развития систем, комплексов и средств связи.



Академик В. А. Котельников проводит рабочее совещание по подготовке очередного заседания Научного Совета (слева — В. А. Котельников, Г. С. Нероба, Н. А. Арманд, справа — Ю. Г. Щорс, А. А. Зацаринный)

Академик В. А. Котельников большое внимание уделял тщательной подготовке заседаний Научного Совета. Многие сложные вопросы, которые планировались к заслушиванию на очередном

заседании, рассматривались предварительно Председателем Совета с привлечением заинтересованных членов Совета. При этом В. А. Котельников неоднократно давал поручения отдельным членам Совета (чаще всего специалистам 34 НИИ связи ВМФ) о подготовке отчетов, технических записок по конкретным направлениям исследований.

Однажды в начале 2000-х гг. произошел интересный случай с сотрудником 34 НИИ связи ВМФ В. А. Пахотиным, который получил от Председателя Совета поручение подготовить записку по научно-техническому обоснованию предлагаемых исследований. Указанная записка в виде отчета объемом порядка 90–100 страниц была представлена академику В. А. Котельникову за неделю до планового заседания Совета.

В. А. Котельников прибыл к месту проведения заседания в ИРЭ за 30 мин до назначенного времени. Поприветствовав членов Совета, он уединился с В. А. Пахотиным и, листая отчет, стал указывать последнему на серьезные ошибки в расчетах и в целом неверной методике вычислений. В. А. Пахотин пытался оправдаться и спорить с академиком. Это продолжалось до тех пор, пока все присутствующие, несмотря на тихий голос академика, не услышали ключевую фразу Председателя Совета: «Ваши расчеты не соответствуют «теореме Котельникова». Это прозвучало для всех, как взрыв бомбы. А товарищ Пахотин сразу сник, прекратил спор и понял, что ему придется коренным образом переделать отчет.

В мае 2003 г. Научному Совету РАН по решению проблемы связи с глубоководными ПО исполнилось 25 лет. Мне выпала большая честь выступить с докладом на заседании Совета, посвященному этой дате. В докладе отмечалось, что к 2003 г. Военно-Морской Флот получил опыт боевого использования Центра связи на сверхнизких частотах в интересах обеспечения связи с глубоководными объектами в различных районах плавания, в том числе в Арктических районах. Продолжала действовать национальная сеть сверхдлинноволновых мощных радиостанций,



Начальник связи вице-адмирал Ю. М. Кононов поздравляет академика В. А. Котельникова с 25-летием со дня создания Научного совета РАН. Слева-направо: Главный инженер управления связи ВМФ капитан 1 ранга Г. С. Нероба, вице-адмирал Ю. М. Кононов, академик В. А. Котельников

которая была усилена принятой на вооружение ВМФ СДВ радиостанцией мощностью 500 кВт «Ротор» для управления силами Северного флота. Завершены работы по созданию и совершенствованию выпускных буксируемых антенных устройств, а также современных автоматизированных комплексов связи.

Все это позволило Военно-Морскому Флоту перейти на бессеансовый режим приема сигналов вызова ПЛ на связь и прием сигналов в информационных каналах СДВ–ДВ–СВ–КВ.

К этому периоду были успешно завершены исследования по использованию в интересах флота электромагнитного поля в диапазоне крайне низких частот. Внедрение такой радиолинии на существующем объекте позволило бы прежде всего увеличить глубину подводного приема. В настоящее время развернуты работы по реализации указанной радиолинии.

Отмечена большая роль Научного Совета во главе с Председателем Совета В. А. Котельниковым в продолжении научно-исследовательских работ в направлении использования сейсмических волн, оптического (лазерного) излучения и созданию принципиально новых нетрадиционных линий связи.



Капитан 1 ранга Г.С. Нероба докладывает об итогах работы Научного совета РАН на заседании, посвященном 25-летию создания Научного совета РАН по решению проблем связи с глубокопогруженными ПЛ

Итоги работы Совета трудно было переоценить. Известно, что внедрение результатов фундаментальных исследований в разрабатываемые средства — это довольно длительный процесс. Так, в 1970-е гг. были начаты поисковые исследования по изучению принципиальной возможности использования электромагнитного поля в диапазоне СНЧ в интересах создания линий связи с ПЛ. Но только в середине 1980-х гг. был создан уникальный мощный центр, работающий в этом диапазоне частот. Это говорит о том,



Главный инженер управления связи ВМФ Г.С. Нероба вручает академику В. А. Котельникову книгу «Автоматизированная система управления и связь ВМФ», выпущенную под редакцией вице-адмирала Ю. М. Кононова

что Научный Совет во главе с В. А. Котельниковым из всех нетрадиционных линий связи выбрал оптимальный путь к достижению важнейшей цели по управлению подводными лодками на глубине.

Широта деятельности академика В. А. Котельникова была настолько велика, что он находил время заниматься также международным сотрудничеством. Так , в начале 2000-х гг. была проведена под руководством В. А. Котельникова с участием ряда членов Совета встреча с представителями Академии наук КНР по вопросу использования искусственный источников электромагнитного поля в диапазоне СНЧ для мониторинга землетрясений и поиска полезных ископаемых.



Поздравление академика В. А. Котельникова на совещании, посвященном 25-й годовщине со дня создания Научного Совета АН СССР по решению проблем связи с глубоко погруженными подводными лодками. Слева-направо: Н. А. Арманд, Г.С. Нероба, Ю. М. Кононов, В. А. Котельников, Ю. Г. Щорс

3.3 В поиске нетрадиционных решений

В. А. Пахотин

Специфика связи с погруженными объектами (ПО) состоит в том, что соленая вода, в которой действует ПО, не пропускает радиоволн подавляющей части освоенного частотного диапазона. Для поиска новых, нетрадиционных носителей информации, способных доставить сообщение на большие глубины, в начале 1970-х гг. в 34 Институте связи ВМФ был создан 35 отдел нетрадиционных линий связи, который возглавлял капитан 1 ранга А. Г. Гречин. В дальнейшем отделом руководили кандидаты наук капитаны 1 ранга С. Д. Коваленко, В. В. Сергеев, И. С. Вербицкий. Отдел состоял из двух лабораторий: 351 лаборатория занималась лазерной линией связи под руководством капитана 2 ранга В. А. Лебедева; в 352 лаборатории, руководимой капитаном 2 ранга В. И. Михайловым, были развернуты работы по поиску других нетрадиционных линий связи.

Отдел проводил поиск новых физических полей и явлений и исследования возможности их использования для создания принципиально новых линий связи с подводными лодками, а также новых технических решений для совершенствования элементов существующих линий связи. Работа велась в тесном контакте с научными организациями АН СССР и Минвуза. К работам лаборатории привлекались ведущие ученые: академики В. А. Котельников, А. Н. Скринский, А. С. Алексеев, доктора наук Г. И. Макаров, М. С. Хайретдинов, В. А. Царев, Е. П. Кузнецов, А. Ф. Писарев, В. Я. Файнберг, В. В. Толмачев, Г. А. Ляхов, К. А. Барсуков, А. В. Костров и др. Большой вклад в работы по нейтрину и сейсмике внесли сотрудники Омского НИИП В. В. Лизунов и Л. Д. Бабиенко. Весомый вклад в развитие оптического канала связи внесли доктор наук В. А. Яковлев из ГОИ им. Вавилова, а также кандидаты наук А. А. Светлых и Ю. В. Шокин, которые были сотрудниками как 34 Института, так и ГОИ им. Вавилова.

По каждому из направлений приходилось работать с исполнителями. Было много интересных впечатлений. Особенно запомнились опыты профессора А. В. Чернетского с разрядником, якобы черпающем энергию из физического вакуума. Мы вместе с начальником отдела В. В. Сергеевым присутствовали при проведении ряда экспериментов. А. В. Чернетский собрал обычный электродуговой генератор, такие генераторы на заре радиотехники были единственными источниками высокочастотных электрических колебаний. Дуговой разряд имеет очень широкий спектр частот, что позволяло выделить фильтром нужную частоту. Генератор представлял собой воздушный разрядник, включенный в резонансный контур. Последовательно с разрядником были включены обычные накаливаемые осветительные лампы. При включении разрядника раздавалось легкое потрескивание, лампы светили все сильнее и сильнее по мере увеличения напряжения на разряднике. В этом ничего необычного не было. Эффект же состоял в том, что при увеличении яркости свечения ламп общая потребляемая мощность от сети не увеличивалась, а даже несколько падала. При дальнейшем увеличении мощности разрядника в лампах появлялось синеватое свечение, держатели нити накала начинали появляться и укорачиваться. Изобретатель объяснял этот эффект особыми свойствами разрядника, который поляризует физический вакуум и дополнительно питается его энергией. В перспективе вырисовывался источник неограниченной энергии. Этот эффект много обсуждался в печати. Было организовано несколько комиссий, которые тщательно измеряли токи и напряжения. Разные эксперты по-разному объясняли эффект, но, конечно, без привлечения физического вакуума. Одно из объяснений таково, что контур настраивается в резонанс на частоте, значительно превышающей промышленную частоту. При этом напряжение на лампах резко увеличивается, что приводит к возникновению газового разряда в лампах. На высокой частоте за счет скин-эффекта лампы сильно разогреваются и начинают светить ярче. Приборы, измеряющие потребляемую мощность, просто давали неверные показания из-за несинусоидального тока. На этом

все и кончилось. Однако осталась какая-то неудовлетворенность. В результате опытов лицо изобретателя покрылось опухольями, и вскоре он умер. Продолжать его эксперименты никто не стал.

Больших усилий и затрат времени требовали экспериментальные исследования по использованию лазеров, элементарных частиц, сейсмических колебаний и СНЧ радиоволн. Эти работы были связаны с походами кораблей. Приходилось организовывать работы на флотах и возглавлять исследовательские группы, состоящие из гражданских ученых, во Владивостоке, Павловске, Абреке, Видяево, Полярном, Гаджиево, Североморске. Сотрудничество с учеными из Академии наук сопровождалось различными смешными казусами. При первом знакомстве с представителями Физического института РАН меня просто потрясло полное отсутствие у них понимания связи с ГПО. Они все считали, что достаточно командующему снять трубку, и он сможет связаться с любым ПО, где бы он ни находился. Отсутствие связи с ПО на больших глубинах их сильно удивило.

Однажды в походе на ПО в Баренцевом море (72° с.ш. в районе Новой Земли) мы испытывали кабельные антенны с целью приема на них СНЧ сигналов по подземным волноводам. Мы с командиром стояли рядом с боцманом, и я говорил ему, каким курсом идти, на какой глубине и какую циркуляцию производить. Все это требовало большого времени и, наконец, надоело командиру: в результате он отдал мне «Каштан» и предложил самому вести лодку. Я успешно справился с управлением лодкой при нахождении ее на глубине.

В другом подобном походе нужно было идти в полигоны боевой подготовки в надводном положении. Разыгрался сильный шторм. Шли двое суток. Вся комиссия лежала пластом вместе с частью команды. Тогда я понял, что не боюсь морской болезни, как и командир. Мы с ним вдвоем сидели в кают-компании и пили вино. Остальные на пищу смотреть не могли, к столу не подходили, а лежали, закутавшись в простыни.

Интересный случай произошел на совещании по возможности использования торсионных полей. Присутствовали генералы из Моск-

вы, командир части Н. Ф. Директоров, с которым я сидел рядом. Идею торсионных проталкивали А. Е. Акимов и Г. И. Шипов. Я их спросил: «Поскольку торсионы распространяются без затухания и мгновенно, то вся Вселенная будет создавать в месте приема сильный шум и прием полезных сигналов будет невозможен?» Генерал, сидевший зади меня, похлопал меня по плечу и сказал: «Полковник, я тебя уволью за такие вопросы».

Тем не менее, надо отдать должное эрудированности и настойчивости авторов торсионной связи, которые сделали свое дело. Несмотря на наши, а также других ученых, в частности академика Ж. И. Алферова, отрицательные заключения, в Москве одобрили это направление и поставили работу на сумму 3 млрд руб. (это был ориентировочно 1993 г.). В «Ленинградской правде» появилась статья о том, что ученые создали секретные генераторы для связи, поля которых проникают через любые препятствия. Мы по окончании темы ознакомились с этими устройствами. Они представляли собой металлические ящики с собранным в них генератором на одном транзисторе, нагруженным на ферритовое кольцо. По мнению разработчиков, это и были излучатели торсионных полей. Приемниками же являлись экстра-сенсы с рамками в руках. Разумеется, тема закончилась с отрицательным результатом. А. Е. Акимов с Г. И. Шиповым и Ко получили то, что хотели, а ВМФ так и не получил обещанное средство связи с неограниченными возможностями. Комиссия по борьбе с лженаукой при Президиуме РАН специально изучала деятельность А. Е. Акимова и пришла к выводу, что А. Е. Акимов и Г. И. Шипов не являются искренне заблуждающимися изобретателями. Это люди намеренно вводили в заблуждение военные и государственные органы с целью обогащения.

Вспоминая гигантские финансовые вливания в нелепые разработки прошлого столетия, горько сознавать, что в настоящее время даже на самые необходимые для связи ВМФ темы денег не находится.

Впоследствии из-за ситуации в стране много интересных работ было прекращено. Но будем надеяться, что ситуация исправится.

3.4 О Владимире Александровиче Котельникове

Л. Б. Песин

Мне хотелось бы поделиться впечатлениями о встречах с выдающимся ученым Владимиром Александровичем Котельниковым. Впервые мне довелось познакомиться с Владимиром Александровичем 7 мая 1976 г. В тот день директор Института радиотехники и электроники АН СССР Владимир Александрович докладывал на заседании Президиума АН СССР о научных результатах, достигнутых институтом. В зале присутствовали академики М. В. Келдыш, Н. Г. Басов, А. М. Прохоров, А. А. Логунов и другие известные ученые Советского Союза. В числе приглашенных были представители различных научных организаций, в том числе и от нашего Центра связи (тогда это был 34 Институт ВМФ).

Обстоятельный, конкретный доклад, с которым выступил Владимир Александрович, был выслушан всеми присутствующими с большим вниманием. Работа Института получила очень высокую оценку. Были выступающие, в том числе от нашего института выступил контр-адмирал Николай Иванович Трухнин. Он в своем коротком выступлении отметил, что сегодня (7 мая) — День радио. Впервые связь нашла применение на кораблях. Но сейчас (напоминаю — 1976 г.) у флота есть одна очень серьезная проблема — установление связи с подводными лодками, находящимися на больших глубинах. Можно создать хорошие современные подводные лодки, но без связи на глубине их эффективность резко падает. Для решения этой проблемы контр-адмирал И. И. Трухнин обратился к ученым, участвующим в заседании, с просьбой о создании научного Совета при Президиуме АН СССР и попросил Владимира Александровича возглавить этот Совет. Несмотря на огромную занятость научной и организационной работой (первый вице-президент АН СССР, директор ИРЭ, зам. председателя Совета по интеркосмосу), а также работой на государственном уровне (Председатель Верхов-

ного Совета РСФСР), Владимир Александрович незамедлительно согласился возглавить данный Научный Совет. В течение двух лет готовилось Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР (пришлось пройти серию согласований на различных уровнях).

Совет под руководством Владимира Александровича, наконец, был создан, определены основные направления его деятельности, сформированы секции Совета. Двадцать пять лет этот Совет работает, бессменный руководитель, научный лидер этого Совета — В. А. Котельников. Его превосходство неоспоримо, но он никогда этого не подчеркивает. В состав Совета входят видные ученые нашей страны, в основном академики и профессора, известные в стране люди. Точнее, это ученые, работающие в области исследований в интересах совершенствования системы связи Военно-Морского Флота в направлении увеличения глубины подводного радиоприема. Проблема, как уже было отмечено, очень сложная, но все ученые и в ходе текущей работы, и в ходе заседаний секций, особенно заседаний самого Совета, работали активно, целеустремленно, добиваясь конкретных научных результатов. Безусловно, самыми важными были заседания Совета, которые вел сам Владимир Александрович. Каждый должен был готовиться заблаговременно. В первую очередь это касалось докладчиков.

Мне пришлось за 25 лет работы Совета присутствовать на большинстве его заседаний. Но не помню, чтобы Владимир Александрович пропустил какое-либо заседание. Возможно, были такие, но за четверть века я этого действительно не помню.

Поражает самоотдача председателя, никакого формализма и пассивности с его стороны. Он внимательнейшим образом слушает каждого выступающего, задает по ходу дела вопросы. Основная часть вопросов начинается после окончания доклада. Меня, да и всех участников совещания, поражает, как быстро Владимир Александрович схватывает суть вопроса и его мгновенная реакция, все вопросы были всегда по существу. И докладчик, не один день работавший над докладом, под градом этих вопросов

часто попадал впросак. Несколько раз мне на себе это пришлось испытать.

Но вопросы Владимира Александровича были не самоцелью, они помогали всегда и Владимиру Александровичу, и членам Совета лучше понять существо доклада и найти в нем, я бы сказал, рациональное зерно.

Владимир Александрович дает возможность каждому желающему высказаться, после чего подводятся итоги и принимается решение, но не то решение, которое заранее было написано рабочей группой, а решение, четко и конкретно сформулированное Владимиром Александровичем. И в тот документ, который через несколько дней он подписывает, нередко вносит еще некоторые уточнения.

Мне довелось участвовать в работе юбилейного Совета, посвященного 20-летию его работы (1998 г.). В материалах Совета подведены итоги работы за 20 лет: 1978–1998 гг. Там показаны основные научные результаты, достигнутые Советом. Хотел бы подчеркнуть, что наиболее важные фундаментальные и поисковые научно-исследовательские работы, благодаря регулярному рассмотрению на Совете, получали дальнейшее развитие, перерастали в прикладные НИР (например, работы в области крайне низких частот), другие работы не только перерастали в прикладные НИР, но и становились опытно-конструкторскими работами (например, диапазон сверхнизких частот) и впоследствии принимались на вооружение Военно-Морского Флота. Без пристального внимания к этим работам Совета и, прежде всего, самого Владимира Александровича таких результатов ВМФ не получил бы до сих пор.

После 1991 г. становилось работать труднее. На некоторых заседаниях из-за отсутствия возможности получить командировочные участвовали только москвичи и небольшая группа ленинградцев. И, тем не менее, несмотря на ослабление работы оборонной промышленности, проволоочки ряда высокопоставленных чиновников, резкое ограничение финансирования, Совет работал с реальной отдачей. Приведу только один пример.

В 1993 г. руководство Управления связи ВМФ стало искать выход из создавшегося положения, поскольку многие очень важные объекты связи устарели, их технические характеристики не соответствовали предъявляемым требованиям. Но как выйти из этого положения? И кто-то из моряков предложил: надо посоветоваться с Владимиром Александровичем. Договорились с ним о встрече, в ходе проведения которой было признано целесообразным пригласить на заседание Научного Совета адмиралов и генералов, определяющих техническую политику Министерства обороны в этой области. Владимир Александрович предложил: «Подготовьте письмо на имя 1-го заместителя Министра обороны А. А. Кокошина о сложившемся положении дел, необходимости проведения расширенного заседания Совета, рассмотрения на заседании создавшегося тяжелого положения и того, что в этих трудных условиях (август 1994 г.) можно сделать в интересах сохранения и совершенствования связи с подводными лодками». А. А. Кокошин поддержал предложения Владимира Александровича, изложенные в письме (считаю необходимым подчеркнуть, что именно Владимир Александрович был не только подписантом, но и автором письма). В сентябре того же года в зале заседаний Президиума РАН состоялось первое расширенное заседание Научного Совета, на котором нашему 34 Институту связи МФ была поручена разработка проекта программы по исправлению создавшегося положения в области связи с подводными лодками.

В течение 1994–1995 гг. была разработана комплексная программа по развитию связи с ПЛ (поддержание боеготовности действующих объектов связи и совершенствование системы связи в целом). На итоговом расширенном заседании Совета, которое проходило в апреле 1995 г., эта программа была одобрена. Для выработки решения была создана рабочая группа, в состав которой были включены адмиралы и офицеры ВМФ, генералы и офицеры Генштаба. Мне также было поручено работать в составе этой группы.

В результате в мае 1995 г. на совещании в Генштабе (круг лиц был ограничен) было принято решение, подписанное затем первым заместителем начальника Генштаба РФ, в котором прямо было сказано: «Несмотря на все трудности, работы по связи с подводными лодками финансировать по приоритетному, а не по остаточному принципу. Предложения по программе развития систем связи ВМФ принять за основу». Конечно, в условиях, сложившихся в 1990-е гг., далеко не все получилось, но в научном плане, благодаря дружной совместной работе ученых и военных под руководством Владимира Александровича, кое-что удалось сделать.

И недавно, уже в этом году, на одном совещании министр обороны дал положительную оценку работе связистов и средств связи ВМФ, и, несомненно, в этом большая заслуга Владимира Александровича.

Но надо отметить что, когда Владимир Александрович видит, что некоторые НИР при любых затратах и сроках на их выполнение являются фактически бесполезными, несмотря на обилие громоздких формул, хорошо подготовленных докладчиков и т. д., он очень уважительно и мягко, но без всяких колебаний после обсуждения принимает однозначное решение — работа должна быть прекращена (в частности, это касается исследований в области гравитационных волн для связи с подводными лодками).

Примерно с 2000 г. Владимир Александрович счел нужным несколько изменить порядок проведения Советов. Ввел дополнительный этап, начинающийся в его кабинете. В день проведения заседания Совета, ориентировочно в 10 ч утра, он собирает докладчиков. Все садятся за стол, рядом с Владимиром Александровичем, и он в соответствии с повесткой дня Совета в узком кругу в спокойной обстановке заслушивает каждого из них. Естественно, задает вопросы, при этом разрешается проведение дискуссий.

И все это (поскольку докладчиков всегда 4–6 чел.) в общей сложности проводится в течение не менее 4 ч. Потом делается перерыв на 1–2 ч, и уже в зале начинается само заседание Совета.

Безусловно, совещание в кабинете — дополнительная нагрузка для Владимира Александровича. Но польза для дела исключительная. Самому Владимиру Александровичу это практически не требуется, он и во время заседания Совета во всем разберется. Это в первую очередь нужно докладчикам. Они получают от Владимира Александровича очень дельные дружеские советы: что сократить в докладе, на что, наоборот, в ходе Совета обратить особое внимание, учитывая актуальность, а что вообще исключить как не представляющее ценности. Участвуя в некоторых рабочих совещаниях, я не помню, чтобы у докладчиков возникали обиды или какое-то недовольство. Наоборот, каждый уходил вполне удовлетворенным, а на самом заседании Совета чувствовал себя более уверенным, более ясно и четко отвечал на вопросы.

О заседаниях Научного Совета можно писать бесконечно, безусловно, они не были похожи одно на другое, но что характерно: я не помню за все 25 лет работы Совета, чтобы хоть одно заседание прошло формально.

Конечно, деятельность Владимира Александровича в интересах флота не ограничивалась руководством заседаниями Совета. Скольким раз и представители Управления связи, и представители Института ВМФ обращались к Владимиру Александровичу с просьбами подписать обращения к высшим должностным лицам государства о помощи. В первой половине 1990-х гг. остро стоял вопрос о преобразовании Института связи ВМФ в Центр связи. Казалось, на первый взгляд, что разница небольшая. Но Институт — это самостоятельное научное учреждение, а Центр является составной частью другой научной организации. Борьба за сохранение Института велась с использованием различных методов, но наиболее действенными были письма, отправленные Президенту Б. Н. Ельцину, премьер-министру В. С. Черномырдину, министру обороны. Благодаря принимаемым мерам и, в первую очередь письмам Владимира Александровича, Институт продержался около 8 лет. Эти годы, несмотря на все трудности с финансированием,

благодаря работе Совета во главе с Владимиром Александровичем и благодаря функционированию Института связи ВМФ, были плодотворными. За эти годы проведены очень важные теоретические и экспериментальные исследования, закончившиеся модернизацией действующих и созданием новых береговых объектов связи ВМФ и комплексов связи на ПЛ. Завершая краткие воспоминания о том, что сделано Советом и лично Владимиром Александровичем для флота, хотел бы остановиться на трех моментах.

1. 1978 год. Совет только начал функционировать. Моряки предлагают Владимиру Александровичу посетить одну из новейших подводных лодок. Мне не довелось сопровождать его на ПЛ, но был среди встречающих в аэропорту в Мурманске, а затем по просьбе Владимира Александровича нас, небольшую группу, устроили в одну гостиницу, принадлежащую Мурманскому облисполкому. Но те, кто был вместе с Владимиром Александровичем на ПЛ, рассказывают, с каким вниманием он слушал пояснения моряков не только по вопросам средств связи, но в целом по важнейшим боевым постам, во все вникал, высказал ряд рекомендаций. Фактически Владимир Александрович провел на ПЛ целый день. Был полон впечатлений и остался очень доволен этой поездкой на Северный флот.

2. 1980 год. Владимир Александрович прибывает в Ленинград вместе с сотрудниками ИРЭ к.т.н. В. В. Акиндиновым и И. В. Лишиным.

Цель поездки: посещение Института связи ВМФ, где ему был сделан доклад ВРИО начальника института Н. Ф. Директоровым. Затем поездка к Начальнику — главному конструктору КБ «Рубин» академику И. Д. Спасскому (тогда он не был академиком), и, кстати сказать, после той поездки Владимира Александровича И. Д. Спасский выразил желание стать членом Совета, его просьба была удовлетворена. И до сих пор академик И. Д. Спасский является членом Совета. Встреча в Ленинграде Владимира Александровича и Спасского была очень полезной, так как речь шла о создании

принципиально нового типа антенн для ПЛ. Была открыта специальная научно-исследовательская работа, а затем и опытно-конструкторская работа.

Третья часть пребывания Владимира Александровича в Ленинграде в тот день — поездка в поселок Лебяжье, где Владимир Александрович на полигоне КБ «Связьморпроект» ознакомился с различными типами выпускных буксируемых антенн, проходящими стендовые испытания. (После этого каждый юбилей Владимиру Александровичу моряки вручают небольшой блок таких антенн, и Владимир Александрович всегда остается очень доволен этими сувенирами.) Завершающей частью поездки был обед. Речи, тосты. Владимир Александрович говорил очень теплые слова в адрес моряков. Выпили прилично. Наравне со всеми пил и Владимир Александрович. А после обеда было посещение Петродворца и, естественно, знаменитого парка. Лето. Погода отличная. Характерно, что все сопровождающие Владимира Александровича из различных научных организаций, пользуясь моментом, решили расслабиться. Кто пошел попить пива, кто водочки или вина, а кто просто решил прогуляться по чудесному парку.

А как же действовал Владимир Александрович? Он подозвал В. В. Акиндинова и пригласил его сесть вместе с собой на одну из лавочек в парке. И пока мы все бездельничали, они продолжили научный диспут по новым антеннам. Прошел час, оба увлечены беседой. Новые формулы пишет Владимир Александрович, Акиндинов старается не отстать. Прошел еще один час, все шло в том же духе. Но поскольку надо было уезжать в Ленинград, а затем Владимир Александрович и двое его сопровождающих должны были ехать в Москву, Н. Ф. Директоров, которого мы попросили, подошел к Владимиру Александровичу и В. В. Акиндинову. Только после этого научная дискуссия в Петергофском парке была завершена, и все поехали в Ленинград. В тот же вечер Владимир Александрович уехал в Москву.

3. Хотел бы подчеркнуть, что из всех писем и обращений, направленных Владимиром Александровичем в адрес В. С. Черномырдина по просьбе моряков, об одном из них Владимир Александрович иногда с улыбкой вспоминает.

Став главным энергетиком, главный «приватизаторщик» Чубайс начал довольно часто давать указания отключать электроэнергию, в том числе и от военных объектов. Добрался он и до исключительно важных объектов связи ВМФ (можно сказать, до объектов стратегического назначения). Никто ничего не мог сделать (ни командование ВМФ, ни Министерство обороны), чтобы прекратить это безобразия.

Тогда командование управления связи ВМФ (главный инженер управления связи капитан 1 ранга Г. С. Нероба является членом Совета, а начальник связи ВМФ вице-адмирал Ю. М. Кононов до ухода в этом году на пенсию являлся заместителем председателя Совета) приходит к выводу: без помощи Владимира Александровича не обойтись. Готовится проект письма. Ю. М. Кононов по телефону обращается с просьбой к Владимиру Александровичу принять представителя с проектом этого письма. Так получилось, что мне было поручено поехать к Владимиру Александровичу. Верный его помощник Антонина Васильевна, к которой мне тоже неоднократно приходилось обращаться за помощью, незамедлительно предоставила возможность зайти в кабинет Владимира Александровича. Он внимательно прочитал письмо, усмехнулся, покачал головой, внес поправки и подписал его.

Это письмо моряки постарались без задержки доставить в аппарат В. С. Черномырдина. Письмо сыграло свою роль, отключение электроэнергии от объектов ВМФ прекратилось.

Конечно, письма такого характера — не дело председателя Научного Совета при Президиуме РАН, ученого с мировым именем. Но Владимир Александрович отлично понимал, к чему могут привести подобные игры с отключением объектов, и сделал все от него зависящее, чтобы впредь это не повторялось.

3.5 Воспоминания в эпизодах

*Ю. Г. Щорс, А. А. Зацаринный, Ю. М. Кононов,
Г. С. Нероба*

В этом подразделе приводятся фотографии, связанные с членами Научного Совета, с его председателем В. А. Котельниковым и многими значимыми людьми: академиками, военными, представителями научных и промышленных организаций. К фотографиям даны комментарии «по памяти».



Первый слева — В. Е. Липатов (руководитель группы Научно-технического управления Управления начальника связи ВС РФ), четвертый слева — А. П. Обухов (начальник отдела Управления связи ВМФ), далее — В. В. Чигирь (директор ИТЦ КБ «Связьморпроект»), Н. Ф. Директоров (начальник 34 НИИ связи ВМФ), В. А. Яковлев (главный конструктор ОКР, ГОИ им. С. И. Вавилова), В. В. Нелидов (Управление связи ВМФ), В. С. Акулов (34 НИИ связи ВМФ) и В. А. Пахотин (34 НИИ связи ВМФ), а также на фото сотрудники нижегородского НПП «Полет» и Нижегородского университета, которые докладывали на совещании Научного Совета о разработке НЧ/ОНЧ выпускаемых самолетных двухтросовых антенно-фидерных устройств



На этом уникальном фото представлены все председатели Научного совета за прошедшие 40 лет. Слева направо академик Ю. В. Гуляев (2013 по н/время), академик В. А. Котельников (1978–2005 гг.), академик Е. П. Велихов (2005–2013 гг.)



Проходит текущее заседание Научного Совета. Слева направо: Н. А. Арманд (заместитель директора ИРЭ РАН и заместитель председателя Научного Совета), Г. С. Нероба (главный инженер Управления связи ВМФ, член Научного Совета), академик В. А. Котельников (председатель Научного Совета), Ю. Г. Щорс (ученый секретарь Научного Совета)



Ученый секретарь Научного Совета Ю. Г. Щорс докладывает о результатах, полученных Научным Советом за истекший период



Слева направо: Н. А. Арманд (заместитель директора ИРЭ РАН, заместитель председателя Научного Совета РАН), контр-адмирал Н. Ф. Директоров (начальник 34 НИИ связи ВМФ), вице-адмирал Ю. М. Кононов (начальник Управления связи ВМФ, заместитель председателя Научного Совета РАН), академик В. А. Котельников (председатель Научного Совета РАН)



Капитан 1 ранга А. П. Обухов (начальник отдела Управления связи ВМФ) и бессменный помощник В. А. Котельникова Антонина Васильевна Зайцева. А. П. Обухов дарит А. В. Зайцевой сувенир



Председатель Научного Совета академик В. А. Котельников и ученый секретарь Научного Совета д.ф.-м.н. Ю. Г. Щорс с офицерами Управления связи ВМФ на ступеньках Президиума Российской академии наук после юбилейного заседания, посвященного 25-летию Научного Совета. Май 2003 г.



Ученый секретарь Ю.Г. Щорс с офицерами Управления связи ВМФ в саду Президиума РАН. Май 2003 г



Заседание Научного Совета в актовом зале Президиума РАН



Председатель Научного Совета академик В. А. Котельников ввел за правило заслушивать основных докладчиков на совещаниях за день до основного заседания. На данном фото — члены Научного Совета, прибывшие к председателю Научного Совета с информацией о завтрашнем заседании. Слева направо: Ю. Г. Щорс, ученый секретарь Научного Совета, генерал-майор А. А. Зацаринный, начальник научно-технического управления Управления НС ВС, академик В. А. Котельников, председатель Научного Совета, Г. С. Нероба, главный инженер Управления связи ВМФ, А. П. Обухов начальник отдела Управления связи ВМФ, Н. А. Арманд заместитель председателя Научного совета, заместитель директора ИРЭ РАН



Слева направо: Н. А. Арманд, Ю. Г. Щорс, Г. С. Нероба, А. А. Зацаринный, А. П. Обухов, В. А. Котельников



На очередном заседании Научного Совета в актовом зале Президиума РАН. Слева направо: вице-адмирал Ю. М. Кононов, заместитель Главкома ВМФ адмирал А. В. Горбунов, академик В. А. Котельников, председатель Научного Совета, Ю. Г. Щорс, ученый секретарь Научного Совета, Н. А. Арманд, зам. председателя Научного Совета, зам. директора ИРЭ РАН



Академик А. С. Алексеев докладывает о перспективах сейсмической связи в актовом зале в Президиума РАН. 27 ноября 2003г.



Начальник Управления связи ВМФ вице-адмирал Ю. М. Кононов вручает ученому секретарю Научного совета Ю. Г. Щорсу памятный адрес в связи с 25-летием Научного совета. Май 2003 г.



Юбилейное заседание Научного Совета в актовом зале Президиума РАН посвященное 25-летию Научного Совета. Май 2003 г.



Вице-адмирал Ю. М. Кононов поздравляет академика В. А. Котельникова с 25-летним юбилеем Научного совета. Май 2003 г.



Общее фото участников заседания Научного Совета



Председателю Научного совета академику В. А. Котельникову 07.09.1998 г. исполнилось 90 лет. Слева направо: Л. Б. Песин начальник отдела 34 НИИ связи ВМФ, Л. В. Собчаков начальник подразделения НПО им.Коминтерна, генерал-лейтенант В. В. Геков, первый заместитель НС ВС, Н. А. Арманд заместитель директора ИРЭ РАН, заместитель председателя Научного Совета, юбиляр академик В. А. Котельников, В. В. Чигирь директор ИТЦ КБ «Связьморпроект», вице-адмирал Ю. М. Кононов начальник Управления связи ВМФ, Ю. Г. Щорс ученый секретарь Научного совета, капитан первого ранга Г. С. Нероба главный инженер Управления связи ВМФ



На 95-летнем юбилее академика В. А. Котельникова академики Г. И. Марчук (первый слева), Ю. В. Гуляев и Е. П. Велихов Сентябрь 2003 г.



На 95-летнем юбилее В. А. Котельникова. Слева направо: Ю. Г. Щорс, ученый секретарь Научного Совета, капитан первого ранга Г. С. Нероба, главный инженер Управления связи ВМФ, В. В. Чигирь, директор ИТЦ КБ «Связь-морпроект», контр-адмирал А. Г. Долбня, Начальник Управления связи ВМФ, юбиляр академик В. А. Котельников, вице-адмирал Ю. М. Кононов и капитан 1 ранга А. П. Обухов



Юбиляр В. А. Котельников в день 95-летия в окружении любящих женщин



Встреча единомышленников. Слева направо: Ю. Г. Щорс, ученый секретарь Научного Совета, контр-адмирал В. Г. Долбня, капитан 1 ранга А. П. Обухов, академик Е. П. Велихов, В. В. Чигирь, директор ИТЦ КБ «Связьморпроект», капитан 1 ранга Г. С. Нероба (в здании Президиума РАН Ленинский проспект, д. 32)



Академик В. А. Котельников беседует с вице-адмиралом Ю. М. Кононовым о проблемах и научных аспектах разработки новых и повышения эффективности имеющихся линий связи глубокопогруженными объектами



Академик В. А. Котельников беседует с Н. А. Армандом и Г.С. Неробой о перспективах развития исследований в интересах развития связи ВМФ



Президиум РАН, зам. председателя Научного совета Н. А. Арманд, май 2003 г.



Предварительное совещание накануне заседания Научного Совета, посвященного перспективам сейсмической линии связи. Слева направо: докладчик по теме В. А. Пахотин представитель НИЦ связи ВМФ, академик В. А. Котельников и М. С. Хайретдинов СО РАН



Ученый секретарь Научного Совета Ю. Г. Щорс докладывает о достижениях Научного Совета 1-му зам. Главкома ВМФ адмиралу И. В. Касатонову



Заместитель Главкома ВМФ адмирал А. В. Горбунов вручает председателю Научного Совета академику В. А. Котельникову знак почетного подводника



Президиум РАН, 25-летие Научного Совета при Президиуме РАН по дальней связи с глубоководными подводными объектами. В центре председатель Научного совета академик В. А. Котельников. Май 2003 г.



Научно-практическая конференция, посвященная 40-летию Научного Совета. Группа членов Научного совета на ступеньках Президиума РАН. В первом ряду первый слева В. И. Мирошников Генеральный конструктор АО «Интелтех», вице-адмирал Ю. М. Кононов, генерал-лейтенант А. А. Зацаринный, председатель Научного совета академик Ю. В. Гуляев, ученый секретарь Научного Совета Ю. Г. Щорс, зам. председателя Научного совета, член-корр. РАН В. А. Черепенин. Май 2018 г.

Заключение

Научный Совет Президиума РАН по проблеме связи с глубоководными объектами, созданный в конце 1970-х гг. по инициативе Службы связи Военно-Морского Флота, — пример многолетней творческой научно-исследовательской деятельности в интересах обеспечения стратегической стабильности государства.

Основа успешной и результативной деятельности Совета — удачный синтез компетенций профильных академических институтов, ведущих предприятий промышленности и военной науки.

Выдающуюся роль в становлении и развитии Совета сыграл его первый Председатель академик В. А. Котельников, советский и российский ученый с мировым именем. Владимир Александрович активно руководил Советом более 27 лет.

Огромная заслуга в обеспечении работы Совета его бессменного ученого секретаря, д.ф.-м.н. Юрия Григорьевича Щорса, прекрасного организатора и компетентного ученого.

В последние годы Совет поддерживает и развивает лучшие традиции под руководством академика Юрия Васильевича Гуляева.

Работу Совета на протяжении нескольких десятилетий характеризуют фундаментальность, принципиальность, объективность, всесторонность и преемственность.

Авторский коллектив



Алексеев Анатолий Семенович (12.11.1928–17.02.2007), российский геофизик, академик РАН (академик АН СССР с 1984 г., член-корреспондент АН СССР с 1973 г., секция прикладной математики и информатики Отделения математических наук), доктор физико-математических наук (1966), профессор (1971). Лауреат Государственной премии СССР (1982 г.). В 1980–1999 гг. директор Вычислительного центра Сибирского отделения АН СССР (РАН). Член Американского математического общества, Европейского геофизического общества, редколлегий двух международных журналов, Научного Совета при Президиуме РАН «Радиофизические методы исследования морей и океанов».



Астахова Наталья Леонидовна, АО «Российский институт мощного радиостроения», ведущий научный сотрудник. Специализируется в таких областях, как антенны и устройства КНЧ, СНЧ и СДВ, электродинамика и распространение электромагнитных полей в различных средах, численное моделирование электромагнитных полей, цифровая обработка сигналов, автоматическое управление системами и устройствами. Автор 6 статей и 3 изобретений. Награждена медалями «100 лет подводному флоту России» и в честь 300-летия Санкт-Петербурга.



Васильев Александр Васильевич, АО «Российский институт мощного радиостроения», ведущий научный сотрудник. Специализируется на разработке низкочастотных систем связи для ВМФ, включая антенно-фидерные устройства и радиопередающие средства СДВ диапазона. Автор 9 статей и 6 изобретений. Почетный радист. Награжден Знаком отличия начальника связи ВМФ «За заслуги и верность Службе связи ВМФ», медалями «100 лет подводному флоту России» и в честь 300-летия Санкт-Петербурга, Благодарственным письмом вице-губернатора Санкт-Петербурга.



Владимиров Дмитрий Николаевич, АО «Российский институт мощного радиостроения», начальник отдела. Принимал активное участие в создании радиопередающей аппаратуры для связи с глубоководными объектами ВМФ, в разработке и внедрении энергосберегающих режимов эксплуатации Центра дальней связи ВМФ, в исследованиях по использованию низкочастотных излучений мощных контролируемых источников для глубинных зондирований земной коры, поиска полезных ископаемых, мониторинга сейсмической активности, исследования ионосферы и магнитосферы и ряда других геофизических задач. Автор 6 статей и 2 изобретений. Награжден медалью «100 лет службе связи ВМФ», серебряной медалью «За трудовые заслуги» и Благодарностью вице-губернатора Санкт-Петербурга.



Гуляев Юрий Васильевич (род. 18.09.1935), академик АН СССР (1984), академик РАН (1991), председатель Научного Совета при Президиуме РАН по комплексной проблеме дальней связи (с 2015 года), член Президиума РАН, в 1989–2015 гг. директор (в настоящее время — научный руководитель) ИРЭ РАН им. В. А. Котельникова, зам. академика-секретаря отделения ОНИТ РАН. Лауреат двух Государственных премий СССР. Главный редактор журналов «Радиотехника и электроника», «Биомедицинская радиоэлектроника», автор более 400 статей, 4 монографий, более 60 авторских свидетельств на изобретения и патентов.



Журенков Андрей Германович (род. 01.11.1963), к.ф.-м.н., заместитель начальника отделения АО «ГОИ им. С. И. Вавилова», автор более 30 научных публикаций и изобретений по оптическим системам связи.



Зацаринный Александр Алексеевич (род. 25.04.1951), д.т.н., профессор, заместитель директора Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН, лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники (2003), член Научного Совета при Президиуме РАН по комплексной проблеме дальней связи, член Научного Совета РАН по фундаментальным проблемам элементной базы информационно-вычислительных и управляющих систем. Автор более 250 научных публикаций, включая 8 монографий и 13 патентов в области информационных технологий. Генерал-лейтенант в отставке.



Земсков Владимир Иванович (род. 09.04.1964), начальник связи — заместитель начальника Главного штаба ВМФ по связи, заместитель председателя Научного Совета при Президиуме РАН, контр-адмирал.



Кононов Юрий Михайлович (род. 30.12.1947), начальник связи ВМФ СССР с мая 1990 г., начальник связи ВМФ РФ — заместитель начальника Главного штаба ВМФ по связи до апреля 2003 г. В 1990–2003 гг. — заместитель председателя Научного Совета при Президиуме РАН по комплексной проблеме дальней связи (в настоящее время — член Научного Совета), лауреат Премии Правительства в области науки и техники (2005). Заслуженный работник связи РФ.



Мирошников Валентин Иванович (род. 31.10.1940), д.т.н., профессор, генеральный конструктор ПАО «Интелетех», генеральный конструктор автоматизированных систем связи и обмена данными ВМФ, лауреат Государственной Премии СССР и Премии Правительства РФ в области науки и техники, Заслуженный деятель науки и техники РФ, награжден орденами «Знак почета», «За заслуги перед Отечеством» IV степени и многими медалями.



Нероба Геннадий Степанович (род. 02.09.1949), заместитель генерального директора АО «Российский институт мощного радиостроения», в 1999–2006 гг. главный инженер Управления Связи ВМФ, член Научного Совета при Президиуме РАН по комплексной проблеме дальней связи. Капитан 1 ранга в отставке.



Пахотин Владимир Александрович (род. 19.06.1947), д.т.н., член Научного Совета при Президиуме РАН, сотрудник 34 НИИ связи ВМФ, в настоящее время — ведущий научный сотрудник НИЦ связи ВМФ (в составе ВМА имени Н. Г. Кузнецова), автор нескольких десятков научных публикаций по проблематике морской связи. Полковник в отставке.



Песин Лев Борисович (род. 03.02.1933), начальник отдела НИЦ связи ВМФ, лауреат Государственной премии (1988), кандидат технических наук, капитан 1 ранга в отставке.



Сергеев Валерий Васильевич (род. 11.08.1939), старший научный сотрудник НИЦ связи ВМФ (в составе ВМА имени Н. Г. Кузнецова), кандидат технических наук, автор нескольких десятков научных публикаций по проблематике морской связи. Капитан 1 ранга в отставке.



Хайретдинов Марат Саматович (род. 03.10.1939), д.т.н., главный научный сотрудник Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, профессор Новосибирского государственного технического университета, академик Международной академии информатизации, член Научного совета при Президиуме РАН «Радиофизические методы исследования морей и океанов». Является членом редакционных советов журналов «Сибирский журнал индустриальной математики», «Проблемы информатики». Автор и соавтор более 250 научных работ, в том числе 6 монографий, 10 изобретений.



Черепенин Владимир Алексеевич (род. 14.08.1947). Окончил Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н., профессор, заместитель председателя Научного совета при Президиуме РАН «Радиофизические методы исследования морей и океанов», председатель диссертационного совета ИРЭ РАН им. В. А. Котельникова. Специалист в области применения информационных технологий в радиофизике, электронике и оптике, а также генерации сверхмощного электромагнитного излучения. Автор более 300 научных работ и 2-х монографий.



Шокин Юрий Викторович (род. 26.07.1949), к.т.н., старший научный сотрудник НИЦ связи ВМФ (в составе ВМА имени Н. Г. Кузнецова), автор научных публикаций и 36 изобретений по оптическим системам связи с объектами ВМФ



Щорс Юрий Григорьевич (род. 03.10.1937), д.ф.-м.н., ученый секретарь Научного совета по комплексной проблеме дальней связи при Президиуме РАН (с 1978 г. по настоящее время), ведущий научный сотрудник ИРЭ РАН им. В. А. Котельникова, лауреат Государственной премии СССР. Капитан 1 ранга в отставке.



Яковлев Виктор Александрович (род. 11.09.1951), д.т.н., д.ф.-м.н., главный конструктор по гидрооптике и оптической связи АО «ГОИ им. С. И. Вавилова», член Научного Совета при Президиуме РАН, член Оптического общества им. Д. С. Рождественского.



ВКЛАД АО «РОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ МОЩНОГО РАДИОСТРОЕНИЯ» В СТРАТЕГИЧЕСКУЮ СТАБИЛЬНОСТЬ РОССИИ НА МОРЕ

АО «Российский институт мощного радиостроения», первое российское научно-производственное предприятие в России, на сегодняшний день является одним из крупнейших разработчиков высококачественной профессиональной аппаратуры для радиосвязи и передачи данных.

Предприятие предоставляет комплексные решения в области радиосвязи — от научных исследований, опытно-конструкторских разработок и испытаний до производства, сопровождения, эксплуатации и модернизации продукции.

RIMR — единственный в России и одно из немногих в мире предприятие, имеющее уникальный опыт разработки современных мощных радиопередающих комплексов. Институт также обладает признанным научным приоритетом в области мощного радиостроения.

АО «РИМР»
Россия, 199178,
г. Санкт-Петербург
11-я линия В.О., д. 66
Тел.: (812) 328-4760
Факс: (812) 323-0625
E-mail: rirmspb@rimr.ru
www.rimr.ru

1. РАЗРАБОТКА, СОЗДАНИЕ И УСТАНОВКА СДВ РАДИОСТАНЦИЙ И ДВ-СВ РПДУ

- г. Нижний Новгород
(«Голиаф», мощность 1000 кВт)
- г. Хабаровск
(РПДУ «Геркулес», мощность 1000 кВт)
(РПДУ «Титан», мощность 2000 кВт, взамен РПДУ «Геркулес»)
- г. Вилейка
(Минская обл., Республика Беларусь)
(На базе РПДУ «Геркулес», мощность 1000 кВт)
- г. Архангельск
(На базе РПДУ «Геркулес», мощность 1000 кВт)
- г. Фрунзе
(Ныне г. Бишкек, Республика Кыргызстан)
(На базе РПДУ «Геркулес», мощность 1000 кВт)
- п. Кулдига
(Латвийская ССР, ныне Латвийская Республика)
(Подвижное РПДУ «Уж», мощность 200 кВт, вертикальная тросовая аэростатная антенна (ВТАА))
- Краснодарский край
(РПДУ «Океан», мощность 4000 кВт)
- РПДУ типа «Таран-М»
(мощность 80 кВт)
- РПДУ «Пролом-1»
(мощность 2000 кВт, на основе РПДУ «Титан»)
- г. Мурманск
(РПДУ «Ротор», мощность 500 кВт, на основе РПДУ «Титан»)
- Республика Крым
(РПДУ «Таран-М», мощность 80 кВт, вертикальная тросовая аэростатная антенна)
- Подвижное РПДУ «Угорь-А»
(мощность 30 кВт, вертикальная тросовая аэростатная антенна)
- Балтийский, Черноморский и Тихоокеанский флоты
(Подвижный радиопередающий комплекс «Угорь-АС»)
(8 РПДУ, синфазное сложение, мощность 1900 кВт)
- Объект Минобороны РФ
(РПДУ мощностью 1500 кВт
(2 модуля мощностью по 750 кВт))
- Объект ВМФ Минобороны РФ
(ШПС СДВ-радиолиния «Ручнист»)
- Объекты ВМФ Минобороны РФ
(Возбудитель нового поколения «Виртуоз-М»)
- ДВ-СВ РПДУ «Огонь-Б100»
(мощность 100 кВт)



СДВ РПДУ «Океан»

2. КОНТЕЙНЕРНАЯ СДВ РАДИОСТАНЦИЯ «ПЯТИДЕСЯТНИК»

Предназначена для связи в телеграфных режимах.

Основные особенности:

- Простота и оперативность установки
- Возможность установки на различных площадках и плавсооружениях



СДВ РПДУ «Пятидесятник»

Основные технические характеристики:

Номинальная выходная мощность	100 кВт
Диапазон рабочих частот (2 поддиапазонов)	15–30 кГц
Режимы работы:	
телеграфная работа в режиме А1	со скоростью до 100 Бод
телеграфная работа в режиме F1	со скоростью от 4 до 100 Бод при 6, 75, 100 и 125 Гц
В-телеграфная работа в режиме G1 с фазовым сдвигом 0° и 180°	со скоростями 50 Бод и 100 Бод
Промышленный КПД радиостанции (РПДУ) в режиме несущей частоты	не менее 70% при коэффициенте мощности 0,9



ВКЛАД АО «РОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ МОЩНОГО РАДИОСТРОЕНИЯ» В СТРАТЕГИЧЕСКУЮ СТАБИЛЬНОСТЬ РОССИИ НА МОРЕ

3. РАЗРАБОТКА, СОЗДАНИЕ И УСТАНОВКА СНЧ РАДИОСТАНЦИЙ

- Комплекс «Вариация-1»
(На полупроводниковых приборах, мощность 5000 кВт, 2 территориально разнесенных передающих модуля мощностью по 2500 кВт, передающие антенны типа ЛЭП)
- Объект ВМФ Минобороны РФ (СНЧ-радиолиния «Драга»)
- Объекты ВМФ Минобороны РФ в Хабаровском и Краснодарском краях (Опытные образцы тиристорных РПДУ «Бункер», мощность 500 кВт, экспериментальная радиолиния «Бункер»)
- Разработка мощного КНЧ/СНЧ РПДУ нового поколения («Чтение»)
- Экспериментальный центр дальней связи СНЧ «Зевс»

4. ОСНАЩЕНИЕ СПДРЦ ВМФ РПДУ И РПУ КВ ДИАПАЗОНА

- РПДУ «Снег» (мощность 30-50 кВт) (более 400 РПДУ на РЦ СССР, в т. ч. ВМФ)
- РПДУ РС-100К («Пурга») (мощность 100 кВт)
- Базовое профессиональное РПУ Р-155 («Брусника»)

5. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ РПДУ КВ ДИАПАЗОНА

- Автоматизированное РПДУ «Молния»
- Автоматизированное однополюсное РПДУ ПКМ-5 («Циклон-М»)
- Автоматизированное РПДУ «Молния-1М» (ПКМ-15) (мощность 15 кВт)
- Автоматизированное РПДУ КВ «Молния-3» (ПКМ-20) (мощность 20 кВт)
- Необслуживаемое автоматизированное однополюсное РПДУ «Пурга-2» (мощн. 100 кВт)
- Автоматизированное РПДУ «Смерч» (мощность 100 кВт)
- Автоматизированное РПДУ «Сердолик-ПРД20МВ» («Проток») (мощность 20 кВт)
- Автоматизированное РПДУ «Сердолик-ПРД-5» (мощность 5 кВт)
- РПДУ «Серенада» (мощность 100 кВт)



КВ РПДУ «Серенада»

6. СОЗДАНИЕ И РАЗВИТИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ СВЯЗИ (АКС) ПОДВОДНЫХ ЛОДОК

- АКС: «Молния», «Молния-Л», «Молния-М» (модификации: «Молния-М1» и «Молния-М2»), «Молния-ЛМ1», «Молния-МС», «Молния-МЦ», «Молния-Защитник», серия «Смерч-М»
- Изготовлено и передано ВМФ более 200 АКС различных модификаций
- Разработка интегрированного комплекса связи

7. ЗА ЗАСЛУГИ В ОБЛАСТИ СОЗДАНИЯ МОЩНОЙ СДВ- И СНЧ-РАДИОПЕРЕ ДАЮЩЕЙ ТЕХНИКИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРЕМИИ СССР БЫЛИ УДОСТОЕНЫ 11 РУКОВОДИТЕЛЕЙ РАЗРАБОТОК И РУКОВОДИТЕЛЕЙ ПРЕДПРИЯТИЯ, СРЕДИ КОТОРЫХ:

докторов технических наук – 1; кандидатов технических наук – 6; главных конструкторов и зам. главных конструкторов, специалистов – 10; руководителей предприятия – 2.

8. УЧАСТИЕ В РАБОТЕ НАУЧНОГО СОВЕТА РАН

АО «Российский институт мощного радиостроения» (АО «РИМР») участвует в работе Научного совета РАН по проблемам связи с глубоководными объектами с момента его создания, а первый заместитель генерального директора доктор технических наук С.А. Лобов и представитель АО «РИМР» Г.С. Нероба являются членами Научного совета.



«Сердолик-ПРД20МВ»

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СРЕДСТВА СВЯЗИ ОНИИП ДЛЯ ВМФ РФ



АО «Омский научно-исследовательский институт приборостроения»
644009, г. Омск,
ул. Масленникова, 231
e-mail: info@oniip.ru
web: www.oniip.ru
Тел. (3812) 51-49-00

Омский научно-исследовательский институт приборостроения начал свою деятельность в 1958 году. Создание ОНИИП было продиктовано необходимостью расширения и углубления исследований в области магистральной радиосвязи и радиостанций подвижной связи, решения важнейшей проблемы обеспечения связи с подводными лодками и надводными кораблями ВМФ.

Более чем за 60-летний период деятельности института создано пять поколений техники связи, работающей на частотах от сотен герц до сотен мегагерц. Сегодня АО «ОНИИП» проводит исследования, ориентированные на решение широкого круга прикладных задач – от создания радиоэлектронных компонентов и устройств радиосвязи до сложнейших комплексов и систем связи и управления.

Институт не только разрабатывает и выпускает изделия, но и полностью обслуживает их на всех последующих этапах жизненного цикла. Используя в своей деятельности новейшие научные, конструкторские и производственные достижения, он успешно разрабатывает аппаратуру и комплексы связи, выполняет монтажные и пусконаладочные работы на объектах заказчика, участвует в модернизации существующих и создании новых радиоцентров.

Разработанные Омским НИИ приборостроения системы и комплексы радиосвязи для нужд Военно-морского флота РФ позволяют организовать радиосвязь кораблей любого ранга и назначения с береговыми узлами связи командных пунктов, надводных кораблей, подводных лодок, летательных аппаратов и любыми другими внешними корреспондентами.

Создаваемые институтом корабельные антенны, антенные коммутаторы, радиоприемные и радиопередающие устройства открывают возможности для увеличения дальности радиосвязи и скорости обмена данными в современных цифровых радиолиниях при работе по внешним информационным направлениям кораблей ВМФ.

Большая часть создаваемой продукции представляет собой сложные аппаратно-программные комплексы с уникальным программным обеспечением. Перспективные разработки ОНИИП позволяют существенно улучшить функциональные характеристики комплексов связи и обеспечить внедрение SDR-технологий в систему связи Военно-морского флота.

Сегодня ОНИИП – это крупный научно-производственный комплекс с разветвленной структурой подразделений, способный обеспечить флот и другие рода войск надежной радиосвязью, а также готовый вести поиск новых способов передачи информации и разработку интеллектуальных систем управления.

Семейство автоматизированных радиоприёмных устройств для ВМФ

P-693



Семейство автоматизированных радиопередающих устройств для ВМФ

P-646

ИНТЕЛТЕХ



INTELTESH

Публичное акционерное общество
**«Информационные
телекоммуникационные
технологии»**

ведущее предприятие в сфере научных исследований, разработки и производства телекоммуникационного оборудования для автоматизированных систем управления и связи по заказам МО, ФСО и ПС ФСБ России

Многофункциональный интегрированный комплекс связи



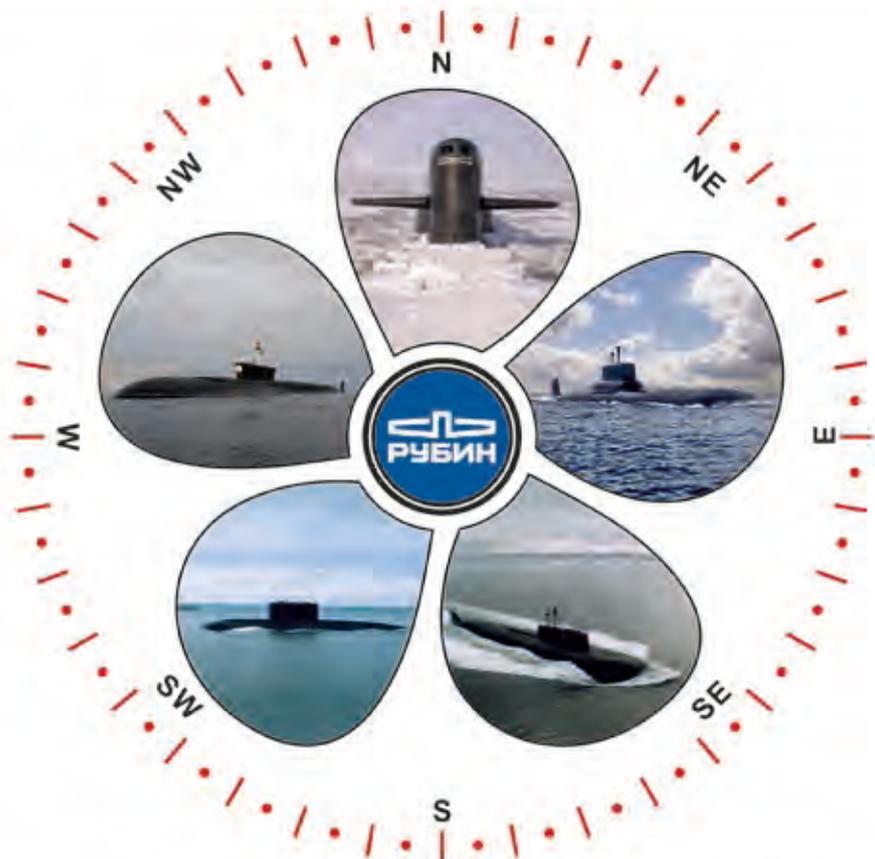
Аппаратура «Трасса-Э»



Направления деятельности:

- > специализированные системы, комплексы и средства управления
- > автоматизированные системы связи и обмена данными
- > автоматизированные комплексы связи ПЛ и НК
- > коммутационное оборудование интегрированных цифровых сетей связи
- > комплексы информационной поддержки органов охраны территории
- > оборудование мультисервисных корпоративных сетей
- > сетевая и системная интеграция
- > экспортно-импортная деятельность

Россия, 197342, Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 8
Тел.: +7 (812) 295-50-69, Факс: +7 (812) 542-18-49
www.inteltech.ru Email: intelteh@inteltech.ru



АО «ЦКБ МТ «Рубин» – многопрофильное конструкторское бюро, лидер в области разработки концепций, проектирования, управления проектами, поддержания жизненного цикла морской техники различного назначения: подводных лодок, технических средств освоения нефтегазовых месторождений на континентальном шельфе, подводных роботизированных комплексов, плавучих энергетических комплексов.

Вся деятельность АО «ЦКБ МТ «Рубин» ориентирована на разработку и поиск передовых решений в науке, технике и технологии, внедрение их в создаваемые проекты. Организация стремится быть инициатором новых прогрессивных подходов во взаимоотношениях со всеми соисполнителями, участвующими в процессе разработки, создания и эксплуатации разрабатываемой продукции.

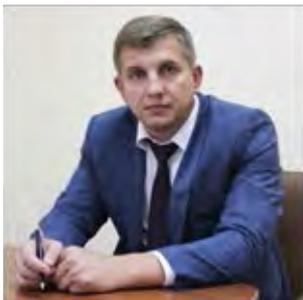
АО «ЦКБ МТ «Рубин» предлагает потенциальным заказчикам самую современную военно-морскую технику и всегда открыто к взаимовыгодному и продуктивному сотрудничеству.



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
ЦЕНТРАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО
МОРСКОЙ ТЕХНИКИ



Радиотехническое предприятие ПАО «Прибой»



**Генеральный директор
Дмитрий Иванович Мерзлов**

Предприятие ПАО «Прибой» является правопреемником производственного подразделения первого отечественного радио-промышленного предприятия, созданного на базе Кронштадтской мастерской А. С. Попова в 1911 г. Предприятие было образовано государством и в интересах государства с целью устранения зависимости Армии и Флота России от поставок аппаратуры связи иностранного производства и исторически ориентировалось на разработки и производство военной техники. ПАО «Прибой» — это модернизированное и хорошо оснащенное радиотехническое предприятие.

Базируясь на опыте НПО им. Коминтерна, ПАО «Прибой» осуществляет серийный выпуск различной радиотехнической продукции.

Имеется полноценная производственно-техническая база. ПАО «Прибой» обеспечивает полный технологический цикл изготовления сложных радио- и электротехнических устройств высокого качества: телевизионных и радиопередатчиков, антенно-фидерных устройств, источников питания, высокочастотных генераторов и импульсных модуляторов.

Кроме того, в настоящее время ПАО «Прибой» проводит работу в области создания автоматизированных комплексов связи, мощных радиопередающих комплексов ОНЧ, СЧ, СДВ, СВ, КВ, ВЧ диапазонов и других направлений в интересах МО РФ и других силовых ведомств.

ПАО «Прибой» является традиционным поставщиком автоматизированных комплексов связи (АКС) для подводных объектов (ПО) со спецэнергетикой. Первый комплекс под шифром «Молния» был принят на вооружение ВМФ в 1972 г. и совершенствовался в несколько этапов. Модификация («Молния-Л») для оснащения ПО различных проектов принята на вооружение ВМФ в 1974 г. В 1970-е гг. были созданы АКС серии «Молния-М» («Молния-М1» и «Молния-М2»), в 1983 г. приняты на вооружение ВМФ. В 1990–2000-х гг. разработан и принят на вооружение функциональный АКС серии «Смерч».

В современных условиях для концентрации усилий по разработке, поставке, модернизации и ремонту комплексов внешней и внутренней связи для подводных объектов России сформирован инженерно-технический центр со стендом главного конструктора. Создан новый интегрированный комплекс связи (ИКС), превосходящий разработанные ранее по многим характеристикам, который установлен на ряд ПО.



**Пример каналообразующих средств
связи ИКС**



**Современная система
дистанционного управления
и контроля ПО 4-го поколения**

Наш адрес: 199178, Санкт-Петербург, В.О., 11-я линия, д. 66.

Телефон (812) 328-07-75.

Факс (812) 328-38-06.

Сайт www.priboyspb.ru

Деятельность АО «НИИ «Нептун» по обеспечению безопасности морских рубежей государства



Директор М. В. Виноков

Предприятие создано в составе ЛПО им. Козицкого в 1947 г. как головное специализированное КБ в отрасли по разработке автоматизированных систем, комплексов и средств связи и уже 72 года выполняет заказы Минобороны (ВМФ, РВСН), ФСБ (Погранслужба) и других силовых ведомств России и иностранных заказчиков (с 1985 г. — «Научно-исследовательский институт автоматизированных систем и комплексов связи «Нептун»).

АО «НИИ «Нептун» входит в холдинговую компанию АО «Российская электроника» в Дивизион АСУ, головной организацией которого определено АО «Системы управления».

За период с 1973 г. по настоящее время автоматизированными комплексами связи производства АО «НИИ «Нептун» оснащено более 150 военных кораблей, вспомогательных судов и береговых объектов ВМФ России, береговой охраны погранслужбы ФСБ России, а также 28 кораблей ВМС Греции, Индии, Китая, Вьетнама, Словении и Алжира.

Сегодня продукцией предприятия кроме систем управления средствами комплексов связи являются проектная документация на объекты связи, современные многоканальные широкополосные радиопередающие комплексы (устройства), аппаратура передачи данных, цифровые многоканальные возбудительные и радиоприемные устройства, корабельные телевизионные системы, внутриобъектовые системы связи и административные компьютерные сети, антенно-коммутационное и оконечное оборудование, тренажерные комплексы, специальное программное обеспечение, а также ремонтная документация со специальным технологическим оборудованием и специальными средствами обучения. С 2016 г. объемы поставки нашей продукции ежегодно увеличиваются на 10%–15%.

В своей деятельности предприятие опирается на широко развитую долгосрочную кооперацию с научно-исследовательскими организациями РАН, Минобороны (ВМФ), ФСБ России, академий, университетов и вузов, поддерживает взаимовыгодные контакты с проектными и судостроительными организациями, разработчиками и поставщиками техники связи как в России, так и за рубежом. В кооперации по поставке комплектующих изделий и материалов, а также по изготовлению комплектующих для средств, комплексов и специальных изделий связи участвуют более 80 предприятий России.

АО «НИИ «Нептун» имеет все необходимые лицензии и свидетельства на осуществление основных видов деятельности (разработки, производства, испытания, установки, монтажа, технического обслуживания, ремонта и реализации вооружения и военной техники, проектирования и строительства объектов, осуществление мероприятий и оказание услуг в области защиты гостайны) и является членом Санкт-Петербургской торгово-промышленной палаты, Ассоциаций промышленных предприятий и предприятий радиоэлектронной промышленности Санкт-Петербурга.

Подразделения института активно участвуют в выполнении НИОКР и заданий по Гособоронзаказу в интересах Минобороны и ФСБ России. В настоящее время также развернута работа по диверсификации производства и выпуску продукции гражданского назначения.

АО «НИИ «Нептун» — постоянный участник Международных военно-морских салонов, военно-технических форумов «Армия» и «Интерполитех». Мы рассчитываем на дальнейший рост деловых контактов с целью взаимовыгодного сотрудничества.



**Антенна
«Нептун-УКВ»**



**Антенна
«Нептун-ДМВ»**



**Аппаратная стойка
«Нептун-ВМСЦД»**



Россия, 199178, Санкт-Петербург, В.О., 7-я линия, д. 80, корп. 1, лит. А
Тел. (812) 327-0972, факс (812) 323-3178
e-mail: inform@niineptun.ru, www.niineptun.ru





ПРОИЗВОДСТВО РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ПРИБОРНОЙ ТЕХНИКИ:

- аппаратуры управления ракетными комплексами различного класса и базирования;
- подвижных командных пунктов РВСН;
- автоматизированных комплексов и систем обмена данными;
- систем приёма-передачи, хранения и обработки телеметрической информации;
- аппаратуры специальной связи и радиотехнических систем;
- печатных плат пятого класса точности и выше;
- тонко- и толстоплёночных микросборок;
- автоматизированных систем контроля электропараметров печатных плат, кабелей, жгутов, релейно-коммутационных изделий, а также изделий на базе цифровых интегральных микросхем;
- медицинской техники;
- узлов и компонентов для автомобильной промышленности;
- лифтов;
- товаров народного потребления;
- энергосберегающего оборудования.



АО «Ижевский мотозавод «Аксион-холдинг»
426000, Россия, Удмуртская Республика,
г. Ижевск, ул. Максима Горького, д. 90
Тел.: (3412) 78-30-74
E-mail: office@axion.ru
www.axion.ru



Ген. директор
Сафонов В.В.

Компания РАМЭК работает на рынке информационных технологий с 1992 года и является системным интегратором полного цикла, т.е. предлагает своим заказчикам весь спектр услуг от консалтинга и проектирования информационных систем до реализации проектов, поставки техники и сервисного сопровождения.

Лидирующее положение компании на рынке неоднократно подтверждалось экспертными оценками рейтинговых агентств, по мнению которых компания уверенно входит в число ведущих российских системных интеграторов.

Компания имеет офисы в Москве и Санкт-Петербурге, а также производственный комплекс в Санкт-Петербурге, сертифицированный на соответствие требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2015 и дополнительным требованиям ГОСТ РВ 0015-002-2012.

Компания по праву гордится успешно реализованными проектами, выполненными в интересах ФСБ РФ и Минобороны РФ, среди которых:

- Создание центров обработки данных для МО РФ, включая ЦОД для Национального центра управления обороной Российской Федерации (НЦУО РФ);
- Распределенная автоматизированная система ресурсного обеспечения для МО РФ;
- Программный комплекс ведения Ген схемы ОАЦСС ВС РФ;
- Создание программно-аппаратного комплекса по противодействию терроризму;
- Создание ИТ-инфраструктуры в Управлениях ФСБ по всей территории РФ.

АО «РАМЭК-ВС» активно участвует в выполнении НИОКР и заданий по Гособоронзаказу в интересах Минобороны и ФСБ РФ. Продукция компании используется крупнейшими российскими предприятиями в сфере машиностроения, ТЭК, транспорта и здравоохранения, поставляется на предприятия ОПК, госструктуры и ведомства в рамках реализации программ импортозамещения в сфере высоких технологий.

АО «РАМЭК-ВС» имеет все необходимые лицензии и сертификаты на проведение перечисленных видов деятельности. Любая дополнительная информация может быть предоставлена по запросу.



ПК RAMEC Storm



Комплект устройств
оператора «РАМЭК»



ПАК аудио-видео
контроля «СОКОЛ»

Академик Пугачёв Владимир Семёнович:
к столетию со дня рождения

Вклад ученых Химфизики в советский Атомный проект
В. В. Адушкин, А. А. Сулимов

Технология информационной поддержки деятельности организационных систем на основе ситуационных центров
А. А. Зацаринный, А. П. Шабанов

Инфосфера и инфология
А. Д. Иванников, А. Н. Тихонов, И. В. Соловьев, В. Я. Цветков

Лекции по нормальной и эллипсоидальной аппроксимации распределений в стохастических системах
И. Н. Сеницын, В. И. Сеницын

Лекции по теории систем интегрированной логистической поддержки
И. Н. Сеницын, А. С. Шаламов

Канонические представления случайных функций и их применение в задачах компьютерной поддержки научных исследований
И. Н. Сеницын

Математические модели неоднородных потоков экстремальных событий
В. Ю. Королев, И. А. Соколов

Рандомизированные модели и методы теории надежности информационных и технических систем
В. Е. Бенинг, В. Ю. Королев

Марковские цепи и модели с непрерывным временем
А. И. Зейфман, В. Е. Бенинг, И. А. Соколов

Информационные технологии в диагностике технического состояния ГТД
И. В. Егоров, В. А. Карасев, В. А. Скибин

Облачность над океаном: Современные методы исследований
М. А. Криницкий, Н. П. Александров, С. И. Гунёв, А. В. Сеницын

Издательство «ТОРУС ПРЕСС»
121614, г. Москва, ул. Крылатская 29-1-43
e-mail: torus@torus-press.ru
<http://www.torus-press.ru>

Подписано в печать 20.12.19
Формат 60 × 84 / 16
Печать офсетная
Бумага мелованная
Усл.-печ. л. 17,21. Уч.-изд. л. 15
Тираж 300 экз.

Заказ № 878

Отпечатано в ФГУП «Издательство «Наука» (Типография «Наука»)
121099, г. Москва, Шубинский пер.,6

Научное издание

Стратегическая стабильность России на море. К 40-летию Научного Совета РАН.

Научный редактор — академик Ю. В. Гуляев, член Президиума РАН

Главный редактор — д.т.н., профессор А. А. Зацаринный, академик РАИН им. А. М. Прохорова

Монография посвящена уникальной истории Научного Совета при Президиуме Академии наук по фундаментальным проблемам связи с глубокопогруженными объектами. Созданный более 40 лет назад по инициативе Военно-Морского флота Научный Совет продолжает активную научную деятельность в интересах обеспечения стратегической стабильности России на море. Огромный вклад в создание и функционирование Научного Совета внес выдающийся советский и российский ученый академик В. А. Котельников, который в течение 27 лет являлся его Председателем. Поэтому многие статьи книги связаны с незаурядной личностью Владимира Александровича. В книге убедительно показано как благодаря конструктивному сотрудничеству ученых, военных и промышленности был решен ряд многих научно-практических проблем обеспечения связи с глубокопогруженными объектами в интересах ВМФ.

Авторский коллектив книги составили известные ученые Академии наук, представители ведущих предприятий промышленности и военной науки. Книга представит большой интерес для ученых и специалистов в области связи, историков в области науки и военной связи, для учебных заведений, а также для ветеранов-связистов.

