# ВЫСТУПЛЕНИЕ АКАДЕМИКА А.П.АЛЕКСАНДРОВА НА ТОРЖЕСТВЕННОМ СОБРАНИИ ВЕТЕРАНОВ ПРОТИВОМИННОЙ ЗАЩИТЫ КОРАБЛЕЙ, ПОСВЯЩЕННОМ 30-ЛЕТИЮ СЛУЖБЫ ЗАЩИТЫ ВМФ 2 ИЮЛЯ 1971 Г. В ЛЕНИНГРАДСКОМ ДОМЕ УЧЕНЫХ[1]

Мне было очень приятно получить приглашение на это собрание и встретить здесь многих, с кем мы действительно 30 лет назад и даже больше начинали работы. Так как я, по всей видимости, завершаю свой жизненный путь, то не мешает вспомнить начало работ, потому что они, как правило, освещаются совершенно неправильно. История не существует сама по себе – ее делают люди.

Как Ленинградский физико-технический институт попал в эту проблему? Было принято решение о строительстве крупного флота. И тогда из СКБ-4, которым руководил Чиликин, в ЛФТИ пришел инженер Александр Александрович Картиковский и стал с нами советоваться. А.Ф.Иоффе привел его прямо ко мне в лабораторию, потому что он знал, что любыми легкомысленными предприятиями я обычно занимаюсь охотно. В это время мы были в довольно тесном контакте с Минно-торпедным институтом, начальником которого был Брыкин Александр Евстафьевич. Когда я рассказал ему об этой проблеме, он сразу же проявил к ней большой интерес. Добыл нам материалы по поводу магнитных мин, которые впервые применили англичане в 1918 г. на Северной Двине против кораблей молодой советской Северной флотилии. Оказывается, тогда там была найдена одна из мин. То ли она была обнаружена благодаря приливам, то ли по какой-то другой причине, но ее оставили на мелком месте. Мина была обнаружена, разоружена и определены характеристики ее магнитного взрывателя. Этим делом, по-моему, занимался Павлинов, игравший большую роль в магнитных делах.

Вот таким образом мы получили сведения о магнитных минах. Кое-что мы и сами, как говорится, сообразили и посчитали, решив, что разобраться с этой миной – не безнадежная задача. И тогда небольшим коллективом (Борис Александрович Гаев, который, к сожалению, сегодня не смог приехать из-за неважного самочувствия, присутствующие здесь Дима Регель – заместитель директора ЛФТИ, Костя Щербо, работавший у нас лаборантом; еще был такой Митя Филимонов, но он впоследствии погиб) мы рассуждали о том, что можно сделать. Костя Щербо первым делом взял лист железа и согнул его в пятиугольный корабль. Дальше мы поступили так: сделали с Гаевым лабораторный магнитометр. На это понадобилось примерно два дня, насколько я помню. Мы брали безопасные бритвы, ставили их на хорошие оси и намагничивали. Потом вставляли коммутирующую катушку, и такой магнитометр довольно прилично мог измерять любую составляющую поля. После измерений поля нашей железной посудины мы увидели, что она здорово намагничена. Технология постройки корабля сильно влияет на его магнитное поле. Костя бил по корпусу кувалдой, последний перемагничивался в любом направлении. Мы поняли, что должно быть и постоянное, и курсовое, и широтное намагничивание. Общая схема нам стала тогда понятна. Мы, наша лаборатория, были очень далеки от вопросов магнитных. Поэтому пришлось делать все сначала. Если бы мы раньше занимались магнитными компасами, то подобные вопросы возникли бы давно. Но нам пришлось все делать сначала, и это было, как потом оказалось, к лучшему.

После того как опыты были проделаны, мы решили, что надо перейти на настоящий корабль, посмотреть, что там может получиться на месте. Тогда мы обратились к Брыкину

[1] Выступление восстановлено по магнитной записи, сохранившейся у В.Б.Ярцева – профессора кафедры «Физические поля и защита кораблей» Военно-морской академии им.Н.Г.Кузнецова.

и он разрешил использовать корабль «Дозорный». Маленький такой кораблик был, кажется, водоизмещением 150 т. Набрали мы каких-то проводов в институте, несколько катушек и отправились с «Дозорным» на испытания. И вот тогда мы соорудили уже другие магнитометры, которые можно было погружать в воду и которые, в общем-то, довольно успешно, до самой войны были хорошими помощниками в нашей работе.

В это же время флот предложил нам эксперементировать на лидере «Ленинград», который стоял тогда в сухом доке. Возникла задача: можно ли каким-то образом менять его магнитное поле. Наша задача была именно такая: как перейти от масштаба метровой модели к кораблю. Мы отправились в Кронштадт. На корпусе лидера «Ленинград» сделали несколько разных типов обмоток и убедились, что, действительно, довольно легко можно в широких пределах менять магнитное поле корабля. После этого (для сухого дока) был сделан такой магнитометр: взяли катушку проволоки, которая переворачивалась на 180° и на баллистический гальванометр. Таким образом мы тогда мерили поле лидера «Ленинград». Это было, конечно, весьма несовершенно, мы получили грубую картину, но она была ясна и очень похожа на то, что получили (могли получать) на модели. После этого мы работали еще с каким-то старым миноносцем. Работа так же велась в сухом доке, после чего приступили к опытам с «Дозорным» в Кронштадтской гавани. Там мы поставили (это уже нам выделил ЦНИИ МТИ) индукционные мины, естественно, без взрывчатки. Реле вытащили на берег, и «Дозорный» с нашими обмотками стал ходить над этой миной. Все выглядело тогда замечательно: оказалось, что глубина была там около 8 или 9 м. Одна основная обмотка на всех курсах защищала «Дозорный» от срабатывания реле мины. Это нас, естественно, вдохновило; мы доложили Брыкину результаты и стали готовиться к уже более серьезной работе при движении корабля на переменных курсах.

К этому времени в нашей лаборатории появились лучшие магнитометры. На совещании «в верхах» присутствовали Абрам Федорович Иоффе, Алексей Николаевич Крылов, Александр Евстратьевич Брыкин и кто-то четвертый. По-моему, был такой минер Верещагин из ЦНИИ МТИ. Он как раз и занимался магнитными и индукционными минами, хорошо разбирался в этих делах. Это высокое совещание выслушало мой доклад. Я им рассказал про модельные опыты. После этого Алексей Николаевич заметил, что это все хорошо на моделях, но как будет на кораблях – непонятно, потому что в сущности решается задача, которую мы решали для компасов; решается задача не для точки, а для плоскости, а это, конечно, весьма трудно. Он очень интересно рассказывал тогда. «Я помню, как в тысяча девятьсот, кажется, двенадцатом году на императорской яхте «Держава» возник вопрос относительно влияния динамо-машины, которую там установили, на компас. Поручили эту задачу мне, и я создал обмотки в трех перпендикулярных плоскостях, так же как вы сейчас докладывали нам. Но только у самого компаса я их включил в виде шунтовых обмоток к этой динамо-машине, и, подобрав токи, мы добились очень хорошей компенсации электромагнитной девиации». Вот такая история. После этого я рассказал уже про опыты, которые велись на кораблях. Там были сняты все подробные кривые на «Дозорном»: какие поля, как срабатывает реле, когда оно срабатывает, а когда нет. В конце концов, совещание убедилось, что сто́ит измерения вести дальше, и благословили нас на эту работу.

Потом было другое совещание – во НИИМТИ. Обстановка была значительно хуже, потому что меня очень здорово заклевали тамошние и привлеченные специалисты; тем не менее, после того как совещание закончилось, каждый остался при своем мнении, а Брыкин сказал, что корабль нам даст, и мы можем работать дальше. Он приказал, чтобы личный состав НИИМТИ помогал бы нам всячески в этой работе. Его роль была очень важна в этом деле.

Возникло дальше неожиданное осложнение. Оно заключалось в том, что мы решили отправиться на Ладожское озеро на «Дозорном». Там есть большие глубины. После того как такое соглашение состоялось, мне позвонил Брыкин и сказал: «Вы знаете, оказывается все не так просто. Мы не можем дать корабль бесплатно. Надо заплатить. – С чего я должен платить? У нас денег нет. Мы не такой институт». Я приехал к нему, и тут разыгралась необыкновенно комичная сцена. Он вызвал своего бухгалтера, который подтвердил, что мы должны платить по программе за столько-то дней около 100 тыс.р. Конечно, у нас таких денег не было. Он сказал: «Чего же вы смущаетесь? Вы должны заключить договор на эту работу с 45-м институтом (ЦНИИ-45). ЦНИИ-45 даст вам эти 100 тыс. по договору, вы их уплатите нам. Больше того, вы должны с них взять не 100 тыс., а существенно больше, в 3–4 раза больше, потому что по закону можно 400 %. А они уже, в свою очередь, заключат договор с флотом и тоже наложат свои 400 %. И тогда все будет хорошо. Вы с нами спокойно рассчитаетесь». Товарищи! Я ничего не придумываю! Все так и было! Это на меня произвело сильное впечатление, и я сказал Брыкину: «Слушайте, ну какой же смысл флоту получать 100 тыс. от меня за пользование его корабля для его же надобностей, а потом за это заплатить почти один миллион 45-му институту?». Тот действительно возмутился. И они прешили, что мы эту работу будем выполнять параллельно работам НИИМТИ, и таким образом обошли все финансовые трудности. Но в дальнейшем нам все равно с ними пришлось встретиться.

Мы вели работу на Онежском озере. Пришлось усилить группу. Брат Регеля, Анатолий Робертович (теперь директор Института полупроводников), тоже в нее включился, и еще несколько человек. Полной компанией мы отправились на Онежское озеро, все приготовили. У нас уже были движки, от которых питались все устройства, масса магнитометров. Все было сделано как следует. Больше того, мы сделали такие лабораторные образцы магнитометров, которые должны были следить за изменением поля корабля в некоторых выбранных точках при изменениях курса, крена и т.д., в которых можно было брать обратную связь на обмотки, установленные на корабле. Но мы их тогда не применяли; только посмотрели, как эти лабораторные приборчики наши работают для дальнейших целей. Остановились на двух системах: одна система состояла из трех горизонтальных обмоток, из которых носовая и кормовая должны были неполностью компенсировать продольное намагничивание корабля (под кораблем они могли только уменьшить поля). Вторая система – бортовые батоксовые обмотки. Затем было пробовано шпангоутное расположение обмоток, которое потом уже нашло свое применение. Но в качестве главного варианта (первого) мы остановились на трех обмотках: основной, носовой и кормовой.

Тогда на Онежском озере случилось забавное происшествие, в результате которого могло бы не состояться сегодняшнее 30-летие, т.е. я бы на нем не состоялся. Командир «Дозорного», Александр Иванович Шаханов, потащил нас туда на плотике – Гаев, я, все мы и вся наша аппаратура. Он тащит нас, тащит... Потом с корабля что-то падает за борт. И оттуда кричат: «Поднимите, ради бога, эту штуку, которая упала. Мы потеряли!». Мы доплываем (буксируют нас туда), я плавал недурно. Конечно прыгнул в воду, затем Гаев. Стали мы там эту штуку ловить. Оказалось, что они, смеха ради, бросили какой-то кранец, А когда я подплыл, они немножко поддали ходу. Я плыву с этим окаянным кранцем, не могу догнать плот, хоть тресни. Нажимаю как могу, а они стоят, посмеиваются. Тогда я повернул и поплыл к берегу. Было километра два до берега. В этом месте увидев такую решительность, они остановились и все-таки подобрали меня. А я чувствовал, что уже нет сил...

В это время мы провели очень хорошую серию испытаний и, в сущности, начали закладываться все способы приближенных расчетов, которые потом нашли применение. Но и тут произошло событие. В какой-то момент меня вызывают. Что такое? Приехал

Тевосян – нарком судостроительной промышленности. На набережной, в каком-то домике, состоялось совещание с Тевосяном. Был поставлен вопрос: можно ли действительно добиться чего-то путного? Дошла очередь и до меня. Я доложил о том, что нужно провести серию испытаний на кораблях различных классов. «Что мешает? – Кабель прежде всего, в большом количестве. И чтобы корабли предоставляли тогда, когда это будет возможным. Ну и чтобы измерения на больших кораблях велись с помощью специальной аппаратуры, а не с борта корабля». Вот тогда-то к нам через короткое время (мы все-таки заключили договор с ЦНИИ-45) были прикреплены Гордон Лев Аркадьевич и Фомин. А Фомин должен был непосредственно нас обеспечивать. Такой был приказ. Уже после этого я встречался с Исаковым здесь, в «Астории». Меня и Абрама Федоровича вызвали по этим же делам. Очень подробно все обсуждали. И был отдан приказ – выделить нам для опытных работ линкор «Марат». Александр Александрович Картяковский очень хорошо знал «Марат». Если его просили назвать номер шпации в любом месте, он сразу же называл вид бронирования, толщину листов. Все это он знал прекрасно. И мы очень дружно с ним работали. Была назначена экспедиция – необходимо было промерить поля «Марата» и сделать пробные эксперименты.

Мы погрузили все наше имущество, множество катушек кабеля, измерительные приборы, сейф. С этого момента, собственно, началась серьезная секретность. Нам выдали железный ящик, который нужно было везти обратно с секретными сведениями в запечатанном виде. Мы набили его разными напитками. И его тоже опечатали. Ну что вы хотите? Молодая была компания. Потащили нас на Красногорский рейд буксиром, и вдруг от переднего плашкоута отваливается вся передняя часть, и мы начинаем тонуть. Мы стали перекатывать катушки с кабелем, переносить приборы. Обошлось. Буксир кругом обвел трос, уже с другой стороны стал тащить. Тащит, тащит и притаскивает нас на Кронштадтский рейд. В это время начинает портиться погода. А в те времена, чтобы линкор вышел в назначенный район, его должна была сопровождать 21 единица. Кораблей стоит много. Но нас начинает болтать, и плашкоуты явно дышат на ладан. Получаем команду: идти в Пейпию и там отстояться. Стоим в Пейпии; через два дня погода портится, и нас уже в совершенно жалком виде тащат к линкору. Стоит такой серый красавец. Погода великолепная, вся команда – по борту, в белом. И вдруг притаскивают ужасный хлам. Но Павел Степанов (он уже несколько «оморячился» на этих работах) переходит на нос плашкоута, берет конец троса, гордо замахивается и бросает его на линкор. И этот конец в воздухе разлетается на три части. Он был совершенно гнилой. Потом военные быстро привели все в порядок, и мы стали работать. Надо сказать, что флот энергично помогал нам. Измерения выполнили довольно прилично, и после всего этого стало ясно, что можно ставить вопрос о создании такого рода систем.

Затем для проведения этих работ к нам прикрепили по линии Судпрома ЦКБ-52. Вот тогда-то я и познакомился со многими товарищами, здесь присутствующими. Василий Сидорович Евдокимов… С ним мы больше всего работали по конкретным проектам для разных кораблей. Группа Евдокимова вела это проектирование. И мы стали очень серьезно готовиться, чтобы весной 1941 г. провести испытания в Севастополе на всех классах кораблей, которые там находились. Для них уже были сделаны промышленные проекты. Немного раньше к нам назначили капитана 3 ранга Ивана Васильевича Климова, присутствующего здесь. Он был очень воодушевлен этими работами и в результате внес предложение относительно безобмоточного размагничивания кораблей. Оказалось, что это возможно. По-моему, в 1940-м году нас командировали в Киев на Днепровскую военную флотилию, где нужно было провести испытания на мониторах. Это были такие «утюги»! И надо было пробовать работать с ними. А там очень мелко. От НТК тогда с нами был Годзевич. Начальником госкомиссии (уже по этим работам) был назначен капитан 1 ранга Хорошкин. Кажется, он был командующим Днепровской флотилии. Мы

тоже провели эти работы. Годзевич требовал добиваться, чтобы мина не срабатывала даже под самым дном корабля. Ну а «утюги» разводили страшную волну. Я помню, мы поставили мину на малой глубине, а у монитора осадка была небольшая, около метра. Корабль прошел над этой миной – мина покатилась. Весь наш стол со всеми приборами, все полетело к чертям. При этом, конечно, реле замкнулось. Годзевич был очень недоволен. Но в результате кончилось все благополучно. Мы очень долго возились с батоксовыми обмотками, потому что при таком широком корабле без этого уже невозможно обойтись. Они существенно помогали.

Потом, в феврале 41-го года, учинилась наша экспедиция на Черное море под водительством Ивана Васильевича Климова. Мы были все молодые и довольно-таки легкомысленные, вели себя разнообразно. Помню популярную тогда песню: «дядя Ваня, хороший и пригожий». Ее мы и пели Ивану Васильевичу. А он только и делал, что вызволял нас из каких-то неприятностей. В общем, довольно много мы ему доставили хлопот.

Тогда же были проведены опыты на крейсерах. Для всех классов кораблей были готовы реальные системы, которые можно было налаживать. Но дело двигалось медленно. В конце марта (или в начале апреля) меня вдруг вызвали в Москву на Военный совет флота. Рассматривался вопрос о размагничивании кораблей. Был там И.С.Исаков, который показал мне журнал «Шип билдинг» с иллюстрацией обмоток, как их делали англичане. До того один из коммерческих кораблей (кажется, датский или голландский) приходил сюда, в Ленинград. И наш Гаев ездил на этот корабль (уж не помню под каким видом) и осматривал обмотки размагничивания. Оказалось, что они применяли тогда только одну основную обмотку. Так же, как и в английском флоте. Она и была главным образом одна. На совете А.А.Жданов чрезвычайно резко напал на Н.Г.Кузнецова, который вел Военный совет. И тут я в первый раз услышал про войну. «Что ты хочешь, чтобы мы вступили в войну без этого вооружения? – Да вот кабеля нет, того нет. – Так мы сейчас этот кабель можем достать у немцев, а потом-то мы его нигде не достанем! Англичане делают, кто-то еще делает, немцы усиленно применяют магнитные мины. Как же нам без этого вооружения?».

После этого все коренным образом изменилось. К работе была привлечена очень большая группа военных. Однако до начала войны оставалось очень мало времени, практически успели подготовить кое-что, но реального сделать ничего не смогли.

Началась война. В ЛФТИ многие лаборатории включились в эту работу. И.В.Курчатов вместе со своей лабораторией тоже захотел участвовать. И целый ряд других товарищей: Тучкевич, Федоренко и еще целая рать! Тогда уже НИИМТИ и МТК (по-моему, его возглавлял Жуков) очень энергично включились в это дело. Была выделена очень большая группа офицеров из МТК (в том числе и большинство здесь присутствующих). И дело стало развиваться совершенно в другом темпе.

В первые дни войны мы были в Прибалтике. В Кронштадте сначала создавали магнитные тралы. На деревяшках ставили 60-киловатные дизели. Конечно, это было плохое устройство, неживучее, но все-таки какую-то роль оно должно было сыграть. Ну а бóльшую группу тогда мы отправили в Прибалтику, меньшую – в Севастополь. С этого все и началось. 26 июня 1941 г. я защищал докторскую диссертацию. Отпросился на один день, защитил. После этого за мной приехали два офицера. Я только успел на пять минут забежать домой, приехал в НТК – там было совещание с Жуковым. Он сказал, что завтра утром мы движемся в Прибалтику. Назавтра в 6 ч – свидание возле Нарвского универмага. Приезжаю туда, меня провожает жена. Подходим к машине (ЗИС-101), открываю дверь – там пулемет. В машине – Жуков и еще кто-то с ним, а также старшина-пулеметчик. В Прибалтике в полном разгаре шли работы по оснащению кораблей. Тогда это называлось «Система ЛФТИ».

Помню, приезжаю на один из кораблей – меня туда срочно вызвал Питерский (он тогда был начальником штаба, может быть, зам. НШ). Оказывается, произошла следующая история. На этом корабле был замполит, которого очень ценил Регель, делавший там обмотку. – «Ты это делал или Толя? Скажи, ты делал?» Чтобы проверить, так ли сделано, он взял учебник по физике для средней школы, посмотрел, куда должна отклоняться стрелка, если ток идет в нужном направлении, и убедился, что все наоборот. И решил: фамилия – Регель, да еще Робертович, и ток – в обратном направлении! В общем, все плохо. А дело в том, что учебник рассчитан на школьника – иначе, чем на нас с вами. Действует правило штопора. Каждый знает, куда он крутится. А школьникам нарисовали какую-то ерунду. Вот я ему и показал, что нарисовано все правильно. Но только в учебнике магнитная стрелка идет под проводом, а Регель ставит шлюпочный компас для проверки направления токов над проводом. Значит, у него стрелка должна отклоняться в другую сторону. В конце концов вопрос был снят.

Потом было очень интересно. Где-то там, неподалеку, в Палдиски, вероятно, стоял минзаг «Марти». Мы приехали туда. А там моряки, не дожидаясь ничего, но имея какие-то временные инструкции, которые мы уже успели распространить по кораблям; под руководством командира БЧ-5 сами стали делать размагничивающую систему. Где-то они набрали кабель, обмотали корабль, все честь честью. Но как регулировать токи? Взяли с камбуза кастрюли и сделали водяные реостаты, причем, довольно толково. Потом пришлось поменять, выкинуть эти кастрюли. Но было ясно, что и обычный состав флота начинает к этому делу относиться всерьез, не только НТК или Управление кораблестроения.

Вскоре создалось очень тяжелое положение. Флот уже весь был в Кронштадтском районе, и произошло следующее: меня и И.В.Курчатова командировали в Севастополь. Вся работа перешла в руки В.М.Тучкевича. Щадеев был главным, кто руководил работой по военной части. Но Тучкевич собрал под себя всех возможных физтеховцев. В этой группе тогда работала дочь А.Ф.Иоффе Валентина Абрамовна Иоффе и еще довольно много наших товарищей. Вскоре положение стало усложняться тем, что началась блокада. В Севастополе, на Черном море, тоже было нелегко, но работа сразу пошла очень быстро. Начальником техотдела был И.Я.Стеценко, он очень хорошо воспринял эту работу. И вот тогда-то включились многие из присутствующих здесь. Приехала группа от Управления кораблестроения с Гуменюком во главе. Он, собственно, и руководил всей работой в целом. Там соорудили (Иван Васильевич все время энергично работал на кораблях) пробный минный полигон, куда пропускали корабли после размагничивания (в Северной бухте). Ну и работа пошла. К этому времени стали применять способ, предложенный Иваном Васильевичем Климовым, – безобмоточное размагничивание. Но только одну, по-моему, подводную лодку, успели обработать. Приехала английская делегация, как раз по вопросам размагничивания кораблей, привезла с собой приборы – те самые пистоли, которые потом пошли у нас в ход. Это было полезное приобретение. Но что касается безобмоточного размагничивания, то, можно сказать, англичане ушли не дальше, чем мы. И даже, пожалуй, наоборот. В их инструктивных материалах закрались крупные ошибки, которые мы обнаружили. Сознательные это были ошибки или нет – неизвестно, но в общем они начали действовать. Им дали для размагничивания лодку, которую раньше уже размагничивали. Вы тогда, кажется, это делали, Виктор Дмитриевич? А потом ее дали англичанам. Они ахнули: значит, у вас есть безобмоточное размагничивание? Ну в общем, с этого времени этот метод, впервые предложенный Иваном Васильевичем, хорошо пошел полным ходом.

Через некоторое время меня из Севастополя адмирал Галлер отправил на Северный флот. Прилетев на Север, я пришел к командующему Головко (в его пещеру) и передал ему слова Галлера: корабли отсюда, вероятно, придется выводить. В горле Белого моря

создаласьтакая ситуация, что они могут встретить очень серьезные минные поля. В этом зале есть ребята, которые занимаются размагничиванием. Там много было наших товарищей: Неменов, Щепкин (теперешние все наши деятели Института атомной энергии). Они вышли из Курчатовской лаборатории. После этого события развернулись так: данная группа стала работать на Севере, а Головко ответил мне очень четко: «Я никуда ни один корабль отсюда выводить не буду, кроме как на Запад. Но раз вам поручено это дело, вы его и делайте. Вот вам флагман Зятьков. Будет обеспечивать все, что нужно, а корабли мы выводить не собираемся». Такой был четкий ответ. Действительно, режим он завел очень жесткий, и это был флот, который на самом деле за все время войны никуда не сдвинулся от наших границ. Он меня тогда поразил. Очень сильный был командующий. Потом, наконец, в феврале 1941 г., мы с Годзевичем и некоторыми товарищами приехали сюда. Собственно, это была своего рода переподготовка по размагничиванию. Здесь я находился до мая.

В июле 1942 г. года наша группа работала на Волге. Во главе ее был тогда Лазуркин. Потребовалось подкрепление. Дима Регель, я, Костя Щербо – все туда отправились. Там застали трагическую картину: размагничивание бронекатеров, которые перегнали на Волгу. И вот тогда Лазуркин запретил одному бронекатеру выходить – у него очень безобразное поле. Но есть приказ. Хорошкин, который раньше был председателем государственной комиссии (какая ирония судьбы!), сам пошел на этом катере. И тут же подорвался. Погиб. К этому времени он уже был контр-адмиралом.

Но были там занятия и не по специальности. Соорудили какой-то очень хитрый трал. В одном месте магнитная мина попала на берег, на «обсушку». Мы занялись этой миной. Я не помню фамилию этого минера. Такой Михал Михалыч. Мы очень хотели раскрыть эту мину, посмотреть, нет ли там, внутри, еще чего-то такого. Какие-то странные горловины, неоткрытые. Он говорит: «Это пустяк. Я сейчас заложу туда шашечку. Я ее обкручу сеном, с миной ничего не будет. Она только разломится». Но нас на всякий случай отогнал. Мы залегли за кустами. Как эта шашечка даст! И вся мина к черту взорвалась.

К тому времени уже была отправлена группа Федоренко на Дальний Восток. Всюду были созданы флотские станции размагничивания с хорошим квалифицированным составом. Мы только занимались тем, что выправляли какие-то инструкции, преподавали флотскому составу. Флот взял работу в свои руки, и система функционировала надежно.

С тех пор мне редко приходилось встречаться с вопросами размагничивания. В 1947 или в 1948 г. была создана специальная лаборатория в Институте физических проблем, где я тогда работал. Руководил ею Виктор Дмитриевич Панченко. Там эта работа шла, развивалась, решался целый ряд вопросов. В это время 45-й институт с нами очень много сотрудничал – во время войны, после войны и перед самой войной. И в результате, надо сказать, флот наш понес очень небольшие потери, в основном благодаря вашим усилиям.

Мне приятно вспоминать эти события. Это был значимый этап в моей жизни. Потом я занялся другими делами, и только сейчас мне иногда приходится встречаться с тем, что как какой-то корабль не пускают, потому что он не прошел СБР, и т.д. И все ходят ко мне, особенно судостроители, с просьбой подписать без СБР. И я, честно, ни разу не подписывал.

Извините меня за однобокий рассказ с точки зрения нашего ЛФТИ. Очень приятно, что в этой работе принял участие дружный, большой коллектив организаций. И, надо сказать, что и сейчас это дело осуществляется успешно. По крайней мере, никто, нигде не подрывается, хотя за процесс размагничивания ругают.

© *В.Н.Пархоменко*, 2012
Военно-морской инженерный институт (филиал) ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»

# 70 ЛЕТ СЛУЖБЕ ЗАЩИТЫ КОРАБЛЕЙ ВМФ ПО ФИЗИЧЕСКИМ ПОЛЯМ

Приказом Народного комиссара ВМФ № 977 от 8 октября 1941 г. в Управлении кораблестроения ВМФ было создано самостоятельное отделение по размагничиванию кораблей. С 1971 г. каждое десятилетие этот день отмечается, как день основания Службы защиты кораблей (СЗК) по физическим полям.

В настоящее время известно несколько десятков физических полей, широко используемых в различных видах высокоточного (в том числе морского) оружия, системах обнаружения и поражения противника. В Военно-Морском Флоте исследования в области физических полей корабля (ФПК) начались с появления необходимости защиты кораблей от неконтактных магнитных мин. В 1936 г. в лаборатории ЛФТИ в Ленинграде была создана специальная группа и в план работы института на 1937 г. включены две темы: «Неконтактная якорная мина» и «Разработка приборов, предохраняющих корабль от взрыва неконтактных магнитных мин». К 1938 г. в ЛФТИ провели теоретические исследования и разработали метод обмоточного размагничивания кораблей.

В апреле–августе 1941 г. в Физтехе проводились теоретические исследования и разрабатывались методы безобмоточного размагничивания. В мае и июне 1941 г. вышли решения Главного военного совета ВМФ, определявшие организацию работ по защите кораблей и предписывающие установку размагничивающих устройств на всех боевых кораблях в течение 1941 г. Во второй половине 1941 г. началось массовое оборудование кораблей и судов размагничивающими системами ЛФТИ и наладка этих систем; работы в основном были выполнены в течение 2–3 месяцев. Натурные эксперименты показали правильность избранного пути на размагничивание, а не на намагничивание кораблей и подтвердили эффективность предложенного защитного устройства. В 1942–1943 гг. были построены КИМС-1 (СФ), КИМС-2 (ТОФ), в 1944 г. введено в действие РРК-44.

В конце Великой Отечественной войны СЗК оформилась в самостоятельную флотскую структуру:

– центральное руководство осуществлялось отделением Управления кораблестроения ВМФ;

– научно-исследовательские работы в области размагничивания кораблей курировались магнитной секцией НТК ВМФ;

– на флотах при технических управлениях были созданы отделения размагничивания с соответствующими средствами контроля (СБР, СБРП, КИМСы и т.д.).

Созданная в годы войны система размагничивания кораблей доказала свою эффективность и в послевоенные годы продолжала успешно развиваться. Как отмечалось ранее, к середине 50-х годов прошлого века из ФПК более востребованным являлось магнитное поле – как изученное в наибольшей степени. Служба защиты кораблей в виде отделений ГУК (Главное управление кораблестроения) и ГТУ (Главное техническое управление) ВМФ, подразделений на флотах продолжала расширяться. Флотские специалисты на регулярно проводимых сборах обменивались опытом по защите кораблей. В Военно-морской академии кораблестроения и вооружения открыли кафедру и курсы, где готовили специалистов высшей квалификации и инженеров среднего звена для работы на флотских станциях. В 1-м Институте было сформировано управление, занимаю-

щееся физическими полями кораблей. Для координации работ в области физических полей корабля (ФПК) усилили Морскую секцию при президиуме АН СССР. Номенклатура физических полей, подлежащих контролю, постепенно дополнялась. Шумность стала рассматриваться как тактико-технический элемент корабля.

Но для истории развития СЗК характерно наличие этапов взлета и падения. С середины 50-х до середины 60-х годов (период так называемой «хрущевской оттепели») в результате непродуманных организационно-штатных мероприятий защита кораблей пришла в упадок. В ГТУ ВМФ ликвидировали отдел и вопросы защиты возложили на одного человека, в ГУКе осталось малочисленное подразделение. На СФ и ТОФ отделы защиты довели до состояния, когда они не справлялись с элементарными задачами по контролю уровней ФПК. На остальных флотах при техуправлениях оставили по одному специалисту, решавшему все вопросы защиты по ФПК. НИОКРы выполнялись промышленностью при отсутствии какого-либо контроля со стороны ВМФ. В них в основном решались не главные, а второстепенные вопросы, а уровень исследований, как правило, не соответствовал современным требованиям. Кафедра и курсы в ВМА были ликвидированы. Морская секция в АН СССР отошла от всех вопросов защиты кораблей и координации работ в этой области. Управление ФПК, ведавшее защитой, в 1-м ЦНИИ МО ликвидировали. Другими словами, за 10 лет удалось полностью уничтожить достижения в развитии СЗК.

Очередная активизация работ в области исследования ФПК началась в середине 60-х годов и продолжалась более 25 лет. В этот период активно ведутся работы:

– по восстановлению и развитию на флотах соответствующих подразделений;
– развертыванию новых НИОКР в этой области;
– усилению научных подразделений, занимающихся физическими полями в институтах промышленности, АН СССР, Военно-Морском Флоте;
– подготовке кадров соответствующего профиля и квалификации;
– изменению структуры Совета по гидрофизике и созданию постоянно действующего Совета ВМФ, Минсудпрома, АН СССР по изучению шумности иностранных кораблей и т.д.

В организационном плане для реализации перечисленных работ на первом этапе были подготовлены проекты постановлений СМ СССР: «О мерах по повышению скрытности и защиты кораблей… и уменьшению помех работе гидроакустических средств» и «О мерах по обеспечению средствами измерений физических полей…». В ходе длительного согласования в различных инстанциях постановления были приняты направленность предусмотренных в них работ, а также удалось сохранить основные мероприятия.

Началось решение крупной государственной проблемы по снижению уровней физических полей кораблей и ликвидации отставания от атомных подводных лодок ВМС США в этой области. В проделанных работах можно выделить следующие основные этапы:

1968–1974 гг. – смещение акцентов в область обесшумливания, повышение акустической скрытности подводных лодок обозначены как общегосударственная задача.

1974–1980 гг. – период эффективной разработки и реализации в натурных условиях средств и методов снижения уровней ФПК.

1980–1985 гг. – завершение решения в научно-методологическом плане проблемы отставания по снижению шумности по отношению к гидроакустическим протяженным антеннам (ГПА) ВМС США.

В период 1965–1990 гг. по постановлениям ЦК КПСС и СМ СССР выполнено пять комплексных целевых программ по тематике «Защита». По динамике результатов этих работ можно судить об изменении состояния дел в области ФПК, значимости и направленности исследований. В НИР и ОКР по проблеме «Защита» разработаны комплексные требования ВМФ к ФП (ТЗСК-68, ТСЗК-74, ТСЗК-80, ТЗК-90), требования к виброшумо-

вым характеристикам механизмов и оборудования (ВАХ-68, ВАХ-74, ВАХ-80, ВШХ-90). Промышленностью и ВМФ разработаны десятки методик и руководств, в том числе «Правила проектирования акустической защиты» и «Методика акустического проектирования ПЛ». Разработанным и введенным в действие в 1980 г. РКНШ ПЛ-80 (отв. исп. В.Л.Петров) на флотах пользуются как основным документом по шумности более 30 лет.

В КНИР «Защита» разработаны малошумные и маломагнитные механизмы и оборудование, удовлетворяющие современным требованиям. Созданы предприятия по разработке корабельных средств акустической защиты НИСКБ «Спектр» (на Севмашпредприятии), СКТБ «Компенсатор» (на заводе им. А.А.Жданова) и др. В работах по тематике «Защита» принимали участие тысячи людей. На Кировском заводе, Калужском турбинном заводе, заводах Минэлектротехпрома и Гидромаша создавались уникальные стенды для контроля вибро-шумовых характеристик (ВШХ).

Нельзя не упомянуть о крупномасштабных натурных испытаниях кораблей по комплексным НИР «Юг» и «Север». В них принимали участие десятки организаций в лице своих ведущих представителей. Практически каждый головной корабль, кроме сдаточных, проходил серию специальных испытаний, в ходе которых определились мероприятия по акустической доводке.

На крупнейших предприятиях промышленности (ЦНИИ им. А.Н.Крылова, ВНИИМ им. Д.И.Менделеева и др.) были созданы военные представительства, осуществлявшие контроль за договорной тематикой. Ужесточение контроля со стороны ВМФ в ЦКБ-проектантах, на судостроительных и машиностроительных предприятиях привело к созданию на заводах лабораторий физических полей, бригад по доводке акустических и других характеристик до действующих норм. Все участники работ должны были поддерживать свою научно-техническую квалификацию на должной высоте. Этому способствовало открытие в 1971 г. в Военно-морской академии кафедры «Физические поля, скрытность и защита кораблей ВМФ».

В 1988 г. в ВВМИУ им. Ф.Э.Дзержинского была создана кафедра «Физических полей и защиты кораблей». Позднее (1994 г.) аналогичная кафедра появилась в ВВМИУ им. В.И.Ленина.

Специальные бригады, сформированные из ведущих специалистов ВМА и Институтов ВМФ во главе с Вадимом Борисовичем Ярцевым, регулярно выезжали на флот для чтения лекций и проведения технической учебы. По указанию первого заместителя ГК ВМФ Н.И.Смирнова один раз в два года на 1-м Полигоне ВМФ проводились сборы военных представителей на судостроительных и машиностроительных предприятиях.

Значительно был усилен в это время и центральный аппарат.

В вопросах корабельной акустики стали разбираться руководители самого высокого уровня. За невыполнение норм шумности взыскания от СМ СССР получали ведущие специалисты Минсудпрома, что свидетельствует о внимании, уделявшемся проблеме акустической скрытности со стороны правительства.

С 1981 г. к ее решению была привлечена «большая наука». В ИМАШ под руководством А.П.Александрова, С.Г.Горшкова и А.В.Гапонова-Грехова состоялось совещание-семинар. В нем участвовали крупнейшие ученые, руководители и организаторы промышленности. В докладе ГК ВМФ Адмирала Флота Советского Союза С.Г.Горшкова было предложено ввести в практику создания подводных лодок «Акустическое проектирование» как часть системного проектирования, в которой устанавливается взаимосвязь между конструктивными элементами подводной лодки, являющимися сложной динамической шумоизлучающей системой и заданными характеристиками шумности.

Требования к акустическому проектированию были разработаны 1-м ЦНИИ МО, а методика акустического проектирования – ЦНИИ им. А.Н.Крылова. Введение в действие методики способствовало установлению терминологии, в соответствии с которой

защита кораблей по физическим полям включила в себя защищенность от морского оружия, снабженного неконтактными системами управления, реагирующими на характерные параметры полей и скрытность действия подводной лодки, которая, в свою очередь, зависит от состояния ФП подводной лодки (скрытность по физическим полям) и состояния ФП подводной лодки, обусловленного действием экипажа.

В 1983 г. решением ВМФ, Минсудпрома, АН СССР был утвержден постоянно действующий экспертный совет для анализа и объективной оценки научно-технической и оперативно-тактической информации по физическим полям кораблей вероятного противника.

В Совете по гидрофизике АН СССР в 1988 г. создается секция № 6 «Физические основы защиты и скрытности кораблей ВМФ».

Современные требования ВМФ «ТЗК-90» предъявлены не к скрытности и защищенности, а к ЗАМЕТНОСТИ кораблей по физическим полям, под которой понимаются свойства корабля излучать и отражать энергию физических полей, искажая их параметры, приобретающие значения, отличные от фоновых характеристик окружающей среды (естественных и искусственно создаваемых).

С годами создаваемые физические поля становятся все более качественными критериями вооружения и военной техники. При этом необходимо помнить, что под физическим полем корабля понимают пространственно-временно́е изменение физико-химических характеристик среды, окружающей корабль, вызванное его присутствием. Мы же до сих пор проводим исследования полей в стандартных условиях, контролируем их характерные параметры в реперных точках, не учитывая пространственно-временные характеристики. Поэтому перспективы работ в этой области представляются безграничными.

В 1985–1988 гг. внимание к проблеме стало значительно ослабевать, что связано в основном с явлениями, сопутствовшими «горбачевской» перестройке. Продолжавшейся в эти годы успехи можно объяснить инерционностью процессов предыдущих лет. Изменение отношения отразилось наиболее показательно на ОКР и НИР по проблеме «Защита». Если в предыдущих комплексных НИР число работ доходило до 100, то в «Защиту-6» планировалось включить только 10. После 1990 г. работы по защитной тематике были прекращены.

В 1988–2000 гг. и в настоящее время проводится постепенная ликвидация подразделений, занимавшихся физическими полями в ВМФ, РАН, промышленности, распадается система кооперации работ в этой области, катастрофически сокращается их финансирование. Напрашивается аналогия по состоянию дел с серединой 50-х годов прошлого века. В этом плане характерно заключение ТУ (Техническое управление) ТОФ на корректированную редакцию руководящих документов по шумности: «переход ВМФ на «новый облик» предусматривает 100 %-ное сокращение инженеров и командиров судов размагничивания и судов физических полей, начальников служб защиты кораблей технических отделов объединений, лабораторий физических полей объединений, офицеров СЗК флота. В процессе реструктуризации судоремонтного комплекса флота уничтожены лаборатории физических полей, занимавшиеся измерением и доведением до норм виброакустических характеристик подводной лодки. Таким образом, Служба защиты кораблей по физическим полям и обеспечению скрытности от средств обнаружения и неконтактного оружия на флотах практически уничтожена. Добавим к этому, что аналогичное положение сложилось в органах управления, а также в институтах ВМФ, промышленности и РАН. Реформирование ВС РФ (неоднократно объявлявшееся оконченным) продолжается. Реформы в основном сводятся к укрупнению военных структур, не всегда продуманному и оправданному механическому слиянию организаций, традиционному сокращению штатной численности военнослужащих и значительному понижению уцелевших штатных должностных категорий. При этом на робко задаваемый «реформируемым» генералом вопрос: не

повлияет ли этот «новый облик» ВС РФ на их боеспособность? премьер уверенно заявляет: «Повлияет. Она повысится!» Его уверенность вселяет надежды!?

Придавая большое значение самоотверженному труду российских ученых, специалистов флота и промышленности при решении проблемы защиты по физическим полям – как в годы Великой Отечественной войны, так и в последующее время – Российская академия наук и Военно-Морской Флот учредили медаль «За заслуги». В период празднования 70-летия СЗК за особые заслуги в обеспечении защиты кораблей по физическим полям ею были награждены ветераны СЗК.

Ветераны Службы защиты кораблей.

© *Е.И.Якушенко*, 2012
Военно-морской инженерный институт (филиал) ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»

# СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИЛ И СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СКРЫТНОСТИ И ЗАЩИТЫ КОРАБЛЕЙ ВМФ

**Современное состояние системы обеспечения скрытности и защиты кораблей ВМФ в условиях проходящего реформирования ВС и ВМФ РФ.** Героическими усилиями ученых, специалистов промышленности и ВМФ в кратчайшие сроки была решена задача защиты кораблей ВМФ от минного оружия в годы Великой Отечественной войны.

В широком смысле Служба защиты кораблей ВМФ, созданная 70 лет назад, включает в себя научную, организационно-техническую и тактическую систему обеспечения скрытности и защиты кораблей по физическим полям (ФП).

Эффективность такой системы в условиях противостояния социалистического и капиталистического лагерей весьма наглядно проявилась в середине 80-х годов прошлого века, когда практически был достигнут паритет в скрытности подводных лодок ВМФ СССР и ВМС стран НАТО.

Произошедшие за последние 20 лет общественно-политические изменения в обществе и международных отношениях накладывают свои особенности на состояние и перспективы развития системы обеспечения скрытности и защиты кораблей ВМФ.

С последнего юбилея СЗК ВМФ прошло 10 лет.

Данный период применительно к Вооруженным силам и соответственно к ВМФ России характеризовался радикальными изменениями, обусловленными реформированием Вооруженных Сил.

Основными направлениями реформы являлись: военно-административная реформа; сокращение численности ВС; перевооружение.

***Военно-административная реформа.*** Одно из основных направлений военно-административной реформы – переход от четырехзвенной системы управления: «военный округ»–«армия»–«дивизия»–«полк» к трехзвенной: «военный округ»–«оперативное командование»–«бригада».

После реорганизации количество военных округов сокращено до четырех.

– Западный военный округ, включающий Московский и Ленинградский военные округа, Балтийский и Северный флот.

– Южный военный округ, включающий Северо-Кавказский военный округ, 4-е командование ВВС и ПВО, Черноморский флот и Каспийскую флотилию.

– Центральный военный округ, включающий Приволжско-Уральский и западную часть Сибирского военного округа.

– Восточный военный округ, включающий Дальневосточный и Забайкальскую часть Сибирского военного округа, Тихоокеанский флот.

Претерпела изменения и система подготовки военных кадров. Из 15 военных академий, 46 военных институтов и училищ и 4-х военных университетов, в итоге планируется сформировать 10 научных центров.

В интервью журналистам министр обороны Анатолий Сердюков сообщил: «На базе 65 вузов будут созданы научные центры, где будут собраны в единое целое учебный процесс и научная деятельность. В новых научных центрах будет создана **абсолютно новая** техническая база».

В ВМФ для многоуровневой подготовки сформирован ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия».

В составе ВУНЦ создаются единые и объединенные кафедры, осуществляющие образовательную деятельность на территории всех филиалов посредством учебно-методических секторов.

1 сентября 2011 г. была создана и единая кафедра Физических полей и защиты кораблей.

***Сокращение численности.*** Существенной частью реформы стало сокращение численности Вооруженных сил, которая в 2008 г. составляла около 1.2 млн человек. Бóльшая часть сокращений пришлась на офицерский состав: с более чем 300 до 150 тыс. человек. Количество воинских частей сокращено на 49 %.

Силы и средства СЗК ВМФ, 70-летний юбилей создания которой мы сегодня отмечаем, сокращены в той же пропорции, что корабельный состав и другие части ВМФ.

На сегодня в составе флотов осталось 20 судов размагничивания и 11 судов контроля физических полей.

Была ликвидирована часть КИМС и КИМЭС.

Едва не был потерян 63 МСП (СФ, Умба) – уникальное по возможностям средство контроля параметров подводного шума (ПШ) пл, что можно объяснить только недопониманием отдельными должностными лицами, планирующими и реализующими сокращение, важности вопросов обеспечения скрытности и защиты кораблей ВМФ.

Подавляющая часть воинских должностей офицеров, обеспечивающих деятельность Службы, переведена на гражданский штат. Военными остались лишь должности начальников стационарных ТСК и начальников СЗК ТУ флотов.

Следует отметить, что руководство страны признало: сокращения в Вооруженных силах России произошли быстрее, чем было запланировано. В 2011 г. число офицеров в Российской армии составило 150 тыс.

Бывший Президент России Дмитрий Медведев вынужден был поставить задачу возвращения в состав Вооруженных Сил около 70 тысяч офицеров.

Нельзя не отметить и другие негативные последствия поспешности проводимых сокращений. Так, в составе Технического управления ВМФ была ликвидирована Служба защиты кораблей.

По сути, существующая на флотах структура СЗК ВМФ осталась без «головы». Отсутствие общего руководства и координации действий уже отрицательно сказывается на жизнедеятельности СЗК, не говоря уже о перспективах ее развития.

***Перевооружение.*** Вопрос перевооружения Российской армии и флота давно назрел.

Еще в конце 2008 г. в интервью газете «Красная Звезда» начальник вооружения Вооруженных сил России – заместитель Министра обороны РФ генерал-полковник Владимир Поповкин отметил, что Вооруженные силы России *полностью выработали запас вооружения и военной техники, оставшихся от СССР*, в связи с чем необходимо ускорить оснащение ВС новыми, современными образцами вооружений.

Для СЗК ВМФ вопрос модернизации существующих и создания новых технических средств контроля и снижения ФПК (ТСК) стоит особенно остро. Те же средства, которые сегодня состоят на вооружении ВМФ, реализуют вчерашние, неэффективные технологии контроля уровней ФП кораблей и их снижения.

Так, процесс ЭМО кораблей с использованием СР мало отличается от того, что выполнялось несколько десятилетий назад, и, что весьма немаловажно, *не позволяет в полной мере реализовать заложенные даже в современные, не говоря уже о перспективных РУ, возможности компенсации МПК*.

Вероятно, в качестве существенного недостатка деятельности СЗК ВМФ следует признать списание судов, **при отсутствии программы по их замене**, по созданию и

принятию на вооружение новых современных ТСК. Практически на флотах не осталось действующих контрольно-измерительных магнитных и магнитоэлектрических станций.

Ниже приведем итоги реформы на начало 2011 г.

Завершен первый этап создания нового облика Вооруженных сил. Российская армия обрела новую структуру, новую систему военного планирования. Существенно обновлены системы подготовки и обеспечения войск.

Создана новая трехуровневая структура оперативного управления войсками и флотами – военный округ, оперативное командование, бригада. Шесть военных округов реорганизованы в четыре – Западный, Южный, Восточный и Центральный. На их основе созданы оперативно-стратегические командования (ОСК «Запад», ОСК «Юг», ОСК «Восток» и ОСК «Центр»). Это мощные межвидовые группировки войск на ключевых стратегических направлениях: юг, запад, центр и восток соответственно. Объединение сил и средств под единым командованием повысило боевые возможности и потенциал армии.

Создан новый боевой состав Вооруженных сил с установленной численностью в 1 млн военнослужащих. В 2010 г. Президент РФ одобрил предложения Минобороны по содержанию в Вооруженных силах 220 тыс. должностей офицеров и 425 тыс. военнослужащих, проходящих службу по контракту. Долю военнослужащих-контрактников планируется увеличивать по мере создания привлекательных условий военной службы.

Создан ВУНЦ ВМФ, отвечающий многообразию решаемых ВМФ задач, пространственному охвату и новым требованиям, предъявляемым к флоту. Система подготовки кадров на практике стала универсальной: многоуровневой и многопрофильной. В составе ВУНЦ ВМФ каждое военно-учебное заведение, структурное подразделение и научно-исследовательская организация получили возможность укрепить свои позиции, систематизировать деятельность, развивать направления подготовки кадров и научно-исследовательской работы.

В целом реформа позволила оптимизировать громоздкую структуру ВС и ВМФ РФ под решение современных задач.

Однако практическое сворачивание в нашей стране в 1990-е годы работ в области скрытности и защиты кораблей по ФП делает корабельный состав ВМФ РФ, включая подводные лодки стратегического назначения, существенно более уязвимым для обнаружения и поражения оружием противника и представляет собой, в конечном итоге, угрозу национальной безопасности.

**Перспективы развития системы обеспечения скрытности и защиты кораблей ВМФ.** Переходя ко второму вопросу, следует подчеркнуть, что Военно-Морской Флот является одним из важнейших инструментов политического влияния России на мировые процессы и обеспечения ее национальных интересов, охраны морских границ, обеспечения свободы судоходства, промысловой, хозяйственной и научной деятельности.

Вместе с тем при сохранении рисков и угроз национальной безопасности в последние 15–20 лет резко снизилось число боевых кораблей и подводных лодок.

Положение осложняется тем, что наряду со *снижением* количественных показателей корабельного состава ВМФ РФ возникло и продолжает *нарастать качественное отставание* реальной боеспособности отечественных кораблей, их систем и боевых средств по техническим характеристикам от зарубежных аналогов. Это отставание особенно заметно в наукоемких технических системах и средствах, базирующихся на современных научных достижениях, включая информационные технологии, где новые результаты внедряются особенно быстро.

Сказанное в полной мере относится к системам и средствам защиты кораблей по физическим полям от средств обнаружения и систем управления противолодочным и

противокорабельным оружием, что существенно снижает скрытность действий корабельных сил нашего флота в мирное время и их боевую устойчивость в ходе военных действий, и прежде всего боевую устойчивость подводных лодок.

В то же время ведущие морские державы, используя последние достижения науки и техники, проводят интенсивные работы по совершенствованию средств обнаружения и систем управления оружием, реагирующим на различные ФПК. Использование на основе микропроцессорной техники алгоритмов анализа тонкой структуры поля и выделения совокупности классификационных признаков корабля-цели привело к тому, что современные средства обнаружения и системы управления оружием регистрируют относительно малозаметные корабли и достаточно эффективно отличают их поля от естественных и искусственных помех.

Каким же представляется в данных условиях дальнейшее развитие системы обеспечения скрытности и защиты кораблей ВМФ России?

Прежде всего это *реализация и освоение* корабельных технических средств защиты, создание которых, несмотря на все трудности, продолжается НИИ и КБ судостроительной промышленности.

Например, в ЦНИИ имени акад. А.Н.Крылова создан регулятор тока типа КДС, который обеспечивает возможность посекционного регулирования токов в обмотках РУ, включая регулирование в функции поля корабля.

Современным требованиям отвечает и система «Каскад» (электрическое поле корабля), что подтверждает спрос на нее за рубежом, как, кстати, и на КДС.

Особое внимание, как и прежде, уделяется разработке корабельных средств снижения шумности.

Таким образом, научный потенциал ученых и специалистов НИИ и КБ в целом сохранен. Основным вопросом здесь является финансирование, включая своевременное заключение контрактов и договоров. На это, как следует из средств массовой информации, обращало внимание руководство страны.

В указанных организациях есть проблемы и с обновлением научных кадров. К слову, подготовка специалистов по физическим полям в Кораблестроительном институте фактически прекращена.

Более сложной, а если быть точнее, критичной, сложилась ситуация с техническими средствами контроля и снижения уровней ФПК.

Учитывая разветвленную систему базирования кораблей ВМФ, использование маневренных стендов на сегодня является основным для кораблей, находящихся в эксплуатации, что, в свою очередь, диктует необходимость наличия в составе ВМФ достаточного количества современных СР и СФП, строительство которых, однако, в настоящее время фактически прекращено.

Сегодня надо говорить о принятии программы по серьезной модернизации существующих судов, прежде всего судов размагничивания, и формировании программы по строительству современных СР и СФП, позволяющей реализовать новые подходы к контролю и снижению уровней ФП кораблей.

Разработке и созданию стационарных технических средств контроля и снижения уровней ФПК, включая полигонов для обеспечения контроля дальних ФПК, прежде всего ПЛ, в 1970–80-х годах прошлого века уделялось самое пристальное внимание.

Зарубежный и отечественный опыт, в частности в области магнитной защиты кораблей, свидетельствует, что реализация возможностей компенсации МПК, заложенных в современные и перспективные размагничивающие устройства, возможна только на стационарных магнитных стендах, включающих береговые инженерные сооружения, стационарные обмотки, предназначенные для компенсации и имитации магнитного поля

(МП) Земли и проведения качественной ЭМО, «решетку» датчиков и систему обработки данных испытаний.

Вероятно, первым шагом в этом направлении в настоящее время может быть вариант универсального стационарного (сва́йного) магнитообрабатывающего измерительного стенда, включенного в Программу инновационного развития ОАО «Адмиралтейские верфи» (строительство судостроительного завода на о.Котлин) по направлению скрытности и защиты, строящихся и ремонтируемых заказов по ФП, облик которого разработан ЦНИИ им. А.Н.Крылова.

С учетом того что в дальнейшем будет дана более детальная оценка состояния методов и средств защиты кораблей по отдельным ФП, перспективными являются следующие направления решения проблемы скрытности и защиты кораблей ВМФ по ФП:

– проведение фундаментальных и прикладных исследований для выявления новых свойств и демаскирующих признаков физических полей корабля, перспективных для использования в средствах обнаружения и системах управления противолодочным и противокорабельным оружием;

– развитие теории физических полей и разработка современных методов моделирования естественных ФП океана и кораблей;

– обоснование требований к предельно допустимым параметрам ФП отечественных подводных лодок и надводных кораблей, к тактико-техническим характеристикам средств обнаружения и систем управления оружием следующих поколений;

– применение информационных технологий для разработки и совершенствования на базе современной вычислительной техники методов математического моделирования ФП океана, подводных лодок и надводных кораблей, обеспечивающих возможность управления этими полями;

– развитие теории управления применительно к задачам управления физическими полями ПЛ, выбору маршрутов плавания, параметров движения, режимов работы технических средств ПЛ, обеспечивающих минимизацию вероятности ее обнаружения средствами противника;

– внедрение инновационной технологии маскировки ФП корабля под фоновые характеристики среды, искажения их классификационных признаков;

– разработка и опытная эксплуатация бортового информационно-измерительного комплекса контроля и управления ФП подводной лодки, осуществляющего непосредственно в процессе плавания и выполнения боевых задач оценку скрытности и выработку рекомендаций по ее снижению с учетом характера деятельности противолодочных сил противника и используемых при этом средств обнаружения и систем управления оружием, маскирующих свойств среды, эффективности и возможности реализации технических мероприятий и тактических приемов по снижению заметности ПЛ;

– разработка теории, практических методов и аппаратных средств для использования широкополосных и других видов сигналов при поиске и обнаружении аварийных объектов в океане;

– разработка научно-методических основ, руководящих документов, организационно-технических и образовательных мероприятий по внедрению и практическому использованию на кораблях ВМФ информационных систем, средств и методов управления физическими полями с целью их снижения и искажения;

– обоснование рекомендаций и предложений по организации специальной службы ВМФ и ее подразделений на флотах, соединениях и кораблях с целью обеспечения комплексного решения проблемы повышения боевой устойчивости подводных лодок и надводных кораблей путем контроля и управления их ФП на всех этапах их жизненного цикла (проектирование, постройка, эксплуатация);

– разработка научно-методических и организационных рекомендаций по организации образовательного обеспечения для подготовки нового поколения гражданских и военных специалистов.

При выборе путей развития системы обеспечения скрытности и защиты кораблей ВМФ необходимо учитывать состояние отечественной экономики и объем ресурсов, которые могут быть привлечены.

Целесообразным в существующих условиях является *комплексный подход*, при котором проблема рассматривается одновременно по всем основным направлениям: научные исследования, проектно-конструкторские решения, организационные мероприятия и подготовка кадров.

Комплексный подход позволит исключить дублирование функций и параллелизм в работе, оперативно решать вопросы межведомственного взаимодействия, повысит эффективность получения результатов и обеспечит достижение поставленных целей при рациональном и обоснованном расходовании имеющихся и привлекаемых ресурсов.

Реализация данного подхода создает возможность *концентрации* интеллектуальных, проектно-конструкторских, информационных, материальных, образовательных и финансовых ресурсов Российской академии наук, организаций и НИИ оборонно-промышленного комплекса (ОПК), вузов Министерства образования и науки, организаций и флотских частей Министерства обороны РФ для решения проблемы скрытности и защиты кораблей ВМФ по ФП.

То есть достижение поставленной цели, а именно обеспечение скрытности и защиты кораблей ВМФ по ФП, ***невозможно без совместных усилий*:**

– подразделений **Российской академии наук**, таких как: Рабочая группа при Президенте РАН по анализу риска и проблемам безопасности (чл.-кор. РАН Махутов Николай Андреевич), Институт машиноведения УрО РАН (чл.-кор. РАН Горкунов Эдуард Степанович), Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова (акад. Васильев Станислав Николаевич), Институт проблем машиноведения РАН (чл.-кор. РАН Индейцев Дмитрий Анатольевич), Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (акад. Нигматулин Роберт Искандрович, директор Санкт-Петербургского филиала Родионов Анатолий Александрович), Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского (акад. Эрик Михайлович Галимов);

– организаций **промышленности**: ФГУП Центральный научно-исследовательский институт им. А.Н.Крылова (акад. Пашин Валентин Михайлович), ФГУП Центральный научно-исследовательский институт «Электроприбор» (акад. Пешехонов Владимир Григорьевич), Научно-исследовательский институт интроскопии МНПО «СПЕКТР» (акад. Клюев Владимир Владимирович);

– организаций **Министерства образования и науки РФ:** Санкт-Петербургский государственный морской технический университет (СПбГМТУ), Государственная морская академия и др.

– организаций **Министерства обороны** РФ: Военный учебно-научный центр Военно-Морского Флота «Военно-морская академия им. Н.Г.Кузнецова» (вице-адмирал Римашевский Адам Адамович).

Представители перечисленных организаций – это люди которые, несмотря на временные трудности, связанные с непрерывной чередой политических, экономических и прочих изменений в нашей стране, желают перемен к лучшему и делают для этого все возможное. Благодаря их усилиям велись и продолжаются работы в области обеспечения скрытности и защиты кораблей по физическим полям. А главное, что они могут и готовы решать сложные задачи в данном направлении.

© *Б.Б.Дьяков*, 2012
Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН, Санкт-Петербург

# О СОЗДАТЕЛЯХ СИСТЕМЫ ПРОТИВОМИННОЙ ЗАЩИТЫ КОРАБЛЕЙ В ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ

Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе Российской академии наук, основанный в 1918 г. в Петрограде – морской и академической столице страны, является крупнейшим центром фундаментальной академической науки, объединяющим физику и технику, включая исследования, связанные с военно-морским флотом. Несколько поколений сотрудников института внесли в решение важнейших оборонных задач непреходящий вклад, и на этих страницах делается попытка отразить его, вспомнить их самоотверженный труд и талант.

Институт создавался по инициативе видных отечественных ученых, и один из них – Абрам Федорович Иоффе, возглавлявший физико-технический отдел, стал и первым директором института. Этот отдел, собственно, и дал имя Физико-техническому институту, в 1921 г. ставшим самостоятельным научным учреждением, наименование которого символизировало плодотворный уже в то время союз фундаментальной науки и технического преобразования страны. Для лучшей координации физических исследований с техническими запросами развивающейся промышленности страны А.Ф.Иоффе совместно с ведущими учеными института – выдающимся изобретателем академиком А.А.Чернышевым, а также будущим академиком, Нобелевским лауреатом Н.Н.Семеновым и другими – организовал Физико-техническую лабораторию при Высшем Совете Народного Хозяйства (сам институт в первые годы Советской власти находился в системе Наркомпроса). Именно в рамках этой лаборатории, точнее, в отделе, возглавлявшемся Н.Н.Семеновым, начались работы по созданию магнитометра – одной из первых «флотских» тем в институте.

Начало работ по созданию систем защиты кораблей ВМФ в Ленинградском физико-техническом институте (ныне им. А.Ф.Иоффе РАН) датируется 1936 г. В этом не было ничего необычного, так как ЛФТИ, как и предприятия судостроительной промышленности, входил в состав Наркомата тяжелой промышленности. Таким образом, в 2011 г. вместе с 70-летием Службы защиты кораблей ФТИ празднует 75-летие начала своих работ в этой области.

**Работы ФТИ по оборонной тематике в предвоенные годы.** Первые шаги по созданию систем защиты кораблей в ЛФТИ связаны с письмом руководства Балтийского завода, датируемым 27 сентября 1936 г., где эта задача сформулирована следующим образом: «Предварение или остановка действия неконтактных взрывателей при проходе вблизи корпуса судна на якорных минах и самодвижущихся торпедах» [1]. Так, в плане работ ЛФТИ на 1937 г. появились темы: «Разработка приборов, предохраняющих корабль от взрыва неконтактных мин» и «Магнитная якорная мина». По вполне понятным соображениям ясно, почему последовало обращение к Физико-техническому институту, – к тому времени в ФТИ успешно развивалась «магнитная» тематика – несколько его лабораторий непосредственно изучали магнитные явления. Развернувшиеся работы по созданию систем размагничивания в институте занимали заметное место, но они были далеко не единственными в его оборонной тематике. Например, в 1940 г., уже в разгар исследований по системе размагничивания, предусматривалось израсходовать почти 1.5 млн р. [2] на работы по 10 темам, из них противоминная защита – 150 тыс.р. (на 1-е

полугодие), антенная противолодочная сеть – 250, мины и торпеды – 100 тыс.р. и т.д. В сохранившихся документах отмечается, что вся «вышеозначенная работа велась совершенно секретно». Указанные выше суммы свидетельствуют об их абсолютной и относительной значимости.

В связи с упоминанием здесь других тем представляется уместным хотя бы вкратце коснуться тех исследований, сведения о которых, находясь в закрытых архивах, остаются малоизвестными до сего времени. Часть этих работ в отношении флота была инициирована в «Письме-заявке» от 5 апреля 1940 г., адресованном начальнику Главного штаба ВМС адмиралу И.С.Исакову [3], на что был получен 20 мая положительный ответ [4]. При этом кроме работ по размагничиванию, которые были уже хорошо известны, результативны и вышли из лабораторно-теоретической стадии, директор института академик А.Ф.Иоффе упоминает испытания неконтактных взрывателей (магнитного, инерционного, ультразвукового) и методы обнаружения подводных лодок с помощью радиолокаторов. В свою очередь, от руководства ВМФ в упомянутом ответе адмирала последовало предложение исследований, включающих «безвоздушную стрельбу» торпедами с подводной лодки (имеется в виду пузырьковый след торпеды, приводящий к обнаружению подводной лодки) и снижение сопротивления движению торпеды в воде за счет специальных покрытий. В ответе института предлагалось использование соленоида для разгона торпеды в торпедном аппарате.

Насколько обоснованы были эти заявки и заказы по условиям и уровню знаний того времени? Об этом свидетельствует ряд обстоятельств. Первое несомненно, что эти темы были чрезвычайно актуальны; второе – все они были предметом противоположных суждений во время многочисленных конференций и совещаний на разных уровнях, в том числе с участием представителей высшего партийного руководства страны; третье – учеными ФТИ к тому времени по этим темам был получен ряд обнадеживающих результатов.

Наиболее актуальные задачи стали предметом научной дискуссии, прошедшей 21 апреля 1940 г. в ФТИ под руководством академиков А.Ф.Иоффе и А.Н.Крылова [5], где обсуждались такие темы: новые неконтактные взрыватели торпед; обнаружение подводных лодок, противолодочных сетей, мин акустическими, оптическими, электрохимическими, и электромагнитно-индукционными методами и др. Доклад А.П.Александрова о разработанном в ЛФТИ методе размагничивания кораблей подвергся поначалу довольно резкой критике, но к концу 1940 г. эффективность защиты кораблей надводного флота «системами ЛФТИ» именно в натурных испытаниях была полностью доказана и не вызывала никаких сомнений. Можно было начинать массовое оборудование кораблей на всех флотах и флотилиях этими системами, однако для этого требовалось специальное решение Главного военного совета ВМФ. Оно появилось в декабре 1940 г. А.П.Александров в своих воспоминаниях называет еще более позднюю дату – апрель 1941 г. Председательствовал на заседании адмирал Н.Г.Кузнецов, присутствовали адмиралы Л.М.Галлер и И.С.Исаков, все командующие флотами и флотилиями, а также А.А.Жданов.

После доклада А.П.Александрова о разработанной системе ЛФТИ защиты кораблей Н.Г.Кузнецов выразил сомнение о возможности выполнения этой работы в 1941 г. из-за отсутствия достаточного количества кабеля для изготовления «систем ЛФТИ» и необходимости отрывать корабли от текущей службы. По словам Александрова, «…резко выступил А.А.Жданов. Он сказал, что пока мы еще можем получить кабель от тех же немцев, а если сейчас, срочно, не оборудуем корабли такими устройствами, то это повлечет за собой огромные потери. Нужно немедленно, как можно быстрее, оборудовать корабли системой ЛФТИ» [6]. Заметим, что ни это совещание, ни участие Жданова, ни возникшие разногласия в книгах по истории работ по размагничиванию [7, 8] не упомянуты.

Несмотря на неблагоприятные отзывы ряда своих специалистов, Наркомат ВМФ все-таки придавал очень большое значение работам ЛФТИ в области защиты кораблей с

самого их начала. В докладе сообщалось об успешных экспериментах еще летом 1937 г. с размагничивающими обмотками на лидере «Ленинград» и об испытаниях противоминной защитной системы ЛФТИ в апреле–мае 1938 г. [7, с.27]. Изменению отношения к системе размагничивания способствовало и вмешательство заместителя Наркома адмирала Л.М.Галлера [9].

Институт и флот искали взаимные контакты и проявляли общую заинтересованность в совершенствовании оборонной техники. Академику А.Ф.Иоффе, основателю и директору института, как известно, был свойствен постоянный поиск технических приложений результатов фундаментальных физических исследований в самых различных сферах, включая народное хозяйство и оборону; таким же «поисковым характером» обладали многие его соратники, ученики и последователи. А.П.Александров считал, что каждая лаборатория института помимо своей основной научной тематики должна участвовать в работах на оборону [10]. Поэтому вскоре после установления деловых и творческих контактов с флотом институт развернул соответствующие работы, получившие, что немаловажно, и необходимое по тому времени финансирование. Соответственно возросли ожидания и требования к результатам.

До начала войны ФТИ вел работы оборонного значения по противолодочной акустике, «бесследовому» движению торпед, радиолокационному обнаружению целей, неконтактным взрывателям, различным способам обнаружения подводных лодок, антикавитационной защите гребных винтов, бронезащите, противолодочным средствам и «методам их преодоления», аэронавигации и установлению контакта «подводная лодка (в подводном положении)–самолет» и средствам противодействия такому контакту «в случае его нежелательности». То есть фактически рассматривались основные «болевые точки» защиты кораблей. В архиве ФТИ сохранилось письмо сотрудника института А.И.Алиханова (будущего академика) директору института А.Ф.Иоффе относительно испытаний сетепрерывателей СОМ-1 и СОМ-2 на подводной лодке А-5 на Черном море [11], а в 1934 г. Б.А.Гаевым, А.П.Александровым и С.Н.Журковым было получено авторское свидетельство, «не подлежащее опубликованию» на электрический сетепрорыватель для подводных лодок. Как видим, в разработке и испытаниях автогенного (СОМ-1) и электрического (СОМ-2) сетепрорывателей участвовали три будущих академика. Борис Александрович Гаев в то время был инженером Научно-исследовательского минно-торпедного института (НИМТИ) в Ленинграде, которого «переманил» в Физтех А.П.Александров, как он сам свидетельствует в своих воспоминаниях [6].

К началу исследований в штате института было около 250 человек, из них 120 научных сотрудников. Поэтому выделение целой лаборатории (ею стала Лаборатория А.П.Александрова) наряду с другими группами, занимавшимися оборонными работами, в первую очередь разработкой методов радиолокации и броневой защиты, стало весьма существенным для института. Именно Б.А.Гаев сыграл значительную роль в выборе направления исследований и разработке их технического оснащения как ученый, инженер и изобретатель в области минного оружия [12]. Одним из первых результатов стало их совместное изобретение способа размагничивания кораблей (получившее название «система ЛФТИ»), датируемое 1938 г. О секретности работы говорит и то, что авторское свидетельство (без опубликования в печати), было получено авторами только в 1945 г.

Тем не менее поручение такой далекой от полимеров тематики Лаборатории Александрова представляется неожиданным. Но вот свидетельство самого Анатолия Петровича об этих событиях, явившихся ключом к дальнейшей истории:

«Однажды в 1936 г. академик А.Ф.Иоффе с четырьмя моряками зашел в нашу лабораторию. Среди них были И.С.Исаков, командующий Балтийским флотом, и начальник НИМТИ А.Е.Брыкин. Исаков сообщил, что принято решение возродить могущественный Военно-Морской Флот, в том числе крейсеры и линейные корабли. Он был при-

ятно удивлен, узнав, что мы довольно хорошо ориентировались в ситуации на Балтийском и Черноморском флотах. Это было результатом наших исследований с резаками, которые проводились на обоих флотах... перед нами была поставлена задача: в течение 5 лет (таков примерный срок строительства линкора) разработать систему защиты кораблей от магнитных мин и торпед» [6, с.3–13].

По воспоминаниям Александрова, Иоффе дал недельный срок для обдумывания. Поэтому немедленно лаборатория приступила к опытам, которые должны были ответить на вопрос: можно ли в принципе решить поставленную задачу. Выполненные опыты на модели показали, что полем тока можно в нужной степени скомпенсировать поле модели, а затем и корабля, решая таким образом поставленную задачу. На вопрос А.П.Александрова, почему он пришел с таким предложением в его лабораторию, а не к И.К.Кикоину, руководителю «магнитной лаборатории», Иоффе сказал, что, во-первых, Кикоин со своей лабораторией уезжает на Урал, и там у него будет много работы по металлургии, а во-вторых, он говорил с Кикоиным и тот ответил, что задача эта очень сложная и требует повседневного внимания.

Значимость начатой работы подчеркивается еще и тем, что у заказчиков не существовало единого взгляда на сами принципы защиты кораблей и возможность какой-либо противоминной защиты иначе, как тралением или противоминными сетями. В то же время было ясно, что неконтактные мины и торпеды способны поражать корабль в самое уязвимое место – днище, даже при наличии и не вполне совершенных образцов этого оружия. Поэтому сами принципы защиты и обсуждение первых обнадеживающих результатов вызывали критику и противодействие, – о чем свидетельствуют воспоминания участников работ и исследований. Последние носили, конечно, закрытый характер, и историко-научные работы на эту тему стали появляться гораздо позже. В воспоминаниях участника работ В.Р.Регеля [13] говорится, что по окончании физико-механического факультета Ленинградского политехнического института (ныне Технический университет) его сразу определили в «закрытую» комнату Лаборатории Александрова в главном здании ФТИ, причем прежняя тематика лаборатории была открытой.

Как свидетельствует Александров, предполагалось, «...что магнитный взрыватель мины не мог быть особенно высокой чувствительности, так как земное магнитное поле довольно существенно изменяется от места к месту: колебания его часто достигают 10–20 мЭ. Ясно, что мина не должна взрываться от колебаний в этих пределах. Иначе говоря, задача компенсации поля не должна решаться точно, точность порядка 10 мЭ будет вполне удовлетворительной». Дальнейшие события многократно описаны и хорошо известны: создание магнитометра ЛФТИ, опыты на модели и в доках, установление общих закономерностей компенсации всех составляющих магнитного поля разными видами обмоток. Результаты этих экспериментов, проводившихся впервые в мире, причем задолго до аналогичных работ в Англии (в конце 1939 г.), оказались благоприятными и обнадеживающими. С научно-технической точки зрения ощутимым результатом проведенных исследований стало изобретение системы размагничивания. Магнитное поле корабля компенсировалось системой накладываемых на корабль трех взаимно перпендикулярных обмоток, через которые пропускаются постоянные токи определенных направлений и величин. Эти токи регулировались через потенциометрическую систему от установленных на корабле магнитометров. По ряду причин авторское свидетельство главным создателям системы – А.П.Александрову, Б.А.Гаеву и инженеру КБ Балтийского завода А.А.Картиковскому – было выдано только 31 мая 1945 г., но с приоритетом от 7 марта 1938 г.

Итоги работ за 1938 г. А.П.Александров представил в докладе в АН СССР в ноябре 1938 г., в котором было отмечено: 1) при помощи разработанного ЛФТИ метода размагничивания кораблей возможно значительное уменьшение магнитного поля кораблей всех

классов; 2) уменьшаются не только вертикальные составляющие магнитного поля, но и его производные по осям корабля; 3) действие системы ЛФТИ значительно уменьшает опасную зону воздействия неконтактного минно-торпедного оружия; 4) метод размагничивания сводится к наложению на корабль горизонтальной обмотки с неравномерным распределением относительно небольших ампер-витков в секциях по длине корабля [7, с.31].

Был также разработан новый магнитометр, приспособленный для измерений магнитного поля корабля под водой, где применялся принцип вращения рамки в измеряемом магнитном поле («земной генератор»). Этот магнитометр, получивший в дальнейшем название «вертушка ЛФТИ» и широко применявшийся в практике размагничивания кораблей вплоть до 1942 г., мог измерять магнитные поля кораблей с погрешностью порядка ±1 мЭ. Одновременно разрабатывались способы укладки обмоток на кораблях, их секционирование, были предложены способы широтного и курсового регулирования токов в размагничивающих обмотках, создан макет «следящей системы», предназначенной для автоматического регулирования токов в обмотках с обратной связью по магнитному полю корабля [7, с.27, 32].

**Физико-технический институт, Академия наук и оборона страны.** Началом нового этапа исследований можно считать 23 ноября 1939 г. в связи с переходом института в систему Академии наук СССР (в августе–сентябре), когда А.Ф.Иоффе обратился с письмом к вице-президенту АН СССР академику О.Ю.Шмидту, в котором изложил состояние дел с разработкой метода противоминной защиты кораблей и просил созвать при Президиуме АН СССР авторитетное совещание для определения дальнейшего развития этих работ и распределения обязанностей между научными организациями и заинтересованными ведомствами. Такое совещание было созвано 20 января 1940 г. под председательством Иоффе. На нем в докладе Александрова сообщалось о создании и совершенствовании метода размагничивания и доказывалось, что конкурирующий метод защиты путем «намагничивания с тем, чтобы магнитные мины рвались на безопасном расстоянии от корабля», не выгоден и опасен из-за возможности применения противником мин «загрубленного» действия. На 1940 г. намечались решающие испытания на линкоре «Марат», но начавшаяся война с Финляндией заставила пересмотреть все планы. По итогам же испытаний малых кораблей Госкомиссия пришла к следующему заключению:

«1) размагничивающие устройства системы ЛФТИ уменьшают магнитные поля кораблей в 10 и более раз, а их производные по длине корабля в три и более раза; 2) опытная стадия работ закончена; 3) система ЛФТИ улучшает тактические свойства корабля в угрожаемых районах, полностью обеспечивая защиту корабля от неконтактных мин на глубинах, указанных в ТТЗ; 4) размагничивающее устройство системы ЛФТИ целесообразно использовать и в районах с меньшими, чем указано в ТТЗ, глубинами в сочетании с неконтактным тралением» [7, с.41].

31 декабря 1940 г. вышло решение Главного военного совета (ГВС) ВМФ о защитном устройстве кораблей от неконтактных мин и торпед с магнитным и индукционным замыкателем. Это решение предписывало в течение 1941 г. установить защитные устройства системы ЛФТИ на линкорах, крейсерах, эсминцах и тральщиках, для чего в начале 1941 г. следовало провести измерения магнитного поля кораблей и по полученным материалам разработать типовые проекты размагничивающих устройств системы ЛФТИ. Для испытаний средств противоминной защиты на КБФ и ЧФ надлежало оборудовать специальные полигоны...

НТК ВМФ 3 февраля 1941 г. заключил договор с ЛФТИ, по которому институт должен был до 15 марта изготовить шесть комплектов магнитометров типа «вертушка ЛФТИ», весной 1941 г. измерить магнитные поля линкора, крейсера, двух эсминцев, тральщиков и подводных лодок и на основании полученных данных разработать типо-

вые проекты защитных устройств системы ЛФТИ на этих кораблях до 1 июля 1941 г. и дать обоснование для создания.

Для сравнения с отечественными разработками в ФТИ приведем краткие сведения об аналогичных исследованиях за рубежом. С 1920 г. они велись в Англии (так называемый петлевой метод обнаружения подводных лодок), а в 1927 г. был разработан популярный в дальнейшем и у нас магнитометр «пистоль». В том же 1936 г., когда начались работы в ФТИ, в Англии был организован Комитет по разработке контрмер по борьбе с неконтактным минно-торпедным оружием. Основы размагничивания кораблей английскими учеными разрабатывались в 1936–1937 гг.: создан метод обмоточного размагничивания (постоянные обмотки на корабле) и предложены способы компенсации широтных и курсовых изменений магнитного поля. Однако выводы были противоположны сделанным в ФТИ, а именно: поскольку магнитное поле полностью скомпенсировать нельзя, лучше его «перекомпенсировать», чтобы вызвать преждевременное срабатывание магнитного взрывателя вдали от корабля. Магнитное поле действительно удалось увеличить (примерно в 10 раз), и результаты такого решения сразу же сказались с началом Второй мировой войны. Поскольку все остальные направления работ были прекращены, английский флот начал нести ощутимые потери как военных кораблей, так и (более важно) торговых, от которых зависело снабжение страны. Только обнаружение невзорвавшейся немецкой мины позволило разобраться с чувствительностью магнитного взрывателя, что потребовало снижения магнитного поля корабля до более низких значений по сравнению с чувствительностью взрывателя. Возникла система постоянных горизонтальных обмоток. В течение первых нескольких месяцев войны англичане «перемагнитили» большое количество кораблей довольно простым способом – одной обмоткой. Немцы ответили совершенствованием взрывателя и конструкции мины, так что одним контуром по обводам корабля обойтись было недостаточно. Летом 1940 г. контур стали делать из трех секций для компенсации как продольного намагничивания, так и поперечного. Автоматическое регулирование тока в обмотках в зависимости от положения и курса корабля появилось еще позже. Англичане также приступили к разработке метода безобмоточного размагничивания.

В Германии стали вести подобные работы с 1923 г., начав с создания магнитометра, с помощью которого были измерены магнитные поля всех имевшихся кораблей. Но в основном работы велись по созданию донных магнитных мин. Что касается защиты кораблей, то вначале был выбран безобмоточный метод: на дне акватории полигона укладывался кабель в виде петли. Только потом (1939 г.) разработано размагничивающее устройство в виде наружных обмоток. Регулирование тока осуществлялось как в ручном режиме, так и в автоматическом. К концу войны методы еще более усложнились.

О дальнейшей заочной дуэли советских и немецких ученых говорит и следующий факт. Одним из разработчиков неконтактных магнитных взрывателей мин и торпед стал В.Герлах – ведущий немецкий физик-экспериментатор (физикам хорошо известно фундаментальное значение опыта Штерна–Герлаха в атомной физике). Впоследствии, уже в ходе войны, он был назначен научным руководителем немецкого «Уранового проекта», в качестве которого он являлся заместителем Геринга, став по сути антиподом И.В. Курчатова, с началом войны занимавшегося размагничиванием кораблей, а затем возглавившего работу по созданию советского атомного оружия. Итог этого противостояния известен.

В начале 1941 г. ФТИ имел в своем составе 18 лабораторий, среди них – возглавляемые крупнейшими учеными: А.И.Алихановым, Л.А.Арцимовичем, Н.Н.Давиденковым, И.В.Курчатовым, Я.И.Френкелем, а также А.П.Александровым и Б.А.Гаевым. Для сравнения укажем, что общая численность сотрудников Академии наук СССР на 1941 г. составила 16 335 человек (47 институтов и 76 других научных учреждений, 123 академика, 182 члена-корреспондента и 4700 научных и научно-технических работников). Война

сдвинула со своих мест 35 научных учреждений Академии наук СССР. Переместились на новые места около 4000 научных сотрудников, в том числе 100 академиков и 128 членов-корреспондентов. К началу 1942 г. учреждения Академии были размещены в 45 городах страны. Руководство казанской группой институтов Академии наук осуществлялось вице-президентами Академии академиками А.Ф.Иоффе и Л.А.Орбели.

Из Физико-технического института сразу после начала войны на фронт ушли 30 человек добровольцами и по призыву, еще через месяц их число достигло 130. 28 июля 1941 г. вышел приказ об эвакуации в Казань первых восьми лабораторий. В Ленинграде все еще остаются А.Ф.Иоффе, В.М.Тучкевич, Н.В.Федоренко (парторг), А.П.Александров, А.И.Алиханов, А.И.Алиханян, Г.А.Гринберг, Н.Н.Давиденков, В.П.Джелепов, Б.С.Джелепов, П.П.Кобеко, И.В.Курчатов, Г.Н.Флёров и Я.И.Френкель. Только 23 августа в Казань уходит второй эшелон (один из последних, вырвавшихся до полной блокады города), прибывший на место назначения 2 сентября. Институт разделяется на казанский и ленинградский (именуемый впоследствии филиалом). Последним бессменно руководил П.П.Кобеко.

Кроме работ по размагничиванию кораблей для защиты от магнитных мин и торпед выполнялись и другие оборонные задания (в Ленинграде – по поручению Комитета обороны Ленинграда) [14]. Самой значительной была работа по обеспечению безопасного передвижения людей и грузов по Ладоге. Знаменитая Дорога жизни начала функционировать в 3-й декаде ноября 1941 г., и в первые две недели было потеряно 126 машин. Поэтому в «ледовой службе» была создана научная группа под руководством П.П.Кобеко, которая в тяжелейших условиях блокадной зимы: осуществила целый ряд исследований по прочности льда, скорости безопасного движения, продолжительности стоянок, интервалам между машинами, расстоянию между встречными потоками; получила достоверные сведения о физических параметрах льда в области динамических нагрузок, а также создала необходимые методики и оригинальные приборы. Эта огромной значимости для блокадного города работа упоминается здесь еще и потому, что она проходила в непосредственном контакте с военными гидрографами. К тому же одновременно Кобеко возглавлял работы по размагничиванию на КБФ (в Кронштадте и Ленинграде) и Ладожской флотилии.

**Годы войны.** К началу войны и в научном плане, и в техническом проблема размагничивания могла считаться решенной; по крайней мере, имелась эффективная для надводных кораблей «система ЛФТИ», но практически корабли, не говоря о торговых судах, ею не были оборудованы. Отсутствовали они и на Черноморском флоте [8]. Поэтому 4 июля 1941 г. на главную базу флота, г.Севастополь, прибыла группа ученых Ленинградского физико-технического института АН СССР, руководимая П.Г.Степановым. А.П.Александров и И.В.Курчатов приехали несколько позже. Физтеховцы воспользовались накопленным личным опытом при испытаниях своей системы. Вот почему последующая работа оказалась столь успешной, несмотря на трудности, вызванные положением на фронтах.

20 августа 1941 г. А.П.Александров разработал типовую организацию работ по размагничиванию кораблей. Сотрудники бригады ЛФТИ для максимального использования их опыта были назначены руководителями оперативных групп: по размагничиванию надводных боевых кораблей – П.Г.Степанов; по безобмоточному размагничиванию подводных лодок – Ю.С.Лазуркин; по размагничиванию вспомогательных кораблей – Е.Е.Лысенко; по устройству стенда, проверке и регулировке магнитометров – А.Р.Регель.

Безобмоточный метод от «системы ЛФТИ» отличался тем, что на корабль накладывались временные обмотки, которые снимались после компенсации магнитного поля корабля (вначале компенсировалась вертикальная составляющая поля). Эта процедура

регулярно должна была повторяться, поскольку по известным причинам, в том числе из-за попаданий снарядов и бомб, близких разрывов и т.п., магнитное поле корабля неконтролируемо возрастало.

В ходе начавшейся войны новые магнитометры для нужд размагничивания в 1942 г. начали разрабатываться в Лаборатории магнетизма Института физики металлов Уральского филиала АН СССР в Свердловске под руководством И.К.Кикоина, при участии сотрудников ФТИ Н.В.Федоренко и И.Г.Факидова (участник челюскинской эпопеи). К августу 1942 г. в лабораториях ФТИ, эвакуированных в Казань, была создана новая методика безобмоточного размагничивания кораблей с «глубоким опрокидыванием» исходного магнитного поля корабля.

После отъезда с Черноморского флота основной группы ученых института в ноябре-декабре 1941 г. работа лаборатории А.П.Александрова по дальнейшему совершенствованию методов размагничивания продолжалась в Казани и в натурных условиях на различных флотах. В первой половине 1942 г. А.П.Александровым, И.В.Курчатовым и В.Р.Регелем на образцах из различных материалов были выполнены исследования для определения влияния упругих напряжений, имитирующих взрывы бомб, на разрушение остаточной намагниченности образцов, а также влияния проката или отжига. На основании исследований в Казани были определены оптимальные условия безобмоточного размагничивания образцов простейших моделей, позволяющие получить наиболее стабильное их магнитное состояние, и разработана соответствующая инструкция для размагничивания кораблей. Она широко применялась на флотах в течение всей войны. Кроме того, в лаборатории проводились всесторонние теоретические исследования проблемы размагничивания с участием И.Е.Тамма и Е.И.Кондорского. На основании результатов этих исследований в 1942 г. А.П.Александровым были составлены два тома рукописных конспектов по размагничиванию кораблей, включавших: определение магнитного потока через горизонтальную плоскость корабля, теорию флюксметра; расчет элементарных магнитных полей, экранирующего действия железа, размагничивающих устройств, описание способов компенсации, безобмоточного размагничивания, конструкции немецких магнитных мин и инструкции по их тралению, конструкции английского электромагнитного разомкнутого трала и т.д. Даже это перечисление свидетельствует о глубине и широте теоретических разработок. На их основе появилось «Руководство по размагничиванию кораблей», размноженное в 1944 г.

Большую научную и практическую помощь оказывала Лаборатория А.П.Александрова минерам флотов. Был выполнен расчет магнитного поля хвостового магнитного трала и определены оптимальные параметры его использования в различных условиях. Благодаря этому эффективность траления немецких магнитных мин на Волге – основному пути поставки нефти в центр страны – существенно повысилась [15].

16 апреля 1943 г. состоялось заседание Военно-морского комитета при Президиуме АН СССР под председательством А.Ф.Иоффе, на котором был заслушан доклад А.П.Александрова о состоянии работ по размагничиванию кораблей. Комиссия рекомендовала при проектировании новых кораблей: предусматривать установку новой, «распределенной», системы защиты от магнитных мин; оборудовать один из вновь строящихся кораблей распределенной системой обмоток размагничивающего устройства и провести ее испытания; для улучшения защиты подводных лодок от магнитных мин устанавливать на них курсовые обмотки [8, с.92–93].

На основе имеющегося опыта работ на КБФ и ЧФ были введены более жесткие нормы размагничивания кораблей с установкой магнитных замыкателей мин на контрольных стендах. На кораблях, оборудованных обмоточными размагничивающими устройствами системы ЛФТИ, также начали применять безобмоточное размагничивание, которое позволяло уменьшать остаточные магнитные поля примерно в три раза.

Со стороны противника пришло «напоминание» о других довоенных разработках института. Осенью 1943 г. новые немецкие «электроторпеды» несколько раз атаковали наши корабли. Так назывались «бесследные» торпеды, которые имели неконтактные замыкатели индукционного типа. Особенностью торпеды было реагирование взрывателя при промахе, если при этом она «чувствовала» горизонтальную составляющую магнитного поля корабля.

Потребовалось дальнейшее увеличение числа сотрудников ФТИ для руководства работами по размагничиванию на всех флотах. Тогда-то в Ленинграде П.П.Кобеко привлек к этим работам В.М.Тучкевича, Б.М.Докукина и В.А.Иоффе.

Интересен и такой факт. После принятия Распоряжения ГКО (Государственный комитет обороны) № 2352сс «Об организации работ по урану» от 28 сентября 1942 г. приказом директора ФТИ от 14 августа 1943 г. была организована Лаборатория № 2 в следующем составе: И.В.Курчатов (заведующий), А.И.Алиханов, М.О.Корнфельд, Л.М.Неменов, П.Я.Глазунов, С.Я.Никитин, Г.Я.Щепкин, Г.Н.Флёров, П.Е.Спивак, М.С.Козодаев, В.Я.Джелепов (именно в таком порядке), начавшая работы по Атомному проекту СССР [16]. Но в начале февраля 1943 г. И.В.Курчатов вернулся к работам по размагничиванию. Он выехал из Москвы в Полярное (Северный флот) ввиду складывавшейся там обстановки по осуществлению работ по размагничиванию. Этот факт лишний раз свидетельствует о важности проблемы размагничивания и о том, каким вниманием она пользовалась в то трудное время [17].

В архиве Института атомной энергии (ныне РНЦ Курчатовский центр) хранится характеристика И.В.Курчатова, относящаяся к 1943 г. и подписанная академиком С.Л.Соболевым, заместителем Курчатова по Лаборатории № 2, где приводятся сведения о его успешной работе в области размагничивания и наградах: Сталинская премия 1-й степени и орден Трудового Красного Знамени. В 1943 г. И.В.Курчатов был избран действительным членом АН СССР.

Комплекс исследований по размагничиванию был высоко оценен советским правительством. В апреле 1942 г. Сталинскую премию за наиболее активное участие в разрешении научных, технических и организационных проблем по обеспечению безопасности кораблей советского флота получили сотрудники ЛФТИ: А.П.Александров, Б.А.Гаев, И.В.Курчатов, В.Р.Регель, П.Г.Степанов и В.М.Тучкевич. Одновременно с ними звания лауреатов были удостоены военные моряки – Б.Е.Годзевич и И.В.Климов. Ряд других лиц, в том числе и физтеховцы севастопольской группы, были удостоены высоких правительственных наград. А в 1976 г. в Севастополе состоялось торжественное открытие памятника с надписью, запечатлевшей этот выдающийся вклад отечественных физиков: «Здесь в 1941 году в сражающемся Севастополе группой ученых под руководством А.П.Александрова и И.В.Курчатова были проведены первые в стране успешные опыты размагничивания кораблей Черноморского флота» [17, с.144–145].

Со временем раскрываются новые подробности этой героической эпопеи, рассказываемые ее участниками и свидетелями. По вспоминаниям академика В.М.Тучкевича, его личного военного опыта, в марте 1942 г. произошли следующие события [18].

На Северный флот прибыло английское оборудование, но без документации. Выяснить его назначение было поручено Владимиру Максимовичу. На пятый день знакомства с 25 ящиками оборудования и катушками кабеля стало ясно, что оно предназначено автономной контрольно-измерительной станции для определения магнитного поля корабля. Командующий СФ адмирал А.Г.Головко все эти дни лично интересовался работой и после ее окончания согласился с предложением Тучкевича осуществить монтаж станции на полигоне под водой. Причем всю ответственность Владимир Максимович взял на себя. В дальнейшем, по его воспоминаниям, он лично провел не один десяток часов под водой в водолазном скафандре (не имея до этого никакого водолазного опы-

та!) для того, чтобы направлять и контролировать правильную установку датчиков и приборов, а также прокладку кабелей. Эти работы велись одновременно с постройкой и оборудованием помещения для работ и жилья персонала станции, подбором и обучением которого ему также пришлось заниматься. По его предложению, кроме контроля степени размагничивания кораблей станцию стали использовать и для отработки методов повышения эффективности траления магнитных мин. Каждый стенд станции позволял измерять магнитные поля кораблей так же, как и трала, на разных глубинах, в полосе шириной до 70 м. Полезная ширина полосы траления зависит от силы тока, текущего по кабелям трала, глубины залегания мины на дне и расстояния между плавающими на поверхности кабелями трала. Прогоняя тральщик над стендами станции, можно сразу определить силу тока, необходимую для создания магнитного поля, достаточного для подрыва мины, лежащей на известной глубине дна, и ширину полезной полосы траления, в пределах которой при известном расстоянии между кабелями трала минный взрыватель должен сработать. Были составлены и соответствующие таблицы траления.

Однако поступил донос: станция построена неправильно. Была создана специальная комиссия для проверки, в которую вошел И.В.Курчатов (о его пребывании на Северном флоте сказано выше). К концу работы комиссии поступили документы из Англии, подтвердившие выводы комиссии, что ни одной ошибки в этой работе сделано не было.

Отметим, что и сам А.Ф.Иоффе на всем протяжении работы по проблеме размагничивания уделял ей постоянное внимание и старался держать в поле зрения всех сотрудников института, находящихся на разных флотах и флотилиях. Иоффе заботился и о совершенствовании оружия для борьбы с военными кораблями противника. В Казани он поручил продумать и просчитать возможности создания неконтактной торпеды, которая работала бы от луча света, отраженного от днища корабля. Тогда эта идея оказалась неосуществимой.

Еще одна небольшая малоизвестная страница данной истории рассказывает об участии в деле размагничивания выдающегося ученого-физтеховца – Г.Н.Флёрова. Он, как известно, в первые военные годы упорно пытался обратить внимание сначала своего научного руководителя Курчатова и руководства ФТИ, а затем и правительства на «атомную проблему». В архиве ФТИ наряду с первыми его письмами и рукописными отчетами по этой проблеме 1942–1943 гг. находится отчет по совершенствованию упоминавшегося выше английского «пистоля» – увеличению чувствительности прибора с 5 до 1 мЭ. В практических условиях нельзя было пойти на включение в схему прибора более чувствительного гальванометра, поэтому Флёров предложил новую схему. Итогом этой скромной, но важной работы была передача усовершенствованного магнитометра на СБР-11 на КБФ [19].

Известно, что к началу Великой Отечественной войны непосредственно на флоте размагничивающей системой был оборудован только один крупный корабль – линкор «Марат» на КБФ. Поэтому с первых дней войны потребовались самоотверженные усилия самих разработчиков и военных моряков, чтобы оборудовать «системой ЛФТИ» более 50 (по документам – 53 боевые единицы) кораблей на КБФ, в частности крейсера «Киров», СС «Нептун» и др. Это было сделано в течение считанных недель, что вскоре сыграло важную роль в тяжелейших условиях Таллинского перехода – одной из крупнейших операций флота в войне.

Успеху этих усилий способствовало и существенное пополнение группы размагничивания другими сотрудниками ФТИ, занимавшимися до этого иной тематикой. Тогда-то к работам группы Александрова и присоединился И.В.Курчатов, перед началом войны – фактический руководитель исследований по ядерной физике в стране, создатель крупнейшего в то время в Европе циклотрона ФТИ. Отметим, что выдвижение таких фигур, как А.П.Александров и И.В.Курчатов, в качестве руководителей важнейших областей

отечественной науки – огромная заслуга А.Ф.Иоффе. Он умел выбирать не только носителей научных идей, не только ученых, способных вникнуть во все тончайшие детали исследований, но и обладавших организаторским талантом. О том, сколь кропотливой и ответственной была эта работа, свидетельствует, например, недавно обнаруженная в архиве ФТИ рабочая тетрадь военного времени И.В.Курчатова по размагничиванию.

**Эффективность размагничивания и боевые потери от неконтактного оружия.** Магнитные мины были сравнительно новым оружием массового применения и, как показал опыт первых месяцев Второй мировой войны, весьма эффективным. Они были мощнее контактных якорных в несколько раз, причем постановка мин могла проводиться и с кораблей, и подводными лодками, и с самолетов. Недооценка этой угрозы приводила к серьезным потерям.

Приведем некоторые данные из книги В.Н.Краснова [20]:

«…Цена победы оказалась очень высокой, в том числе и для Военно-Морского Флота. Так, из находившихся в составе Балтийского и Черноморского флотов (не считая боевых катеров), соответственно 130 и 89 надводных кораблей и подводных лодок, было потеряно 98 и 58. Большинство (около 70 %) балтийских кораблей погибло на немецких неконтактных магнитных минах. Черноморские корабли уничтожались главным образом вражеской авиацией, а также подрывались на минах или торпедировались немецкими подводными лодками» (с.198).

***Защита подводных лодок.*** За время военных действий ВМФ Советского Союза располагал 267 подводных лодок (Германия, например, 1155, но на гораздо более обширном театре военно-морских операций). Участвовало в боевых действиях 170 подводных лодок. Потери – 94, т.е 55 %, из них потери на минах – 55 или 57 %. Нужно отметить, что определение причин гибели подводных лодок являлось затруднительным. Позднее число потерь и их причины были существенно уточнены историками по рассекреченным данным воюющих сторон.

Поскольку немецкий флот активно использовал неконтактные мины сразу же после начала Второй мировой войны, можно вполне предположить, что и в боевых действиях против советского ВМФ они широко использовались (аналогичное минно-торпедное оружие нами практически не применялось), так что значительный процент потерь связан именно с подрывом на неконтактных минах. Тем актуальнее представляется работа ученых ФТИ совместно с инженерами флота над созданием методов размагничивания ПЛ.

***Защита надводных кораблей.*** Из книги В.А.Золотарева и В.С.Шламина «Как создавалась военно-морская мощь Советского Союза» [21]:

«Можно предположить, что в борьбе с неконтактными минами руководство ВМФ в предвоенный период больше полагалось на систему размагничивания. В 1937 г. Ленинградский физико-технический институт предложил метод защиты кораблей от неконтактных мин и торпед при помощи размагничивания. В течение 1938–1939 гг. на опытном корабле НИМТИ «Дозорный» и линкоре «Марат» была проведена экспериментальная проверка этого предложения с положительными результатами. Приказом НК ВМФ и НК СП № 246/85с от 27 апреля 1940 г. на 1940 г. была поставлена задача спроектировать, изготовить и испытать размагничивающие устройства (обмотка) для линкора, речного монитора и бронекатера. Но в 1940 г. эти работы не были выполнены. 31 декабря 1940 г. ГВС ВМФ на своем заседании рассмотрел вопрос о защите кораблей от неконтактных мин и торпед и принял решение № 00100: «Произвести в 1941 г. установку размагничивающих устройств на надводных кораблях, в первую очередь линкорах, крейсерах и тральщиках».

По планам УК (Управление кораблестроения), на ЧФ в 1941 г. намечался монтаж устройств на 6 кораблях: линкоре «Парижская коммуна», крейсере «Ворошилов», двух

эсминцах, тральщике, подводной лодке типа «С». Работы были начаты, но к началу войны не были выполнены (кн.1, с.183).

***Некоторые факты.*** Крейсер «Киров» в 1941 г. совершил успешный боевой переход из Таллина в Кронштадт, имея установленную защиту – «систему ЛФТИ». Об этом говорится и в ряде справочников по истории советского ВМФ. Крейсер «Максим Горький» подорвался на мине в устье Финского залива 23 июня 1941 г. (не имея системы размагничивания) и после ремонта оставался в базе.

Эсминцы «Володарский», «Артем», «Энгельс», «Калинин», «Яков Свердлов» погибли на минах во время Таллинского перехода. Из 18 новейших эсминцев 7 проекта и проекта 7У – «Гневный», «Гордый», «Сметливый» подорвались на минах в 1941 г., «Смелый», «Статный», «Страшный», «Суровый» также подорвались на минах в первые месяцы войны.

Из 126 тральщиков на КБФ и ЛВФ погибло около 70 (из них 28 подорвались на минах).

На ЧФ основные потери флот нес от авиации противника. Из малых кораблей подорвались на минах 30 (в том числе 4 тральщика).

На СФ основные потери флот нес в подводных лодках, действовавших в чрезвычайно трудных условиях, в том числе и в акваториях морских баз противника, наиболее защищенных минными постановками (из шести самых крупных отечественных подводных лодок типа «К» было потеряно пять).

Отметим, что потери на минах наиболее существенными были в первые месяцы войны. В последующем уже сказывалось действие противоминной зашиты всех видов.

Волжская военная флотилия вела боевые действия с июля 1942 по февраль 1943 г. (Сталинградская битва), затем занималась не менее опасной боевой службой – траление. Подорвались на минах: канонерская лодка «Усыскин» в мае 1943 г., «Красногрвардеец» в мае 1943 г., «Красный Дагестан» в мае 1943 г., БК № 25 в августе 1942 г. Остальные потери – от артобстрелов.

Каспийская ВФ вела боевые действия с августа 1942 г. по февраль 1943 г. Потерь не имела.

Ладожская ВФ вела боевые действия с 1941 по 1944 гг. Основные потери – от авиации и артобстрелов. Зафиксирован подрыв одного тральщика на неконтактной мине.

Достоверно зафиксировано 53 случая гибели торговых судов от магнитных мин.

Эпизоды работ по размагничиванию и боевые действия размагниченных кораблей вошли в боевую летопись нашего Военно-Морского Флота. Выделим основные события самых трудных военных лет для ВМФ.

**1941 год**

22 июня – государственная комиссия провела приемку размагничивающего устройства на линкоре «Марат», установкой которого руководил А.П.Александров.

27 июня – приказ начальника НТК (научно-технического комитета) ВМФ о создании бригад службы флота и ЛФТИ на КБФ и ЧФ.

28 июня за одну белую ночь удалось защитить крейсер «Киров», и он был благополучно выведен из Рижского залива через минное поле у острова Даго.

29 июня – приказ Наркома ВМФ и Наркома судостроительной промышленности о создании служб на КБФ, ЧФ и СФ.

1 июля – создана Комиссия по вопросам обороны Ленинграда во главе с А.А.Ждановым. Переданы флоту базовые тральщики БТЩ-217 и БТЩ-211.

6 июля – приказ НТК ВМФ о назначении А.П.Александрова заместителем командира всех групп НТК ВМФ и ЛФТИ.

9 июля – начало работ по размагничиванию на СФ.

14 июля – приказ о создании группы на ТОФ.

22 июля – завод им. Жданова начал ремонт эсминцев «Сильный» и «Стойкий». Заменены гребные винты и валы, установлены бомбосбрасыватели и размагничивающие устройства ЛФТИ. Работы закончены 13 августа.

4 августа – Петрозаводом 4 августа на двух ТЩ завершена установка противоминного размагничивающего устройства по проекту ЛФТИ.

9 августа – группу на ЧФ возглавил А.П.Александров (вместе с ним приехал И.В.Курчатов).

18 сентября – решение зам. Наркома ВМФ о применении систем безобмоточного размагничивания на подводных лодках и вспомогательных судах.

Итак, в 1941 г. были, наконец, разработаны типовые проекты размагничивающих устройств для всех основных классов кораблей нашего флота. Главный военный совет ВМФ распределил работу по размагничиванию между соответствующими организациями, утвердил календарные планы монтажа систем на всех кораблях ВМФ. Типовые проекты, разработанные в довоенные годы, позволили с первых же дней на кронштадтском Морском заводе начать оборудование противоминным защитным устройством системы ЛФТИ эсминцев «Грозящий», «Суровый», «Славный» и других боевых кораблей. Накопленные данные о магнитных полях кораблей разных классов дали возможность без промедлений назначать параметры временных размагничивающих обмоток. Их прокладывали и закрепляли на палубах вдоль бортов кораблей КБФ до монтажа более основательных устройств. Военные моряки в самые сжатые сроки освоили изготовление таких «систем», используя имевшийся разнокалиберный кабель.

За первую пятидневку войны была создана Балтийская группа размагничивания кораблей. Подобные группы были созданы для кораблей Черноморского, Северного и Тихоокеанского флотов. Были оборудованы системой ЛФТИ линкор «Октябрьская революция», лидеры «Ленинград» и «Минск», ряд эсминцев. Эта работа, выполнявшаяся с помощью личного состава кораблей, была закончена к концу июня, а 1 июля А.П.Александров со своей группой возвратился в Кронштадт. В пути он тщательно следил за действиями защитного противомагнитного устройства, которое смонтировали по упрощенному варианту – подвешено прямо к леерным стойкам.

Энергично велась эта работа и на других театрах морских военных действий: уже в августе 1941 г. основное боевое ядро кораблей на всех действующих флотах и флотилиях было защищено от магнитных мин противника. Накапливавшийся опыт позволил Балтийской группе в том же августе подготовить «Правила по оборудованию и эксплуатации систем ЛФТИ на надводных кораблях ВМФ» в помощь морякам. НТК НК ВМФ издал ее и распространил на других флотах. Размагничиваемый корабль надлежало выключить из повседневной боевой деятельности, вывести на глубокое место – обычно для крупных кораблей это был Красногорский рейд у Кронштадта, обстреливавшийся вражеской артиллерией. Измерения магнитного поля проводились на нескольких курсах в течение суток, и по результатам этих измерений осуществлялась проектная проработка с учетом конкретных особенностей данного корабля. Затем на Кронштадтском Морском заводе или в мастерских судовых электромонтажников изготовлялось необходимое оборудование и подбиралась измерительная аппаратура и лишь после этого начинался монтаж размагничивающих устройств. А затем снова – выход на Красногорский рейд для проведения испытаний устройства на разных режимах и глубинах.

Повышалась чувствительность магнитных замыкателей, вводились новшества, затруднявшие траление мин. Были обнаружены, разоружены и изучены новые мины противника, специально подготовленные для борьбы с нашими, уже размагниченными кораблями. Чувствительность этих мин в 10 раз превышала прежнюю. Это требовало совершенствования размагничивающих устройств, научно-исследовательской работы в лабораториях ЛФТИ и непосредственно на флотах. Более углубленно изучались магнитные поля кораблей, их курсовые изменения, стали более гибко секционировать обмотки, применили курсовые обмотки с ручным или автоматическим регулированием токов. Теоретические расчеты академика И.Е.Тамма по экранированию корпусом корабля маг-

нитного поля обмоток позволили размещать их внутри корабля, распределяя по высоте борта. На безобмоточный метод защиты подводных лодок позднее было выдано авторское свидетельство на изобретение (М.В.Шадееву, В.М.Тучкевичу, А.В.Курленкову, М.Г.Фролову). Для размагничивания кораблей использовали лодочные батареи, позднее создали сеть СБР – их разместили на шхунах, баржах, дебаркадерах, имевших свои аккумуляторные батареи. Метод безобмоточного размагничивания постепенно совершенствовался, его позднее применили для защиты и надводных крупнотоннажных судов. Как уже отмечалось, активно и творчески использовались технические средства защиты, поступавшие от наших союзников.

Особое значение для проводимых работ и контроля магнитного поля имела магнитоизмерительная аппаратура. Еще до войны в ФТИ разработали переносный магнитометр («вертушка ЛФТИ»), заводу «Электросила» было заказано 40 комплектов, гальванометрами обеспечивал завод «Пирометр». Для борьбы с магнитными минами за время блокады Ленинграда флоту было передано около 1200 комплектов контактных и неконтактных тралов.

В решении задачи размагничивания большую роль сыграли СБР (станция безмоточного размагничивания). На одной из таких станций служил главстаршиной научный сотрудник ЛФТИ Б.С.Джелепов (будущий чл.-корр. АН СССР).

**1942 год**

8 января – решение Военного совета КБФ оборудовать лидер «Ленинград» в срок до 25 февраля штатной системой размагничивания ЛФТИ.

Весна – А.П.Александров вместе с Валентиной Абрамовной Иоффе, дочерью академика А.Ф.Иоффе, разработал проект специальной трал-баржи. Ее мощное магнитное поле должно было позволить на безопасном расстоянии подрывать магнитные мины противника и тем самым расчищать фарватер для безопасного прохода кораблей.

1 июня – на Неве вступила в строй первая СБР.

По более поздним оценкам, в 1942 г. только в восточную часть Финского залива фашистской авиацией было сброшено свыше 400 магнитных мин.

За эти и последующие военные годы 25 сотрудников ФТИ участвовали в боевых действиях на флотах и флотилиях.

**1943 год**

В самые тяжелые дни битвы на Волге, когда противник начал забрасывать реку магнитными минами с самолетов, возросла роль и системы размагничивания ЛФТИ. Поэтому в дополнение к Ю.С.Лазуркину и Е.Е.Лысенко на Волгу были направлены А.П.Александров и В.Р.Регель. Повысилось значение способов траления мин, чем занимался непосредственно сам А.П.Александров, а испытания проводил М.М.Бредов. В дальнейшем работа проводилась в Саратове Е.Е.Лысенко и в Астрахани М.М.Бредовым. Когда боевые действия начались в придунайских странах, на Дунайской флотилии старшим инженером ее службы размагничивания был назначен Е.Е.Лысенко.

16 апреля 1943 г. состоялось заседание Военно-морского комитета при Президиуме АН СССР под председательством Иоффе, на котором был заслушан доклад А. П. Александрова о состоянии работ по размагничиванию кораблей. Комиссия рекомендовала при проектировании новых кораблей: предусматривать установку новой, «распределенной», системы защиты от магнитных мин; оборудовать один из вновь строящихся кораблей распределенной системой обмоток размагничивающего устройства и провести ее испытания; для улучшения защиты подводных лодок от магнитных мин устанавливать на них курсовые обмотки.

Военно-морская одиссея сотрудников ФТИ начиналась в совместных бригадах службы флота и ЛФТИ на КБФ и ЧФ. С 29 июня 1941 г. она началась на СФ. И так – день за днем…

С 8 июля была организована группа в следующем составе: П.Г.Степанов, А.Р.Регель, Ю.С.Лазуркин, Е.Е.Лысенко (в 1943 г. уехал в Казань), К.К.Щербо. На КБФ затем работали В.Р.Регель, К.К.Щербо (в 1942 г. мобилизован), Д.В.Филиппов, позднее – В.М.Тучкевич, Н.Л.Писаренко, Б.М.Докукин, В.А.Иоффе. После отъезда А.П.Александрова в Севастополь Балтийскую группу возглавил П.П.Кобеко вместе с В.М.Тучкевичем и В.А.Иоффе.

С 9 августа 1941 г. группу на ЧФ возглавил А.П.Александров, затем приехавший вместе с ним И.В.Курчатов (с 30 декабря 1941 г. во главе ее оставался П.Г.Степанов).

С 9 июля 1941 г. начались работы на СФ, в которых приняли участие А.Р.Регель, Д.В.Филиппов. 20 сентября туда для усиления приехали А.П.Александров, Л.М.Неменов, Г.Я.Щепкин, 25 сентября – В.Р.Регель и Д.В.Филиппов. 25 октября группа во главе с А.П.Александровым прибыла в Архангельск (Беломорская флотилия), по 10 ноября, до возвращения в Казань, в ней работал А.А.Никитин.

После 14 июля 1941 г. приказом о создании группы на ТОФ там тоже началась работа. Из ФТИ с 18 сентября во Владивостоке работали Н.В.Федоренко и И.Г.Факидов.

Научное руководство и подготовка данных для проектирования устройств размагничивания систем ЛФТИ осуществлялось ЛФТИ (ответственный А.Ф.Иоффе).

18 сентября было принято решение на уровне зам. Наркома ВМФ о применении систем безобмоточного размагничивания на подводных лодках и вспомогательных судах. В работе участвовали В.М.Тучкевич, Н.Л.Писаренко, И.М.Шмушкевич (впоследствии на Каспии он усовершенствовал метод, а позже, в 1943 г., новую схему безобмоточного размагничивания предложил Б.С.Джелепов).

В середине сентября на ККФ выехали Ю.С.Лазуркин и А.Р.Регель.

В 1942 г. А.Ф.Иоффе, как распорядитель работ от ФТИ назначил на КБФ и Ладожскую флотилию В.А.Иоффе (в 1944–1945 гг. она работала на ЧФ), Б.М.Докукина, М.Г.Фролова под общим руководством П.П.Кобеко; контрольно-измерительной станцией занимался А.В.Фатеев, на флот был мобилизован А.С.Федюрко, в 1943–1944 гг., как уже отмечалось, в работах участвовал Б.С.Джелепов, призванный на флот. На ЧФ был назначен П.Г.Степанов, на СФ и Беломорскую флотилию – В.М.Тучкевич, на ТОФ и Амурскую флотилию – Н.В.Федоренко и М.М.Бредов, на Волжскую флотилию – Ю.С.Лазуркин. В Казани проводили исследования по размагничиванию П.Г.Степанов (в 1942 г. уехал на Каспий), А.Р.Регель (с февраля 1943 г. на Амурской флотилии), В.Р.Регель и Г.Я.Щепкин.

К теоретическим работам присоединился И.Е.Тамм, переведенный в состав сотрудников ФТИ в Казани. А.П.Александров и И.В.Курчатов стали его консультантами. Последний перед приездом в Казань налаживал работу группы размагничивания на КФ в Баку, а затем, будучи уже занятым проблемами организованной им Лаборатории № 2 (см. выше), приезжал для решения проблем с ситемами размагничивания и организации работы на СФ.

Даже в условиях блокадного Ленинграда работа по размагничиванию велась широко и успешно. Об этом свидетельствует и деятельность таких выдающихся ученых в истории института, как «блокадный директор ФТИ» П.П.Кобеко (в годы войны избранный членом-корреспондентом АН СССР), и В.М.Тучкевич (будущий академик и директор института, а перед войной – ученый секретарь), разработавший метод безобмоточного размагничивания для подводных лодок, и самоотверженность В.А.Иоффе (дочь А.Ф.Иоффе), лично участвовавшей в испытании барж-прорывателей магнитных минных заграждений. А.П.Александров, представляя В.А.Иоффе к награде, указывал, что во время траления произошло восемь подрывов мин. В результате этого ходатайства В.А.Иоффе была награждена орденом Красной Звезды.

Первые группы сотрудников ФТИ вернулись из Казани в Ленинград в конце сентября 1944 г. Эшелон с основным составом прибыл 26 февраля 1945 г. Вместе с ним закончилась военная эпопея ФТИ.

Таков был размах непосредственного участия физтеховцев в действующей армии и на флоте. Работы сотрудников института были продолжены вплоть до окончания войны, способствуя нашей окончательной победе. Корабли и другие суда, защищенные «системой ЛФТИ», выполняли боевые задачи до конца войны, и жизни многих моряков были спасены.

Конечно, успеху работ способствовало тесное взаимодействие ученых ФТИ с офицерами службы размагничивания, старшинским и рядовым составом ВМФ, каждый из которых на своем посту выполнял свой долг. На ученых лежал еще необходимый труд по созданию всеобъемлющих и детальных инструкций и понятных руководств, нормативов и практического осуществления всего комплекса работ. Здесь большую роль сыграли теоретические расчеты магнитного поля корабля, систем обмоток и стендов, проведенные будущим Нобелевским лауреатом по физике И.Е.Таммом (в годы войны – сотрудник Казанского филиала ФТИ).

О заслугах ученых института свидетельствует еще один документ, датируемый 29 ноября 1945 г. – письмо Президиума АН ССР в адрес института с благодарностью командованию ВМФ за работу по размагничиванию кораблей от имени заместителя Народного комиссара Военно-Морского Флота адмирала Л.М.Галлера. Ниже приводится полностью текст этого документа.

ПИСЬМО ПРЕЗИДИУМА АН СССР АКАДЕМИКУ А.Ф.ИОФФЕ
С БЛАГОДАРНОСТЬЮ КОМАНДОВАНИЯ ВМФ
ЗА РАБОТУ ПО РАЗМАГНИЧИВАНИЮ КОРАБЛЕЙ
от 29 ноября 1945 г.

Президиум АН СССР получил отзыв заместителя Народного комиссара Военно-Морского Флота адмирала Галлера о работах Вашего института по защите кораблей ВМФ от магнитных мин.

В своем отзыве адмирал Галлер пишет:

«Работа Ленинградского физико-технического института по размагничиванию кораблей явилась ценным вкладом в область физико-технических наук и получила широкое практическое применение на всех флотах и флотилиях Союза ССР, способствовала повышению боеспособности кораблей и значительному сокращению потерь от магнитных мин противника.

Благодаря инициативе и настойчивости, проявленных коллективом научных сотрудников Ленинградского физико-технического института АН СССР при проведении работ по размагничиванию кораблей как до войны, так и в период Великой отечественной войны, были достигнуты хорошие результаты в работе.

Успеху в работе коллектива ЛФТИ способствовало повседневное и непосредственное внимание, уделявшееся этой работе со стороны директора Института академика Иоффе Абрама Федоровича».

Президиум Академии наук считает своим долгом выразить Вам, Абрам Федорович, и всем участникам этой работы благодарность за образцовое и самоотверженное ее выполнение в трудных условиях военного времени.

Президент Академии наук СССР академик С.И.Вавилов
Академик-секретарь Академии наук СССР академик Н.Г.Бруевич

***

Будучи сравнительно недорогими устройствами, морские мины и сейчас представляются грозным оружием массового использования, что подтверждается событиями всех без исключения, современных военных конфликтов. Все это требовало и требует разработки, совершенствования и применения широкого комплекса защитных мер. Что касается нашей страны, то создание эффективной защиты восходит к научным исследованиям и техническим разработкам, впервые осуществленным именно в Физико-техническом институте.

Отметим, что такая область техники, как кораблестроение, всегда была «визитной карточкой» государства, воплощая новейшие достижения в области науки и техники. Так было в эпоху первых броненосных кораблей, так продолжается и в современную эпоху ядерного надводного и подводного флотов с еще более тесным взаимодействием и

противодействием различных видов оружия и защиты на море, на земле, в воздухе и космосе. Соответственно и оборонная мощь страны зависит от состояния фундаментальной науки и от того, насколько быстро ее достижения проходят путь от лаборатории до корабля. Удельный вес научной составляющей непрерывно растет, и весьма часто случается в истории, что на авторов идей ложится и обязанность их освоения. В этом отношении Физтех и физтеховцы всех поколений дают множество примеров, о которых говорилось выше.

В заключение хотелось бы отметить тот факт, что Физико-технический институт для сотрудничества с флотом выдвигал свои лучшие силы. Это касается не только собственно знаний, но и способности воплощать их в конкретные разработки как в масштабе отдельных кораблей, так и в масштабе всего флота. И, что является не последним, – это высокий патриотизм ученых. Пример работ по размагничиванию кораблей, которым здесь уделялось наибольшее внимание, наверное, является одним из самых характерных в истории отечественной физики. Среди непосредственных участников, имена которых приведены выше и отмеченных правительственными наградами, мы встречаем четырех будущих академиков и членов-корреспондентов, восемь докторов наук. А всего в разные годы еще семь академиков из числа когда-либо работавших в ФТИ и все без исключения директора (большинство не только по долгу службы на своем посту, но и по своей практической работе) активно способствовали развитию продуктивных отношений ФИЗИКИ и ФЛОТА.

**Литература**


1. Архив ФТИ., ф.3, оп.1, д.44, л.1.
2. Архив ФТИ., ф.3, оп.1, ед.хр.102, л.10.
3. Архив ФТИ., ф.3, оп.1, ед.хр.104, л.77–82.
4. Там же, л.83.
5. Архив ФТИ., ф.3, оп.1, ед.хр.48.
6. *Александров А.П.* Магнитные мины и защита от них // Чтения памяти А.Ф.Иоффе. 1991. СПб.: Наука, 1993. С.7.
7. *Ткаченко Б.А.* История размагничивания кораблей Советского Военно-Морского Флота. Л.: Наука, 1981. 224 с.
8. *Панченко В.Д.* Размагничивание кораблей Черноморского флота в годы Великой Отечественной войны. М.: Наука, 1990. 190 с.
9. *Зонин С.А.* Адмирал Л. М. Галлер. М.: Воениздат, 1991. 416 с.
10. *Тучкевич В.М.* Анатолий Петрович Александров в довоенные и военные годы // К 90-летию академика Анатолия Петровича Александрова. Сб. статей. Препринт ФТИ, б.н. 1993 (сост. В.Я.Френкель).
11. Архив ФТИ., ф.3, оп.1, ед.хр.104, л.29–34.
12. Личное дело Б.А.Гаева. Архив ФТИ., ф.3, оп.1, ед.хр.6063, л.35–37.
13. *Регель В.Р.* Воспоминания об участии в работах по размагничиванию кораблей в годы Великой Отечественной войны // Чтения памяти А.Ф.Иоффе, 1991. СПб.: Наука, 1993. С.32–49.
14. Физико-технический институт в годы Великой Отечественной войны / Сост. Б.Б.Дьяков. СПб.: Наука, 2006. 219 с.
15. *Ю.Коптев.* Виза безопасности. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. С.57–59.
16. Атомный проект СССР. Документы и материалы / Ред. Л.Д.Рябев. Т.1. Ч.1. М.: Наука. Физматлит, 1998. С.269–271, 382–383.
17. *Гринберг А.П., Френкель В.Я.* Игорь Васильевич Курчатов в Физико-техническом институте (1925–1943 гг.). Л.: Наука, 1984. С.143–145.
18. *Тучкевич В.М.* Защита кораблей Военно-Морского Флота от немецких бесконтактных мин и торпед // Чтения памяти А.Ф.Иоффе, 1991. СПб.: Наука, 1993. С.14–31.
19. Архив ФТИ. Флёров Г.Н. Отчет О-260. 27 л.1943.
20. *Краснов В.Н.* Военное судостроение накануне Великой Отечественной войны. М.: Наука, 2005. 215 с.
21. *Золотарев В.А., Шломин В.С.* Как создавалась военно-морская мощь Советского Союза. Кн.1, 2. М.: Изд-во АСТ; СПб.: Изд-во Полигон, 2004.

© *В.Н.Пархоменко, В.В.Пархоменко*, 2012
Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН, Санкт-Петербург

# СНИЖЕНИЕ ШУМНОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ АТОМНЫХ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК В ПЕРИОД С 1965 ПО 1995 г.

Шумность корабля является его тактико-техническим элементом, характеризующим: скрытность от обнаружения шумопеленгаторами; защищенность от оружия, снабженного акустическими системами управления; условия эффективной работы корабельных гидроакустических средств обнаружения, классификации и целеуказания; условия обитаемости.

В рамках одной статьи не представляется возможным охватить весь аспект проблемы. Поэтому авторы хотели бы оговорить, что они коснутся только 1/3 октавных составляющих подводного шума (ПШ) кораблей, т.е. первичного гидроакустического поля (ГАП), измеренного в стандартных условиях (измеряющее устройство – одиночный ненаправленный гидрофон, полоса прозрачности фильтра – 1/3 октавы, расстояние до измеряемого объекта ($r$) – 50 м, частотный диапазон измерений – около 5 Гц–100 кГц). Эта идеология измерений и сейчас является доминирующей, хотя уже в значительной степени устарела и в настоящее время совершенствуется. Следует заметить, что использование действующей идеологии на протяжении более 30 лет позволило снизить уровень подводного шума отечественных атомных подводных лодок в 30 раз. Одно это, по нашему мнению, делает рассказ о том, как и за счет чего были достигнуты эти успехи, небезынтересным. В статье излагается только техническая сторона вопроса, без упоминания многочисленных участников работ.

Скрытность действия – основное тактическое свойство подводной лодки. Принято считать, что излучаемый подводный шум – основная характеристика, влияющая на скрытность, и даже отождествляют его со скрытностью. Но это не так. Многие факторы – гидрологоакустические условия плавания, использование подводного звукового канала, маскировка, действия командира – могут снижать или повышать скрытность. Бесспорно одно: малошумность – это качество, достигаемое работой проектантов, строителей, контрольно-приемочного аппарата, эксплуатационщиков. Это качество значительно влияет на обнаружение цели и дает преимущество той стороне боевого конфликта, уровень шумности подводных лодок которой ниже.

Невозможно в статье рассмотреть все многообразие терминов и определений, относящихся к боевым и тактическим свойствам подводных лодок. Однако на широко распространенном понятии – «обнаружение цели» – нельзя не остановиться хотя бы кратко. В справочной, технической, специальной литературе и руководящих документах это понятие получило весьма разнообразные трактовки. Их анализ позволил авторам предложить формулировку, наиболее точно отражающую существо этого термина. Обнаружение цели – это установление энергетического контакта с целью, классификация и определение ее координат.

Для иллюстрации в общем виде (вполне допустимом при рассмотрении вопроса о понятиях) результат обнаружения цепи, оцениваемый вероятностными характеристиками, можно условно представить в виде

$$P_{\text{обн}} = P_{\text{к}} \cdot P_{\text{пк}} \cdot P_{\text{пок}},$$

где $P_{\text{обн}}$ – вероятность обнаружения цели; $P_{\text{к}}$ – вероятность установления контакта (получение сигнала от источника); $P_{\text{пк}}$ – вероятность правильной классификации (установ-

ление класса или типа сигнала); $P_{пок}$ – вероятность правильной оценки координат, т.е. вероятность попадания полученной оценки координат в заданный интервал значений.

В действительности взаимосвязи указанных составляющих процесса обнаружения цели значительно сложнее по той причине, что при выработке всех трех решений используется информация, заложенная в один и тот же обнаруженный сигнал, и во многом определяется одними и теми же его параметрами (с уточнениями за счет дополнительного применения так называемых «поведенческих» признаков при классификации). В качестве примера таких взаимосвязей и соответственно взаимного влияния можно указать, что координаты объекта сами по себе являются классификационной информацией, а класс (тип) может позволить как уточнить оценку координат, так и уменьшить ошибку обнаружения ложного сигнала и т.п.

Как же достигается малошумность?

Объективной характеристикой корабля являются уровни звукового давления в заданной полосе частот, определенные в фиксированных точках окружающей среды. Условия определения спектра оговариваются методиками. Таким образом, эффективность средств и способов снижения шумности определяется достигнутым снижением звукового давления. Это снижение носит недостаточно «организованный» характер. Поэтому решается задача оптимизации операции снижения шумности. В формализованном виде она может быть представлена как поиск глобального минимума целевой функции $L_p$

$$L_p\left(x_1...x_n\right)=\min\left[20\lg\frac{P\left(x_1...x_n\right)}{P_0}\right]_{\theta,\varphi,l}^{\Delta f_i},$$

где $P$ – звуковое давление в точке акустического поля корабля с координатами $\theta$, $\varphi$, $l$, отнесенными к частотной полосе $\Delta f_i$; $P_0$ – нулевой порог давления; $x_1 \ldots x_n$ – параметры, подлежащие вариации.

Отсюда видны трудности решения «сквозных» задач.

Видно также, что решение оптимизационной задачи «в лоб» – дело сложное и малоперспективное.

В связи с этим при решении используется известный принцип декомпозиционного подхода, состоящий в отыскании условий, при которых допустимо разбиение сложной колебательной системы на подсистемы, имеющие слабую обратную связь. В этом случае как расчет колебаний, так и их оптимизация распадаются на ряд последовательных и по существу самостоятельных операций в соответствии с физической моделью, представленной на рис.1.

Основной расчетной методикой ожидаемых уровней подводного шума является методика «Альбит», используемая и совершенствуемая более 40 лет. Изначально в центре расчетных методов были заложены возмущающие силы, действующие непосредственно в жидкости в соответствии с соотношением

$$P=\frac{kF}{4\pi R},$$

где $k$ – волновое число; $F$ – амплитуда возмущающей силы; $R$ – расстояние от точки приложения силы до точки наблюдения вдоль линии действия силы; $P$ – эффективное давление в жидкости.

От поколения к поколению расчетные зависимости кораблей совершенствовались, обретая полуэмпирический и эмпирический характер.

Стало ясно, что основными характерными чертами облика малошумной подводной лодки (критерии малошумности) являются: одновальность, однокорпусность, низкооборотность движителей, малошумность механизмов, достигаемая за счет их малой удельной мощности, большой объем вибропоглотителей в комплексе корабельных средств акустической защиты.

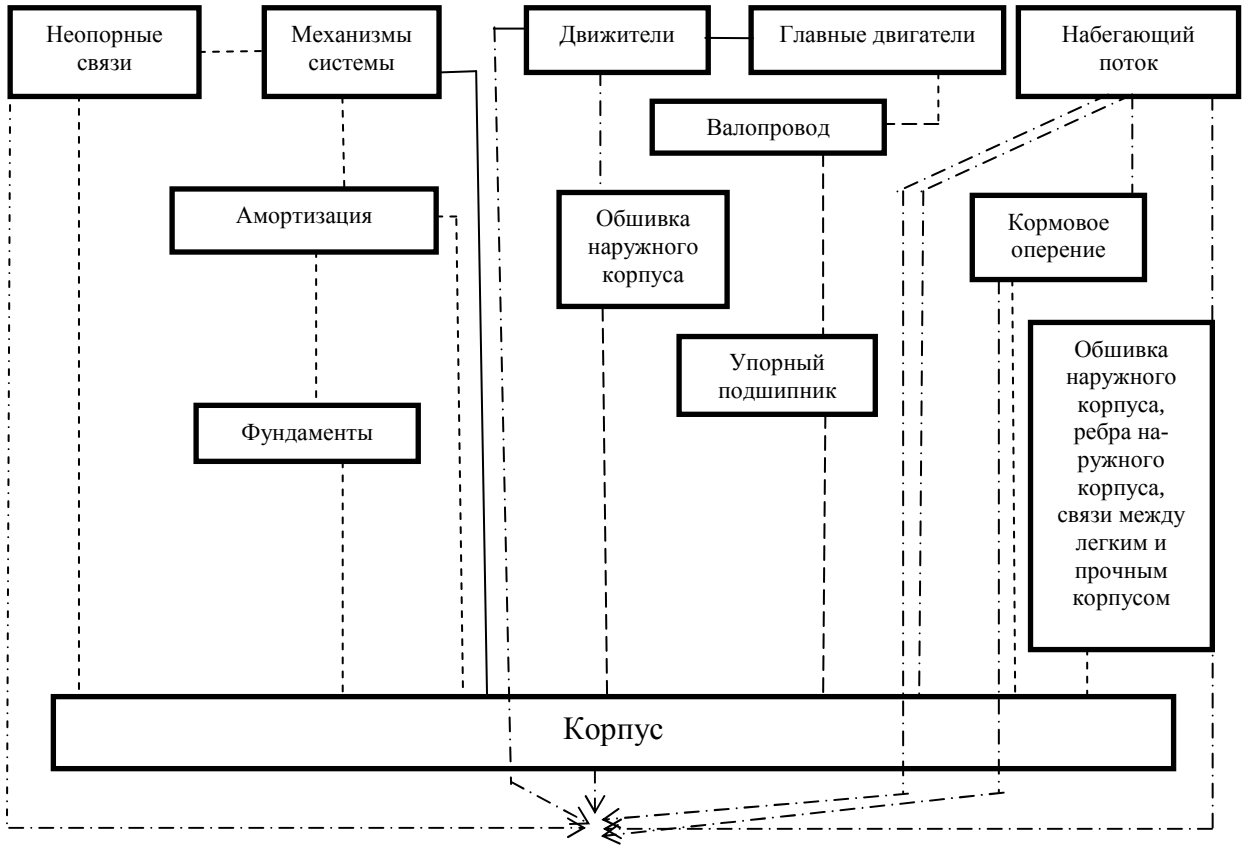



Рис.1. Физическая модель подводной лодки.

Вибрации, структурный шум
Воздушный шум
Подводный шум

Нетрудно заметить, что черты этого облика в полной мере соответствуют атомной подводной лодке с баллистическими ракетами (ПЛАРБ) ВМС США типа «Огайо». О том, что именно такие технические решения обеспечивают малошумность, советские акустики знали еще в начале 1970-х годов, и в число предложений по снижению шумности упомянутые решения включались как общеизвестные.

Однако если для нас все было просто и очевидно, то вполне закономерно возникает вопрос: почему советские подводные лодки не удовлетворяют ни одному из вышеперечисленных критериев? Известны достоинства, которыми обладают двухкорпусные подводные лодки. В их числе:

– улучшенная защита прочного корпуса от противолодочного оружия;

– лучшее использование объема прочного корпуса при наличии внешних шпангоутов;

– возможность размещения в междукорпусном пространстве обмоток размагничивающих устройств, буев связи, баллонов воздуха высокого давления, дистанционно управляемых снарядов, средств гидроакустического противодействия и гидроакустических покрытий;

– увеличенная защищенность корпуса от повреждений торпедами на учениях, при посадке на мель, столкновениях.

Такие лодки, хотя и обладают повышенной надежностью (доставляют меньше забот при эксплуатации в мирное время), но значительно более уязвимы в условиях боевых действий. Вместе с тем общепризнано, что двухвальные лодки имеют большую шумность (на 5–6 дБ), чем одновальные.

Относительное изменение уровней подводного шума однокорпусных и двухкорпусных подводных лодок в зависимости от скорости корабля представлено на рис.2.

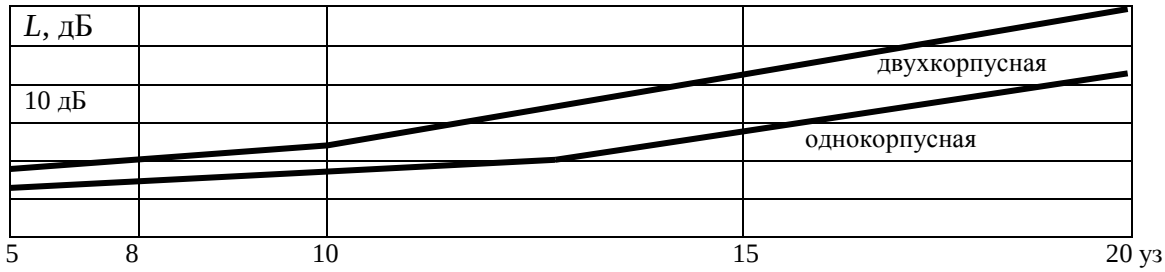



Рис.2. Относительное изменение уровней подводного шума однокорпусных и двухкорпусных подводных лодок в зависимости от скорости корабля.

Это все не в нашу пользу: однако большим достижением отечественного кораблестроения стало обесшумливание механизмов и оборудования, комплектуемых в блочные паротурбинные установки и устанавливаемые «россыпью». Наиболее эффективный амортизированный зональный блок изображен на рис.3.

Что касается эффективности амортизации, то известно, что в области низких (наиболее важных) частот она зависит от собственной частоты колебаний амортизируемого оборудования.

В табл.1 показано, как уменьшается частота колебаний $f_0$ от поколения к поколению корабельных механизмов.

Следует отметить, что между $f_0$ и δ (свободный ход колебательной системы) существует зависимость, показанная на рис.4, из которого видно, что снижение $f_0$ ниже 2 Гц приводит к большим (60 мм) смещениям амортизированного оборудования, что требует применения регулируемой и саморегулируемой амортизации. В этих амортизирующих подвесках сами виброизоляторы из металлической арматуры и упругой прокладки превращаются в сложные конструкции с подводом воздуха или воды и требуют особого ухода.

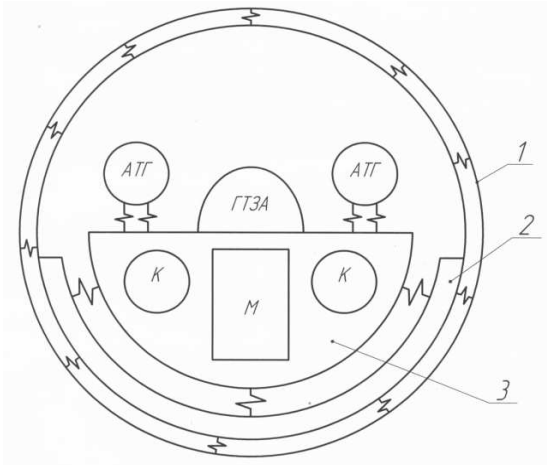



Рис.3. Поперечный разрез современной атомной подводной лодки.

*1* – прочный корпус; *2* – амортизированный зональный блок; *3* – рама блока паротурбинной установки (БПТУ); *АТГ* – автономный турбогенератор; *ГТЗА* – главный турбозубчатый агрегат; *К* – конденсатор; *М* – механизмы вспомогательные.

*Таблица 1*

| № п/п | Поколение | Основные типы амортизаторов, их собственные частоты колебаний | |
|---|---|---|---|
| | | Главные механизмы | Вспомогательные механизмы |
| 1 | I | ГТЗА установлены жестко. Редукторы – на двухпластинчатые амортизаторы ($f_0$ = 30 Гц) | Установлены на АКСС-М, двухпластинчатые амортизаторы ($f_0$ = 30 Гц) |
| 2 | II | ГТЗА установлены на наборные цилиндрические амортизаторы ($f_0$ = 18 Гц) | Установлены на АКСС-И, АПС без воздуха ($f_0$ = 15 Гц) |
| 3 | III | ГТЗА в составе блочных или агрегатированных установок размещено на резинокордных амортизаторах ($f_0$ = 4 Гц) | Установлены на АКМ, ВСМ, АПРКу, АПРК-1000 ($f_0$ = 8 Гц) |
| 4 | IV | ГТЗА в составе БПТУ устанавливаются на амортизаторы ($f_0$ = 2,5 Гц) | Устанавливаются на АПРК-1500, ЭВ, ЭСА-100, КРМ-250, АПС ($f_0$ = 6…7 Гц) |

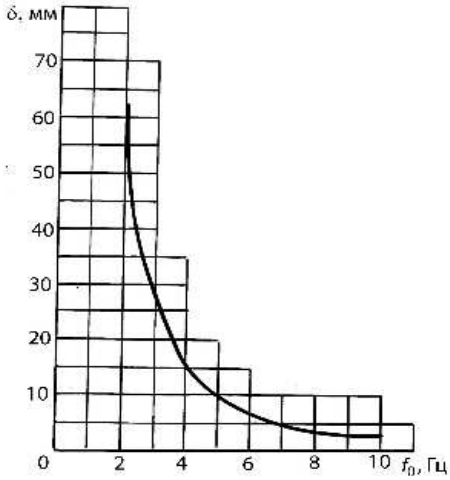



Рис.4. Зависимость между собственной частоты колебаний амортизируемого оборудования и свободным ходом колебательной системы.

Решая проблему шумности, специалисты МСП, ВМФ, АН СССР создали сотни новых технических решений ее снижения, внедрив их на подводные лодки: принципиально новые типы виброизоляторов, вибродемфирующих и звукоизолирующих покрытий, резиноармированных рукавов, виброизолирующих подвесок, наружных акустических покрытий и многое другое.

В 1981 г. к проблеме активно подключилась «большая наука». На совещании, состоявшемся в Институте машиноведения (ИМАШ) АН СССР, обсудили все проблемы акустики, наметили решения. По предложению Главнокомандующего ВМФ был введен метод акустического проектирования подводных лодок (рис.5).

Рис.5. Метод акустического проектирования подводных лодок.

Под акустическим проектированием следует понимать часть системного проектирования, в которой устанавливается взаимосвязь между конструктивными элементами подводной лодки и заданными характеристиками шумности.

Что касается движительных комплексов, то, несмотря на их многообразие, проектанты отдают предпочтение низкооборотному гребному винту большого диаметра составной конструкции.

Таким образом, общими усилиями учреждений и предприятий науки, промышленности и ВМФ за годы Советской власти удалось добиться снижения подводного шума атомных подводных лодок от поколения к поколению (рис.6). При этом следует иметь в виду, что количество создаваемых ВМФ атомных подводных лодок в отдельные годы превышало 10 единиц. Можно представить, как напряженно работали в это время судостроительная промышленность и сопутствующие отрасли, какие делались капиталовложения.

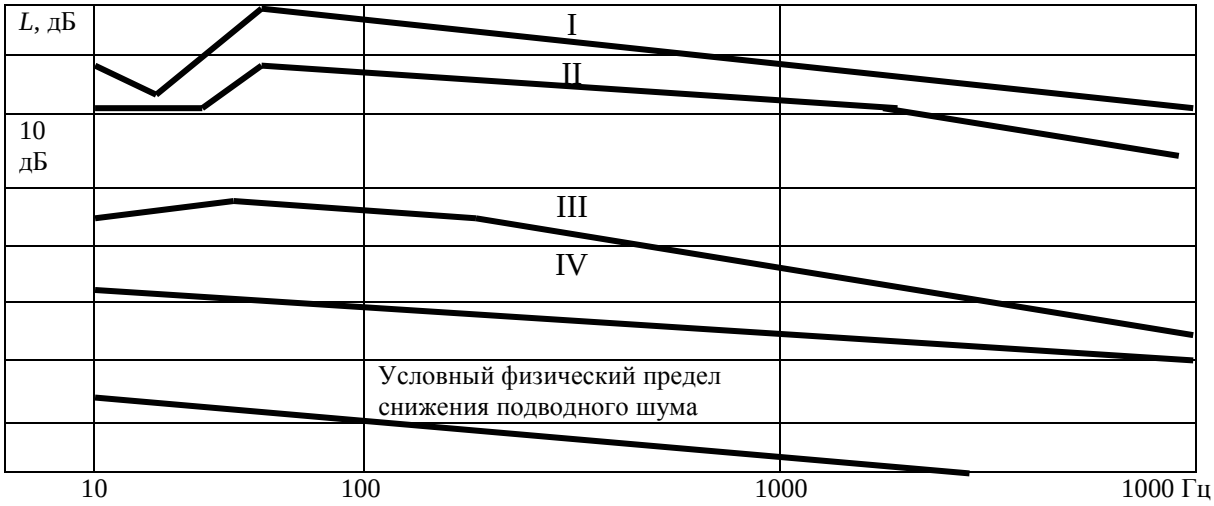



Рис.6. Снижение подводного шума атомных подводных лодок от поколения к поколению.

В ряду государственных целевых программ, направленных на повышение скрытности и защищенности кораблей по гидроакустическим полям, особое место занимает программа опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ по проблеме «Защита», выполненная с 1965 по 1995 г. (табл.2).

*Таблица 2*

**Перечень ОК и НИР, выполненных по проблеме «Защита»**

| № п/п | Шифр ОК и НИР | Решение о постановке | Срок проведения | Кол-во работ | Состав исполнителей | | Требования | Примечание |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | мини-стерства | пред-приятия | | |
| 1 | Защита-1 | Пост. ЦК КПСС и СМ СССР № 441-165 от 04.06.65 | 1965-1968 | 25 | 10 | 40 | ТЗКС-68 | Требования согласованы Минсудпромом |
| 2 | Защита-2 | Пост. ЦК КПСС и СМ СССР № 307-117 от 06.05.68 | 1969-1974 | 98 | 22 | 97 | ТЗКС-75 | То же |
| 3 | Защита-3 | Пост. ЦК КПСС и СМ СССР № 726-237 от 05.09.74 | 1974-1979 | 110 | 25 | 111 | ТЗКС-82 | » » |
| 4 | Защита-4 | Пост. ЦК КПСС и СМ СССР № 484-156 от 09.06.80 | 1980-1985 | 100 | 28 | 163 | ТЗКС-86 | » » |
| 5 | Защита-5 | Пост. ЦК КПСС и СМ СССР № 741-1208 от 19.06.86 | 1986-1990 | 60 | 28 | 170 | ТЗК-90 | Не согласованы Минсудпромом только для НК |
| 6 | Защита-6 | Решение ВПК № 91 от 05.1991 | 1991-1995 | 10 | 11 | 62 | - | |

**Литература**

1. *Пархоменко В.Н.* Комплексное применение средств акустической защиты для снижения вибрации и шума корабельного оборудования. 2001. НИЦ «Моринтех».
2. *Пархоменко В.Н.* Решая проблемы шумности // Морской сборник. 1993. № 2.

© *В.Ю.Корчак, В.Л.Чулков*, 2012
Секция прикладных проблем при Президиуме Российской академии наук, г.Москва

# ОТ МИННО-ТОРПЕДНОЙ СЕКЦИИ ДО СЕКЦИИ ПРИКЛАДНЫХ ПРОБЛЕМ ПРИ ПРЕЗИДИУМЕ РАН

24 февраля 2011 г. исполнилось 60 лет одной из первых организаций, стоящих у истоков создания средств защиты кораблей от неконтактного минно-торпедного оружия – Секции прикладных проблем при Президиуме Российской академии наук. Она была образована в связи со сложностью и нерешенностью проблемы защиты кораблей от неконтактных мин Постановлением Совета Министров СССР «О мероприятиях по обеспечению разработки новых образцов минно-торпедного и трального оружия» в 1951 г., как Минно-торпедная секция при Академии наук СССР. Постановление было подписано Председателем Совета Министров СССР И.В.Сталиным и Управляющим делами Совета министров СССР М.Т.Помазневым. Инициатором этого Постановления являлся Военно-морской министр СССР – Николай Герасимович Кузнецов.

В Постановлении отмечалось, что разработка новых образцов торпедного и минно-трального оружия для Военно-Морского Флота идет очень медленно. При этом ответственность возлагалась на слабую лабораторно-исследовательскую базу НИИ-400 Министерства судостроительной промышленности (МСП) при недостатке квалифицированных инженерно-технических кадров.

Этим Постановлением только что назначенному Президенту АН СССР А.Н. Несмеянову было предписано «организовать при Академии наук СССР минно-торпедную секцию по внедрению достижений науки в минно-торпедное оружие» и «привлечь для участия в работе этой секции ученых физиков, энергетиков и специалистов Военно-Морского Флота и Министерства судостроительной промышленности СССР».

В тематику институтов Академии наук СССР на 1951–1952 гг. было рекомендовано включить:

– изыскание принципов для обнаружения и уничтожения якорных и донных мин на расстоянии;

– исследование частотного спектра и интенсивности звукового поля, создаваемого подводными взрывами;

– изыскание принципов создания трала для траления акустических мин и разработку теории расчета акустических тралов.

Первоначальный состав Секции был определен в количестве трех военнослужащих за счет численности ВМФ, а председателем назначен кандидат (впоследствии доктор) технических наук вице-адмирал Брыкин Александр Евстратьевич (1895–1976 гг.).

21 июня 1952 г. Постановлением Совета Министров СССР «О создании средств защиты кораблей от современного неконтактного минно-торпедного оружия» Минно-торпедная секция была преобразована в Секцию минно-торпедного оружия и защиты кораблей при Президиуме АН СССР. На Секцию дополнительно были возложены задачи координации и руководства работами по созданию эффективных средств защиты от современного неконтактного минно-торпедного оружия, выполняемыми в институтах Академии наук, министерств и ведомств.

Постановление обязывало Военно-морское министерство (ВММ) в 1953 г. создать научно-исследовательский морской полигон по размагничиванию кораблей, научно-

исследовательский полигон для замера гидродинамических полей кораблей и научно-исследовательский морской гидроакустический полигон.

В обязанности Академии наук СССР входило создать в 1953 г. специальную гидродинамическую лабораторию при Московском отделении Морского гидродинамического института, магнитную лабораторию при Институте физических проблем им. С.И. Вавилова и расширить акустическую лабораторию Физического института им. П.Н. Лебедева. Минсудпрому СССР предписывалось создать в этом же году загородную базовую лабораторию для ЦНИИ-45, а Комитету по делам мер и измерительных приборов при СМ СССР – специальную лабораторию при Всесоюзном НИИ метрологии им. Д.И. Менделеева для проверки магнитной, акустической и гидродинамической аппаратуры.

Вообще масштабность и многогранность Постановления поражают даже в настоящее время. Министерство финансов СССР должно было уже в двухнедельный срок выделить деньги на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, Госплан СССР – предусмотреть выделение целевым назначением для работы в области создания средств защиты кораблей молодых специалистов из числа оканчивающих ВУЗы по специальностям: физика, математика, гидродинамика, магнитология, электроакустика и др. (всего – более 120 человек), Военно-морское министерство – откомандировать восемь офицеров в распоряжение АН СССР. Не было забыто в Постановлении и поручение Министерству внешней торговли по закупке новейшей импортной аппаратуры и приборов, Министерству рыбной промышленности СССР – о безвозмездной передаче «одного стального рыболовного сейнера мощностью 300 л.с., а также предусматривались увеличение штатной численности АН СССР на 90 единиц, персональные оклады и премии.

Постановлением был определен перечень научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию средств защиты кораблей от современного неконтактного минно-торпедного оружия, которые должны были быть выполнены в 1952–1953 гг.

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы выполнялись по следующим крупным направлениям.

1. Защита кораблей от гидродинамических мин и торпед под научным руководством акад. В.В.Шулейкина (три проекта).

2. Защита кораблей от магнитных, электромагнитных и индукционных мин и торпед под научным руководством проф. Е.И.Кондорского (девять проектов).

3. Защита кораблей от акустических мин и торпед под научным руководством чл.-корр. АН СССР Н.Н.Андреева (три проекта).

В связи с тем что некоторые исследования и разработки не потеряли актуальность и в настоящее время, приведем их полностью (см.таблицу).

Во исполнение Постановления Совета Министров СССР Приказом Военно-морского министра СССР Н.Г.Кузнецова от 3 июля 1952 г. и Распоряжением АН СССР от 28 июля 1952 г. №13-198 Секция минно-торпедного оружия и защиты кораблей при Президиуме АН СССР была преобразована в Морскую физическую секцию при Президиуме Академии наук СССР с группами в Москве и Новосибирске. На посту председателя Секции по-прежнему остался инженер вице-адмирал А.Е.Брыкин.

В процессе проведения научных исследований и разработок по созданию средств защиты кораблей от современного неконтактного минно-торпедного оружия сотрудники Секции постоянно взаимодействовали с организациями ВМФ (Научно–технический комитет, Главное управление кораблестроения, Управление противолодочного вооружения, 5-е и другие управления, а также 1, 3, 14 НИИ и др.). При завершении основных работ по проблеме полученные результаты рассматривались на научно-технических советах, совещаниях в организациях промышленности, на заседаниях Научно-технического совета Военно-промышленной комиссии.

**Основные направления исследований 1953 г.**

| № п/п | Шифр и наименование темы | Содержание работ |
|---|---|---|
| | Защита кораблей от гидродинамических мин и торпед | |
| 1 | А-XV-10. Разработка теории и методов защиты кораблей от современных гидродинамических мин и торпед | Разработка принципов искажения гидродинамического поля корабля, осуществление которых может быть произведено с затратой сравнительно небольшой мощности и относительно небольшими габаритными размерами без существенного снижения мореходных качеств<br>Разработка метода расчета гидродинамического поля корабля при относительно больших скоростях |
| 2 | А-XV-6. Разработка способов изменения интенсивности гидродинамического давления, возникающего при движении корабля, и изыскание средств конструктивной защиты кораблей от современных мин, реагирующих на изменение интенсивности гидродинамического поля корабля | 1. Разработка методики замеров полей гидродинамических давлений при движении моделей в бассейне с учетом данных, полученных при испытаниях моделей в рамках ранее выполненных тем<br>2. Разработка и изготовление агрегатов для экспериментальных работ в опытном бассейне по воздействию на гидродинамические поля моделей кораблей с целью изменения интенсивности этих полей<br>3. Изготовление моделей основных классов кораблей и проведение испытаний в бассейне по замеру гидродинамических полей |
| 3 | Б-Х1-20. Изыскание возможных принципов и разработка трала для траления гидродинамических мин | Изыскание и обоснование принципов по созданию трала для траления гидродинамических мин |
| | Защита кораблей от магнитных, электромагнитных и индукционных мин и торпед | |
| 4 | А-XXVIII-67. Создание теории и разработка методов защиты кораблей от современных магнитных, индукционных и электромагнитных мин и торпед | Подбор и обобщение имеющихся материалов.<br>Создание теории защиты кораблей от магнитных и индукционных мин и торпед с пассивными взрывателями, от электромагнитных мин и от торпед с активными взрывателями |
| 5 | А-XXVIII-68. Разработка теории и методов магнитного моделирования кораблей и технических средств размагничивания | Подбор и обобщение имеющихся материалов. Разработка теории магнитного моделирования кораблей, разработка методов уничтожения «магнитной предыстории» моделей кораблей |
| 6 | А-XXVIII-72. Разработка методики безобмоточного размагничивания кораблей с получением наибольшей стабильности поля корабля при минимальном его значении | Подбор и изучение имеющихся материалов, исследования на образцах, на магнитных моделях |
| 7 | А-XXVIII-53. Разработка метода одновременной компенсации горизонтальных и вертикальных составляющих магнитного поля корабля | Исследование на магнитных моделях трех составляющих магнитного поля кораблей пр.26, 30 бис, 254 и МБК-186 и эффективности компенсации этих составляющих обмотками размагничивающих устройств моделей |
| 8 | А-XXVIII-73. Создание карт изодинам вертикальной и горизонтальной составляющих магнитного поля Земли по береговым наблюдениям | Составление карт изодинам вертикальной и горизонтальной составляющих магнитного поля Земли на эпоху 1952 г. для морских и речных театров СССР |
| 9 | А-XXVIII-69. Разработка прибора для определения индукции в металле корабля. Определение влияния магнитной вязкости на поле корабля | Подбор и изучение материалов о магнитной вязкости. Проведение исследований на образцах. Разработка, изготовление и испытание опытного образца прибора для определения индукции в металле |

*Продолжение таблицы*

| № п/п | Шифр и наименование темы | Содержание работ |
|---|---|---|
| 10 | А-XXVШ-61. Создание опытного образца автоматического регулятора токов в обмотках размагничивающего устройства, работающего в функции от изменения магнитного поля кораблей с учетом влияния кренов и дифферентов | Разработка эскизного проекта опытного образца регулятора |
| 11 | А-XXVШ-16. Разработка методики моделирования и получение расчетных формул для расчета магнитных полей разомкнутых электромагнитных тралов (поверхностных и заглубленных) для проводящего и непроводящего грунта | Разработка методики расчета магнитных полей разомкнутых электромагнитных тралов (поверхностных, заглубленных) с учетом проводящего и непроводящего грунта. Проведение испытаний на моделях и в море |
| 12 | А-XXVШ-74. Исследование широтных изменений магнитного поля корабля в районах магнитных аномалий на морских театрах СССР | Выбор районов магнитных аномалий на морских театрах и проведение измерений поля Земли |
| | Защита кораблей от акустических мин и торпед | |
| 13 | А-XV-9. Разработка теории и методов защиты кораблей от современных акустических мин и торпед | 1. Анализ существующих методов измерений акустических полей кораблей в звуковом, ультразвуковом и инфразвуковом диапазонах частот и разработка методики измерений<br>2. Разработка требований к аппаратуре и ее проектирование |
| 14 | Д-V-28. Разработка методов и аппаратуры подводного видения для обнаружения мин | 1. Изготовление и испытание лабораторного макета в воде и получение исходных данных для разработки и изготовления опытного образца<br>2. Передача чертежей лабораторного макета аппаратуры и отчета по его испытаниям исполнителям<br>3. Представление согласованного с ВММ и МСП предварительного ТТЗ на разработку опытного образца |
| 15 | Б-XI-14. Изыскание возможных принципов высокочастотного акустического трала с частотным спектром в пределах от 8000 герц до 100 килогерц | Изыскание и обоснование принципов для создания различных типов высокочастотного акустического трала |

Примечание. Терминология в Постановлении и в таблице сохранена.

Перечислим основные результаты, полученные при решении проблемы защиты кораблей от минного и торпедного оружия вероятного противника. В области снижения уровней магнитных, электромагнитных и электрических полей корабля были определены основные источники и уровни этих полей для отечественных судов. Предложены некоторые рекомендации по снижению уровней магнитных полей (замена стали для некоторых элементов конструкций на другие немагнитные материалы, например титан); для снижения электромагнитных и электрических полей было предложено применять диэлектрические материалы и экранирование источников излучения. Основное внимание уделялось совершенствованию корабельных и стационарных систем размагничивания кораблей, а также систем контроля уровней магнитных полей. Все эти меры практически обеспечили поддержание и контроль уровней магнитных полей кораблей соответствующим естественным магнитным полям Земли, что повысило защищенность кораблей от магнитных мин. В области снижения гидроакустических полей кораблей (их шумности) основное внимание уделялось изучению гидроакустических полей подводных лодок с целью снижения их акустической заметности. Были проанализированы все источники

шума (работа различных механизмов, агрегатов, насосов и прежде всего главной турбозубчатой установки), а также гребных винтов. По этим источникам были проведены исследования и конструкторские разработки, в результате которых предложены конкретные решения, обеспечившие значительное снижение акустической заметности подводных лодок. На снижение уровней гидроакустических полей положительно сказались результаты исследований по снижению гидродинамического сопротивления корпусов подводных лодок. В области снижения уровней гидродинамических полей кораблей проблема оказалась практически нерешенной. Исследовались различные возможные пути уменьшения или искажения гидродинамических шумов кораблей: изменение формы подводной части корабля, буксировка под кораблем (тральщиком) вращающегося цилиндра или крыльев, использование под кораблем электрических разрядов (микровзрывов) и некоторые другие «экзотические» способы. Например, для обеспечения выхода кораблей из порта или преодоления миноопасного мелководного района было предложено использовать специально созданные суда – волнообразователи. Создаваемое такими судами мощное волновое поле существенно искажает гидродинамическое поле корабля и обеспечивает его защиту от гидродинамических мин. Однако более радикальным был признан предложенный в свое время в Институте гидродинамики СО АН СССР (академик М.А.Лаврентьев, Г.С.Мигиренко) способ уничтожения любых мин на фарватере шнуровым зарядом, который укладывался на дно перед проходом кораблей.

Параллельно с завершением исследований и разработок по проблеме защиты кораблей от неконтактных взрывателей минного и торпедного оружия перед Академией наук СССР и промышленностью Военно-Морским Флотом была поставлена задача значительного снижения гидродинамического сопротивления подводных лодок и торпедного оружия.

В различных организациях рассматривались все возможные способы снижения гидродинамического сопротивления тел (ламинаризация турбулентного пограничного слоя с помощью его отсоса, нагрева, впрыска в пограничный слой растворов неньютоновских жидкостей и газовых пузырьков, электрических полей и др.). Итоги выполненных работ частично использовались в процессе конструкторских разработок подводных лодок и торпед.

В качестве другого, более эффективного, способа значительного снижения сопротивления для торпед и подводных ракет рассматривался способ использования режима развитого кавитационного обтекания. По согласованию руководства Филиала ЦАГИ (академика АН УССР Г.В.Логвиновича) с председателем Морской физической секции в ЦАГИ был командирован выпускник ВВМУ инженеров оружия В.Н.Кузнецов (сын Военно-морского министра СССР). В это время в Филиале ЦАГИ активно велись исследования по созданию высокоскоростной кавитирующей ракето-торпеды. Исследователи и разработчики торпеды столкнулись со значительными трудностями по обеспечению перехода торпеды с разгонного режима на маршевый. В качестве разгонного двигателя использовался пороховой двигатель, а в качестве маршевого – магниевый гидрореактивный двигатель. Г.В.Логвинович поручил провести исследования взаимодействия гидрореактивного двигателя с кавитационным режимом обтекания торпеды В.Н.Кузнецову. Они были проведены на моделях ракеты с работающим гидрореактивным двигателем в гидроканале ФЦАГИ. Было показано, что запуск двигателя в кавитационной каверне приводит к нарушению каверны и, как следствие, – возникновению больших нерасчетных гидродинамических сил и потере устойчивости объекта. Анализ полученных результатов позволил Г.В.Логвиновичу, Г.В.Уварову, В.И.Юрасову и В.Н.Кузнецову предложить принципиально новый единый стартово-маршевый двигатель, обеспечивающий нормальный переходный режим.

Дальнейшие исследования продолжались на испытательной базе ЦАГИ на Московском море с использованием разработанного и изготовленного в ЦАГИ полунатурного

(диаметр 205 мм) образца кавитирующей торпеды. Там же на огневом стенде был отработан полунатурный образец единого двигателя. Полунатурные испытания завершились успешно, торпеда прошла всю дистанцию. Эти испытания позволили разработчикам натурного образца в НИИ ПГМ и НПО «Регион» внести необходимые конструктивные изменения и прежде всего отработать натурный единый стартово-маршевый двигатель. Дальнейшие разработки кавитирующей ракето-торпеды были также успешно завершены принятием ее на вооружение ВМФ. Экспериментальный образец подводной ракеты испытывался на полигоне на оз.Иссык-Куль и Ладожском (о-в Коневец). Участникам работ по созданию кавитирующей подводной ракеты и представителям флота, обеспечившим натурные испытания на флоте и на полигонах, были присуждены Ленинская и Государственная премии. В.Н.Кузнецов был награжден орденом Красной Звезды.

Все эти работы проводились под непосредственным руководством председателя Морской физической секции А.Е.Брыкина. Хотелось бы более подробно остановиться на биографии этого замечательного человека.

Александр Евстратьевич Брыкин родился в 1895 г. в г.Пензе. В 1914 г. окончил Пензенское реальное училище. В настоящее время здание этого училища сохранилось, и в нем находится музей, где представлены личные вещи А.Е.Брыкина. Александр Евстратьевич начал военную службу с 1915 г. Являлся участником Первой мировой войны.

В 1917 г. он – помощник начальника Центрального гидроавиационного склада, прапорщик по адмиралтейству. С 1918 г. – матрос бригады морской авиации Морских сил Балтийского моря (МСБМ) Рабоче-Крестьянского Красного флота (РККФ), член бригадного комитета, член Совета рабочих и солдатских депутатов, один из участников создания народного университета.

Дальнейший послужной список А.Е.Брыкина таков: наблюдающий и приемщик авиаимущества на заводах Петрограда и Пензы (1917–1919 гг.), районный наблюдающий на авиазаводе (1919), помощник начальника Центрального склада морской авиации и председатель приемной комиссии отдела воздухоплавания (1919–1921 гг.), помощник начальника по учебной части школы рулевых и сигнальщиков МСБМ (1921–1922 гг.), начальник минно-испытательной партии Кронштадтского морского завода Главного военного порта МСБМ (1928–1929 гг.).

В 1928 г. А.Е.Брыкин окончил минное отделение факультета военно-морского оружия Военно-морской академии, а в 1932 г. – Ленинградский высший инженерно-педагогический институт по специальности «двигатели внутреннего сгорания». С 1929 по 1932 г. он – член минной секции Научно-технического комитета Управления морских сил РККА. В 1932–1939 гг. был организатором и первым начальником Научно-исследовательского минно-торпедного института РККФ (НИМТИ).

В 1939–1941 гг. возглавлял минно-торпедный факультет Военно-морской академии им. К.Е.Ворошилова. В годы Великой Отечественной войны занимался снабжением Военно-Морского Флота боевой техникой и вооружением, был членом советской военно-морской миссии в Великобритании, а с сентября 1943 г. стал заместителем ее главы.

Находясь за рубежом, принимал участие в обеспечении переходов военных кораблей в Мурманск, доставке военного снаряжения на судах союзных конвоев, за что был награжден орденом Нахимова 2-й степени. Являлся руководителем работ по созданию первой отечественной электрической торпеды ЭТ-80 (принята на вооружение РККФ в 1942 г.).

В 1943 г. за создание нового типа морского вооружения инженер-капитан 1 ранга А.Е. Брыкин был удостоин звания лауреата Сталинской премии первой степени, в апреле 1943 г. ему присвоено воинское звание «инженер-контр-адмирал».

Из служебной аттестации военного времени: «...дисциплинирован в высшей степени, исключительно тактичный командир. Отлично знает свою специальность и ее совершенствует, добивается всеми путями знать по ней как можно больше. Работоспособ-

ный, энергичный, настойчивый. К порученной работе относится очень добросовестно, болеет за недостатки и всегда стремится их ликвидировать. Всю порученную работу выполняет аккуратно...».

С ноября 1945 г. А.Е.Брыкин – член Центральной коллегии по тралению европейских вод и Восточно-Атлантической зональной коллегии. После окончания войны в 1946–1948 гг. был назначен начальником минно-торпедного факультета Военно-морской академии кораблестроения и вооружения им. А.Н. Крылова, а в 1948 г. – начальником Главного минно-торпедного управления ВМС. В 1950 г. А.Е.Брыкин участвовал в разработке и освоении первой отечественной самонаводящейся акустической торпеды САЭТ-50. С 1951 г. возглавлял Минно-торпедную секцию АН СССР, которая в этом же году была переименована в Секцию минно-торпедного оружия и защиты кораблей при Президиуме АН СССР (Морская физическая секция).

В ноябре 1951 г. А.Е.Брыкину было присвоено воинское звание инженер-вице-адмирала. В 1962 г. он защитил докторскую диссертацию. В 1965 г. исполнял должность профессора-консультанта Ученого совета Военно-морской академии. С июля 1965 г. – в отставке.

А.Е.Брыкин награжден орденом Ленина, двумя орденами Красного Знамени, орденами Нахимова 2-й степени, Красной Звезды и многими медалями.

Александр Евстратьевич Брыкин скончался в Москве в 1976 г., а его супруга Варвара Николаевна в настоящее время живет в Москве.

В г.Пензе на бывшем здании Пензенского реального училища по ул.Володарского, д.1, где учился А.Е.Брыкин, установлена мемориальная доска.

Здание Пензенского реального училища, в котором учился А.Е.Брыкин, и его тужурка в музее (справа).

Морской транспорт-ракетовоз «Александр Брыкин» пр.11 570.

В 1986 г. в Ленинграде на Адмиралтейском заводе был построен морской транспорт-ракетовоз, названный в честь вице-адмирала А.Е.Брыкина «Александр Брыкин» (пр.11 570) полным водоизмещением 11 440 т, имеющий 16 контейнеров для ракет Р-39 и снабженный 125-тонным краном.

В 1964 г. Морская физическая секция была преобразована в Секцию прикладных проблем

при Президиуме АН СССР и стала работать в интересах всех видов Вооруженных сил страны. В последующие годы Секцию возглавляли (впоследствии – академики АН СССР и РАН) генерал-майор чл.-корр. АН СССР Е.П.Попов и генерал-майор чл.-корр. АН СССР Г.С.Поспелов, д-р техн. наук, проф., генерал-лейтенант Ю.В.Чуев, д-р техн. наук, проф., генерал-майор Б.М.Егоров, полковник И.Ю.Золотов. С 2010 г. председателем Секции является д-р экон. наук В.Ю.Корчак.

В настоящее время Секция осуществляет в установленном порядке функции государственного заказчика фундаментальных, прогнозных и поисковых научно-исследовательских работ по государственному оборонному заказу и реализует единую военно-техническую политику в этой области. Она является основным связующим звеном между Министерством обороны, Российской академией наук и организациями Высшей школы.

Секция имеет региональные отделения, расположенные в крупных научных центрах России – Москве, Санкт-Петербурге, Новосибирске, Ростове-на-Дону, Самаре, Владивостоке.

За прошедшие годы неоднократно реформировались, уточнялись и дополнялись возлагаемые на Секцию задачи. Основными из них в настоящее время являются: мониторинг результатов фундаментальных исследований, проводимых в стране; выявление важнейших научно-технических и технологических достижений с целью их использования в интересах разработки перспективных образцов ВВТ, поиска новых форм и способов вооруженной борьбы; разработка долгосрочных прогнозов развития приоритетных направлений науки в интересах обороны страны; формирование предложений в проекты государственной программы вооружения и государственного оборонного заказа в части фундаментальных, прогнозных и поисковых исследований. При этом, сохраняя традиции, заложенные при своем образовании, Секция продолжает заниматься вопросами, связанными с защитой кораблей Военно-Морского Флота от контактного и неконтактного оружия.

За годы существования Секции по ее заказу ведущими научными институтами и организациями РАН, Высшей школы и промышленности было выполнено несколько тысяч научно-исследовательских работ по приоритетным научно-техническим направлениям, связанным с созданием перспективного ВВТ, а также работ в области проблем военного строительства, военно-технической политики, военной экономики, развития научно-технической и технологической базы разработки и производства ВВТ.

Посещение членами Секции 22 дивизиона тральщиков в г.Кронштадте, июль 2011 г.
Слева направо: Р.Ю.Монахов, В.Ю.Корчак, В.Ф.Горшков, Е.З.Тужиков, В.А.Родионов, В.Л.Чулков.

Начиная с 1999 г., эти работы выполняются в рамках программы фундаментальных, прогнозных и поисковых исследований в интересах обороны и безопасности страны, являющейся разделом государственной программы вооружения. За эти годы получен ряд важных результатов, определяющих пути совершенствования и создания принципиально новых технологий защиты морских объектов вооружения и военной техники от контактных и неконтактных средств поражения.

© *В.Д.Денисов, А.Ю.Каверинский, А.Б.Майзель*, 2012
ОАО «ЦКБ МТ «Рубин», Санкт-Петербург

# ВКЛАД ПРЕДПРИЯТИЙ СУДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СКРЫТНОСТИ КОРАБЛЕЙ ВМФ

В широком понимании Служба защиты кораблей ВМФ – сообщество сотрудников самых различных военных и гражданских организаций, профессионально занимающихся совершенствованием параметров физических полей кораблей. Это прежде всего многочисленные флотские органы, в функциональные обязанности которых входит забота о скрытности и защите кораблей в ходе повседневной и боевой деятельности флота. Но, разумеется, рассматриваемая проблема всегда решалась и решается с помощью усилий и тесного сотрудничества сотен предприятий, в число которых входят КБ-проектанты кораблей, судостроительные заводы и поставщики оборудования, научно-исследовательские институты промышленности и Академии наук.

Не умаляя заслуг всех перечисленных коллективов, следует заметить, что в этом процессе у конструкторского бюро особая роль. Именно конструкторские бюро создают в сотрудничестве с контрагентами и наблюдающими организациями проекты кораблей, ведут авторский надзор за их строительством, участвуют в испытаниях и сдаче кораблей заказчику. В ходе этих испытаний выявляется эффективность проектных решений, принятых бюро при создании нового надводного корабля (подводной лодки), определивших его облик и качества. Тогда-то и выясняется, соответствует ли построенный корабль предъявленным ему требованиям.

Среди всех физических полей, влияющих на скрытность подводной лодки, т.е. на возможность ее обнаружения и классификации противником, на первом месте по значимости стоят, безусловно, первичное и вторичное гидроакустические поля. Поэтому в данной статье в дальнейшем будет говориться о достижениях и проблемах именно в области акустической защиты подводных лодок.

Скрытность – главное свойство подводной лодки («потаенное судно»). Без обеспечения этого свойства нет смысла в его создании. И практически одновременно с созданием первых подводных лодок начались поиски средств их обнаружения и поражения. С тех пор происходит непрерывное соревнование средств обнаружения и поражения подводных лодок, равно как технических средств их защиты и тактических приемов использования подводных лодок, обеспечивающих скрытность. Начиналось все с относительно простых шумо-, эхопеленгаторов и глубинных бомб, с одной стороны, и простейших резинометаллических амортизаторов для установки механизмов, а также наружных резиновых покрытий, рассчитанных на частоту посылок эхопеленгаторов.

Для дизель-электрических подводных лодок 1930–50-х гг. создания, у которых подводный ход под электродвигателем от аккумуляторных батарей обеспечивался небольшим количеством механизмов и систем – потенциальных источников подводного шума, основным источником такого шума являлся гребной винт, особенно на повышенных скоростях корабля. Поэтому в данный период были предприняты первые попытки по улучшению акустических характеристик гребных винтов подводных лодок.

С появлением атомных подводных лодок, особенно с баллистическими ракетами, существенно возросли темпы создания противолодочной обороны, появились стационарные рубежи дальнего обнаружения подводных лодок по первичному акустическому

полю. Учитывая ограниченную дальность первых баллистических ракет и необходимость в силу этого преодоления противолодочных рубежей, снижение шумности отечественных подводных лодок стало первоочередной задачей.

Для атомных подводных лодок, обладающих громадным преимуществом перед дизель-электрическими по автономности и скорости, но имеющих на порядок больше единиц шумящего оборудования, причем гораздо более сложного, решение проблемы снижения шумности потребовало усилий совершенно иного масштаба.

Практическим началом решения этой проблемы можно считать серию расширенных акустических испытаний атомных подводных лодок 2-го поколения в конце 60–70-х годов, когда ВМФ потребовал существенно снизить шум подводных лодок 2-го поколения без уменьшения темпов их ввода в строй. В этих испытаниях принимали активное участие представители институтов ВМФ, институтов Академии наук, отраслевых институтов. Главную роль в организации и проведении испытаний играл головной институт судостроительной отрасли – ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова.

По результатам проведенных испытаний были определены основные источники шума, формирующие гидроакустическое поле подводных лодок. По ходу строительства серийных лодок разрабатывались и внедрялись мероприятия по снижению их шумности. Были сформулированы первые требования к виброакустическим характеристикам поставляемого на подводные лодки оборудования, утвержденные Постановлением Правительства.

При предъявлении требований к подводным лодкам 3-го поколения ВМФ поставил задачу резкого снижения (в 2–3 раза) шумности по сравнению с серийными лодками 2-го поколения, сохранив в то же время жесткие требования к максимальным скоростям корабля, глубинам погружения и т.д. Эта задача выросла до уровня подлинно национальной проблемы, влияющей на безопасность страны. Для ее решения были развернуты специальные комплексные программы НИОКР. В выполнении указанных НИОКР также принимали активное участие научно-исследовательские организации ВМФ, институты Академии наук, отраслевые институты, проектные бюро, предприятия-контрагенты. ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова по-прежнему координировал ход работ и выполнял большой объем собственных исследований.

Работы развивались по трем направлениям. Первое – создание малошумных энергетических установок, оборудования и движителей, а также нормативных материалов по их проектированию. Второе – разработка методов и средств акустической защиты (амортизаторов, гибких вставок в трубопроводы и подвесок для них, звукопоглощающих и звукоизолирующих покрытий, включая наружные гидроакустические, и проч.). И, наконец, третье – организация акустического проектирования и соответствующей технологии строительства малошумных подводных лодок. ЦКБ МТ «Рубин», тогда еще ЛПМБ «Рубин», проявило себя в работах по всем трем названным направлениям, а особенно активно – в реализации третьего направления, которое непосредственно касалось неотъемлемых функций КБ-проектанта.

В бюро создавались два проекта подводных лодок 3-го поколения – «Тайфун» и «Оскар» (по западной терминологии) – под руководством генеральных конструкторов С.Н.Ковалева и И.Л.Баранова. В обеспечение разработки этих проектов отдел акустической защиты бюро вел опытно-конструкторские работы по созданию резинокордных амортизаторов, рукавов, измерительно-информационного комплекса для контроля вибрации оборудования и подводного шума подводной лодки. При проектировании подводных лодок «Тайфун» и «Оскар» были применены амортизированные монтажные блоки и сборочные единицы вспомогательного оборудования, глушители шума, рукава и патрубки для трубопроводов и другие устройства.

В преодолении акустических проблем, возникавших в ходе создания этих лодок, принимали самое деятельное участие А.А.Малютин, Э.В.Байков, Н.В.Воронов,

Я.Г.Бахмендо, О.А.Чугуров, В.Д.Денисов – один из авторов этих строк. В итоге трудов названных и многих других специалистов важнейшее задание, поставленное Правительством перед судостроительной отраслью, было выполнено: достигнуты уровни подводного шума, практически соответствующие требованиям ВМФ. Работы по совершенствованию акустических характеристик подводных лодок 3-го поколения не были свернуты и после сдачи головных заказов; эти работы продолжались на протяжении строительства всей серии лодок 3-го поколения. Особенно впечатляющие результаты были получены в процессе строительства и испытаний серии подводных лодок «Оскар».

К сожалению, за этим прорывом, совершенным создателями отечественных подводных кораблей, последовала долгая пауза в строительстве и сдаче новых заказов. Поступательное развитие в создании малошумных подводных лодок было прервано по всем известным причинам.

Но и в это время ЦКБ МТ «Рубин» создавало проекты подводных лодок типа «Санкт-Петербург» и «Юрий Долгорукий», которые должны были стать шагом вперед по сравнению с подводными лодками 3-го поколения. Бюро сопровождало опытно-конструкторские работы по созданию новых средств акустической защиты (покрытия, патрубки, рукава и т.д.). Была выполнена специальная ОКР, направленная на разработку мобильного комплекса технических средств для измерения параметров гидроакустического поля перспективных заказов. Этот комплекс использовался при измерениях характеристик акустического поля подводной лодки «Санкт-Петербург».

Коллектив отдела акустической защиты ОАО «ЦКБ МТ «Рубин».

Наконец, постройка новых подводных лодок была завершена, и они вышли на гидроакустические полигоны для проведения сдаточных испытаний. Не все получилось сразу: «Санкт-Петербург» и «Юрий Долгорукий» испытывались не один год, прошли этап акустической доводки. В итоге тот шаг вперед, на который рассчитывали проектанты, был сделан, а достигнутые результаты положительно восприняты всеми участниками создания этих наиболее современных российских подводных лодок. Кроме того, в ходе этих испытаний накоплен богатый фактический материал, анализ которого позволит расширить наши представления об источниках шума и вибрации малошумных подводных лодок и выработать пути дальнейшего совершенствования акустических характеристик головных, серийных и перспективных заказов.

Необходимо сказать несколько слов о северодвинском Управлении защиты кораблей и судов по физическим полям, лучше известном под наименованием Отдела главного акустика. Трудно переоценить роль этого коллектива в обеспечении требуемых акустических характеристик строящихся атомных подводных лодок 3-го поколения, в осуществлении их сдаточных, расширенных и специальных акустических испытаний, а при

необходимости – и акустической доводки. Несмотря на все выпавшие на долю судостроителей трудности, Управление подошло к сдаче головной подводной лодки «Юрий Долгорукий» во всеоружии. Начальнику Управления удалось сохранить и кадровые, и материально-технические ресурсы, необходимые для работы на заказе. А в ряде случаев приборное оснащение Управления и применяющиеся методы акустических измерений даже усовершенствовались. Все это позволило Управлению в процессе сдачи «Юрия Долгорукого» не только эффективно выполнить свои технические обязанности, но и провести целое научное исследование акустических свойств заказа. Полученные данные уже использованы и продолжают оставаться востребованными при разработке новых технических решений в области корабельной акустики.

Особой благодарности заслуживают также представители Службы защиты кораблей ВМФ, участвовавшие в испытаниях «Санкт-Петербурга» и «Юрия Долгорукого», обеспечившие успешную работу измерительной техники, обработку и оформление результатов испытаний. Это, в первую очередь, капитаны 1 ранга В.В.Панин, И.А.Матюшичев, С.П.Сазонов, а также многие офицеры, мичманы и служащие, перечислить которых просто не представляется возможным. Тем не менее, эти люди своим ежедневным не очень приметным, но отнюдь не простым трудом продолжают держать высокую планку дела защиты кораблей ВМФ.

© *С.В.Мирошников*, 2012
ОАО «СПМБМ «Малахит», Санкт-Петербург

# РАЗВИТИЕ МАГНИТНОЙ ЗАЩИТЫ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК

Магнитной защитой кораблей (МЗК) и подводных лодок называется комплекс мероприятий и технических средств, внедряемых на корабли ВМФ в процессе их проектирования, строительства и сдачи для снижения уровня магнитного поля и поддержания его в процессе их эксплуатации.

Применение МЗК обеспечивает снижение вероятности поражения кораблей неконтактным минно-торпедным оружием и обнаружения их техническими средствами, реагирующими на магнитное поле.

Комплекс мероприятий и средств магнитной защиты включает:

– конструктивно-технологические средства;
– размагничивающее устройство (РУ);
– электромагнитную обработку.

Магнитная защита должна обеспечиваться одновременным внедрением указанных средств и мероприятий.

Все средства МЗК должны быть совместимы с другими средствами и системами корабля и не должны приводить к увеличению уровней других физических полей.

Интерес к магнитному полю корабля с ферромагнитным корпусом как к параметру, по которому возможно его обнаружение и его подрыв на минах и торпедах без непосредственного контакта с его корпусом, возник в конце Первой мировой войны.

Во Второй мировой войне количество применяемых магнитных мин и торпед значительно увеличилось, в связи с чем возникла необходимость снижения уровня магнитного поля кораблей методом периодической электромагнитной обработки.

В связи с усовершенствованием неконтактного минно-торпедного оружия были разработаны более жесткие требования к магнитной защите кораблей, что вызвало необходимость разработки специальных систем, обеспечивающих компенсацию и поддержание стабильного уровня магнитного поля в период эксплуатации кораблей.

**Первое размагничивающее устройство.** Первое размагничивающее устройство (РУ) для компенсации магнитного поля подводной лодки было создано в СКБ-143 (в настоящее время ОАО СПМБМ «Малахит») при проектировании атомной подводной лодки (АПЛ) проекта 627. Внедрению системы РУ на АПЛ предшествовал большой объем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, выполненных ЦНИИ им акад. А.Н.Крылова при участии ЦНИИ-49.

Методик, позволяющих определять необходимое количество ампер-витков в секциях обмоток размагничивающего устройства и их расположения на корпусах не было. Для решения этих вопросов потребовалось разработать магнитную модель подводной лодки.

В процессе работ с использованием магнитной модели для АПЛ проекта 627 было создано размагничивающее устройство типа РУ-И.

В своем составе РУ-И имело три обмотки для компенсации вертикального, продольного и поперечного индуцированного намагничивания. Каждая обмотка имела свой самостоятельный агрегат питания. Регулировка тока в обмотках производилась от специализированного регулятора тока типа РТП-49.

В процессе исследований, проведенных при эксплуатации, была определена недостаточная стабильность магнитного состояния АПЛ при ее погружениях даже в местах регулировки РУ.

Доработки размагничивающего устройства для проектов 627А и ПТ627А привели к созданию размагничивающего устройства типа РУ-В, которое позволяло обеспечивать необходимую стабильность магнитного поля АПЛ но только в ограниченном районе плавания.

**Размагничивающие устройства АПЛ с маломагнитными легкими корпусами.** В период проектирования АПЛ проекта 645 специалистами ЦНИИ-48 были созданы маломагнитная сталь марки 45Г17Ю3 и сварочные материалы для нее. Такая сталь позволяла снизить почти на 30 % массу существующих размагничивающих устройств, потребляемую мощность электроэнергии, сократить количество кабельных стаканов для прохода через прочный корпус АПЛ.

В объеме технического проекта в бюро были выполнены проработки по возможности применения маломагнитной стали для изготовления конструкций легкого корпуса, оконечностей, ограждения рубки, обшивки рулей и стабилизаторов.

По результатам проработок совместным решением МСП и ВМФ от 20 марта 1957 г. маломагнитная сталь была принята для изготовления конструкций АПЛ пр.645. Данное техническое решение позволило применить размагничивающее устройство типа РУ-С.

Применение систем типа РУ-С при тех же уровнях результирующего магнитного поля обеспечило по сравнению с системами РУ-В его стабильность в зоне электромагнитной обработки, а также повысило живучесть систем РУ за счет переноса обмоток РУ с обшивки наружного корпуса на прочный корпус.

Для снижения уровня результирующего магнитного поля АПЛ в процессе разработки проектов 639 и 658 были выполнены проработки возможности применения системы РУ-С/45, что способствовало внедрению данной системы на АПЛ проекта 671.

Отличительной особенностью системы РУ-С/45 является то, что обмотка ОГ, компенсирующая составляющую индукции от вертикального намагничивания, состоит из секций наружной обмотки ОГн, прокладываемых снаружи прочного корпуса, и секций внутренней обмотки ОГв, прокладываемых внутри прочного корпуса. Все обмотки системы РУ-С/45 рассчитаны на компенсацию индуцированного намагничивания. Постоянное намагничивание снимается при электромагнитной обработке.

Для управления токами в обмотках РУ был использован универсальный автоматический регулятор УРТ-860.

Внедрение на АПЛ проекта 671 системы РУ-С/45 позволило снизить уровень результирующего поля и обеспечить его стабильность в неограниченных районах плавания.

**Размагничивающее устройства АПЛ 3-го поколения.** Опыт эксплуатации подводных лодок 1-го и 2-го поколений показал, что маломагнитная сталь при ее эксплуатации в морской воде подвержена коррозионному растрескиванию. В результате возникавших трещин в обшивке ЦГБ нарушалась герметичность и уменьшался запас плавучести. В апреле 1971 г. вышло совместное решение о замене маломагнитной стали на сталь марки СХЛ-4 в конструкциях легкого корпуса строящихся и ремонтируемых подводных лодок. Замена материала конструкций наружного корпуса с маломагнитной стали на ферромагнитную потребовала переработки системы РУ-С/45 в систему РУ-С/45М, в которой наружные обмотки ОГн, КШн и КБн прокладывались по внутренней поверхности наружного корпуса подводной лодки.

В связи с разработкой требований ВАХ-2 возникла необходимость создания новых агрегатов питания для систем РУ, соответствующих данным требованиям. В 1978 г. сотрудники ВНИИЭМ разработали преобразователи АПП-РТ мощностью 4, 8 и 12 кВт.

Преобразователи типа АПП-РТ были применены при создании систем РУ для подводных лодок проектов 671РТ и 671РТМ.

При разработке подводной лодки проекта 09710 было принято решение по преобразованию переменного тока в постоянный ток на базе статических преобразователей, что потребовало разработки и организации производства новых источников питания систем РУ. Разработка конструкции и изготовление выпрямителей типа ТМА выполнены специалистами завода «Преобразователь» г.Запорожье.

Одновременно в ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова был создан регулятор тока косвенных параметров РТКП, позволивший обеспечить высокое качество регулирования токов в обмотках систем РУ в неограниченных районах плавания.

Расположение наружных секций обмотки ОГн в специальных забортных каналах (снаружи легкого корпуса) позволило получить значительное улучшение качества магнитной защиты.

**Размагничивающие устройства АПЛ 4-го поколения.** Опыт эксплуатации АПЛ показал, что при изменении глубины погружения остаточное намагничивание увеличивается и превышает индуцированное намагничивание.

Для борьбы с остаточным намагничиванием разработана система РУ типа РУ-СФД, состоящая из шести обмоток и магнитометрического комплекса КДС-701, позволяющего в процессе эксплуатации контролировать уровень остаточного намагничивания и регулировать ток в обмотках системы, что значительно улучшает качество магнитной защиты АПЛ.

Большой вклад в создание систем РУ АПЛ внесли сотрудники бюро И.В.Добров, Н.И.Иванова, В.П.Ефимов, С.В.Мирошников.

**Литература**

1. История бюро «Малахит». СПб.: Гангут, 2002.
2. *Собакин В.А.* Электротехника служит подводному флоту. СПб.: ФГУП «Малахит», 2006.
3. *Шмаков Р.А.* Создание атомных подводных лодок проектов 671, 671РТ, 671РТМ // Судостроение. 2000. № 1.
4. *Коптев Ю.И.* Виза безопасности. СПб.: изд-во Политехнического ун-та, 2011.

© *Ю.М.Патраков*, 2012
ФГУП «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова», Санкт-Петербург

# О РАБОТАХ ЦНИИ им. акад. А.Н.КРЫЛОВА В ОБЛАСТИ ЗАЩИТЫ КОРАБЛЕЙ ПО ФИЗИЧЕСКИМ ПОЛЯМ В ВЕРХНЕЙ ПОЛУСФЕРЕ

Проблема защиты надводных кораблей (НК) по физическим полям в верхней полусфере как составная часть общей проблемы повышения их боевой устойчивости имеет чрезвычайно важное значение в связи с потенциально высокой вероятностью поражения НК высокоточным оружием, наводящимся по физическим сигнатурам НК.

Наиболее важными сигнатурами корабля, характеризующими его заметность, являются: радиолокационная эффективная площадь рассеяния (ЭПР); оптическая видимость и оптиколокационная (лазерная) ЭПР; инфракрасное излучение (рис.1).

Рис.1. Электромагнитные поля кораблей в верхней полусфере.

На первом месте по степени важности находится заметность корабля по вторичному радиолокационному полю (ЭПР), поскольку радиолокационные системы обнаружения, распознавания корабля и наведения на него ракетного и бомбового оружия с радиолокационными головками самонаведения имеют наибольшую дальность действия.

Для повышения точности наведения противокорабельные ракеты дополнительно оснащаются лазерными или тепловыми системами самонаведения, откуда следует, что проблема снижения заметности кораблей носит комплексный характер. Под заметностью корабля понимается совокупность отличий его основных сигнатур от сигнатур естественного или искусственного фона. Для создания искусственного фона, как правило, используются средства радиоэлектронной и оптикоэлектронной борьбы (станции активных помех и ложные цели). Таким образом, основным назначением методов и средств защиты кораблей по физическим полям в верхней полусфере является снижение их заметности до уровней естественного или искусственного фонов.

Работы в области защиты надводных кораблей по физическим полям в верхней полусфере были развернуты в Институте в начале 1960-х годов.

В круг задач по решению проблемы радиолокационной защиты кораблей вошли (рис. 2): изучение механизма формирования вторичного радиолокационного поля; исследование структуры рассеянных сигналов; выявление вклада отдельных источников; изыскание путей и методов управления уровнем отраженного поля.

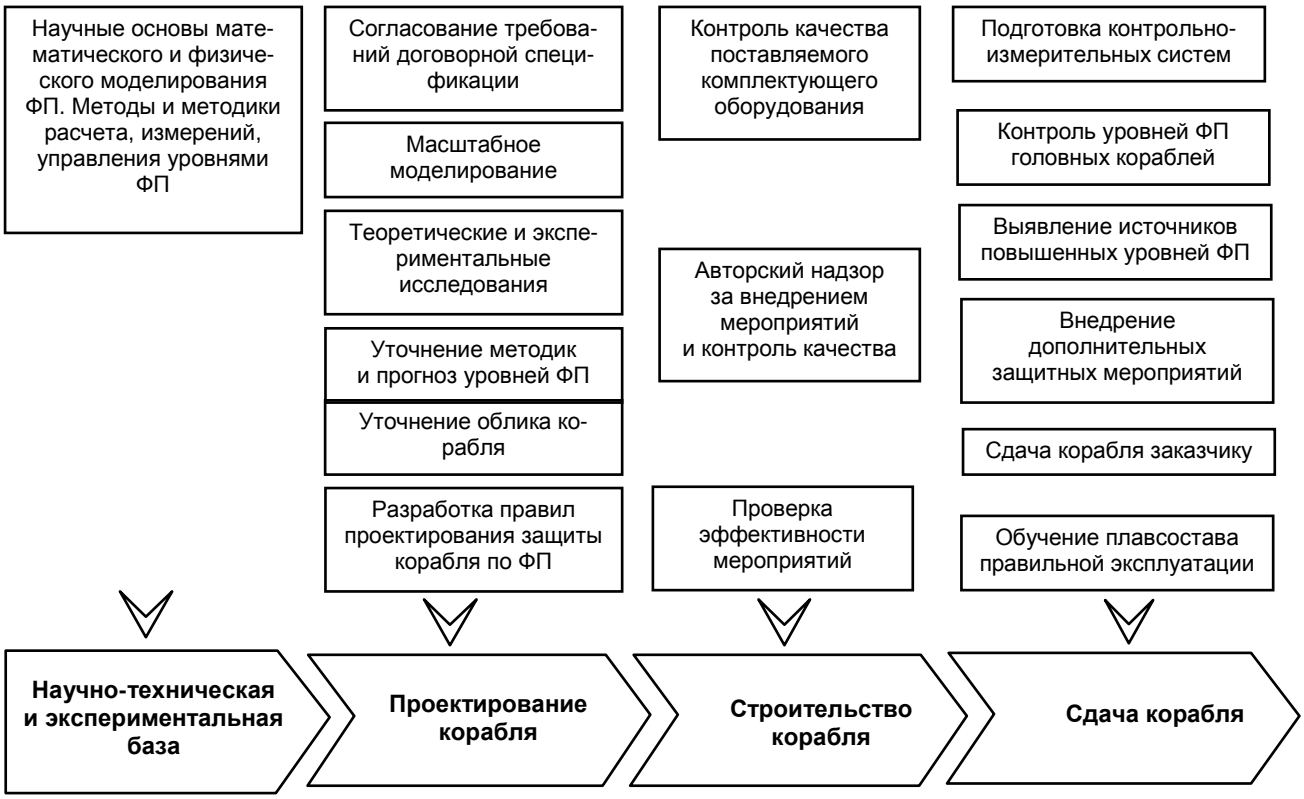



Рис.2. Схема работ института в обеспечение создания надводных кораблей с низким уровнем физических полей (ФП).

Решение этих задач предполагало проведение работ по следующим направлениям: построение физико-математических моделей, адекватных реальным физическим процессам формирования вторичного радиолокационного поля телами сложной формы, находящимися на подстилающей поверхности; разработка методов и средств физического моделирования процессов рассеяния электромагнитных волн на морских объектах; создание средств измерений рассеянного поля объектов в натурных условиях; разработка малозаметных архитектурных обликов кораблей и радиопоглощающих конструкционных материалов и покрытий [1–3].

Изучение вторичного радиолокационного поля было начато с разработки физико-математической модели процессов рассеяния электромагнитных волн на морских объектах. Создание методики расчета уровня отраженного от корабля радиолокационного поля было одним из наиболее актуальных, но и наиболее трудных разделов работы. Оно требовало разработки теоретического подхода к решению широкого круга задач дифракции электромагнитных волн на объекте сложной формы, каковым является корабль, с учетом влияния морской поверхности. Эти исследования завершились в 1963 г. выпуском первой расчетной методики «Приближенный метод расчета средней ЭПР корабля с учетом его качки на морском волнении». В 1981 г. была выпущена инженерная методика расчета отражения от кораблей, специально приспособленная для использования ее в

условиях ПКБ (дан алгоритм расчета, приведено много частных примеров расчета радиолокационного отражения от корабля вручную).

После проведения первых поисковых исследований в направлении радиолокационной защиты кораблей в 1965 г. был создан первый натурный измерительный комплекс ВР-711 на авиационном носителе. В 1975 г. встал вопрос о необходимости создания берегового измерительного комплекса – уже в стационарном исполнении. Он должен был обеспечить не только выполнение необходимых НИР, но и контроль эффективной площади рассеяния (ЭПР) сдающихся головных кораблей. Такой комплекс, получивший название РИК-Б, был разработан по заказу ВМФ и установлен на Балтийском полигоне в 1977 г. Комплекс отличался от всех предыдущих весьма подробным метрологическим обоснованием его характеристик. Он был обеспечен оптическими и телевизионными средствами наведения, радиосвязью, системой эталонирования и другими устройствами. С помощью РИК-Б в период 1978–1981 гг. измерены ЭПР более десятка кораблей и судов ВМФ. В 1980 г. совместно с Черноморским филиалом института на территории ЧВВМУ им. П.С. Нахимова, вблизи г. Севастополя, был создан еще один стационарный береговой радиолокационный измерительный комплекс РИК-С. Целью создания такого комплекса было обеспечение возможности натурных исследований отражения от кораблей, находящихся на Черном море. В комплексе РИК-С была впервые применена экспресс-обработка результатов измерений, позволяющая определять параметры измеряемого случайного процесса в темпе эксперимента.

Уже самые первые натурные измерения радиолокационных отражений от кораблей показали, насколько они трудоемки. Трудно все – и организация выхода кораблей, и обеспечение маневрирования в требуемых секторах курсовых углов и углов места, и возможность использования подходящих сезонных погодных условий. Стало ясно, что натурные исследования кораблей, являясь важным источником информации о природе отраженных радиолокационных сигналов, не могут служить средством разработки мер радиолокационной защиты кораблей. Все эти трудности заставляли вновь и вновь задумываться над возможностями физического моделирования процесса отражения. Расчеты показывали, что при приемлемых размерах моделей кораблей и лабораторных помещений моделирование возможно осуществить на волнах длиною порядка одного миллиметра. В те годы этот диапазон электромагнитных волн не был освоен. Единственным реальным путем являлось гидроакустическое моделирование. Измерительные возможности первого стенда, созданного в 1961 г. и названного стендом ГАМ, позволили начать изучение закономерностей отражения волн как от моделей кораблей, так и от его элементов, аппроксимируемых телами простой формы. На основе модельных измерений

Рис.3. Стенд гидроакустического моделирования радиолокационных отражений.

были выданы первые конкретные рекомендации по усовершенствованию архитектуры корпусных конструкций кораблей. В 1973–1975 гг. продолжалось дальнейшее усовершенствование измерительных возможностей стенда ГАМ (рис.3), позволившее получать на экране осциллографа двухмерную картину локальных источников отражения от элементов корабля. Это позволило проводить измерения радиолокационного образа корабля, а также вести исследования, определяющие его искажение или маскировку. В процессе этих исследований был создан лабораторный гидроакустический материал, позволявший имитировать радиопоглощающие материалы, применяемые на кораблях. В дальнейшем исследование радиолокационных изображений кораблей было продолжено по линии разработки алгоритмов распознавания. В настоящее время стенд ГАМ располагает современной системой цифровой обработки результатов в темпе эксперимента.

Несмотря на то что осуществление моделирования кораблей гидроакустическим методом оказалось наиболее доступным, с самого начала предпринимались попытки осуществить электродинамическое моделирование, основанное на тех же физических принципах, что и реальная радиолокация, позволяющее получать весь комплекс радиолокационных характеристик корабля. В частности, это вызывалось необходимостью вести исследования на различных поляризациях, что при гидроакустическом методе невозможно (гидроакустические колебания скалярны). Дело ограничивалось прежде всего отсутствием серийно выпускаемых приемо-передающих элементов (генераторные высокочастотные лампы, детекторы и пр.) миллиметрового диапазона длин волн. К I972 г. появились первые опытные образцы генераторных ламп обратной волны миллиметрового диапазона (1.5–2 мм), созданные ИРЭ АН УССР. Это позволило выполнить разработку измерительного стенда электродинамического моделирования (ЭДМ) кораблей (рис. 4).

Рис.4. Стенд электродинамического моделирования
для решения внешних задач морской радиолокации.

В период 1974–1981 гг. на стенде ЭДМ было выполнено моделирование для 15 кораблей, проводившееся по договорам с ПКБ в процессе их проектирования.

Что касается вопросов создания средств радиолокационной защиты (корабельных радиопоглощающих материалов), реализовать такой проект силами лаборатории поначалу не удалось (нужно было привлекать специалистов-химиков, создавать химическую лабораторию). Для решения этой задачи был привлечен более широкий круг предприятий Минхимпрома, Миннефтехимпрома, Минцветмета, Минвузов и Минсудпрома. Работы выполнялись в двух основных направлениях: разработка конструкционных радиопоглощающих материалов (КРПМ) на основе стеклопластиков, создание тонкослойных широкодиапазонных радиопоглощающих покрытий (РПП). На долю института выпали разработка требований к параметрам РПМ, электродинамические исследования структу-

ры РПП и измерение готовых образцов, контроль эксплуатационных параметров, оценка эффективности применения этих средств на кораблях и научно-техническое сопровождение процессов разработки, изготовления и внедрения. Для возможности широкого применения РПП на кораблях необходимы были покрытия с малым весом, малой толщиной, прочные и стойкие к жестким морским условиям. Эти требования наложили свой отпечаток на характер и направление работ в данной области. Из полученных к 1974 г. образцов радиопоглощающих покрытий РПП «Лак» и РПП «Ферроэласт» были рекомендованы для дальнейших опытно-конструкторских проработок. Доработка, изготовление опытной партии и натурные испытания покрытия «Лак» были осуществлены в период 1976–1979 гг. В результате сравнительных натурных испытаний на малом противолодочном корабле была установлена его достаточно высокая эффективность. В процессе выполнения этих работ была разработана и впервые опробована в заводских условиях прогрессивная лакокрасочная технология изготовления и нанесения покрытий на корабельные конструкции. Проверка радиотехнических и физико-механических характеристик покрытия «Лак», находящегося в эксплуатации на корабле более четырех лет, показала, что материал имеет достаточно хорошие перспективы внедрения в кораблестроение. Приказом Главкома ВМФ покрытие «Лак» было в 1981 г. принято на снабжение флота.

Подводя итоги работы института до 1991 г., можно сказать, что к этому времени в области радиолокационной защиты кораблей было сделано достаточно многое.

Отметим наиболее важные работы.

1. Изучены особенности рассеяния радиоволн на морских объектах в сантиметровом, дециметровом и декаметровом диапазонах волн. Разработаны рекомендации по радиолокационной защите этих объектов с учетом результатов проведенных исследований.

2. Созданы современные измерительные комплексы для проведения натурных исследований, лабораторные стенды гидроакустического и электродинамического моделирования кораблей.

3. Накоплен большой опыт натурных исследований структуры отраженного поля и коэффициентов защиты кораблей. Разработана методика детального исследования модели корабля, выявления наиболее отражающих его элементов и способов их устранения. Определены закономерности связей между поляризационными, амплитудными и фазовыми характеристиками отраженного поля кораблей в верхней полусфере. На опыте моделирования более 30 проектов разработаны правила проектирования кораблей со сниженной радиолокационной заметностью. Разработана инженерная методика расчета уровня отраженного поля кораблей и передана в ПКБ для использования.

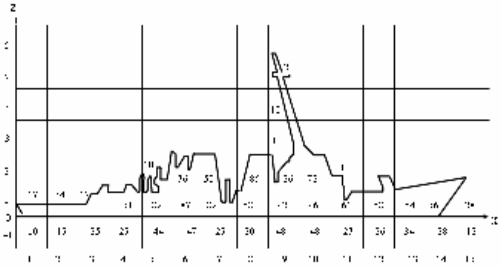
4. Мероприятия по архитектурной защите, разработанные в ходе моделирования головных кораблей, спроектированных за последние годы, использованы в той или иной степени при их постройке.

5. Совместно с промышленностью разработан ряд радиопоглощающих материалов, которые внедрены в кораблестроение. Выработаны правила размещения радиопоглощающих материалов на кораблях.

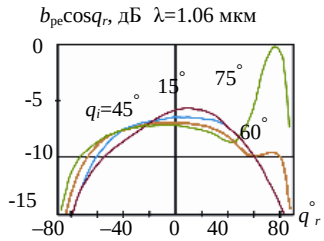
Внедрение комплекса указанных выше средств и мероприятий позволило существенно снизить уровень отражения от кораблей и добиться соответствия основных радиолокационных характеристик кораблей возможностям средств радиоэлектронного противодействия и тем самым повысить защищенность отечественных кораблей от угрозы поражения ракетным оружием с радиолокационными головками самонаведения.

Помимо работ в области радиолокационной защиты с 1974 г. начали проводиться исследования по оптиколокационной защите кораблей (рис.5). Все эти годы в институте велись активные работы по созданию экспериментальной базы, широко развернулись

научные исследования отражательных свойств корабельных лакокрасочных покрытий и оптиколокационных характеристик корабельных конструкций. В этом направлении были разработаны методика расчета моностатических оптиколокационных характеристик кораблей, а также методика определения оптиколокационных характеристик корабельных конструкций методом физического моделирования, введен в эксплуатацию стенд светового моделирования процессов морской лазерной локации. Разработана оптическая модель корабля, учитывающая пространственно-временные и поляризационные характеристики лазерного излучения. Получены соотношения между оптиколокационными и радиолокационными характеристиками рассеяния морских объектов и взволнованной морской поверхности. Предложен способ измерений оптиколокационных характеристик объектов, находящихся в воде. Создана современная экспериментальная база для модельных и натурных исследований. Нужно отметить, что задачи, решаемые в области светолокационной защиты кораблей, имеют много общего с задачами радиолокационной защиты, и их совместное решение обогащает оба направления.



Оптиколокационный портрет модели. В каждой ячейке измерительной сетки проставлено значение ее средней ЭПР.




Измеренные бистатические индикатрисы рассеяния лакокрасочного покрытия. $b$ – коэффициент яркости; $l$ – длина волны излучения; $q_r$ – угол наблюдения; $q_i$ – угол падения лазерного луча, измеренный от вертикали.

Рис.5. Защита кораблей по вторичному оптиколокационному полю.
Длина волны излучения: при измерении оптиколокационных характеристик объектов – 0.63 и 1.15 мкм; при измерении коэффициентов отражения материалов – 0.2÷1.2 и 3.5÷14 мкм; чувствительность по коэффициенту яркости: –40÷–30 дБ.

В 1979 г. в институте была начата работа по тепловой защите кораблей (рис.6). Развертывание работ по указанной тематике диктовалось необходимостью комплексного подхода к проблеме защиты кораблей от ракетного оружия, оснащенного системами как радиолокационного и лазерного, так и теплового наведения. Кроме того, к этому времени стала очевидной необходимость исследований энергетических характеристик тепловых полей кораблей, так как традиционные исследования распределения температуры и теплофизических свойств основных излучающих элементов кораблей не могли обеспечить дальнейшее увеличение их защищенности от оружия, снабженного тепловыми устройствами самонаведения.

За сравнительно короткий срок были впервые разработаны методики проведения бесконтактных радиометрических измерений характеристик тепловых излучений корабля в целом и его элементов. Была приобретена отечественная тепловизионная аппаратура и начаты регулярные измерения тепловых полей кораблей с целью набора статистики. Предложены новые направления снижения теплового излучения кораблей и проведены комплексные натурные испытания по использованию системы водовпрыска в факел отработанных газов энергетической установки, а также универсальной системы водяной защиты в качестве средств защиты корабля по тепловому полю. Испытания проводились

с применением радиометрической и тепловизионной аппаратуры и показали эффективность таких средств тепловой защиты. В последние годы была создана физико-математическая модель корабля, описывающая процесс пространственно-временнóго формирования теплового поля, разработаны новые эффективные методы и средства снижения общего уровня теплового поля корабля, предложена программа стандартизации по вопросам тепловой защиты кораблей на ближайшие 10 лет.

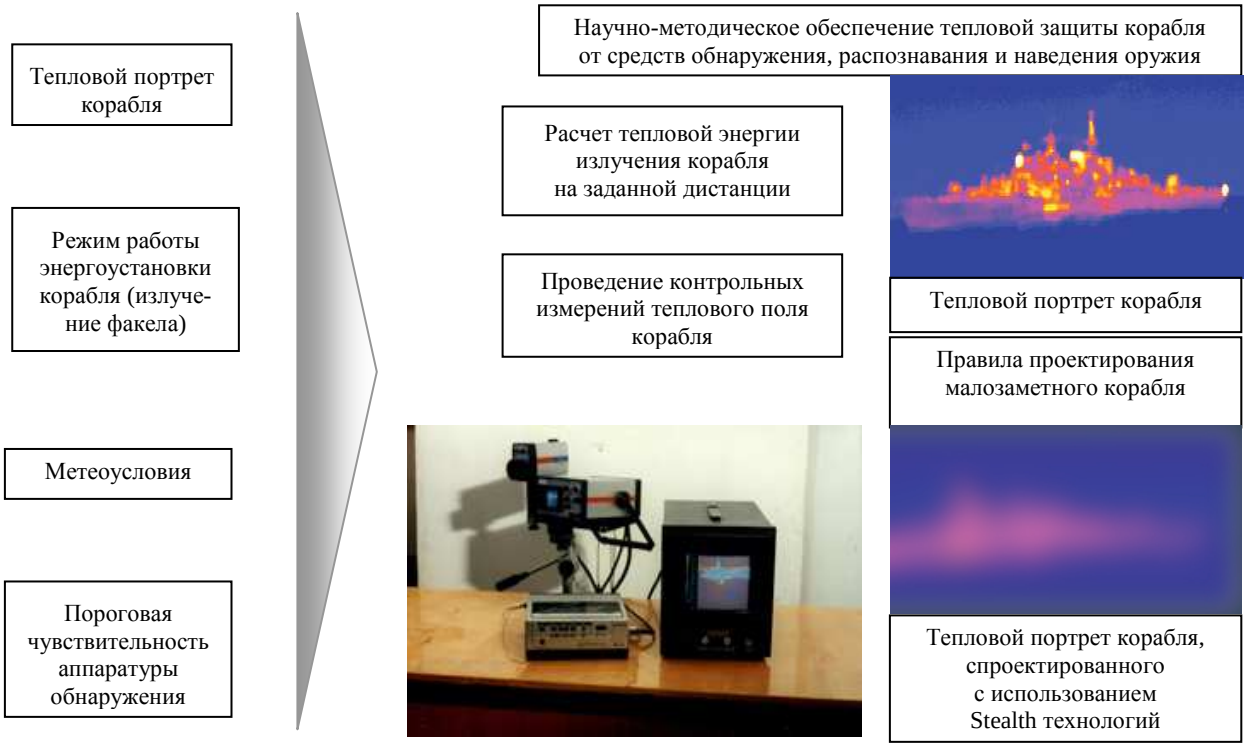
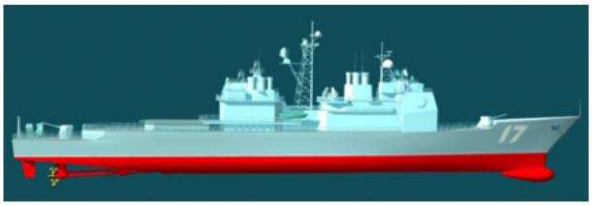



Рис.6. Защита корабля по тепловому полю.

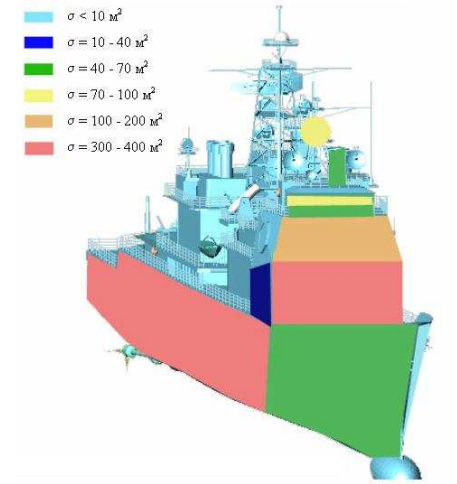
Научные и технические задачи, над решением которых работал институт в области исследований физических полей морских объектов в верхней полусфере в конце XX и начале XXI в., были традиционно связаны с развитием и совершенствованием методов расчета, экспериментальной базы и средств управления уровнями полей. Они формировались в соответствии с требованиями времени и получаемых заказов. Разработанные в 1960–70-х годах XX в. методы расчета были предназначены для определения интегральных характеристик вторичного радиолокационного поля корабля – его средней величины эффективной площади рассеяния (ЭПР). Это соответствовало условиям использования существовавших в то время радиолокационных станций, разрешающая способность которых не позволяла наблюдать раздельно различные элементы корабля. В связи с совершенствованием РЛС в части увеличения разрешающей способности по дальности и азимуту за счет применения сигналов сложной формы и синтезированной апертуры возникла необходимость расчета радиолокационных портретов корабля. Для решения этой задачи на основе математического алгоритма обобщенной функции неопределенности был разработан соответствующий метод расчета. К этому времени развитие персональных компьютеров, программ расчета и представления результатов расчета позволило пересмотреть имеющиеся возможности и более оперативно решать новые задачи. Необходимость их решения была связана также с развитием в 1990-е годы во многих странах технологии постройки малозаметных кораблей («стелс»-технология). В результате к началу XXI в. были созданы современные методы расчета как интегральных, так и диффе-

ренциальных радиолокационных характеристик кораблей, которые могут быть использованы уже на первых этапах проектирования. Важными особенностями этих методов являются быстрота расчетов, автоматизация, возможности оперативного изменения параметров для выбора оптимальной архитектуры корабля и наглядного представления результатов. Важна также совместимость методов расчета электромагнитных сигнатур кораблей с современными средствами компьютерного проектирования, заменившими привычные чертежи.

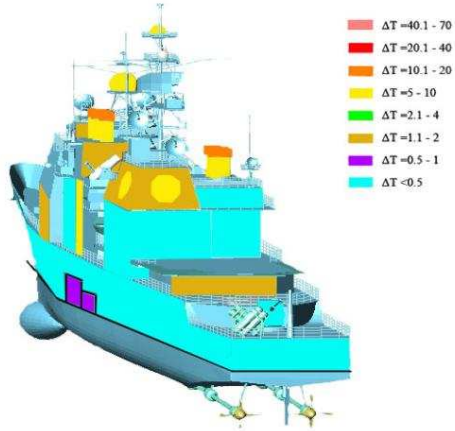
В 2009 г. институтом был разработан пакет программ «3D-IMAGE» в обеспечение технологии электромагнитного проектирования «стелс»-кораблей. Помимо прогнозирования вторичного радиолокационного поля корабля этот пакет программ позволил прогнозировать собственное тепловое поле корабля и вторичное оптиколокационное поле (рис.7). В результате расчета оптиколокационных портретов корабля определяются расположение источников вторичного оптиколокационного поля, уровни их заметности в виде цветовой гаммы на трехмерной модели корабля.



Виртуальная модель крейсера при его наблюдении
с курсового угла 270 градусов и угле места 5 градусов




Трехмерный оптиколокационный портрет корабля
в уровнях ЭПР




Трехмерный портрет контрастных температур
крейсера с курсового угла 135 градусов

Рис.7. Компьютерное электромагнитное проектирование корабля по физическим полям
в верхней полусфере.

Программа расчета температурных зон на поверхности корабля позволяет рассчитать и получить распределение контрастных температур корпусных конструкций, а также газовыпускающих устройств энергетической установки. На основании распределения контрастных температур строятся трехмерные тепловые портреты корабля.

Наряду с теоретическими разработками в институте развивалась и совершенствовалась экспериментальная база, в частности натурные измерительные комплексы. Радиолокационные измерительные комплексы в XX в. изготавливались, как правило, на базе радиолокационных станций орудийной наводки, например типа «МР-104». Они предназначались для измерений интегральных характеристик вторичного радиолокационного поля морских объектов. Таким был мобильный комплекс РИК-П, созданный в 1986 г. для измерений эффективной площади рассеяния (ЭПР) морских объектов. Комплекс вполне соответствовал поставленным перед ним требованиям, однако в 1990-х годах (в разгар «стелс»-эпохи) возникла необходимость определения не только интегральных, но и дифференциальных радиолокационных сигнатур кораблей. Возможность развития радиолокационной измерительной базы в этом направлении появилась в результате строительства в 1990 г. отдельного здания радиолокационного стенда в районе г. Приморска. В нем была смонтирована навигационная РЛС «Наяда-5», которая была преобразована в измерительный комплекс РИК-ЦНИИ. Кроме того, на верхней площадке была установлена измерительная радиолокационная головка самонаведения, позволявшая измерять блуждание фазового центра по углам и дальности для исследуемого морского объекта. Для получения и регистрации в компьютере радиолокационных портретов морских объектов был разработан аналого-цифровой «Конвертер», позволивший уже в 1993 г. ввести и отобразить информацию в компьютере. Это обеспечивало получение в реальном масштабе времени (за 3–5 с) оценок таких характеристик сопровождаемого судна, как дистанция до него, пеленг на цель, курс, длина, ширина и водоизмещение.

Следующим шагом в развитии радиолокационных измерений стало создание для Приморского полигона комплекса миллиметрового диапазона РИК-8. Это позволило выполнять измерения сразу в двух диапазонах – традиционном 3 см и перспективном 8 мм. Комплекс РИК-8 дал возможность оценивать заметность корабля в частотном диапазоне, важном для перспективных головок самонаведения противокорабельных ракет. Последним достижением в области измерения радиолокационных характеристик стало создание когерентного измерительного комплекса РИК-Э с полным поляризационным приемом. РИК-Э состоял из трех отдельных измерительных радаров. Он дал возможность измерять как интегральную ЭПР морских объектов (матрицу рассеяния), так и дифференциальную (одно- и двухмерные портреты), а также доплеровские спектры и статистические характеристики рассеяния. По своим техническим характеристикам он явился вполне конкурентоспособным устройством по сравнению с зарубежными измерительными системами.

В XXI в. институтом были продолжены работы по созданию конструкционных радиопоглощающих материалов на основе современных композиционных стеклопластиков. Было разработано несколько вариантов образцов КРПМ на основе полимерных конструкционных материалов (ПКМ), используемых в отечественном судостроении, например для строительства кораблей среднего водоизмещения типа «Корвет». Наилучшими радиотехническими и прочностными параметрами обладали образцы двух типов – плоскослоистые и с геометрическими неоднородностями. В плоскослоистом КРПМ поглотителями электромагнитной энергии являлись тонкие полупроводящие слои на основе углеродных тканей, отделенные друг от друга слоями радиопрозрачного стеклопластика. В КРПМ с геометрическими неоднородностями поглощение осуществлялось за счет многократных переотражений падающей радиоволны на геометрических неоднородностях трапецеидального вида. В своей конструкции они имели три основных слоя: два несущих и средний слой с гофрированной структурой, где в качестве легковесного заполнителя использовался пенопласт, обладающий хорошими теплоизолирующими свойствами. В результате выполненных работ впервые были созданы сверхширокополосные КРПМ, эффективно работающие в сантиметровом и дециметровом диапазонах длин

волн. Как показали экспериментальные исследования жесткости, прочности и работоспособности разработанных КРПМ, они могут применяться при создании конструкций кораблей водоизмещением более 4000 т (классы «фрегат», «эсминец», «крейсер»), например для изготовления бортов надстроек, стенок ангаров летательных аппаратов, кожухов систем газоотводов, ограждений систем вооружения и проч.

***

Подводя итоги, можно констатировать, что за истекший полувековой период, на наш взгляд, выполнен значительный комплекс работ, направленный на создание, развитие и совершенствование отечественных кораблей в части их электромагнитной защиты по физическим полям в верхней полусфере. Получен целый ряд результатов, имеющих большое практическое значение, созданы научные и производственные основы отечественной «стелс»-технологии. Внедрение разработанных методов и средств радиоэлектронной защиты позволило существенно снизить уровень физических полей кораблей в верхней полусфере и добиться соответствия этих полей возможностям средств радио- и оптикоэлектронного противодействия и тем самым значительно повысить защищенность отечественных кораблей от угрозы поражения ракетным оружием с радиолокационными, лазерными и тепловыми системами самонаведения. При этом работы Института в рассмотренном направлении опережали аналогичные зарубежные исследования.

Большой вклад в решение проблемы защиты кораблей по физическим полям верхней полусферы внесли: Л.П.Купцова, В.П.Пересада, И.В.Васильевский, В.О.Кобак, Е.А.Штагер, М.Л.Варшавчик, Л.И.Богин, И.Н.Зражевская, Ю.Д.Донков, А.Г.Журавлева, Л.В.Хомякова, Ю.М.Патраков, П.А.Епифанов, Ю.Г.Благодарев, В.П.Бобылев, Д.К.Синицын, А.Ю.Андреев, С.О.Засухин и др.

**Литература**

1. *Зражевская И.Н., Патраков Ю.М.* Очерк истории 74 лаборатории // Флагман корабельной науки. ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова. 2007. № 3.
2. *Патраков Ю.М.* Сверхвысокочастотные и оптические поля в корабельной электродинамике // Тр. II Междун. конф. «Военно-морской флот и судостроение в современных условиях». ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова, СПб., 1996.
3. Радиолокация России. Биографическая энциклопедия. М.: Столичная энциклопедия, 2007. 618 с.

УДК 681.5:532

© *Е.И.Якушенко*[1], *Ю.В.Гурьев*[1], *И.В.Ткаченко*[2], 2012
[1]Военно-морской инженерный институт (филиал) ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»
[2]Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
uvgur@mail.ru

# ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Статья посвящена междисциплинарному направлению комплексного обеспечения скрытности морских подводных объектов. Предложенные решения состоят в контроле и управлении физическими полями объекта с помощью компьютерного бортового комплекса. Дано описание созданного прототипа – электронного макета, его математическое и программное обеспечение. Результаты имитационного моделирования продемонстрировали эффективное снижение вероятности обнаружения подводных объектов группой наблюдателей, осуществляющих поиск объектов по разнородным физическим полям.

**Ключевые слова:** внутренние волны, гидродинамические следы и аномалии, информационные технологии, математическое моделирование, морской подводный объект, физические поля, управление физическими полями.

Одной из важнейших научно-технических проблем, стоящих перед флотами держав с высоким уровнем развития технологий, является обеспечение скрытности и защиты морских подводных объектов (МПО) по физическим полям. Актуальность этой задачи подтверждается практическим опытом и кратко может быть выражена так: «обнаружен – уничтожен».

Для обеспечения скрытности используются два взаимодополняющих подхода. Первый возник практически одновременно с появлением подводных объектов и состоит в принятии проектно-конструкторских решений, направленных на снижение уровня генерируемых физических полей техническими средствами морского подводного объекта (МПО). Многолетние усилия ученых, в первую очередь Академии наук, инженеров и проектантов обеспечили определенные результаты по снижению заметности современных подводных объектов [1]. По отдельным физическим полям, например гидроакустическому, удалось достичь уровней, близких к фоновым значениям.

Однако подводные объекты создают не только гидроакустическое, но и десятки других физических полей (известно около 40 их разновидностей). По некоторым из них, например гидрофизическим, конструктивные решения не обеспечивают заметного снижения возмущений, вызванных самим фактом движения огромного водоизмещающего объекта в морской неоднородной среде.

Для борьбы с возмущениями не только этих, но и других физических полей, эффективен второй путь обеспечения скрытности, состоящий в контроле и управлении этими полями непосредственно в процессе эксплуатации МПО. При его реализации повышение скрытности достигается управлением параметрами движения и режимами работы технических средств, направленным на снижение уровня физических полей и, как следствие, минимизацией вероятности обнаружения.

Практическим инструментом реализации нового подхода должен стать бортовой информационно-измерительный комплекс контроля и управления физическими полями

(БИИКК ФП) МПО. Целью такого управления является заметное ослабление или исключение демаскирующих признаков, обусловленных физическими полями. Для достижения цели комплекс осуществляет автоматическую выработку в режиме реального времени рекомендаций по выбору маршрута и параметров движения, а также работы технических средств объекта в условиях реальной изменяющейся внешней, гидрометеорологической и гидрофизической обстановки.

Сложность научных и технологических задач, стоящих перед разработчиками комплекса, предопределяет поэтапный подход к его созданию. Первым практическим шагом в этом направлении явилось создание электронного макета бортового комплекса – его виртуального прототипа, который стал компьютерным инструментом практической проверки основных идей и научно-технических положений, заложенных в проект, отработки математического и программного обеспечения будущего натурного комплекса.

Работа по созданию электронного макета комплекса была начата в Военно-морском инженерном институте в 2008 г. в тесном сотрудничестве с ведущими учреждениями Российской академии наук и профильными отраслевыми институтами страны, среди которых Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова, Институт машиноведения им. А.А.Благонравова, Институт машиноведения УрО РАН, Институт проблем машиноведения (СПб), Институт Геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского, ФГУП ЦНИИ «Электроприбор», ФГУП ЦНИИ им. А.Н.Крылова, ГосНИИАС и 1 ЦНИИ МО РФ.

В результате совместных усилий было разработано математическое и программное обеспечение, имитирующее работу всех основных элементов натурного бортового комплекса.

Из всего многообразия физических полей, создаваемых МПО, в рабочую версию электронного макета были включены каналы управления по гидроакустическому (ГАП), магнитному (МП), гидрофизическому (ГФП) и некоторым другим полям. Остановимся подробнее на моделях каналов управления физическими полями и проблемах их дальнейшего развития.

Канал управления ГАП использует математическую модель первичного гидроакустического поля (ПГАП), построенную на объединении двух регрессивных моделей, одна из которых описывает распространение высоко-, а другая низкочастотных акустических возмущений. В основе самих регрессивных моделей лежат результаты статистической обработки экспериментальных данных. Для использования модели ПГАП необходимо задавать спектр МПО для различных режимов движения, в первую очередь при различных скоростях корабля. Такая модель в целом позволила описать первичное акустическое поле с точностью, достаточной для создания электронного макета бортового комплекса управления физическими полями.

Важнейшим элементом канала управления МП является математическая модель дипольного магнитного момента – основной характеристики магнитного состояния МПО. Для его расчета и анализа могут быть использованы теоретические методы, основанные на аналитическом описании полной свободной энергии монокристалла, эмпирико-эксплуатационные методы контроля магнитного состояния корпуса с помощью магнитоизмерительной аппаратуры, теоретико-статистические методы оценки магнитного состояния, основанные на моделях Вебера–Максвелла и Прейзаха, а в последнее время и численные методы.

Анализ показывает, что для электронного макета комплекса эффективным является использование моделей Вебера–Максвелла и Прейзаха, которые обеспечивают надежное прогнозирование изменения магнитного поля объекта. Однако они имеют принципиальный недостаток – описывают лишь начальный участок петли магнитного гистерезиса ферромагнетика. В результате исследований, проведенных в Военно-морском инженер-

ном институте, эти модели получили дальнейшее развитие [2]. Была предложена более полная и адекватная модель для ферромагнетиков с макроструктурой, т.е. для материалов, имеющих физическую неоднородность, характерную для корпусов МПО (магнитную анизотропию зерен, дислокации различного типа, неравновесные точечные дефекты и включения различного химического состава, внутренние напряжения и т.д.). В новой модели получены аналитические выражения замкнутой петли магнитного гистерезиса при статическом намагничивании и размагничивании

$$J_{11} = \frac{2}{3} m n_0 \frac{X}{D}; \qquad J_{12} = m n_0 \left[ \frac{2}{3}\frac{X}{D} + \left(1 - \frac{L^2}{X^2}\right)\left(\sqrt{1 - \frac{L^2}{X^2}} - \frac{2}{3}\sqrt{\frac{X^2}{D^2} - \frac{L^2}{D^2}}\right)\right]$$

$$J_{13} = m n_0 \left[ \frac{1}{3}\frac{X}{D} + \frac{1}{2} - \frac{1}{6}\frac{D^2}{X^2} + \frac{\left(D^2 - L^2\right)^{3/2}}{6X^2 D} - \frac{\sqrt{X^2 - L^2}}{6X^2 D}\left(2X^2 - 3XD + L^2\right)\right]$$

$$J_{21} = m n_0 \left[ \begin{array}{l} \frac{2}{3}\frac{X}{D} - \frac{1}{6X^2 D}\left(2X^2 - D^2 + X\cos\alpha_0\right)\sqrt{X^2 + D^2 + 2DX\cos\alpha_0} + \\ + \frac{1}{2}\frac{X + D\cos\alpha_0}{\sqrt{X^2 + D^2 + 2DX\cos\alpha_0}}\left(\cos\alpha_0 - \cos\alpha_1\right) + \\ + \frac{1}{6X^2 D}\left(2X^2 - D^2 + DX\cos\alpha_1\right)\sqrt{X^2 + D^2 + 2DX\cos\alpha_1} \end{array} \right]$$

$$X = \mu_0 H, \quad L = [m, D],$$

$$\cos\alpha_0 = \frac{1}{DX}\left(\sqrt{\left(D^2 - L^2\right)\left(X^2 - L^2\right)} - L^2\right), \quad \cos\alpha_1 = -\frac{1}{DX}\left(\sqrt{\left(D^2 - L^2\right)\left(X^2 - L^2\right)} + L^2\right),$$

здесь $J_{ij}$ – намагниченность на различных интервалах петли гистерезиса, $m$ – модуль вектора магнитного момента молекул ферромагнитного тела, $n_0$ – число молекул в единице объема, $H$ – модуль вектора напряженности магнитного поля, $\mu_0$ – постоянная внешнего магнитного поля, $D$ – упругая сила.

Лабораторные испытания подтвердили достоверность получаемых с помощью этой модели результатов, что, в частности, демонстрирует сравнение экспериментально построенной петли магнитного гистерезиса с результатами расчетов по приведенным аналитическим зависимостям для двух марок сталей, представленное на рис.1.

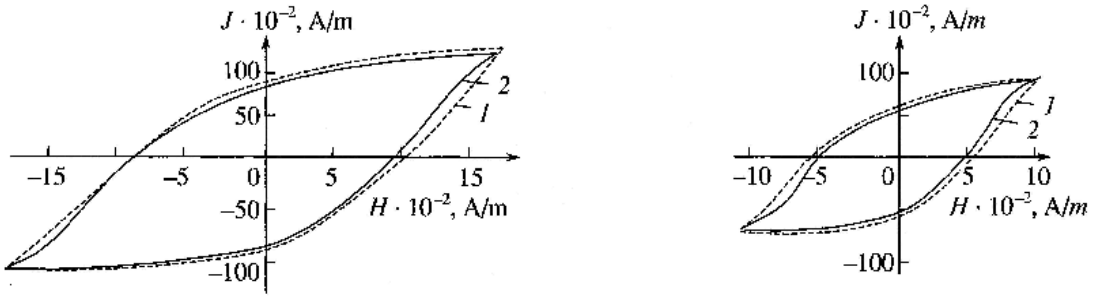



Рис.1. Экспериментальные (*1*) и расчетные (*2*) кривые намагничивания для двух марок стали: АК-29 и АК-32 (левый и правый графики соответственно).

Использование этой модели в бортовом комплексе обеспечивает прогноз магнитного состояния объекта в процессе плавания при воздействии внешних факторов (маг-

нитного поля Земли, гидростатического давления), геометрических размеров, параметров движения и режимов работы технических средств. По расчетному значению дипольного магнитного момента определяются дальность и вероятность обнаружения с учетом нахождения сил и средств наблюдения.

При своем движении в натурных условиях МПО создает целую систему различных возмущений гидрофизической природы, которые объединяют общим термином «вызванные гидрофизические поля». При этом основные демаскирующие признаки создают такие гидрофизические процессы, как внутренние волны, возникающие при взаимодействии объекта с природным вертикальным скачком плотности – пикноклином, изменение естественных значений параметров турбулентности морской среды и вихревые структуры, образующиеся за корпусом и органами управления движением.

Трудность их моделирования связана с необходимостью адекватного учета пространственно-временно́й неоднородности различных полей морской среды. В противном случае многие важные демаскирующие факторы, например внутренние волны, не будут учитываться. С учетом сказанного для моделирования вызванных гидрофизических полей возможно использование либо полуэмпирических моделей, основанных на статистической обработке данных натурных наблюдений, либо моделей, базирующихся на дифференциальных уравнениях турбулентных течений.

В уже созданном электронном макете бортового комплекса использован первый подход. Для моделирования возмущений (аномалий) используются статистические модели в виде регрессивных соотношений, позволяющие определить параметры аномалий в зависимости от гидрофизических условий (стратификация поля плотности), скорости, глубины погружения и размеров объекта. Главным их практическим преимуществом является простота при обеспечении физически непротиворечивых результатов. Однако построенные на экспериментальных данных, они не имеют серьезного теоретического обоснования и не описывают всего многообразия практически важных гидрофизических условий.

Для совершенствования этих моделей необходимо получить научные данные о гидрофизических процессах, происходящих в натурных условиях. Для получения такой информации в ВМИИ используются методы компьютерного моделирования турбулентных течений стратифицированной жидкости. Для решения уравнений Рейнольдса и уравнений метода крупных вихрей, описывающих такие течения, применяются как лицензионные программы *Fluent*, так и программы, разработанные сотрудниками института [3]. Расчеты выполняются на высокопроизводительном вычислительном кластере ВМИИ.

Компьютерному моделированию таких течений предшествовало тестирование предложенных моделей и компьютерных программ. Адекватность моделирования подтверждается удовлетворительным согласованием численных результатов с данными физических экспериментов по измерению гидродинамических сил и структуры течений за телами простейшей формы в стратифицированной среде [4, 5]. Так расчеты гидрофизических полей за шаром, движущимся внутри пикноклина, показали, что непосредственно за телом формируется стационарная волна, вызванная вытесняющим воздействием самого тела и влиянием его устойчивых вихревых структур. Далее вниз по потоку развиваются нестационарные процессы взаимодействия вихрей, а еще ниже происходит вырождение крупных вихрей и формирование блинообразных турбулентных пятен. Полученные результаты соответствуют структуре глубинного кильватерного следа за шаром в стратифицированной среде, экспериментально установленной сотрудниками Института прикладной физики РАН.

Эти и другие тестовые результаты, подтвердившие адекватность используемых моделей, позволили перейти к исследованию гидрофизических процессов, возникающих при движении объектов более сложной геометрии. Численное моделирование движения эллипсоида внутри вертикального слоя стратифицированной жидкости показало, что и в

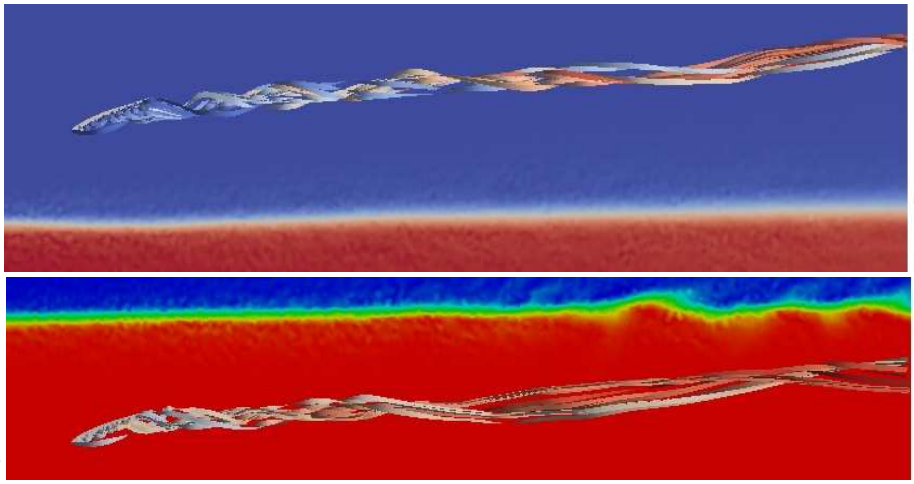
этом случае внутренние волны быстро затухают и основную роль играют вихревые процессы, проявляющиеся, в том числе, и в турбулентном перемешивании. Это приводит к отклонению параметров турбулентности от их фоновых значений. Однако силы Архимеда, действующие на жидкие частицы в стратифицированной по плотности среде, демпфируют турбулентные пульсации.

При движении вблизи пикноклина на малых скоростях в нем возникают устойчивые внутренние волны, которые при небольшой глубине его залегания могут вызвать возмущения на свободной поверхности моря, например в форме сликов.

Существенное влияние на заметность МПО могут оказать образующиеся за ним вихревые структуры, которые при определенных условиях всплывают к свободной поверхности и вызывают на ней возмущения, поддающиеся регистрации. Были проведены численные исследования влияния расположения объекта и его органов управления относительно пикноклина. В результате было установлено, что поведение вихревого следа существенно зависит от расположения тела относительно пикноклина.

На рис.2 представлена визуализация развития вихревого следа за крылом, моделирующим руль МПО. Видно, что при расположении крыла над пикноклином наблюдается всплытие следа к свободной поверхности, а при нахождении крыла под пикноклином последний, выполняя роль экрана, препятствует подъему следа вверх.

Аналогичное поведение отмечается и для вихревого следа за эллипсоидом. На рис.3 просматривается движение этого следа к свободной поверхности при нахождении тела над пикноклином. Вместе с тем при его движении под пикноклином могут возникнуть внутренние волны, демаскирующие при определенных условиях объект.



*а*

*б*

Рис.2. Взаимодействие вихревого следа крыла с пикноклином.
*а* – всплытие вихревого следа
при движении крыла над пикноклином; *б* – экранирование пикноклином вихревого следа.

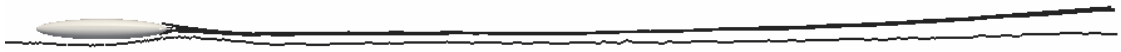


Рис.3. Всплытие следа за корпусом при движении над пикноклином при числе Фруда $Fr = V_0 / \sqrt{gL} = 0.075$
($V_0$ – скорость движения, $L$ – характерный размер корпуса).

Результаты тестирования и вычислительных экспериментов по исследованию гидрофизических полей позволяют сделать следующие выводы:

– разработанные математические модели и компьютерные программы обеспечивают адекватное прогнозирование ГФП, создаваемых движением МПО в натурных условиях;

– параметры гидрофизических процессов, непосредственно влияющие на скрытность МПО, являются сложными функциями характеристик морской среды и условий движения объекта;

– используемые в электронном макете БИКК ФП МПО приближенные математические модели гидрофизических полей требуют существенного усовершенствования на основе обработки и анализа результатов серийных вычислительных экспериментов с привлечением результатов натурных и модельных экспериментов.

Математическое и программное обеспечение подкомплекса анализа обстановки и выработки рекомендаций по повышению скрытности создавалось совместно Институтом проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН и Военно-морским инженерным институтом при ведущей роли академического института. Этот подкомплекс позволяет выполнить расчет параметров траектории и режимов работы технических средств МПО, оптимизированных по комплексному критерию обнаружения по нескольким физическим полям.

В результате электронный макет бортового комплекса впервые обеспечил информационную поддержку принятия решения по управлению МПО в режиме реального времени, оперативно реагируя на изменение гидрофизической, гидрологической и метеорологической обстановки.

Электронный макет позволяет решать несколько задач, главной из которых является расчет оптимальной (по комплексному критерию) траектории движения МПО при наличии в районе развертывания нескольких наблюдателей. Имеется возможность получения различных траекторий, оптимизированных по определенным критериям или их значениям, например для разных значений длины траектории. Выполненные исследования показали, что в ряде случаев даже незначительное увеличение ограничений на эту длину может привести к заметному снижению вероятности обнаружения.

Математическое и программное обеспечение макета бортового комплекса позволяет рассчитать вероятность обнаружения МПО отдельно по гидроакустическому, магнитному и гидрофизическому полю и ее комплексное значение с представлением полученных данных на отдельных участках и всей траектории в целом.

Проведенные исследования подтвердили принципиальную возможность создания натурного бортового комплекса контроля и управления физическими полями МПО, решающего задачу формирования научно обоснованных рекомендаций по выбору траектории по комплексному критерию обнаружения по нескольким физическим полям.

**Литература**

1. *Лавёров Н.П., Саркисов А.А.* Подводный флот: вклад российской науки // Вестник РАН. 2006. Т.76, № 8. С.737–746.
2. *Якушенко Е.И.* Модель магнитоупругого гистерезиса ферромагнитных тел сложной формы и ее применение в бортовом информационно-измерительном комплексе контроля уровней физических полей подводных лодок // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2008. № 4. С.76–85.
3. *Гурьев Ю.В., Ткаченко И.В.* Компьютерные технологии в корабельной гидродинамике. Монография. СПб.: Военно-морской инженерный институт, 2010.
4. *Гурьев Ю.В., Ткаченко И.В.* Моделирование обтекания тел вращения потоком стратифицированной жидкости на основе метода крупных вихрей // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2008. № 1. СПб.: Наука, 208. С.80–87.
5. *Гурьев Ю.В., Ткаченко И.В., Якушенко Е.И.* Влияние жидких границ на обтекание крыла малого удлинения // Изв. РАН. Механика жидкости и газа. 2011. № 6.

Статья поступила в редакцию 03.02.2012 г.

УДК 551.465

© *А.А.Родионов*[1], *Е.В.Семенов*[2], *А.В.Зимин*[1, 3], 2012
[1]Санкт-Петербургский филиал Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН
[2]Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, г.Москва
[3]Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
rodionov@ioras.nw.ru

# РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗА ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ МОРСКОЙ СРЕДЫ В ИНТЕРЕСАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СКРЫТНОСТИ И ЗАЩИТЫ КОРАБЛЕЙ ВМФ

Рассмотрены возможности создания систем оперативного анализа и прогноза гидрофизических полей морской среды для арктических морей России. Рассмотрены результаты расчетов для Белого и Баренцева морей, сделан вывод о необходимости и возможности создания в нашей стране системы оперативного прогноза и мониторинга гидрофизических полей в морях российской Арктики. Наличие систематических экспериментальных данных, дополняющих расчетные модели для случая описания интенсивных короткопериодных процессов с масштабами от единиц метров до единиц километров, позволит усовершенствовать численные расчеты.

**Ключевые слова:** система оперативного мониторинга, структура вод, геофизическая гидродинамика, внутренние волны, Белое море, Баренцево море.

Результаты теоретических исследований и опыт применения подводных сил свидетельствуют о том, что эффективность методов и средств обеспечения скрытности подводных объектов (ПО) существенно зависит от состояния гидрофизических полей (ГФП) океана как в непосредственной окрестности от него, так и в достаточно большой акватории с масштабом, определяемом дальностью действия гидроакустических и неакустических гидрофизических средств обнаружения противника. При этом важной является не только информация о состоянии гидрофизических полей в текущий момент времени, но и знание распределений полей в течение всего времени проведения боевых или учебных действий на море. Показатели скрытности ПО в зависимости от вертикальной стратификации ГФП и их особенностей в горизонтальном направлении могут изменяться в разы и даже на порядок. Для оценки показателей скрытности на основе информации о пространственно-временных распределениях основных ГФП (вектор скорости течений, температура, соленость и плотность морской воды, уровень моря) должны определяться функциональные характеристики (пространственно-временно́е распределение скорости звука, глубина залегания слоя скачка плотности, его толщина, вертикальные градиенты и горизонтальные градиенты плотности и др.), которые наиболее просто интерпретируются для решения задач боевой устойчивости сил флота. Таким образом, возникает задача воспроизведения и прогноза состояния океана в заданной акватории (выделенные районы Мирового океана, отдельные моря или их части) в интересах ВМФ. Для северных морей решение этой задачи существенно осложняется необходимостью прогнозирования характеристик снежно-ледяного покрова, а для большинства окраинных морей Арктики – еще и необходимостью учета стока крупных рек, оказывающих сильное влияние на режим течений и термохалинную структуру океана достаточно далеко от их устьев.

В океанологии прогноз фактического состояния морской среды на заданный временной интервал представляет собой задачу, к решению которой океанологи приступили относительно недавно. Для ряда районов Мирового океана гидрометеорологические службы

зарубежных стран уже внедрили в оперативную практику прогноз ГФП морских акваторий с заблаговременностью в несколько суток. В настоящее время в Великобритании для оперативного прогноза используется прогностическая океанская ассимиляционная модель FOAM (Forecast Ocean Assimilation Model), которая отвечает потребностям анализа и прогнозирования состояния Мирового океана, выдвигаемым Королевским военно-морским флотом. Модель FOAM позволяет выполнить в реальном масштабе времени анализ и прогноз температуры, солености, скоростей течений и морского льда в море на срок до 5 сут вперед. Модель основана на объединенной гидродинамической модели общей циркуляции океана и модели морского льда. Ее глобальная версия имеет пространственное разрешение в 1° по горизонтали и работает в оперативном режиме в Метеослужбе Великобритании с октября 1997 г. Вложенная модель, покрывающая Атлантический и Арктический океаны с горизонтальным разрешением 35 км и имеющая 20 уровней по вертикали, используется в оперативном режиме с января 2001 г. С апреля 2002 г. пятисуточный прогноз осуществляется также еще одной вложенной моделью, покрывающей Северную Атлантику с горизонтальным разрешением 12 км. Модели приводятся в действие осредненными для шестичасового периода полями потоков импульса, тепла и массы, которые берутся из системы оперативного численного прогноза погоды, а также ассимилируют данные океанографических наблюдений, полученные как контактными, так и дистанционными методами, которые доступны в реальном масштабе времени.

В США запущено несколько глобальных мониторинговых моделей. Одна из них – NLOM (Navy Layered Ocean Model) – предназначена для оперативного анализа и прогноза основных гидрофизических полей океана с разрешением синоптического пространственно-временно́го масштаба. Другая – NCOM (Navy Coastal Ocean Model) – запущена в оперативный режим в конце 2002 г. и предназначена для более детального описания прибрежных, мелководных и слабо стратифицированных районов.

Отдельного рассмотрения заслуживает мобильная оперативная система MODAS-NRLPOM (запущена в 2000 г.) с развитым математическим и программным обеспечением, позволяющим быстро, в течение нескольких часов, перенастраивать ее на любой заданный морской регион с учетом специфической термогидродинамики рассматриваемого района. Концепция этой системы – за несколько часов выполнить анализ и дать прогноз на два дня для любого района Мирового океана независимо от того, имеются ли в районе оперативные наблюдения. Этому предшествовал весьма длительный и дорогостоящий период сбора осредненной статистической информации о пространственно-временно́й вертикальной структуре ГФП. Отметим, что создание таких баз данных принципиально отличается от работ по подготовке баз осредненных данных, выполненных в нашей стране. Концепция построения и функционирования MODAS-NRLPOM направлена на решение в первую очередь военных задач.

В России разработано и совершенствуются три региональные системы подобного рода – для расчета: нагонов в Каспийском море [1, 2], уровня моря и распределения ГФП в Невской губе и Финском заливе [3], а также ГФП в Белом, Баренцевом и Карском морях [4–6]. Вместе с тем в целом состояние морей освещается гидрометеорологической службой России весьма ограниченно: прогнозируются лишь отдельные гидрологические характеристики (уровень воды, высота волн, состояние ледового покрова) часто на основе статистических регрессионных методов, зачастую не позволяющих адекватно описать гидрофизические процессы. Более полный гидрологический прогноз, включающий характеристики не только поверхностных, но и глубинных слоев океана, возможен только на основе взаимодействующих гидродинамических моделей атмосферы и океана с усвоением данных натурных наблюдений.

Пространственно-временные масштабы процессов, протекающих в океане, могут быть разделены на четыре интервала: крупно-, мезомасштабный, тонкоструктурный и

мелкомасштабный [7]. Процессы на всех масштабах оказывают влияние на скрытность ПО. Вместе с тем разработанные модели оперативного прогноза и мониторинга ГФП пока производят расчеты с разрешением не менее единиц-десятков километров [4–6, 8]. Такого разрешения достаточно для оценки показателей скрытности ПО для «спокойных» акваторий океана. В районах, где происходит трансформация крупномасштабных явлений с передачей энергии в малые масштабы, необходимо учитывать интенсивные короткопериодные процессы на масштабах менее единиц километров. Для описания мелкомасштабных, тонкоструктурных и мезомасштабных процессов с характерными размерами от сотен метров необходимо либо разрабатывать соответствующие физико-математические модели, либо пользоваться экспериментально установленными закономерностями. В данной статье рассмотрены основные положения подхода к построению систем оперативного мониторинга и прогноза ГФП на основе решения обратных задач гидротермодинамики океана как наиболее адекватного для решения задач ВМФ, в том числе для обеспечения скрытности ПО (в соответствии с [5, 6]), а также результаты систематических экспериментальных данных, дополняющих расчетные модели для случая развития интенсивных короткопериодных процессов с масштабами от единиц метров до единиц километров.

В соответствии с работами [5, 6] каждая система оперативного мониторинга (СОМ) гидрофизических полей, реализующая задачу оперативной океанологии, технологически включает три основных компонента: специализированную наблюдательную сеть, математический блок усвоения натурной информации для нахождения краевых условий и специализированную математическую численную модель рассматриваемой морской акватории. Последняя, в итоге и вычисляет динамически согласованные, удовлетворяющие основным законам сохранения гидрофизические поля в режиме реального времени.

Необходимо отметить, что создание системы оперативного мониторинга есть необходимое условие для выполнения краткосрочного и среднесрочного прогноза гидрофизических характеристик в исследуемой области.

Остановимся на наиболее сложной проблеме четырехмерного анализа данных наблюдений, а именно на нахождении краевых условий (решении обратных задач), и приведем пример достаточно общей постановки задачи.

Имея ввиду прикладной характер проводимых исследований, необходимо констатировать, что для российских арктических морей отсутствует важнейшая спутниковая информация об уровне океана (альтиметрия) и температуре поверхности воды с разрешением синоптической пространственно-временно́й изменчивости, тем более в оперативном режиме.

Общий подход к решению задач оперативной океанологии для арктических морей России приведен в работах [5, 6]. Как минимум на ближайшее десятилетие следует ориентироваться на возможность получения только глубоководной термохалинной информации в оперативном режиме для некоторых важных арктических районов, ограничиваясь для большей части акваторий арктических морей так называемыми фоновыми моделями [6], позволяющими часто получать решения, превышающие по точности решения, основанные на обработке осредненных значений из баз данных. Существенно в данном случае, что глубоководные термохалинные измерения являются важным источником информации о состоянии гидрофизических полей океана, так как распределение плотности морской воды, зависящей в первую очередь от ее температуры и солености, вследствие гидростатического баланса непосредственно определяет бароклинный градиент гидростатического давления и так называемую динамическую часть баротропного градиента давления. Знание существенной части гидростатического градиента давления позволяет оценивать крупно- и мезомасштабную циркуляцию вод морского бассейна.

Рассмотрим морской бассейн $\Omega$, имеющий как твердые $\Gamma_s$, так и жидкие $\Gamma_f$ границы. Состояние морской среды описано, если известен вектор состояния $\bar{\phi} = \left(\vec{U}, P, T, S, \rho\right)$, элементы которого есть функции пространственных переменных и времени, заданные в области $\bar{\Omega} = \Omega \cup \Gamma$ $(\Gamma = \Gamma_s \cup \Gamma_f)$, где $\vec{U}$ – трехмерный вектор скорости течения; $P$ – гидростатическое давление; $T$, $S$ и $\rho$ – температура, соленость и плотность морской воды соответственно. Будем считать, что $\bar{\phi}$ можно аппроксимировать с необходимой точностью вектором состояния $\phi$, который определим как решение начально-краевой задачи в области $\bar{\Omega}$:

$$\phi = L\left(\phi_0, \phi_\Gamma\right), \tag{1}$$

где $L$ – замкнутая система нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных геофизической термогидродинамики с начальными условиями $\phi_0$ и краевыми условиями $\phi_\Gamma$. При этом предполагается использование традиционных приближений для крупно- и мезомасштабной динамики океана: приближения несжимаемой жидкости, Буссинеска, гидростатики и соответствующей этому приближению запись силы Кориолиса.

Таким образом, задача определения состояния морской среды сводится к решению уравнения (1); при этом необходимо, чтобы были заданы начальные и краевые условия. Существующие методы глубоководных измерений не обеспечивают информацию обо всех компонентах векторов $\phi_0$ и $\phi_\Gamma$. Известен же, как правило, лишь неполный вектор состояния $\tilde{\phi} = \left(T, S\right)$, т.е. известны измерения для температуры и солености в отдельных точках интересующей области моря и в отдельные моменты времени. Следовательно, в этом случае на первом этапе задача состоит в приближенном определении полного вектора начальных условий $\phi_0$ и полного вектора граничных условий $\phi_\Gamma$ по значениям измеренного неполного вектора состояния $\tilde{\phi} = \left(T, S\right)$, т.е. имеем обратную задачу.

Решение обратных задач, которые, как правило, относятся к классу некорректно поставленных, представляет известные трудности [9, 10]. Нахождение решения задачи предполагает переход к вариационной форме и определение вектора управления – краевых условий, доставляющего минимум целевому функционалу, зависящему от рассчитываемого вектора состояния $\phi$ и данных наблюдений $\tilde{\phi}$.

В общем виде задачу можно сформулировать следующим образом. Рассмотрим динамическую систему, состояние которой в произвольный момент времен определяется вектором состояния $\psi = \psi^k\left(x, t\right)$, $k = 1, \ldots, N$, эволюция которого описывается системой уравнений:

$$L\left(\psi\right) = \psi_t + \mathrm{H}\left(\psi\right) = f\left(x, t\right), \quad x \in \Omega, \quad t \rangle t_0, \tag{2}$$

$$\psi\left(x, t_0\right) = \chi_0\left(x\right), \quad x \in \bar{\Omega}, \tag{3}$$

$$\psi\left(x, t\right) = \chi_\Gamma\left(t\right), \quad x \in \Gamma, \quad \mathrm{t} \geq \mathrm{t}_0, \tag{4}$$

где $\Omega \subset R^3$ – связная область с достаточно гладкой границей $\Gamma$; $\chi_0\left(x\right) = \chi_0^k\left(x\right)$, $\chi_\Gamma\left(t\right) = \chi_\Gamma^k\left(t\right)$, $k = 1 \ldots N$ – векторы, содержащие функции, задающие граничные $(t \geq t_0)$ и начальные условия в момент времени $t_0$; $\psi_t$ – производная по времени; H – нелиней-

ный оператор дифференцирования в частных производных в $\Omega$. При этом предполагается, что $\psi^k(x,t), f(x,t) \subset C^m(\Omega) \cap C(\bar{\Omega}) \cap C^1(t \geq t_0)$, где $m$ зависит от порядка оператора H. Будем предполагать, что оператор $L$ обратим и при заданных граничных и начальных условиях решение прямой задачи (2)–(4) существует и единственно.

Пусть имеются измерения некоторых компонент вектора состояния $\psi^S(x,t)$ для некоторых $S \in [1,N]$ в моменты времени $t_1 \dots t_m$ на некотором конечном подмножестве $\Omega_s \subset \Omega$. Экстраполируя измеренные значения, построим функции $\hat{\psi}^S(x,t)$ на области $\Omega$, такие что $\hat{\psi}^S(x,t) = \psi^S(x,t)$, $t = t_1,\dots,t_m$, $x \in \Omega_S$. Далее определим функционал

$$J\left[\psi(x,t)\right] = \sum_{i=1}^{m} \left\langle \psi(x,t_i) - \hat{\psi}^S(x,t_i), \psi(x,t_i) - \hat{\psi}^S(x,t_i) \right\rangle, \tag{5}$$

где $\langle , \rangle$ – скалярное произведение. Конкретный вид экстраполяции на этом этапе несуществен при условии, что для построенных функций $\hat{\psi}^S(x,t)$ можно определить скалярное произведение в (5). Решение системы (2)–(4) при соответствующем выборе краевых и начальных условий минимизирует функционал (5) (при этом $J\left[\psi(x,t)\right] \neq 0$ в силу неточности измерений, погрешности экстраполяции и использования приближений реальных процессов при выводе оператора H). Условие минимизации функционала используется при постановке обратной задачи: найти краевые $\chi_\Gamma(t) = (x \in \Gamma, t \geq t_0)$ и начальные условия $\chi_0(x) = (x \in \bar{\Omega}, t = t_0)$, минимизирующие функционал $J\left[\psi(x,t)\right]$ при известном неполном векторе измерений $\psi^S(x,t_i)$, $i = 1,\dots,m$.

При этом основную сложность представляет нахождение градиентов в функциональном пространстве, которые необходимы для выполнения оптимальных вариаций краевых условий. В случае, если оператор H может быть линеаризован и при вариации начальных условий, решение системы представимо в виде $\psi(x,t) = \Lambda(t,t_0)\psi(x,t_0)$, где $\Lambda(t,t_0)$ – оператор Якоби, градиент можно записать в виде [11]:

$$\Delta J = 2\sum_{i=1}^{m} \Lambda^*(t,t_0)\left[\psi(x,t_i) - \hat{\psi}^S(x,t_i)\right]. \tag{6}$$

На этом пути возникают проблемы с формулировкой сопряженного оператора $\Lambda^*(t,t_0)$ для сложных нелинейных систем геофизической гидродинамики и при решении конечно-разностными методами задач со сложной орографией бассейна. В некоторых случая возможна линеаризация оператора H. Тогда можно провести процедуру минимизации функционала (5) с помощью итерационных методов градиентного типа или метода сопряженных направлений, однако в большинстве задач определения состояния морской среды линеаризация оператора H представляет существенные вычислительные трудности. Поэтому имеют смысл поиски упрощенного решения задачи. На практике можно использовать подход, разработанный в Институте океанологии им. П.П.Ширшова РАН и неоднократно апробированный при обработке глубоководных термохалинных измерений [10, 12, 13]. Обоснование предлагаемого подхода основано на том соображении, что конкретный метод нахождения решения сформулированной выше вариационной задачи несуществен (лишь бы он был реализуем) доставлял необходимый минимум ошибки и решение удовлетворяло исходной системе уравнений геофизической термогидродинамики. Предлагаемый подход основан на формулировке задачи как вариационной и применим к сложным нелинейным системам уравнений термогидродинамики океана.

Для описания метода возьмем в качестве области $\Omega$ параллелепипед, на котором введем прямоугольную сетку $\Omega_h$ с постоянным шагом $h = (h_x, h_y, h_z)$. На данной сетке запишем конечно-разностную форму уравнений (2)–(4):

$$L_h(\psi_h) = \frac{\psi_h^{n+1} - \psi_h^n}{\beta \Delta t} + \sum_{k=n-q}^{n+1} \alpha_k \mathrm{H}_h^k \psi_h^k = f_h^{n+1}(x, t_{n+1}),\ x \in \Omega_h,\ n \geq 0, \tag{7}$$

$$\psi_h^0(x, t_0) = \chi_0(x), \quad x \in \bar{\Omega}_h, \tag{8}$$

$$\psi_h^n(x, t_n) = \chi_{\Gamma h}(t_n), \quad x \in \Gamma_h, \quad n \geq 0, \tag{9}$$

где индекс $q$, коэффициенты $\alpha_k$, $\beta$ зависят от метода дискретизации уравнений по времени. Разностный оператор $H_h$ в исследуемых задачах можно представить в виде суммы нелинейной части $A_h$, отвечающего за процессы переноса, оператора $D_h$, отвечающего за процессы трения, турбулентного обмена и линейной части $M_h$: $H_h = A_h + D_h + M_h$. Вектор состояния $\psi_h$ содержит компоненты $\psi_h^T$ и $\psi_h^S$, задающие температуру и соленость, для которых дополнительно известны функции $\hat{\psi}_h^T$, $\hat{\psi}_h^S$, полученные экстраполированием имеющихся термохалинных измерений на $\Omega_h$ и известные в моменты времени $t_n, n \geq 0$, соответствующие дискретизации уравнений (7)–(9) по времени. Требуется найти краевые и начальные условия $\chi_0(x)$, $\chi_{\Gamma h}(t_n)$, а также вектор состояния в моменты времени $t_n, n = 1 \ldots N$. Значение $\chi_h(x, t_{n+1})$ на $(n+1)$-м шаге по времени можно записать в виде

$$\psi_h^{n+1} = \psi_h^n + \beta \Delta t \mathrm{G}\left(\psi_h^n, \ldots, \psi_h^{n-q}\right), \tag{10}$$

где оператор $\mathrm{G}$ для $i$-й компоненты вектора состояния зависит от оператора $\mathrm{H}_h$ в уравнении (7) и от зависимости $i$-й компоненты от других компонент вектора состояния.

Для определения начальных условий будем вести интегрирование системы до некоторого времени $T_k = k\Delta t$, соответствующего времени последних измеренных значений. В результате получим набор векторов состояния $\psi_{h,t_i}$ в моменты времени $t_i = i\Delta t, i = 1 \ldots k$, для которых определим среднеквадратичное отклонение $\psi_{h,t_i}^T$, $\psi_{h,t_i}^S$ от значений измерений $\hat{\psi}_{h,t_i}^T$ и $\hat{\psi}_{h,t_i}^S$:

$$R = \sum_{i=1}^{k} \left( \left\| \psi_{h,t_i}^T - \hat{\psi}_{h,t_i}^T \right\|_2 + \left\| \psi_{h,t_i}^S - \hat{\psi}_{h,t_i}^S \right\|_2 \right). \tag{11}$$

Начальные условия на первой итерации при интегрировании вперед по времени задаются с помощью экстраполяции измеренных данных, отнесенных к начальному моменту времени, или на основе какой-либо базы данных.

Далее проводится интегрирование системы назад по времени, начиная с момента времени $T_k$; при этом заменяется знак как при локальной производной по времени, так и при операторе $D_h$ в связи с необратимостью диссипативных процессов. Тем самым оператор системы не будет являться сопряженным с оператором $L_h$. Для ассимиляции данных наблюдений в правую часть уравнения (7) для компонент вектора состояния $\psi_h$, относящихся к температуре и солености, добавляется функция $Q_f\left(\psi_h^{T,S}, \hat{\psi}_h^{T,S}\right)$:

$$L_h^*\left(\psi_h\right)=\frac{\psi_h^n-\psi_h^{n+1}}{\beta\Delta t}+\sum_{k=n}^{n+q}\alpha_k\left(A_h^k-D_h^k+M_h^k\right)\psi_h^k=f_h^n\left(x,t_n\right)+Q_f\left(\psi_h^n,\widehat{\psi}_h^n\right). \qquad (12)$$

Функция $Q_f$ имеет вид ньютоновского источника и определяется разностью измеренного и расчетного значения:

$$Q_f\left(\psi_h,\widehat{\psi}_h\right)=\gamma\left(\widehat{\psi}_h-\psi_h\right), \qquad (13)$$

где $\gamma$ – параметр усвоения (при предельном значении $\gamma=\frac{1}{\Delta t}$ тогда можно ожидать, что в общем случае для некоторой компоненты вектора состояния расчетное значение на $i$-м шаге по времени будет $\psi_{h,t}=\widehat{\psi}_{h,t}+\varepsilon O\left(\Delta t^p\right)$, где $\varepsilon$ равно нулю или единице в зависимости от метода построения оператора G в уравнении (10) и $p$ зависит от порядка дискретизации уравнения (7) по времени и метода численного решения динамической системы. Функции $\widehat{\psi}_{h,t_i}^{T,S}$ представляют, как описано выше, экстраполяцию точечных измерений для конкретных моментов времени $t_i$. Данную экстраполяцию предлагается проводить явным образом при интегрировании уравнений (12) назад по времени. Тогда значения функций $\widehat{\psi}_h$ находятся из соотношений

$$\widehat{\psi}_h=\left(1-b\right)\psi_h+b\dot{\psi}, \qquad (14)$$

$$b=\frac{R^2-r^2}{R^2+r^2}, r\le R, \delta t\le R_t, \qquad (15)$$

$$b=0, r>R, \delta t>R_t, \qquad (16)$$

где $\dot{\psi}$ – набор измерений в общем случае в произвольных точках; $R$ и $R_t$ – радиусы усвоения измеренной информации по пространству и времени; $r$ – расстояние по пространству и времени между расчетным узлом сетки и ближайшей точкой измерения; $b$ – весовая функция, которая в общем виде неизотропна и зависит от характеристик движения типа $f/H$ и структуры течения ($f$ – параметр Кориолиса, $H$ – глубина); $\delta t$ – временной интервал между моментом времени измерения и текущим моментом расчета.

Следующее приближение начального условия получается непосредственно при интегрировании по времени назад и достижения момента времени $t_0$. Повторяя описанный процесс с новыми начальными условиями, получим итерационный метод определения начальных условий, критерием сходимости которого будет среднеквадратичное отклонение $R$ (11).

Краевые условия $\chi_{\Gamma h}\left(t_n\right)$ находятся одновременно с описанной схемой определения начальных условий $\chi_0\left(x\right)$. Здесь принципиально используются два положения: 1) применение условий излучения для нахождения граничных условий первого рода на жидких границах $\Gamma_h^f\subset\Gamma_h$ области $\Omega_h$; 2) факт интегрирования системы уравнений вперед-назад по времени.

Расчет краевых условий на жидкой границе $\Gamma_h^f$ происходит с привлечением на каждом шаге по времени $t_i$ условий радиационного излучения вида

$$\frac{\partial\psi_h^m}{\partial t}+C_f^p\left(t_i\right)\frac{\partial\psi_h^m}{\partial t}=0, \qquad (17)$$

где $\psi_h^m$ – любая из расчетных функций вектора состояния, в эволюции которого доминируют процессы адвективного переноса, описываемые дивергентной схемой в виде оператора $A_h$ (предполагается преобладание гиперболичности в уравнении эволюции); $C_f^p$ – фазовая скорость распространения возмущений, определяемая по эволюции значений функций вблизи границы внутри области [13, 14]; $p$ – индекс итерации внешнего цикла интегрирования системы вперед-назад по времени; $\vec{n}$ – внешняя нормаль к границе области.

При использовании условий излучения (17), когда возмущение стремится покинуть область расчета, полученные при расчете краевые условия являются следствием всей совокупности процессов внутри области и тем самым с ними согласованными, в том числе и с усвоенными данными измерений. Остаются тем не менее точки, где фазовая скорость возмущения направлена внутрь области и где граничные условия должны быть заданы.

Разрешение данной проблемы происходит при смене направления интегрирования системы уравнений, когда меняется знак приращения по времени и соответственно знак фазовой скорости возмущений $C_f^p$ (знак фазовой скорости определяет тип граничной точки). Точки втока становятся в этом случае точками вытока и в свою очередь определяются с использованием условия излучения, т.е. являются следствием всей совокупности процессов внутри области и тем самым являются с ними согласованными, в том числе и с усвоенными данными измерений. Таким образом, все граничные точки в итоге определяются по условиям излучения, а значит и данными измерений. Другими словами, граничные условия находятся по данным измерений, т.е. из решения обратной задачи. Опыт расчетов тем не менее привел к необходимости усиления рассмотренного алгоритма. Проблема состоит в длительности интегрирования системы в одну сторону, что определяется временным интервалом поступления данных измерений. При длительном интегрировании назад по времени граничные условия на жидком контуре не пересчитываются во всех точках по условию (17) и на втекающих точках границы возникает рассогласование граничных условий со вновь усваиваемой информацией. Для устранения данного недостатка вводится внутренний итерационный цикл смены направления интегрирования. При внешнем интегрировании назад по времени происходит следующий процесс: периодическое интегрирование назад по времени на два выбранных интервала времени, а затем один аналогичный интервал интегрирования по времени вперед; и затем процесс повторяется. Внутренний итерационный цикл носит своеобразный «петлеобразный» характер. Аналогичная процедура применяется и при интегрировании вперед по времени, но, как видно из постановки задачи, без усвоения натурной информации. Интервал интегрирования при этих внутренних итерациях определяется экспериментально на основе времени смены знака фазовой скорости $C_f^p$ во втекающих точках. При этом затраты машинного времени увеличиваются втрое. Отметим, что диссипативные слагаемые меняют знак при смене направления интегрирования. Имеет место важный момент, связанный с вычислением граничных значений. При использовании ньютоновских источников, как правило, происходит нарушение квазигеострофического баланса, и порождаются инерционно-гравитационные волны, которые, унося избыточную геострофически несогласованную энергию, покидают область расчета при применении условий излучения. Поэтому временной ряд, полученный при использовании условий излучения в точке, содержит значительный эффект инерционно-гравитационных волн, не имеющих физического смысла, которые должны быть отфильтрованы при смене направления интегрирования перед использованием временного ряда граничных условий.

Процесс решения контролируется по эволюции среднеквадратичного отклонения (11), которая при правильном варьировании $\chi_{\Gamma h}(t_n)$ и $\chi_0(x)$ должна уменьшаться. Принимаются те значения функций $\chi_{\Gamma h}(t_n)$ и $\chi_0(x)$, которые минимизирует (11). Минимум достигается, когда наступает баланс между коррекцией решения за счет усвоения натурных данных и работой диссипативных слагаемых на каждой итерации. Минимум зависит в первую очередь от количества и качества (точности) данных наблюдений. После определения $\chi_{\Gamma h}(t_n)$ и $\chi_0(x)$ решается прямая задача (7)–(9) и находится приближенное решение $\psi_h(x,t)=\psi_h\left[U(x,t),P(x,t),T(x,t),S(x,t),\rho(x,t)\right]$ во всей области четырехмерного пространства.

Данный алгоритм неоднократно использовался при обработке глубоководных термохалинных измерений на полигонах Гольфстрима (1984), Мегаполигоне (1987), г. Пулковской (1989), к северо-западу от Новой Земли (1997), Белого и Баренцева морей 21-й экспедиции НИС «Академик Сергей Вавилов» (2005), на динамическом полигоне в Белом море в рейсе НИС «Эколог» (2007).

Конечным этапом решения задачи усвоения данных наблюдений является решение начально-краевой задачи на основе полученных приближенных начальных и граничных условий. В качестве численной модели, которая успешно применялась для расчетов на конечном этапе можно привести модель, изложенную в работе [15].

Рассмотрим некоторые результаты применения рассматриваемого подхода для анализа состояния ГФП Белого и Баренцева морей. В 2007 г. сотрудниками Института океанологии РАН и Санкт-Петербургского научного центра РАН совместно выполнялась комплексная калибрация решения системы оперативного мониторинга гидрофизических полей Белого моря при использовании, в том числе, и обрывных термохалинных зондов. Приведем результаты обработки данных полигона глубоководных термохалинных измерений, выполненного с помощью обрывных зондов.

На рис.1 приведено положение полигона из 25 станций, выполненного с движущегося судна обрывными зондами XCTD-1.

Задача состояла в обработке данных измерений с учетом временно́й изменчивости полей. Съемка полигона происходила с 22 ч 15 мин 23 июля до 5 ч 11 мин 24 июля, т.е. заняла порядка 7 ч. Однако условия Белого моря таковы, что 7 ч составляют чуть больше половины периода основного полусуточного прилива. Приливные же движения в Белом море в основном ответственны за изменчивость гидрофизических полей. Поэтому было необходимо подвергнуть полученные обрывными зондами данные глубоководных термохалинных измерений обработке по схеме четырехмерного анализа. Проблема, однако, возникает в связи с трудностью получения основной баротропной компоненты прилива на основе данных термохалинных измерений. Эта ситуация в корне отличается от центрального полигона в Баренцевом море в 2005 г. и от других ранее выполненных полигонов, где приливные движения не были доминирующей причиной изменчивости гидрофизических полей в период выполнения съемки.

Решением проблемы в данном случае является использование баротропной части решения задачи оперативного мониторинга, которая была реализована на данный период. Это решение дополнительно использовалось для синхронизации данных измерений, полученных с помощью обрывных зондов по схеме четырехмерного анализа.

На рис.2 приведены начальные (22 ч 15 мин 23 июля) поля температуры и солености для горизонтов 12 и 52 м, а на рис.3 те же поля для момента окончания полигона (5 ч 11 мин 24 июля).

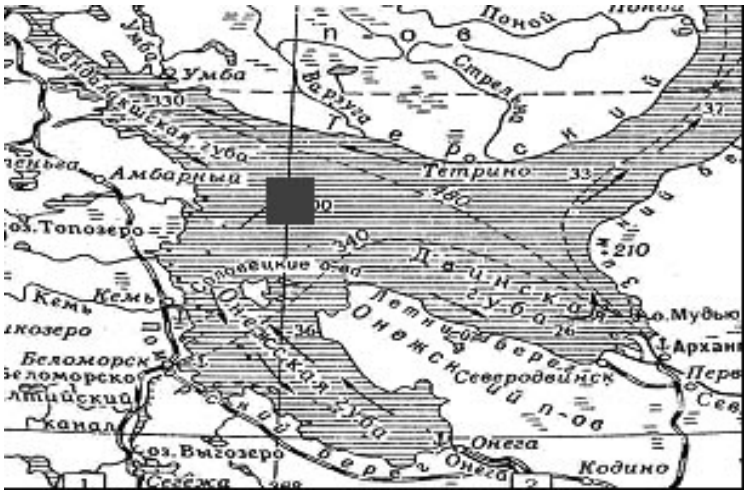



Рис.1. Положение полигона из 25 глубоководных термохалинных станций, выполненного обрывными зондами 23–24 июля 2007 г.

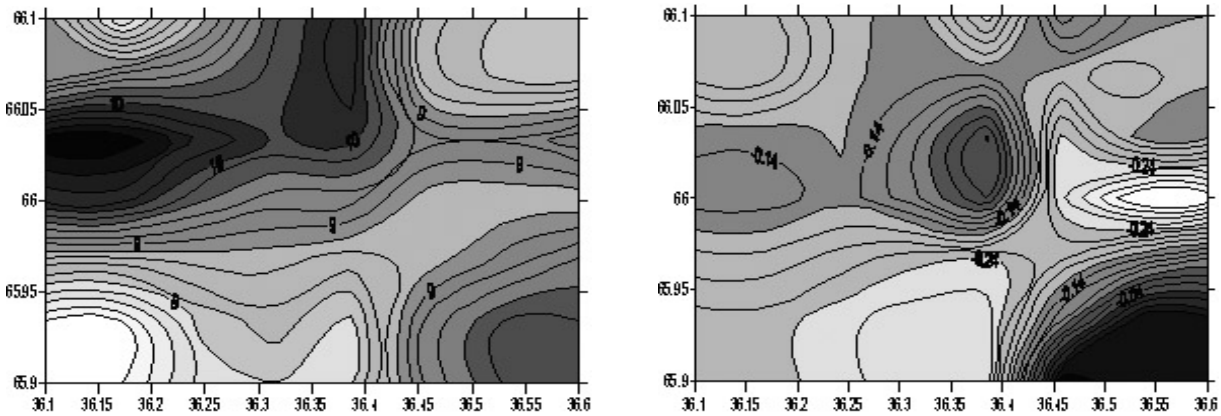


Рис.2. Начальные (22 ч 15 мин 23 июля) поля температуры для горизонтов 12 и 52 м после обработки по схеме четырехмерного анализа с использованием баротропной части решения задачи оперативного мониторинга гидрофизических полей Белого моря.

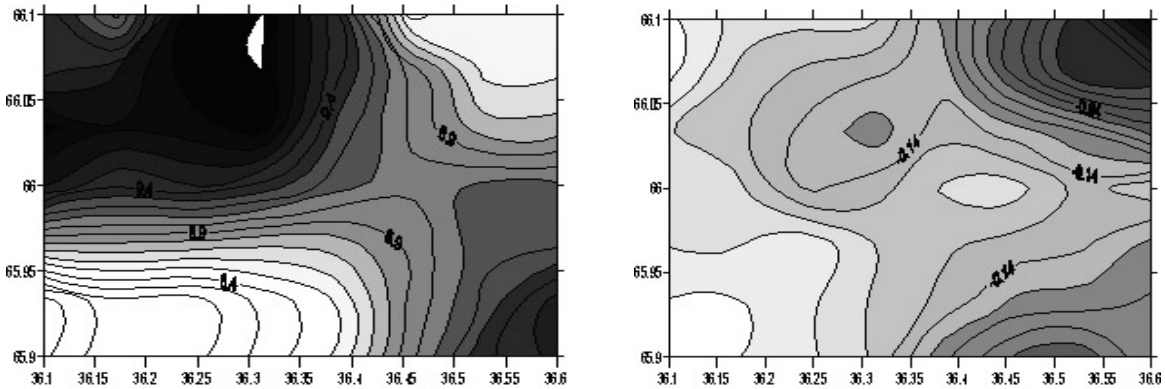


Рис.3. Поля температуры для горизонтов 12 и 52 м на момент окончания съемки (5 ч 11 мин 24 июля) после обработки по схеме четырехмерного анализа с использованием баротропной части решения задачи оперативного мониторинга гидрофизических полей Белого моря.

Важный результат, подтверждающий необходимость обработки информации по схеме четырехмерного анализа, с одной стороны, и отчасти верифицирующий результаты расчетов по схеме оперативного мониторинга – с другой, проиллюстрирован на рис.4.

Здесь приведены на тех же горизонтах поля температуры, полученные из решения задачи оперативного мониторинга на момент окончания съемки. В расчете этих полей данные съемки с помощью обрывных зондов не использовались. Качественное сходство полей получается после обработки данных измерений по схеме четырехмерного анализа. При анализе рис.3, 4 под сходством полей понимается близость фаз и направлений распространения инерционно-гравитационных волн, составляющих основной фон полей, хотя имеют место очевидные из постановок задач различия в описании синоптической компоненты изменчивости полей. В общей постановке задачи мониторинга гидрофизических полей Белого моря в начальных условиях синоптическая компонента отсутствует ввиду отсутствия оперативно полученных измерений начальных данных, содержащих синоптическую компоненту. Это необходимо учитывать при анализе результатов. Понятно также как, преодолеть указанный недостаток, который не носит характер научной проблемы.

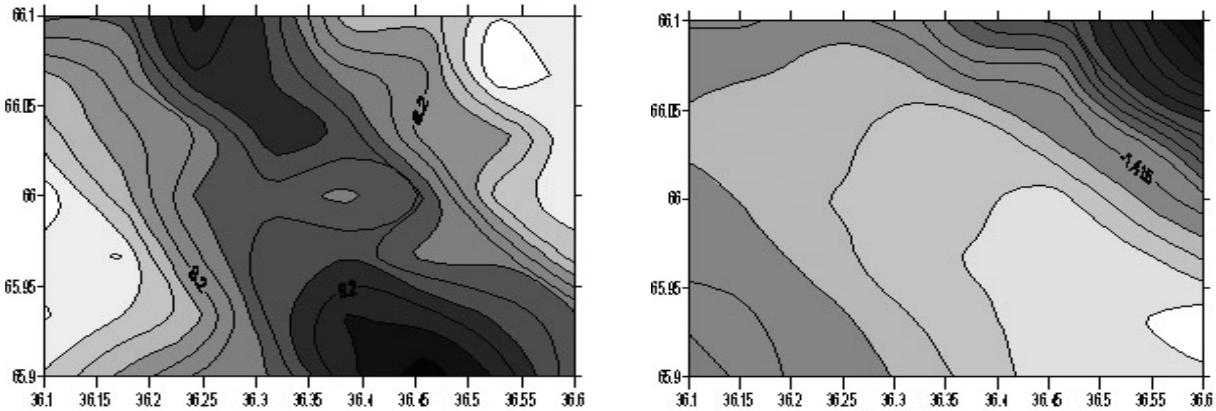



Рис.4. Поля температуры для горизонтов 12 и 52 м, полученные из решения задачи оперативного мониторинга на момент окончания съемки. В расчете этих полей данные измерений с помощью обрывных зондов не использовались.

Приведем результаты выполненных в 2005 г. в 21-й экспедиции НИС «Академик Сергей Вавилов» работ по реализации системы оперативного мониторинга гидрофизических полей Баренцева моря.

Главным вопросом общей технологии создания систем оперативного мониторинга конкретного района является наличие наблюдательной сети. В этой экспедиции в качестве такой наблюдательной сети, очевидно, использовались данные гидрологического полигона из 54 станций, выполненного НИС «Академик Сергей Вавилов» в районе, указанном на рис.5.

На рис.6 приведены среднеквадратичные ошибки расчета за весь период интегрирования (4 сут) и средние для каждого горизонта. Прежде всего отметим последовательное уменьшение ошибки при выполнении четырех внешних итераций (на русунке сплошными линиями справа налево в соответствии с номером итерации). Таким образом, можно говорить, что варьирование краевых условий происходило правильно.

Существенно отметить, что климатическая ошибка, то есть отклонение климатических значений (крестики) от измеренных величин, составляет более одного градуса и значительно превосходит ошибки модельных расчетов.

Отметим, что в последних приведенных расчетах на полигоне в Баренцевом море в период 21-й экспедиции НИС «Академик Сергей Вавилов» выполнена общая постановка задачи четырехмерного анализа данных глубоководных термохалинных измерений. При этом наблюдательная сеть реализовывалась на базе научно-исследовательского судна. Использовалась 4 раза в сутки оперативная информация о приводном слое атмосферы.

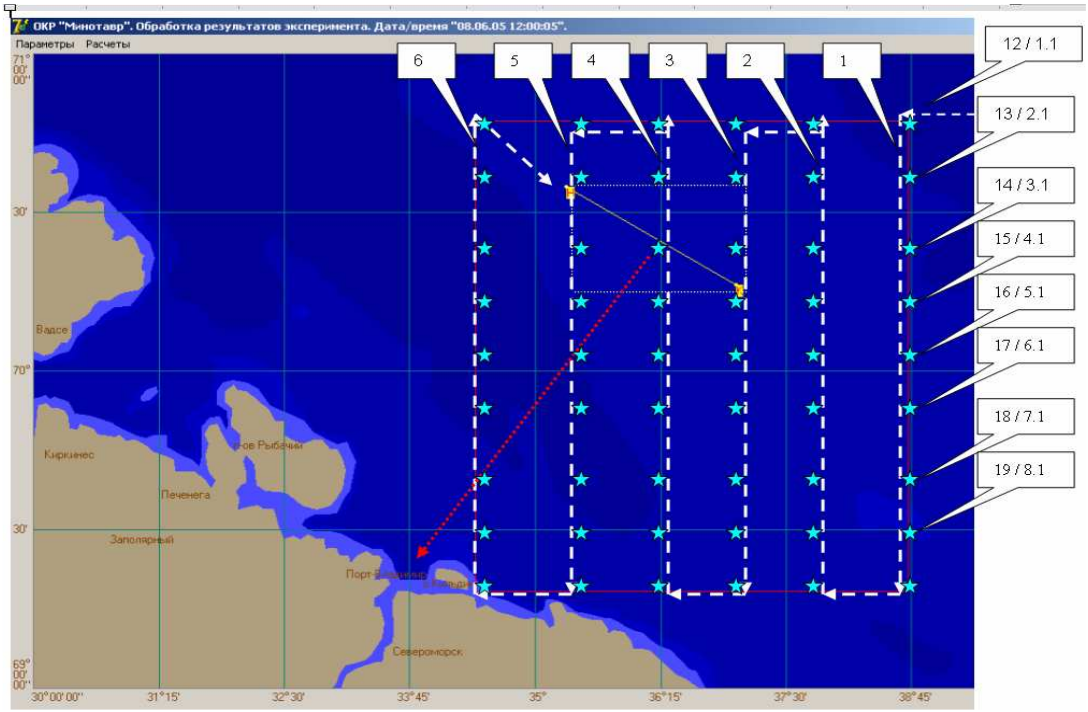



Рис.5. Местоположение полигона работ в Баренцевом море в июне 2005 г.

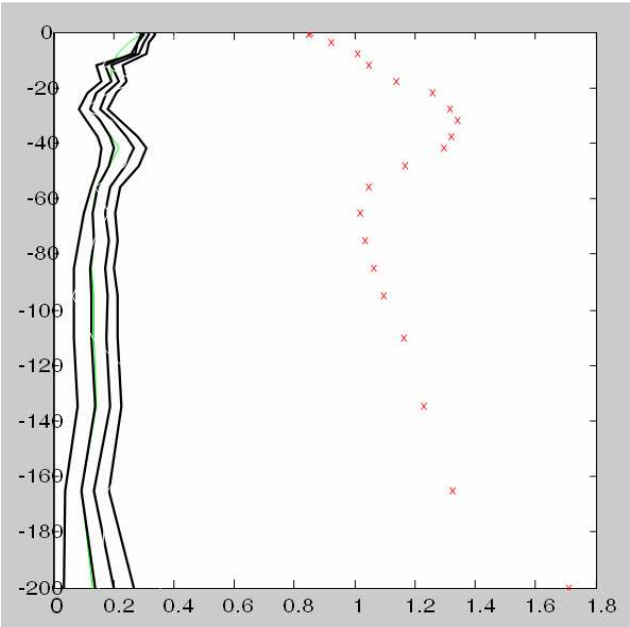



Рис.6. Среднеквадратичные ошибки по температуре. Вертикальная ось – глубина (м), горизонтальная ось – среднеквадратичная ошибка (градус) расчета температуры на каждом расчетном уровне, осредненная за весь период съемки. Сплошные линии – последовательное справа налево уменьшение ошибки при итерировании (4 итерации); левая кривая – минимальная ошибка при радиусе усвоения по горизонтали, равном 20 км. Крестики – ошибка климатического прогноза (данные Левитуса, июнь, 1/4 градуса).

Многолетний опыт работы со схемами четырехмерного анализа натурных данных показал, что наиболее доступными и обеспечивающими необходимую точность расчетов являются глубоководные термохалинные измерения. Для их выполнения достаточно обычного CTD-зонда, и сами измерения не являются сложными. В этой связи имеется возможность организовать попутные судовые наблюдения. Такой эксперимент был выполнен в октябре 2007 г. в южной части Баренцева моря. На небольшое рыболовное судно, занимавшееся промыслом в прибрежной зоне Кольского полуострова, был направлен научный сотрудник с гидрофизическим зондом. Удалось организовать съемку из 56 станций за период примерно 5 суток. По параметрам съемка оказалась близка к полигону, выполненному НИС «Академик Сергей Вавилов» в 2005 г. Отличие состояло в пространственной нерегулярности съемки, выполненной рыболовным судном, что сказалось и на точности полученных результатов. Так, по температуре максимальная среднеквадратичная ошибка выросла на 0.2°. Понятно, что финансовые затраты оказались существенно ниже.

На рис.7, 8 приведены поля температуры после обработки по схеме четырехмерного анализа для начального момента съемки и на момент ее окончания.

Разработанные к настоящему времени модели и методы оперативной океанологии дают осредненные характеристики гидрофизических полей на масштабах от единиц километров и более. Для выявления взаимосвязей крупномасштабных и короткопериодных процессов с характерными масштабами менее $10^3$ м в период с 2005 по 2011 г. были проведены натурные экспериментальные исследования в Белом море. Ниже приводятся результаты исследований в 2011 г.

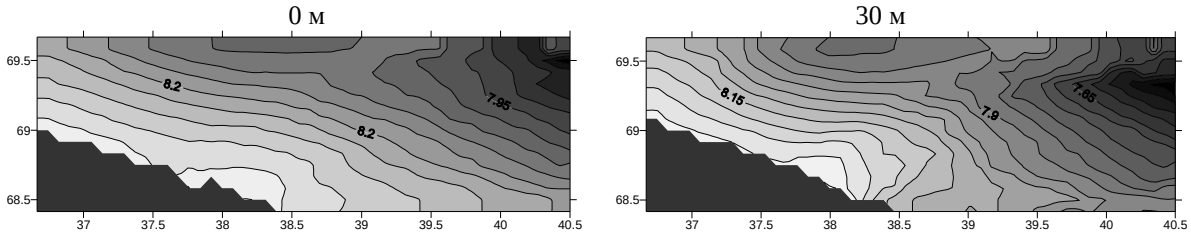



Рис.7. Поля температуры вначале съемки в южной части Баренцева моря на горизонтах 0 и 30 м, рассчитанные на основе данных, полученных рыболовным судном.

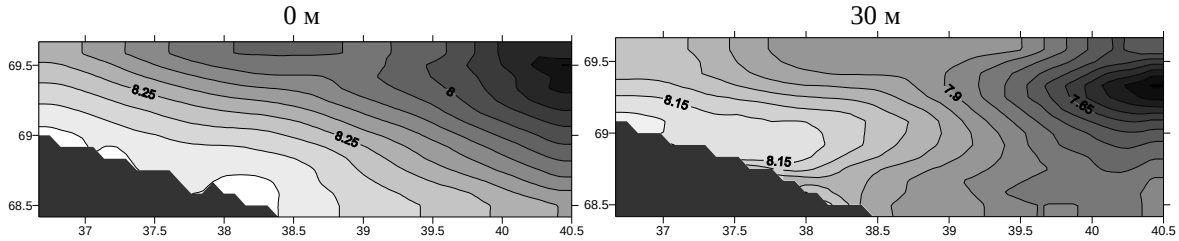



Рис.8. Поля температуры через 5 суток на момент окончания съемки в южной части Баренцева моря на горизонтах 0 и 30 м, рассчитанные на основе данных, полученных рыболовным судном.

Современные знания о пространственно-временно́й изменчивости гидрофизических полей Белого моря нашли обобщения в монографиях [16, 17]. В частности, показано, что мезомасштабная изменчивость гидрологических характеристик в Белом море обусловлена синоптическими процессами и приливными движениями. Установлено, что прилив $M_2$ доминирует среди других приливных гармоник, составляя 90–95 % величины амплитуды суммарного прилива [18]. Приливный поток приводит к образованию внутренних приливных волн [19] и к периодическим смещениям фронтальных зон в районах проливов [16] с полусуточным периодом. Представления об изменчивости гидрофизических полей меньшего масштаба крайне схематичны [17, 20, 21]. При продвижении внутренней приливной волны по шельфу под влиянием изменений рельефа дна и конфигурации береговой линии в районах с хорошо выраженной стратификацией происходит ее трансформация, приводящая к образованию короткопериодных термохалинных колебаний и эпизодической интенсификации перемешивания. В проливах и заливах, где воды однородны по вертикали, колебания температуры и солености обусловлены лишь горизонтальными смещениями масс воды в течение приливного цикла. Однако детальная картина изменчивости структуры вод и характеристик внутреннего волнения в ходе приливного цикла на различных участках шельфа до сих пор отсутствует.

Экспедиционные работы выполнялись с 20 по 25 июля 2011 г. на границе бассейна Белого моря и пролива Западная Соловецкая салма на трех полигонах (рис.9). Номера полигонов соответствуют порядку их выполнения в ходе экспедиции. Местоположение районов работ выбиралось, исходя из ожидаемых различий гидрологических условий, определяемых топографией дна.

Особенностью термохалинной структуры вод района является наличие двух, характерных для Белого моря типов вертикального распределения вод, которые разделены фронтальной зоной [17]. Эта зона расположена в районе пролива (область полигона № 3) и разделяет однородные по вертикали воды Онежского залива и стратифицированные воды бассейна. Летом вертикальная структура вод бассейна такова [16], что от поверхности до глубины 20 м расположены поверхностные воды; далее идет подповерхностный слой мощностью 20 м, а между горизонтами 40 и 60 м находится промежуточная водная масса. Рассматриваемый участок шельфа располагается южнее области свала глубин с критическим для полусуточной волны наклоном дна [19] и характеризуется постепенным уменьшением глубины из области бассейна (полигон № 2) к узкой части пролива (полигон № 3).

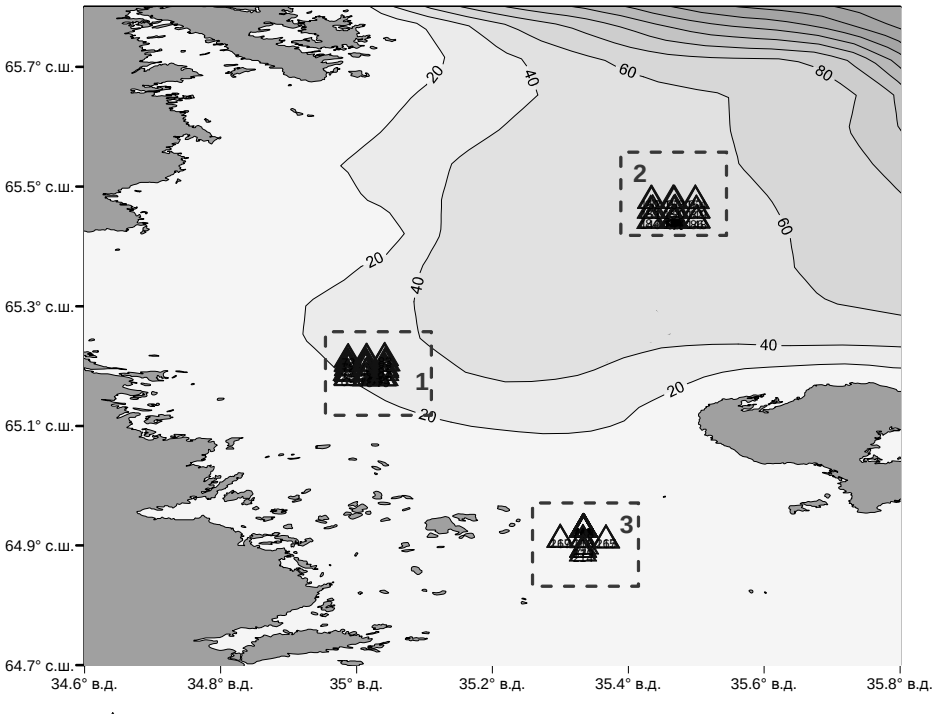



Рис.9. Схема расположения полигонов на фоне изобат.

Методика работ была единой и заключалась в постановке трех суточных буйковых станций на каждом полигоне. Буйковые станции выставлялись в районе северной, центральной и южной частей полигона. На северной его границе устанавливались два прибора: СТД-зонд Т-90М и акустический профилограф течения ADP Sontek-500. Зонд располагался в нижней части слоя скачка, а профилограф течений – на дне. Кроме измерений течений он регистрировал колебания уровня и придонной температуры. В центральной части полигона выставлялась буйковая станция с измерителем течений и температуры «Вектор-2». На южной границе полигона с заякоренного судна работали позиционные измерители течений и температуры JFE Alec, а также сканировались водные толщи зондом Т-90М. Сканирование выполнялось от поверхности до дна. Зондирование на полигонах велось в режиме двух часов непрерывного сканирования с часовым перерывом, на полигоне № 4 перерыв составлял 0.5 ч. Всего за сутки на каждом полигоне было выполнено по 9–10 серий сканирований.

На основе анализа TS-кривых было установлено, что на полигоне № 1 четко выделяется кривая смешения двух водных масс. На глубоководном полигоне № 2 распределение вод по вертикали имеет уже трехслойный характер. Причем слои поверхностных и придонных вод имеют меньшую толщину, чем промежуточных. На полигоне № 3 из-

менчивость термохалинных характеристик по вертикали была минимальна, в отдельные моменты времени наблюдалась полная однородность вод.

Рассмотрим короткопериодную изменчивость характеристик среды с полигона № 2 как наиболее удаленного от фронтальной зоны. Баротропная приливная волна тут имеет почти симметричный вид. Величина прилива составляет 1.1 м. В отлив наблюдаются течения, направленные на северо-запад, в прилив – на юго-восток с максимальной скоростью 35 см/с.

Температура на придонном горизонте (35 м) испытывает четко выраженные полусуточные вариации с амплитудой около 2°С (рис.10). Наступление полной воды в придонной области характеризуется затоком холодных вод, причем время падения температуры меньше, чем время роста. Рост температуры в придонных слоях идет не совсем плавно. Отмечаются колебания с амплитудой 0.5°С и периодом до 2 ч. Колебания с полусуточным периодом в придонной области имеет вид волн возвышений с крутым передним склоном и пологим задним, что похоже на проявление внутреннего приливного бора [22]. Высота колебаний изотерм составляет около 10–12 м. Характер вертикальной термической структуры вод под действием бора испытывает сильное изменение только в придонной области. Поверхностный квазиоднородный слой теплой воды толщиной 15 м и нижележащий слой термоклина, простирающийся до глубины 35 м, испытывают незначительные колебания.

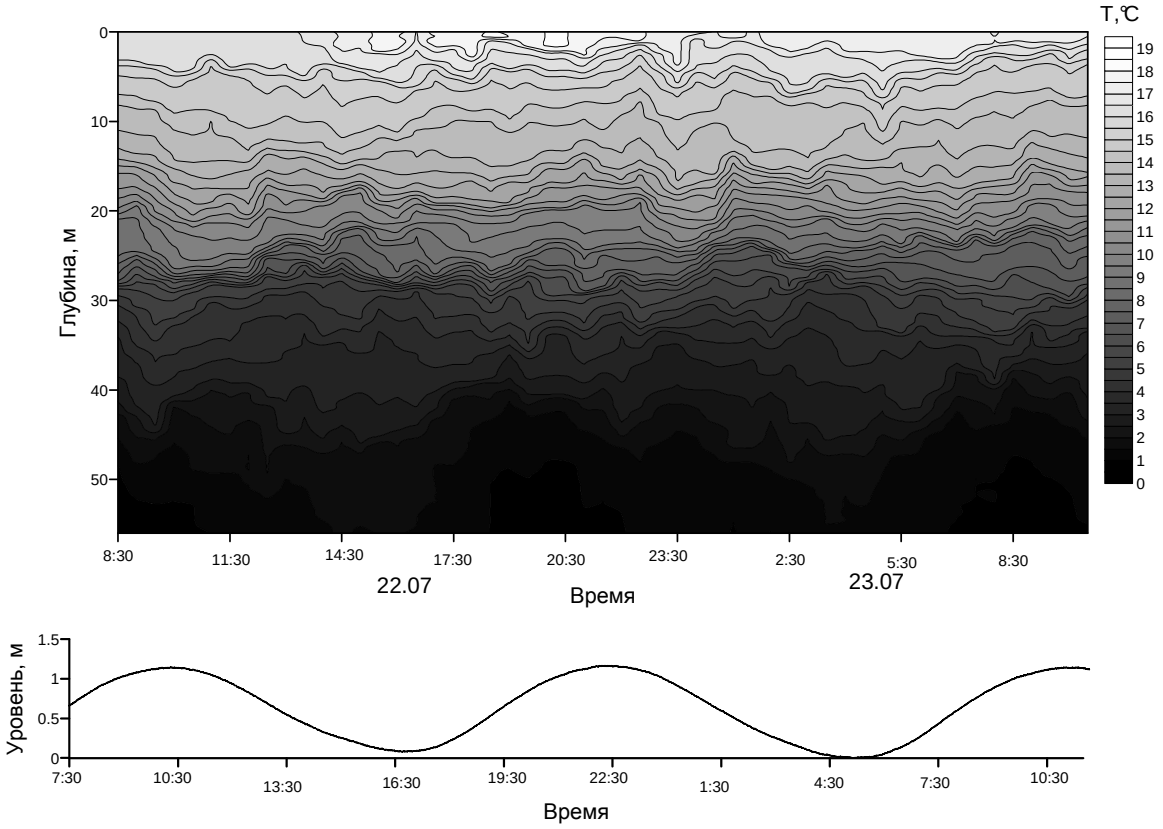



Рис.10. Временна́я изменчивость температуры по данным измерений СТД-зондом и колебания уровня на полигоне № 2 (бассейн Белого моря) с 8.30 22.07.2011 г. до 10.30 23.07.2011 г.

В таблице представлены характеристики короткопериодных волн внутреннего волнения в районе термоклина по данным сканирования на суточной станции. В ходе каждого приливного цикла в районе полигона регистрировалось всего 1–2 волны с высотой больше 2 м. Хорошо выраженных повторяющихся цуговых систем волн не наблюдалось.

Результаты аналогичного эксперимента, выполненного в мористой части пролива Западная Соловецкая салма на полигоне № 1 представлены на рис.11. Баротропная при-

ливная волна имеет несимметричный вид. Рост уровня идет более интенсивно, чем его падение, размах приливной волны составил 1.4 м. Скорость течения достигает 90 см/с.

На полигоне наблюдается как прохождение групп короткопериодных внутренних волн, так и явление внутреннего приливного бора. Зарегистрированный бор обладает крутым передним фронтом и практически плоской вершиной, на гребне которой сидит группа короткопериодных волн. Прохождение внутреннего бора повторяется каждый приливный цикл (рис.11, **1**; 11, **5**; 11, **9**). Направление движения совпадало с направлением распространения поверхностной приливной волны (с открытой части моря в глубь пролива). Высота передней «стенки» бора по данным сканирований составляет около 15 м (рис.11, **1**; 11, **9**), что выше модельных оценок амплитуд приливных внутренних волн [17, 19]. Прохождение бора приводит к тому, что толщина верхнего квазиоднородного слоя сокращается до 4–6 м. При этом термоклин становится очень интенсивным, перепад температур в нем достигает 3°С/м, и тонкоструктурных элементов не наблюдается. Нижний слой холодных вод занимает всю толщу вод с глубины 8–9 м. После прохождения передней стенки бора термоклин начинает расслаиваться, а через 2.5 ч наблюдается прохождение цуга нелинейных волн (рис.11, **2**; 11, **6**). Причем прохождение этих волн приводит опять к резкому изменению структуры вод. Поверхностный слой становится толще, термоклин распадается на верхний и нижний. Верхний термоклин располагается на глубине 9–10 м, на нем регистрируются группы короткопериодных волн углублений амплитудой 5–9 м и периодом 8–16 мин. Они обладают признаками нелинейности, проявляющимися в вертикальной и горизонтальной асимметрии их формы и отношением амплитуд волн к глубине залегания пикноклина, большим 0.1. Ниже располагается однородный слой вод с температурой 8–9°С. Расчеты числа Ричардсона показали, что в этом слое прохождение внутренних волн вызывает интенсивное перемешивание за счет сдвиговой неустойчивости течений. Наблюдаемые волны находились в стадии обрушения. Граница критических значений числа Ричардсона совпадала с положением придонного термоклина (глубина 25–29 м), ниже которого наблюдалась область однородных холодных вод. В конце отлива (рис.11, **3**) также отмечается прохождение группы интенсивных короткопериодных волн высотой около 10 м, которое завершается появлением области перемешивания. Это привело к тому, что теплые воды с поверхности в течение нескольких минут наблюдались на глубине 20 м, а линза придонных вод достигла глубины 10 м. Причем процесс перестройки поля температуры занял менее 20 мин. Принципиальным отличием от бора являлось то, что эта система волн двигалась в противоположном от берега направлении.

Интенсивность внутреннего волнения в данном районе в 3 раза выше, чем на полигоне № 2 (см.таблицу). За период приливного цикла наблюдалось не менее 12 внутренних волн, по амплитуде превышающих любую из зарегистрированных на полигоне № 2. Каждый приливной цикл наблюдалось две или три волны с высотой более 10 м, которые можно отнести, согласно [22], к интенсивным внутренним волнам (ИВВ).

В узкой части пролива Западная Соловецкая салма (полигон № 3) баротропная приливная волна имеет несимметричный вид. Рост уровня идет более интенсивно, чем его падение. Величина прилива составляет 0.8 м, максимальная скорость течения – 70 см/с.

Колебания температуры на всех горизонтах не превышают 1.5°С (рис.12). Прилив сопровождается понижением температуры у дна, отлив – повышением. Причем температура падает очень плавно. Существенно различается характер колебаний температуры у дна на северной и южной границах полигона. В северной мелководной части он носит характер бора, а в глубоководной южной части характер – близкий к синусоиде. На всех трех станциях в толще вод в период прилива наблюдаются короткопериодные волны, распространяющиеся из района пролива в северном направлении.

**Повторяемость высот короткопериодных внутренних волн, полученных по данным сканирования на основе определения изменения положения термоклина**

| Интервал, м | | Повторяемость ВВ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | полигон № 1 | | полигон № 2 | | полигон № 3 | |
| от | до | случаев | % | случаев | % | случаев | % |
| 1 | 2 | 21 | 27.3 | 12 | 80.0 | 18 | 64.3 |
| 2 | 3 | 20 | 26.0 | 1 | 6.7 | 8 | 28.6 |
| 3 | 4 | 14 | 18.2 | 2 | 13.3 | 2 | 7.1 |
| 4 | 5 | 8 | 10.4 | | | | |
| 5 | 6 | 3 | 3.9 | | | | |
| 6 | 7 | 3 | 3.9 | | | | |
| 7 | 8 | 3 | 3.9 | | | | |
| 8 | 9 | 1 | 1.3 | | | | |
| 9 | 10 | 1 | 1.3 | | | | |
| 10 | 11 | 0 | 0.0 | | | | |
| 11 | 12 | 0 | 0.0 | | | | |
| 12 | 13 | 2 | 2.6 | | | | |
| 13 | 14 | 1 | 1.3 | | | | |

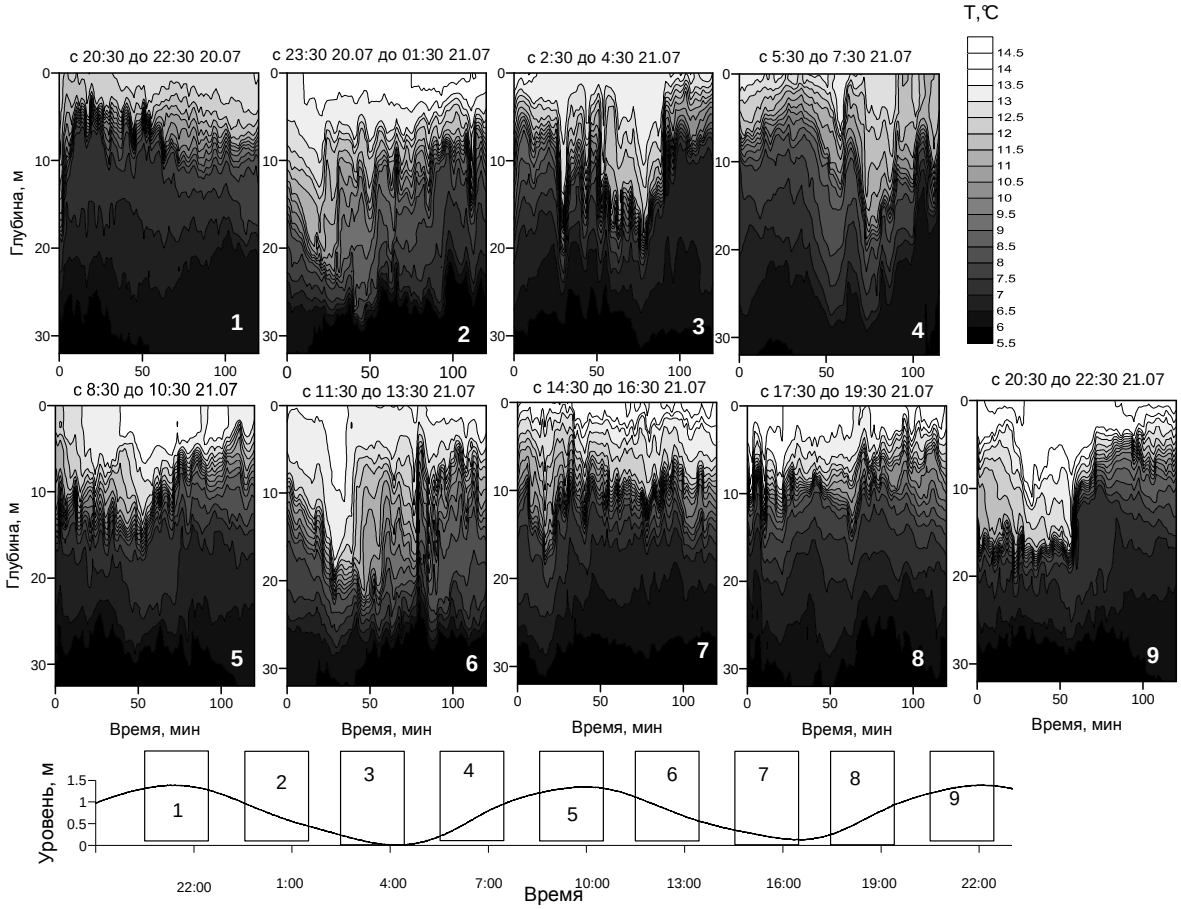



Рис.11. Временна́я изменчивость температуры по данным сканирования СТД-зондом на полигоне № 1 (мористая часть пролива Западная Соловецкая салма) с 20.30 20.07.2011 г. до 22.30 21.07.2011 г. и колебания уровня (прямоугольниками с номерами 1–9 на графике хода уровня показаны периоды сканирований).

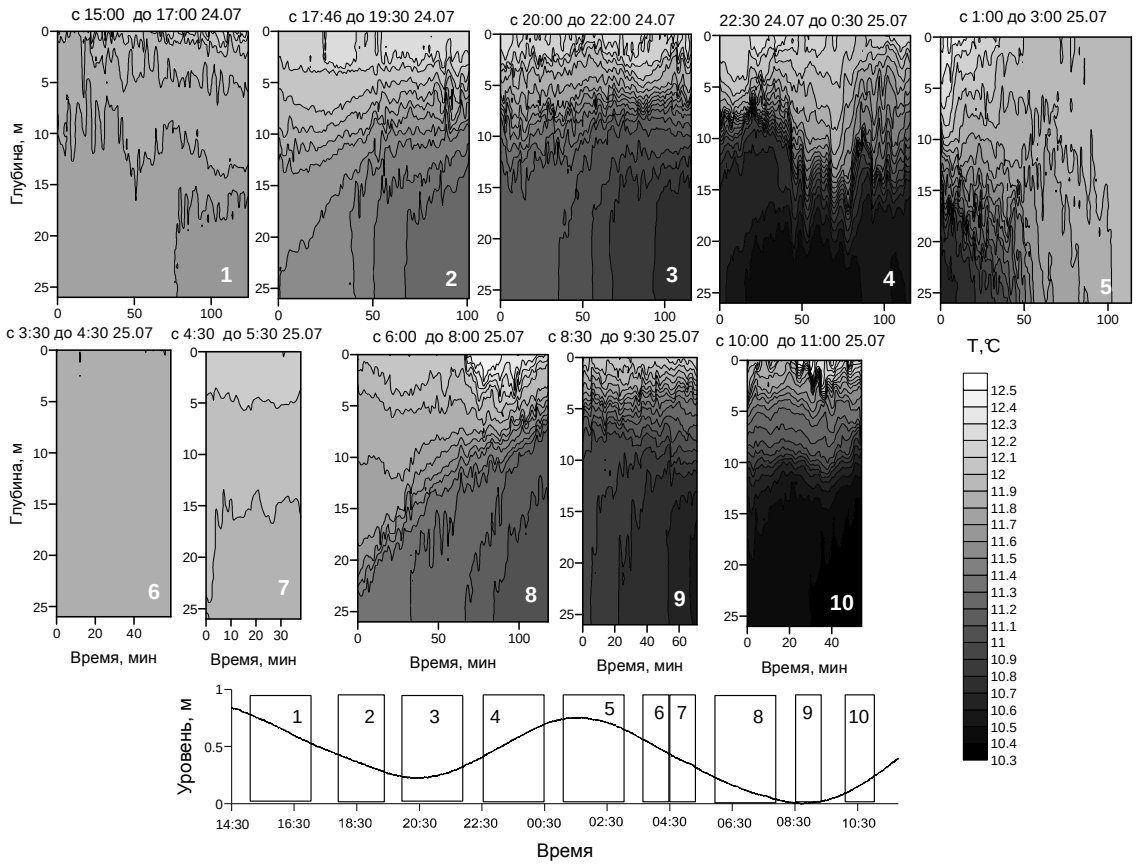



Рис.12. Временна́я изменчивость температуры по данным сканирования СТД-зондом на полигоне № 3 (узкая часть пролива Западная Соловецкая салма) с 15.00 24.07.2011 до 11.30 25.07.2011 и колебания уровня (прямоугольники с номерами см.на рис.11).

В период прилива наблюдается заток более холодных и соленых вод через порог пролива. Воды поступают в придонном десятиметровом слое (рис.12, **3**; 12, **4**; 12, **9**; 12, **10**). В результате возникает двухслойная структура вод, наблюдаются короткопериодные ВВ. Периоды этих волн меньше, чем на полигонах № 1, 2, составляют преимущественно 5–10 мин, имеют выраженную цуговую структуру. Эти колебания «сидят» на гребне приливного затока вод. Самые интенсивные из них наблюдаются в конце фазы прилива. В период отлива структура вод становится однородной от поверхности до дна. Изменчивость температуры в течение полутора часов не превышает 0.1°С. Подобная картина возникновения и исчезновения стратификации вод повторяется каждый приливный цикл, на фоне которой регистрируются 4–5 короткопериодных волн с высотой больше 2 м (см.таблицу).

Оценки вертикального турбулентного обмена выполнялись по формулам, приведенным в работе [23]. Расчет производился для мористых районов (полигоны № 1, 2) в слое 10–19 м с шагом по вертикали 0.5 м и двумя различными шагами по времени. В первом случае расчет был проведен с шагом 2 мин без осреднения исходной информации; во втором случае, чтобы полностью исключить проявления короткопериодных ИВВ, было выполнено двухчасовое осреднение исходных данных. Средний за приливный цикл коэффициент вертикального турбулентного обмена на полигоне № 1 без осреднения исходной информации составил 0.021–0.026 м$^2$/с, а при двухчасовом осреднении – 0.007–0.008 м$^2$/с. На полигоне № 2 без осреднения – 0.008–0.019 м$^2$/с, с шагом усреднения два часа – 0.006–0.015 м$^2$/с. Значения коэффициента вертикального турбулентного обмена, рассчитанные по данным на полигоне № 1, где наблюдались ИВВ, более

чем в 3 раза превышают таковые, полученные по осредненным значениям. Для полигона № 2, где внутренне волнение выражено слабее, значительных изменений не выявлено.

Обобщая результаты проведенных исследований, можно сделать следующие выводы.

Во всех исследуемых районах поле внутренних волн состоит из двух основных компонент: приливных волн полусуточного периода и короткопериодных волн.

В глубоководной части шельфа в районе бассейна Белого моря наиболее интенсивное внутреннее волнение имеет полусуточный период и отмечается в слое придонных вод.

В мелководной части шельфа бассейна Белого моря во время прилива наблюдается внутренняя приливная волна в виде бора, двигающаяся к берегу, а в период отлива – группы короткопериодных ИВВ, двигающихся в открытое море, последние вносят значительный вклад в вертикальный турбулентный обмен.

В узкой части пролива Западная Соловецкая салма в период отлива наблюдается полная однородность вод, а во время прилива – заток холодных вод в придонном слое, на гребне которого распространяются короткопериодные ВВ.

Рассмотренные в статье результаты фундаментальных и поисковых исследований свидетельствуют о необходимости и возможности создания в нашей стране системы оперативного прогноза и мониторинга гидрофизических полей, в государственно-важных акваториях Мирового океана, в первую очередь – в морях российской Арктики, в интересах решения широкого круга хозяйственных и оборонных задач, в том числе задач обеспечения скрытности подводных объектов. Уже в настоящее время разработаны физико-математические модели океана, позволяющие описывать осредненные характеристики гидрофизических полей и процессов на масштабах от единиц километров и выше. На основе таких моделей могут быть выделены области, в которых происходит трансформация крупномасштабных процессов и наблюдаются тонкоструктурные и интенсивные мелко- и мезомасштабные явления. Динамика морской среды в этих областях может быть описана на основании обобщения эмпирических данных, в том числе приведенных в настоящей статье, что в сочетании с привязкой таких данных к модельным расчетам в режиме реального времени может существенно уточнить процессы на мелкомасштабной части и соответственно улучшить анализ и прогноз ГФП интересующего района.

Принципиальным вопросом создания систем оперативной океанологии для заданных акваторий является обоснование организационно-технической структуры наблюдательной сети. В общем случае она должна включать данные дистанционных спутниковых наблюдений и контактных измерений параметров гидрофизических полей с корабельных носителей, дрейфующих или заякоренных буйковых систем, подводных аппаратов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства РФ для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных учреждениях высшего профессионального образования (договор № 11.G34.31.0078).*

**Литература**

1. *Зильберштейн О.И., Попов С.К., Чумаков М.М., Сафронов Г.Ф.* Метод расчета характеристик уровня моря в Северном Каспии // Водные ресурсы. 2001. Т.28, № 6. С.692–700.
2. *Вербицкая О.А., Зильберштейн О.И., Попов С.К., Лобов А.Л.* Метод краткосрочного гидродинамического прогноза штормовых нагонов в северной части Каспийского моря и результаты его испытаний // Гидрометцентр. Инф. сб. 2002. № 29. С.76–89.
3. *Карлин Л.Н., Рябченко В.А., Ванкевич Р.Е., Еремина Т.Р., Исаев А.В., Неелов И.А.* Испытание оперативной океанографической системы при прогнозе гидродинамических характеристик в Финском заливе Балтийского моря // Фундаментальная и прикладная гидрофизика, 2010. № 3 (9). С.39–48.
4. *Волженский М.Н., Родионов А.А., Семенов Е.В., Филатов Н.Н., Зимин А.В., Булатов М.Б.* Опыт верификации оперативной модели для мониторинга гидрофизических полей Белого моря в 2004–2008 гг. // Фундаментальная и прикладная гидрофизика, 2009. № 3 (5). С.33–41.

5. *Семенов Е.В., Мортиков Е.В.* Методы обработки глубоководных термохалинных измерений // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2011. Т.4, № 2. С.45–57.
6. *Семенов Е.В., Мортиков Е.В.* Задачи оперативного усвоения данных для окраинных морей // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2012. Т.48, № 1. С.1–13. DOI:10.1134/S0001433812010124.
7. *Корчагин Н.Н., Монин А.С.* Мезоокеанология. М., 2004. 176 с.
8. *Рябченко В.А., Дворников А.Ю., Горчаков В.А., Либерман Ю.М.* Разработка и испытание модельного комплекса для прогноза гидродинамических характеристик в ограниченных районах Баренцева моря // Фундаментальная и прикладная гидрофизика, 2009. № 1(3). С.16–28.
9. *Тихонов А.Н., Арсенин В.Я.* Методы решения некорректных задач. М.: Наука», 1979. С.285.
10. *Тихонов А.Н., Леонов А.С., Ягола А.Г.* Нелинейные некорректные задачи. М.: Физматлит, 1995. С.311.
11. *Le Dimet F., Talagrand O.* Variational algorithms for analysis and assimilation of meteorological observations: theoretical aspects. Tellus, 1986. 38A. P.97–110.
12. *Семенов Е.В., Бирюк С.В.* Применение метода множителей Лагранжа к задачам усвоение натурных данных // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1991. Т.27, № 12. С.1316–1324.
13. *Семенов Е.В., Ефимов С.С., Русецкий К.К.* Четырехмерный анализ гидрологических наблюдений в эксперименте «Мегаполигон–87» / В кн. «Эксперимент «Мегаполигон». М.: Наука, 1992. С.358–367.
14. *Orlanski I.* A simple boundary conditions for unbounded hyperbolic flows // J. Comput. Phys. 1976. V.l2, N 3. P.251–269.
15. *Семенов Е.В., Лунева М.В.* Численная модель приливной и термохалинной циркуляции вод Белого моря // Изв. АН. Физика атмосферы и океана. 1995. Т.32, № 5. С.704–713.
16. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.2: Белое море. Вып.1. Гидрометеорологические условия. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 240 с.
17. *Филатов Н.Н., Тержевик А.Ю.* Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 335 с.
18. *Инжебейкин Ю.И.* Колебания уровня Белого моря. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2003. 154 с.
19. *Каган Б.А., Тимофеев А.А.* Динамика и энергетика поверхностных и внутренних полусуточных приливов в Белом море // Изв. АН. Физика атмосферы и океана. 2005. Т.41, № 4. С.844–850.
20. *Семенов Е.В.* Численное моделирование динамики Белого моря и проблема мониторинга // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2004. Т.40, № 1. С.128–141.
21. *Зимин А.В.* Внутренние волны на шельфе Белого моря по данным натурных наблюдений // Океанология. 2012. Т.52, № 1. С.16–25 .
22. *Сабинин К.Д., Серебряный А.Н.* «Горячие точки» в поле внутренних волн в океане // Акустический журнал. 2007. Т.53, № 3. С.410–436.
23. *Green M., Simpson J., Legg S., Palmer M.* Internal waves, baroclinic energy fluxes and mixing at the European shelf edge // Continental Shelf Research. 2008. V.28, N 7. P.937–950.

Статья поступила в редакцию 28.05.2012 г.

# Конференции

## Решение XI Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» (ГА-2012)

Санкт-Петербург 24 мая 2012 года

Одиннадцатая Всероссийская конференция проводилась с 22 по 24 мая 2012 г. в здании Президиума Санкт-Петербургского научного центра РАН (Университетская наб., д.5) по решению Научного совета по проблемам фундаментальной и прикладной гидрофизики СПбНЦ РАН.

**Учредители конференции:**

– Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук (Научный совет по проблемам фундаментальной и прикладной гидрофизики);
– ОАО «Концерн «Морское подводное оружие - Гидроприбор»;
– ОАО «Концерн «Океанприбор».

**В организации конференции принимали участие:**

– Комитет по науке и высшей школе Правительства Санкт-Петербурга;
– Секция прикладных проблем при Президиуме РАН;
– Санкт-Петербургский институт информатики РАН;
– Институт прикладной физики РАН;
– Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН и Санкт-Петербургский филиал;
– Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН;
– ФГУП «ЦНИИ им.А.Н.Крылова»;
– ОАО «Санкт-Петербургское морское бюро машиностроения «Малахит»;
– ОАО «ЦКБ МТ «Рубин»;
– ФГУ НПП «Севморгео»;
– Санкт-Петербургский государственный университет;
– Южный федеральный университет;
– Санкт-Петербургский государственный морской технический университет;
– Псковский государственный политехнический институт;
– БГТУ «Военмех» им.Д.Ф.Устинова;
– ЗАО «Гранит-7»;
– филиал ОАО «26 ЦНИИ»;
– ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия им.Н.Г.Кузнецова».

В работе конференции приняли участие более 250 представителей 60 научных, учебных и научно-исследовательских организаций и предприятий.

На пленарных заседаниях и на 3-х секциях «Методы прикладной гидроакустики», «Проблемы прикладной гидрофизики» и «Гидроакустические системы» были заслушаны и обсуждены 146 докладов и сообщений.

Тезисы представленных докладов и сообщений опубликованы в сборнике трудов до открытия конференции.

Заслушав и обсудив представленные доклады и сообщения,

## КОНФЕРЕНЦИЯ ОТМЕЧАЕТ:

1. В материалах докладов и сообщений представлен широкий круг теоретических и прикладных вопросов гидрофизики и гидроакустики, представляющих интерес для отечественных и зарубежных организаций, деятельность которых направлена на:

– обеспечение безопасности мореплавания;

– создание технических средств исследования и освоения Мирового океана;

– проведение научных исследований в области физики, химии, биологии, экологии и геологии океана;

– поиск, освоение и эксплуатацию морских природных ресурсов;

– выполнение подводно-технических и аварийно-спасательных работ;

– использование гидрофизических и гидроакустических средств в различных отраслях науки, промышленности, коммунального и бытового хозяйства, защиты человека и окружающей среды, медицины и др.

2. Представленные доклады и сообщения отражают высокий научный и технический уровень их авторов. В конференции приняли участие 104 дипломированных учёных (37 докторов и 67 кандидатов наук).

3. Тематика большинства докладов направлена на решение актуальных практических задач, обеспечения морской деятельности Российской Федерации.

4. Расширилось представительство регионов России, и вырос количественный состав молодых участников по сравнению с предыдущими конференциями.

5. Вместе с тем целый ряд результатов и направлений исследований не востребован государственными и коммерческими заказчиками.

## КОНФЕРЕНЦИЯ СЧИТАЕТ НЕОБХОДИМЫМ:

1. Авторам и организациям шире распространять информационные материалы о своих разработках в Санкт-Петербурге, в других субъектах РФ, в странах СНГ и за рубежом.

2. Активнее использовать существующий научно-технический потенциал оборонных предприятий для переоснащения технических средств исследования и освоения Мирового океана и Арктического шельфа при решении задач экономического, технического, технологического, производственного и социально-культурного развития регионов России.

3. Постоянно расширять круг контактов с потенциальными потребителями научно-технической продукции, предлагать им свои информационно-технические, технологические и производственные услуги.

4. Развивать и углублять научно-технические межрегиональные и международные связи в области технологий гидроакустики и гидрофизики, активно участвовать в российских и международных семинарах и конференциях с докладами и сообщениями.

5. Уделять больше внимания профессиональному росту и привлечению к участию в конференциях по проблемам прикладной гидроакустики и гидрофизики молодых ученых и специалистов.

6. Рекомендовать Научному совету по проблемам фундаментальной и прикладной гидрофизики включить в перспективный план работы совета рассмотрение вопросов:

– о разработке перспективных конструкций гидроакустических антенн и их элементов, в т.ч. на основе нелинейной гидроакустики, оптоволокна, пьезокомпозитов, полиуретанов и т.п.;

– о создании морских роботизированных средств различного назначения;

– о разработке методов и средств оперативной океанологии в интересах решения научных, хозяйственных, экологических и оборонных задач.

Исходя из предложений организаторов, участников и гостей,

## КОНФЕРЕНЦИЯ РЕШАЕТ:

1. Считать одиннадцатую Всероссийскую конференцию «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» (ГА-2012) успешно завершенной.

2. Оргкомитету направить труды конференции ГА-2012 заинтересованным организациям, предприятиям и ведомствам.

3. Провести в 2014 году очередную двенадцатую конференцию «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» (ГА-2014), а в 2013 году - третью конференцию молодых ученых и специалистов.

4. Рекомендовать Научному совету по проблемам фундаментальной и прикладной гидрофизики СПбНЦ РАН:

– в декабре 2012 года утвердить состав оргкомитета конференции ГА-2014;

– оргкомитету при подготовке конференции ГА-2014 определить основные научные направления технологий прикладной гидроакустики и гидрофизики, предлагаемые к рассмотрению на пленарных заседаниях и на секциях;

– рекомендовать оргкомитету конференции ГА-2014 обеспечить более широкое привлечение к участию в конференции молодых ученых, специалистов и представителей Российской Федерации и стран СНГ;

– определить наиболее приоритетными научными направлениями деятельности Научного совета: разработку методов и создание технических средств в обеспечение исследования и освоения Мирового океана и Арктического шельфа применительно к решению задач поиска, освоения и эксплуатации морских природных ресурсов, обороны страны, экологического контроля, мониторинга водной и прибрежной среды, безопасности мореплавания и других задач, с учетом комплексного развития и освоения шельфа морей России.

5. По результатам работ секций вручить дипломы и кубки участникам конференции за доклады, вызвавшие наибольший интерес:

– Корнееву Юрию Алексеевичу Кировский филиал ОАО «Концерн «Океанприбор», г. Кировск, Ленинградская обл.;

– Рамазанову Магомеду Алихановичу, ОАО «Концерн «Морское подводное оружие – Гидроприбор»;

– Скнаре Анатолию Васильевичу, ОАО «Научно-исследовательский институт приборостроения им. В.В.Тихомирова», г.Жуковский, Московская обл.;

– Баринову Василию Александровичу, Тюменский государственный университет;

– Чубарову Леониду Борисовичу, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук;

– Левченко Дмитрию Герасимовичу, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П.П.Ширшова Российской академии наук;

– Николаеву Владимиру Николаевичу, ОАО «Концерн «Океанприбор»;

– Буймистрюку Григорию Яковлевичу, ОАО «Приборостроение «ПНППК-Интел-Системы»;

– Малышкину Геннадию Степановичу, ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»,

а также вручить награды молодым ученым:

– Бухаревой Анне Александровне, ОАО «Концерн «Океанприбор»;

– Мортикову Евгению Валерьевичу, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П.П.Ширшова Российской академии наук;

– Корецкой Алле Сергеевне, ОАО «Концерн «Океанприбор».

Сопредседатель оргкомитета конференции ГА-2012,
председатель Научного совета по проблемам фундаментальной
и прикладной гидрофизики СПбНЦ РАН
засл. деятель науки РФ, д-р техн.наук, проф.

А.А.Родионов

## Правила представления материалов в редакцию

**1.** Статьи, сообщения и другие материалы, представляемые в редакцию, должны соответствовать **тематической направленности** сборника научных трудов (фундаментальные основы гидрофизики; динамика и гидродинамика морских объектов; физические поля морских объектов, океана, атмосферы и их взаимодействие; методы и средства регистрации гидрофизических полей океана и морских объектов; информационные технологии в задачах гидрофизики, проектирования и эксплуатации морских объектов; экология гидросферы; гидробионика).

Публикуются также **обзоры**, характеризующие современное состояние основных направлений исследований, **сообщения** о наиболее интересных научных конференциях и памятных датах, **материалы** научных дискуссий, **рецензии** на новые книги, **материалы** по истории гидрофизики.

**2.** В соответствии с п.2 ст.1286 гл.70 («Авторское право») Гражданского кодекса РФ между автором и редколлегией заключается **устный договор** о предоставлении права использования произведения, согласно которому автор, направляя свой матерал в редакцию, автоматически передает редколлегии право на него до момента выхода в свет (с содержанием договора можно ознакомиться на сайте **www.nsgf.narod.ru**). В обязательном порядке к рукописи должно быть приложено **экспертное заключение** о возможности публикации материала в открытой печати.

**3.** В редакцию материалы следует представлять в электронном виде (в редакторе **Word**), предпочтительно по электронной почте или на любом электронном носителе и в распечатанном виде в двух экземплярах, один из которых подписывается автором (всеми авторами). Объем статьи не должен превышать **20 страниц**, научных сообщений – **8 страниц**, обзоров – **30 страниц** машинописного текста при печати **через 1.5 интервала шрифтом Times New Roman, кегль 12**.

**4. Первая страница** статьи должна содержать: индекс **УДК**; фамилии и инициалы всех авторов; полное название учреждения, от имени которого выступает каждый из авторов; название города, в котором находится учреждение; название статьи; **аннотацию** (не более 600 знаков).

**5. Формулы** в текстовом файле должны быть выполнены в формульном редакторе MathType или Equation. Написание греческих и русских букв, цифр, математических операций и функций – **прямое**, латинских букв – **курсивное**, векторов – **прямое полужирное**. Рекомендуется сквозная нумерация формул, номер формулы ставится по правому краю листа в круглых скобках. Формулы не нумеруются, если на них отсутствуют ссылки в тексте.

**6. Таблицы и рисунки** должны помещаться в тексте по мере упоминания. Файлы рисунков (в одном из форматов ***.tif"**, ***.jpg** или ***.pcx**) и подрисуночные подписи должны быть представлены **дополнительно**. Обозначение осей (надписи **на русском языке** и цифры) не мельче 10 кегля.

**7. Литература** в библиографическом списке приводится в порядке упоминания в едином формате, установленном системой Российского индекса научного цитирования. В тексте ссылки даются в квадратных скобках.

**Примеры оформления цитированной литературы**

Книга:

1. *Понтрягин Л.С.* Обыкновенные дифференциальные уравнения. М.: Физматгиз, 1961. 350 с.
2. Теория управления. Ч.I. Теория линейных систем / Под ред. А.М.Воронова. М.: Высш. шк., 1986. 440 с.
3. *Gelenbe E., Mitrani I.* Analyzing and synthesis of computer systems. London: Academic Press, 1980. 280 p.
4. *Уиттекер Е.Т.* Аналитическая динамика. М.;JL: ОНТИ, 1937. 500 с. / Пер. с англ. *Whitaker E.T.* Treatise on the Analytikal Dinamics. Cambridge; Cambridge Univ.Press, 1927. 430 p.

Статья в журнале:

5. *Земляков С.Д.* и др. Функциональная управляемость и настраиваемость систем // АиТ. 1986. № 2. С.21–30.
6. *Alkhatib K.* An analytical scheme for flight control systems // Aero J. 1985. V.89, N 889. P.353–361.

Сборник трудов конференции:

7. *Ray A.* A new methodology // Proc. 20th IEEE Conf. On Decision and Control. San Diego, 1981. P.1363–1369.
8. *Ахов Б.Г.* Создание блоков // Тр. 7-й Междун.конф. «Прикладные технологии». СПб.: Наука, 2006. С.21–25.

Препринт, депонированная рукопись и т.п.:

9. *Глумов В.М.* и др. Программное обеспечение блока. Препринт. М.: Ин-т проблем управления, 1989. С.17–21.
10. *Шмелев В.В.* Метод точных штрафных функций. М., 1988. Деп. в ВИНИТИ 9.03.1988, № 1904-В88. 18 с.

Авторское свидетельство:

11. *Суворов Н.В.* Методы оценки эффективности ресурсов: А.С. 163514 СССР // Б.И. 1986. № 13. С.44.

**8.** Решение о публикации материала редакция принимает после отработки автором замечаний рецензентов. Откорректированная рукопись должна быть подписана всеми авторами и выслана в адрес редакции почтой или представлена лично.

**9. Дополнительно** к рукописи представляются **на русском и английском языках** в распечатанном и электронном виде: сведения о каждом из авторов (фамилия, имя, отчество, год рождения, место работы, должность, ученая степень и ученое звание, контактный телефон, e-mail); название статьи; аннотация; ключевые слова (до 7 слов); библиографический список.

**10.** Рукописи, не соответствующие правилам редакции, к рассмотрению не принимаются. Рукописи не возвращаются.

**Адрес редакции:** 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., д.5.
Учреждение Российской академии наук Санкт-Петербургский научный центр РАН
Научный совет по проблемам фундаментальной и прикладной гидрофизики
Тел./факс: (812) 328-26-12, e-mail: **nsgf2008@yandex.ru**.

*Научное издание*

**Фундаментальная и прикладная гидрофизика**
2012. Том 5, № 2

Утверждено к печати 20.06.2012 г.

Редактор *Т. П. Жукова*

Лицензия ИД № 02980 от 06.10.2000 г.

Формат 60×84 ⅛. Уч.-изд.л. 11,0. Тираж 200 экз.

Печатается с оригинал-макета, подготовленного в СПбНЦ РАН
*Н. Е. Покровской*

Санкт-Петербургская издательская фирма «Наука»
199034, Санкт-Петербург, Менделеевская лин., д.1.
E-mail: main@nauka.nw.ru
Internet: www.naukaspb.com

Заказ № 2828

Отпечатано в типографии «Нестор-История»
Санкт-Петербург, ул.Розенштейна, д.21.
E-mail: nestor_historia@list.ru

ISBN 978-5-02-038189-6