

© 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 натуральных 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 длиной 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 1972 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).

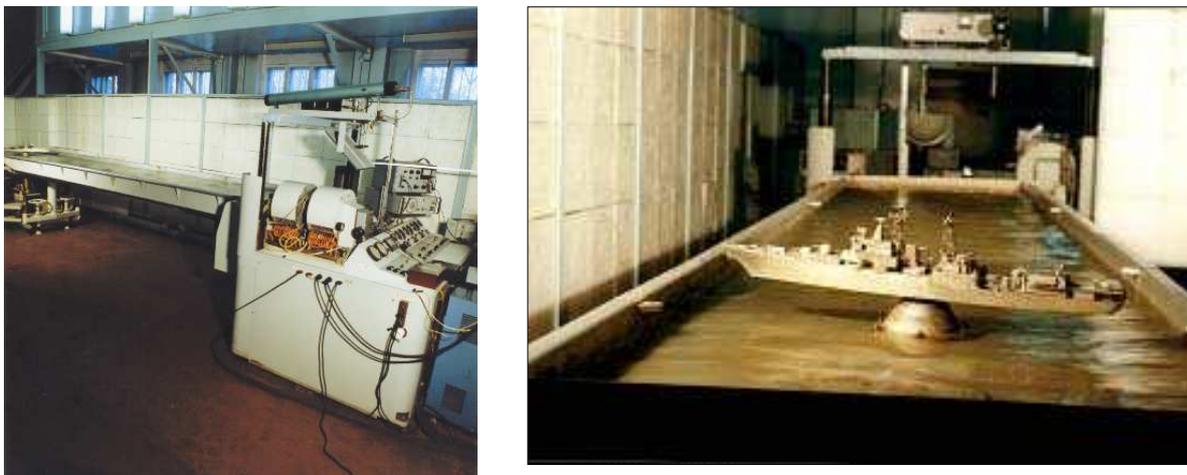


Рис.4. Стенд электродинамического моделирования для решения внешних задач морской радиолокации.

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 конструктивных радиопоглощающих материалов (КРПМ) на основе стеклопластиков, создание тонкослойных широкодиапазонных радиопоглощающих покрытий (РПП). На долю института выпали разработка требований к параметрам РПП, 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.

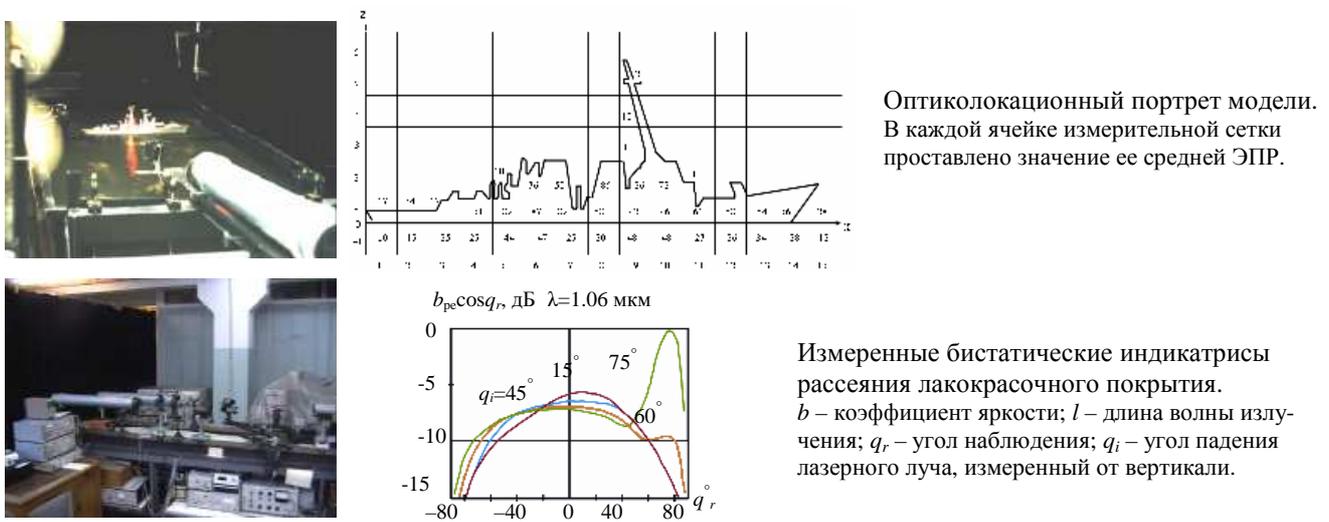


Рис.5. Защита кораблей по вторичному оптиколокационному полю.
 Длина волны излучения: при измерении оптиколокационных характеристик объектов – 0.63 и 1.15 мкм;
 при измерении коэффициентов отражения материалов – 0.2÷1.2 и 3.5÷14 мкм; чувствительность
 по коэффициенту яркости: –40÷–30 дБ.

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-временного 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.

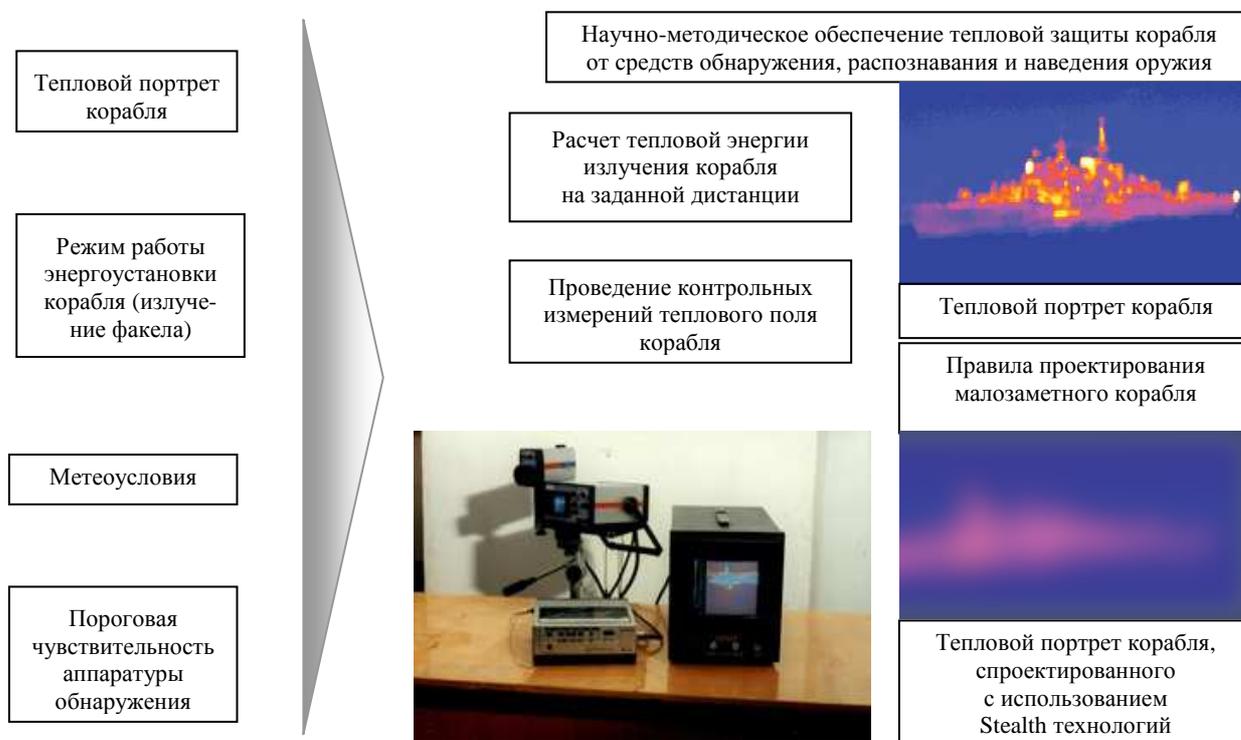


Рис.6. Защита корабля по тепловому полю.

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.

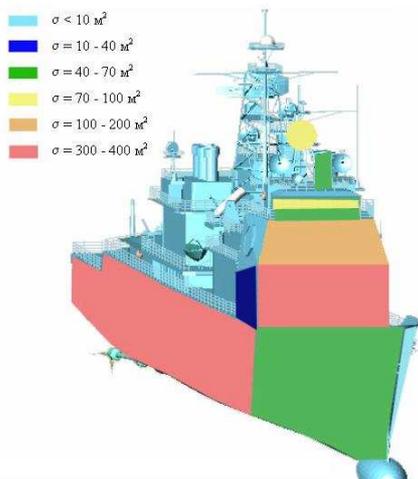
В 2009 г. институтом был разработан пакет программ «3D-IMAGE» в обеспечение технологии электромагнитного проектирования «стелс»-кораблей. Помимо прогнозирования вторичного радиолокационного поля корабля этот пакет программ позволил прогнозировать собственное тепловое поле корабля и вторичное оптиколокационное 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.



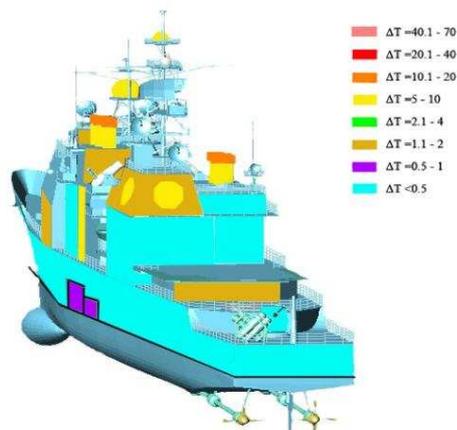
Виртуальная модель крейсера при его наблюдении с курсового угла 270 градусов и угле места 5 градусов



Трехмерный радиолокационный портрет корабля с курсового угла 135°
угол места 5°
длина волны 3 см



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 двумерные 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 – плоскостойкие и с геометрическими неоднородностями. В плоскостойком 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.

