

В.Н. Киреев, В.Н. Круглов, Ю.И. Рязанцев

КОРАБЕЛЬНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПУНКТЫ



В.Н. Киреев, В.Н. Круглов, Ю.И. Рязанцев

Посвящается памяти
Соколова Дмитрия Георгиевича –
главного конструктора отечественных кораблей
обеспечения космических полетов:
«Космонавт Юрий Гагарин»,
«Маршал Неделин», «Маршал Крылов»

КОРАБЕЛЬНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПУНКТЫ

Особенности проектирования

Санкт-Петербург
2007

УДК 681.518:623.8

ББК 34.96

К 66

Киреев В.Н., Круглов В.Н., Рязанцев Ю.И. Корабельные измерительные пункты. Особенности проектирования

СПб.: ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2007. – ISBN 5-900703-98-3.

КРАТКАЯ АННОТАЦИЯ

Настоящая книга посвящена памяти Соколова Дмитрия Георгиевича (1921– 2000 гг.), Лауреата Государственной премии, главного инженера ЦКБ "Балтсудопроект", главного конструктора проектов судов. Под руководством Дмитрия Георгиевича Соколова выполнены многие проекты судов различного назначения, построенных на отечественных заводах-строителях. Среди них уникальные корабли обеспечения космических полетов "Космонавт Юрий Гагарин", "Маршал Неделин", "Маршал Крылов". Будучи главным инженером ЦКБ Дмитрий Георгиевич Соколов во многом способствовал проектированию и строительству корабельных измерительных пунктов: малых КИП первого поколения типа "Моржовец" (4 судна, главный конструктор П.С. Возный) и типа "Космонавт Владислав Волков" (4 судна, главный конструктор Б.П. Ардашев), а также универсального корабельного измерительного пункта нового поколения "Академик Николай Пилюгин" (главный конструктор Б.П. Ардашев). Таким образом, при непосредственном участии и руководстве Соколова Дмитрия Георгиевича были созданы большинство из отечественных научно- исследовательских судов нового направления – корабельные измерительные пункты обеспечения космических полетов, превосходящие зарубежные аналоги по многим показателям. Особенности проектирования КИП изложены в настоящей книге.

УДК 681.518:623.8

ББК 34.96

ISBN 5-900703-98-3

© ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2007

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Задачи обеспечения космических полетов и место в них корабельных измерительных пунктов	4
2. Этапы развития и краткое описание отечественных и зарубежных корабельных измерительных пунктов	11
3. Архитектурно-конструктивные особенности корабельных измерительных пунктов	33
4. Нагрузка масс	42
5. Балластировка	51
6. Остойчивость и непотопляемость	58
7. Стабилизация. Обеспечение работы в условиях моря	72
8. Относительная метацентрическая высота (определение граничных условий)	82
9. Выбор главных размерений	92
10. Проблемы перспективного развития	101
11. Библиографический список	110

1. ЗАДАЧИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ И МЕСТО В НИХ КОРАБЕЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ

Освоение космического пространства – перспективная задача Землян. Это связано с вопросами народонаселения Земли, ее топливно-энергетическими ресурсами, запасами полезных ископаемых и многими другими проблемами. Отдельные области жизнедеятельности человечества напрямую связаны с космосом:

- дальняя телефонно-телеграфная связь;
- прогнозы погоды и предупреждения о стихийных бедствиях;
- судовождение в океане;
- геодезические работы на строительстве газопроводов и железных дорог;
- составление топографических карт и разведка полезных ископаемых.

Учеными анализируются возможности будущих космических электростанций, построенных на околоземных орбитах. Исследуются проблемы материаловедения, используя возможности длительной невесомости и глубокого вакуума. Решаются также и другие научные проблемы в области астрономии, биологии и медицины на базе возможности экспериментирования в космосе. В последнее время все большее развитие получает космический туризм.

Использование указанных достижений освоения космоса в народном хозяйстве связано, в первую очередь, с ближним космосом и обеспечивается, в основном, реализацией национальных космических программ, к разработке и осуществлению которых к странам, длительное время участвующим в освоении космоса (Россия, США), присоединяются все новые (КНР, Япония, Индия и другие). В этой части можно назвать и примеры международного сотрудничества [37], [52], куда можно отнести совместные полеты в космос представителей различных стран, международные навигационные космические системы, выведение национальных спутников отдельных государств с помощью космодромов и ракет-носителей других стран. Заключаются соглашения о совместном создании и эксплуатации космических станций группой государств (Россия, США, Япония). Создаются совместные организации для коллективной работы по

космосу, примером чего может служить Европейское космическое агентство. Можно ожидать, что процесс международного сотрудничества по освоению космического пространства будет расширяться, так как эта задача крупноплановая, требует значительных затрат и под силу только всему международному сообществу. Особенно это относится к проблемам работы по дальнему космосу: полета к планетам солнечной системы и их спутникам, например к планете Марс. С расширением международного сотрудничества в области освоения космоса наряду с традиционными появляются и новые задачи в части обеспечения космических программ.

Организационно по сложившейся практике для обеспечения космического полета используются три комплекса [4]:

- стартовый (СК);
- командно-измерительный (КИК);
- поисково-спасательный (ПСК).

Поскольку большая часть поверхности Земли (71 %) покрыта водой, то нетрудно показать, что в силу необходимости или в силу экономической целесообразности в каждый из указанных комплексов могут входить специальные плавучие сооружения – корабельные измерительные пункты (КИП) для проведения различных измерений при запусках, полетах и посадке КА.

Структурная схема обеспечения космических полетов при различных вариантах выведения и посадки космического аппарата (КА) представлена на рис. 1.

Командно-измерительный комплекс включает в себя сооружения и оборудование, необходимые для контроля и управления полетом космических объектов, приема от них информации и ее обработки. Составляющие КИК располагаются в Центре управления полетом (ЦУП) и на измерительных пунктах, которые соединены с ЦУП линиями связи.

С целью исключения так называемых глухих витков космических полетов вне зон видимости наземных измерительных пунктов (НИП) применяются плавучие (корабельные) измерительные пункты (КИП).

Поисково-спасательный комплекс используется в случае возвращения на землю спускаемого космического аппарата (СКА) и включает в себя радиотехнические станции обнаружения и поиска, самолеты и вертолеты, обеспечивающие поиск и эвакуацию спускаемого отсека, а в

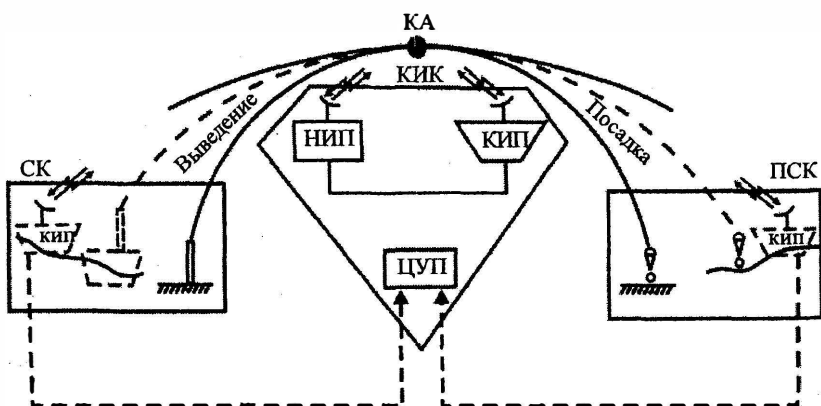


Рис. 1. Схема обеспечения космических полетов при различных вариантах выведения и посадки космического аппарата

случае аварийного или запланированного его приводнения используют специально оборудованные корабли, входящие в ПСК. При этом корабельные измерительные пункты командно-измерительного комплекса (КИП КИК), оборудованные радиопеленгаторами и другими устройствами для обнаружения и поиска в океане спускаемых отсеков спутников и межпланетных станций, могут также привлекаться к работе ПСК.

В стартовый комплекс входит совокупность сооружений и оборудования, предназначенных для подготовки ракеты-носителя и космического объекта к запуску и самого запуска. Технические средства стартового комплекса размещаются на космодроме, который в современных условиях находится, как правило, на суше.

Как отмечают специалисты, возможности запуска при этом ограничены местом расположения пусковой площадки. Так, например, запуск спутника на экваториальную орбиту, привлекательную по многим параметрам, требует сложной системы наведения, если он осуществляется с определенных мест суши. Проблема легко решается, если запуск осуществляется со специального плавучего сооружения, которое легко может быть направлено в нужное место. Так возникла идея плавучего космодрома, которая по сообщениям печати глубоко прорабатывалась в США. Там были выполнены проекты судов, получившие название "астронавтические".

В составе оборудования этих судов, кроме устанавливаемого на стартовых площадках, предусматривались системы слежения за участком выведения. В принципе такое оборудование можно было бы установить и на отдельных специальных плавучих станциях слежения, которые совместно с другими судами, например снабженцами, могли бы обеспечивать работу плавучего стартового комплекса. Для этих же целей могут привлекаться и КИП КИК при наличии на них соответствующего оборудования. Впервые в мире плавучий космодром был построен в России на Выборгском судостроительном заводе на базе плавучей буровой платформы.

Рассмотренный материал показывает, что в возможных схемах обеспечения космических полетов КИП занимают значительное место. При этом они могут рассматриваться как выносные измерительные пункты (ВИП) по отношению к наземным стационарным. В этой связи следует отметить, что в качестве выносных измерительных пунктов могут использоваться и космические пункты измерения (КПИ), созданные на основе спутников-ретрансляторов. Однако, оставаясь при этом космическими объектами, они сами потребуют контроля с Земли как при запуске, так и в процессе эксплуатации. Можно предполагать, что и при этом роль КИП будет оставаться достаточно существенной.

В качестве ВИП могут рассматриваться самолеты, оснащенные измерительной аппаратурой и средствами связи. Однако они значительно уступают КИП по возможностям размещения на них измерительных средств, а их эксплуатация в большей степени зависит от метеорологических условий. Определенную разновидность ВИП представляют и вертолеты, базирующиеся на КИП.

По выполняемой функции при работе с космическими объектами, оборудованию и размерам КИП КИК условно можно разделить на универсальные и малые [4].

На универсальных может быть размещен практически весь комплекс радиотехнических средств, характерных для наземного пункта. С их помощью можно передавать команды и программы для управления полетом, измерять параметры движения космического аппарата, принимать телеметрическую и научную информацию, вести радиотелефонные и радиотелеграфные переговоры с космонавтами, иначе говоря, полностью заменить наземный измерительный пункт.

На малых КИП устанавливается меньший состав оборудования и решают они более узкий круг задач: например, прием из космоса телеметрической и научной информации и обеспечение радио переговоров с экипажами космических кораблей и орбитальных станций.

Для нужд ПСК могут привлекаться универсальные КИП КИК или использоваться корабли, оборудованные, как минимум, средствами траекторных измерений (малый КИП ПСК). На этих кораблях может также устанавливаться радиотелеметрическая аппаратура, и они могут нести на себе вертолеты и быть оборудованы ангарами, взлетно-посадочными площадками, а также иметь специальные устройства для подъема приводнившихся аппаратов и капсул на борт корабля. Структурная схема КИП приведена на рис. 2.

При описаниях зарубежных КИП, обеспечивающих космические программы, используют их условное подразделение в зависимости от космического объекта, полет которого они обеспечивают. Так говорят о КИП [55]:

- для проведения измерений в процессе испытаний и учебных пусков межконтинентальных баллистических ракет (МБР);
- для запусков искусственных спутников Земли;
- для запусков межпланетных зондов и пилотируемых космических кораблей;

Корабельные измерительные пункты обеспечения космических программ входят в общую группу кораблей обеспечения космических полетов вместе с судами:

- для запуска искусственных спутников Земли (плавучие космодромы);
- для связи КИП с берегом;
- для материально-технического снабжения КИП и других судов обеспечения полетов;
- для подбора и буксировки стартовых двигателей космических кораблей;
- для спасения спускаемых космических аппаратов;
- для испытаний образцов приборов и специального оборудования, создающегося для КИП.

Следует отметить, что кроме КИП обеспечения космических программ, в мировой практике созданы корабельные измеритель-

ные пункты, занимающиеся сбором разведывательных данных для различных ведомств, например сбора данных о запусках ракет другими странами [29].

Корабельные измерительные пункты являются самостоятельным подклассом научно-исследовательских судов. Они обеспечивают прием телеметрической и научной информации из космоса, ее обработку и передачу в ЦУП. Кроме научно и инженерно-технического состава службы космических исследований в состав экспедиции этих судов могут включаться представители других научных организаций. При этом радио-физиков интересует распространение радиоволн в экваториальных широтах, астрономов и астрофизиков – небесные явления не наблюдаемые с территории суши отдельных стран и т. д. На КИП могут выполняться работы по программам изучения Мирового океана. По классификации Морского Регистра судоходства РФ КИП относятся к судам специального назначения (ССН).

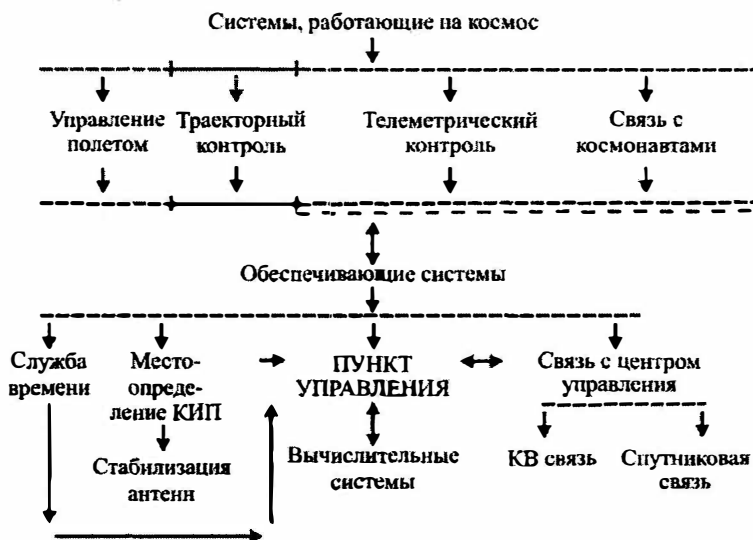


Рис. 2. Структурная схема универсального КИК:

— малый КИП ПСК
 --- малый КИП КИК

Схема условного разделения КИП по обеспечению работы на различных участках траектории полета, принадлежности их к различным обслуживающим полет комплексам, объему выполняемых работ, объектам работы, а также их место среди других пунктов слежения и судов обеспечения космических полетов показана на рис. 3.

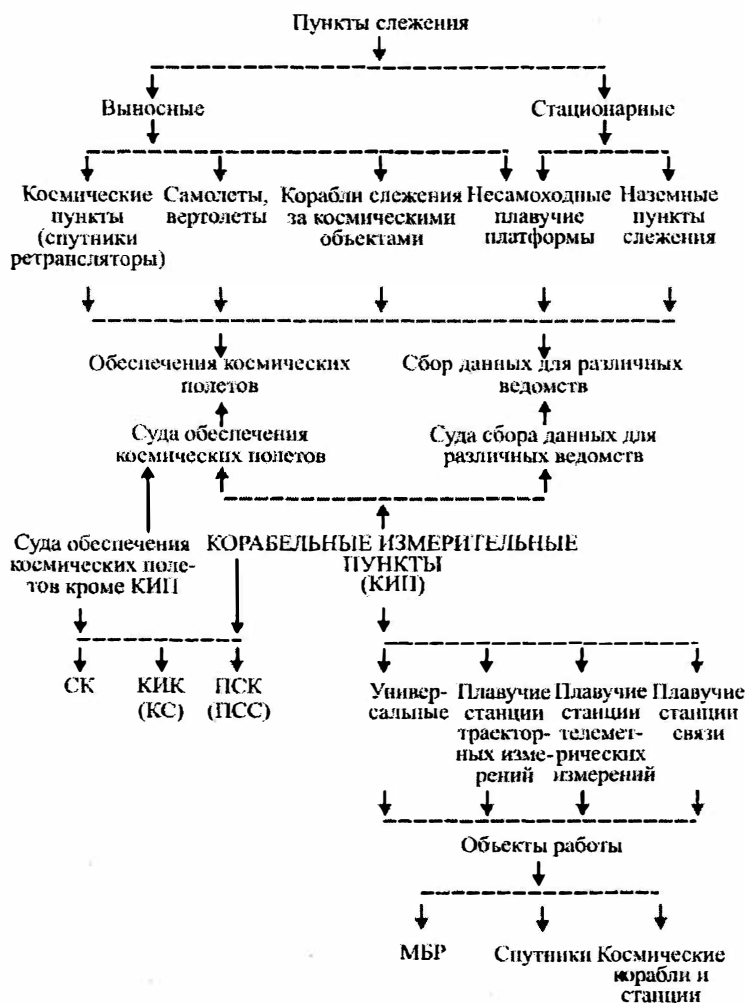


Рис. 3. Условное разделение КИП по различным характеристикам

2. ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ И КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ КОРАБЕЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ

С момента своего появления до настоящего времени мировой флот КИП насчитывал более 50 кораблей [53]. Это, прежде всего, КИП бывшего СССР, США и в меньшей мере по численности корабли Франции и КНР.

Отечественный опыт создания КИП берет свое начало с 1960-х годов и включает в себя несколько этапов их развития. Это КИП начального периода, КИП первого поколения и КИП нового поколения [52].

Корабельные измерительные пункты начального периода характеризуются временным использованием грузовых судов в качестве судов космической службы (СКС) [21]. Временное переоборудование грузовых судов в КИП не затрагивало основ конструкции корпуса судна, и после окончания задач по обеспечению космических полетов суда возвращались в торговый флот и могли использоваться по своему прямому назначению.

Эксплуатация КИП начального периода помогла уточнить требования к плавучим измерительным пунктам следующего поколения.

Привлечение к эксплуатации грузовых судов в качестве КИП КИК начального периода относится к 1959 г. в связи с наметившимся запуском первой межпланетной станции и появлением проблемы необходимости исключения так называемых глухих витков космических полетов вне зон видимости наземных измерительных пунктов. Для решения проблемы были привлечены сухогрузные суда торгового флота «Краснодар» и «Ильичевск» – теплоходы довоенной постройки и новый сухогруз «Долинск» ($D_n=8800$ т).

На судах была размещена наземная радиотехническая аппаратура с соответствующими антеннами и аппаратура системы единого времени.

Для решения аналогичных задач к этим судам присоединился в 1962 году танкер «Аксай» ($D_n=5000$ т), способный к тому же снабжать топливом и пресной водой измерительные пункты, находящиеся в море.

В 1965–1966 годах суда «Краснодар» и «Ильичевск» были заменены новыми судами «Бежица» ($D_n=17000$ т) и «Ристна» ($D_n=8750$ т), которые эксплуатировались по своему новому назна-

чению: «Ристна» до 1976 г. «Бежица» до 1977 г. Эксплуатация судна «Долинск» в новом назначении продолжалась до 1975 г.

Развитие космических программ потребовало создания специальных судов для обеспечения космических полетов. С целью сокращения сроков стоимости постройки КИП первого поколения создавались на основе корпусов транспортного флота, взятых из эксплуатации или строящихся вновь при использовании широкой унификации корпуса, главной энергетической установки и ряда систем транспортного судна. К отечественным КИП КИК этого поколения относятся восемь малых и три универсальных корабельных измерительных пункта.

Вступление в строй первых отечественных КИП КИК, созданных специально для обеспечения космических программ, относится к 1967 г. В этом году были построены четыре малых одностипных КИП «Кегостров», «Моржовец», «Боровичи», «Невель» ($D_n=6100$ т) и первый универсальный отечественный КИП «Космонавт Владимир Комаров» ($D_n=17850$ т). Суда типа «Кегостров» были созданы в корпусах серийных лесовозов. Они могли выполнять две функции: принимать телеметрическую и научную информацию и поддерживать двухстороннюю связь с космонавтами.

Радиотелеметрическое, связное, научное и другое оборудование размещалось в 10 лабораториях. КИП типа «Кегостров» эксплуатировались до 1990 г., затем они были списаны из состава флота, как устаревшие. На рис. 4 показано малое КИП КИК первого поколения «Боровичи».

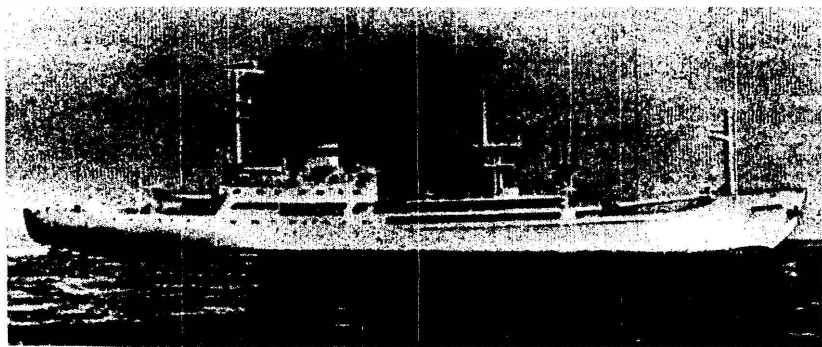


Рис. 4. Малый отечественный КИП КИК первого поколения «Боровичи»

Первый отечественный универсальный КИП КИК «Космонавт Владимир Комаров» был создан в корпусе серийного сухогруза. На нем были установлены станции, применяемые на наземных измерительных пунктах. Устанавливаемая на судне многофункциональная командно-измерительная система работала в дециметровом диапазоне волн. Она осуществляла измерение параметров движения спутников и межпланетных станций, прием телеметрической и научной информации, передачу команд, ведение двухсторонних переговоров с космонавтами. Все элементы командно-измерительной системы были охвачены общим контролем и управлением. Телеметрическая часть системы имела отдельные антенны и приемники, что позволяло вести телеметрические измерения и прием научной информации без включения всей остальной аппаратуры. Две остронаправленные антенны (приемная и передающая) с диаметром параболических зеркал 8 м, параметрические входные усилители, охлаждаемые жидким азотом, мощные передающие устройства позволяли поддерживать радиосвязь с космическими объектами на околосолнечных расстояниях (400000 км). Третья параболическая антенна диаметром 2,1 м обеспечивала автоматическое сопровождение космических объектов и вырабатывала сигналы для коррекции программ наведения антенн. Все три антенны были установлены на стабилизированных платформах. Для снятия ветрового давления восьмиметровые антенны были помещены под радиопрозрачные укрытия диаметром 18 м, а пеленгационная антенна под укрытие диаметром 7,5 м. Потери электромагнитной энергии при прохождении через радиопрозрачные панели не превышали 1 %. Аппаратура космических и обеспечивающих систем размещалась на судне в 43 лабораториях. Прием и передача радиосигналов осуществлялась 40 антеннами различных типов. КИП КИК «Космонавт Владимир Комаров» эксплуатировался до 1990 г., после чего он сменил свое назначение и был переоборудован в аэрокосмический центр экологии, а после непродолжительного времени был списан из состава флота. На рис. 5 показан первый отечественный универсальный КИП КИК «Космонавт Владимир Комаров».

В 1970 г. отечественный флот пополнился новым универсальным КИП КИК «Академик Сергей Королев» ($D_n=21250$ т) [18]. КИП был построен в корпусе серийного сухогруза и мог выполнять в океане все

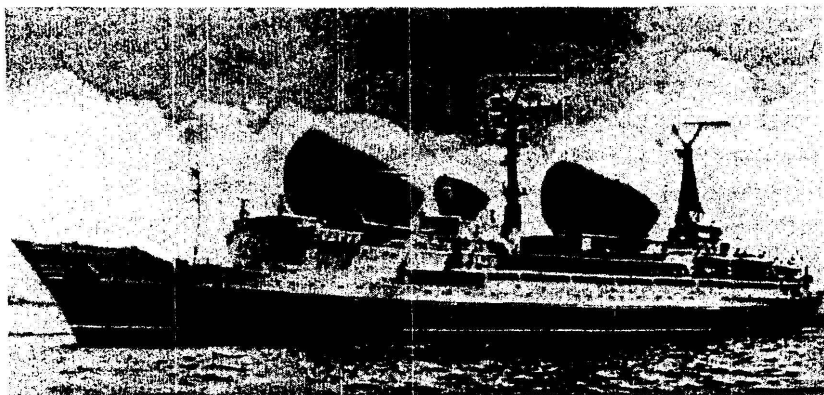
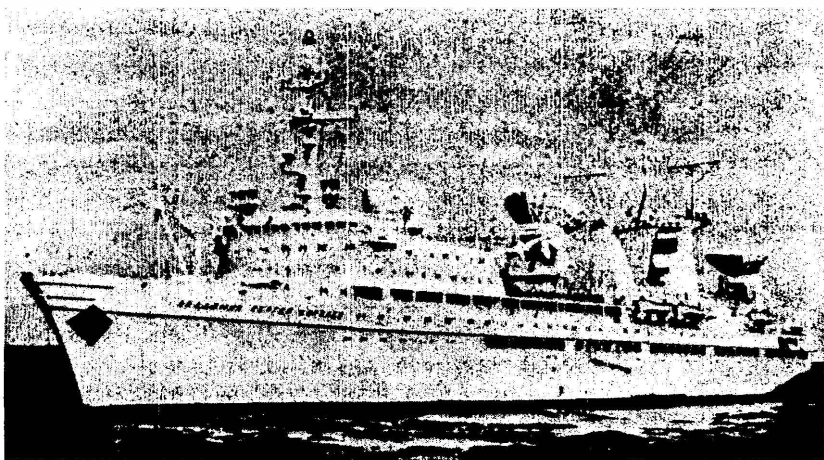


Рис. 5. Первый отечественный универсальный КИП КИК первого поколения «Космонавт Владимир Комаров»

функции, свойственные наземным измерительным пунктам. Командно-измерительная система, составляющая основу научно-технического оборудования корабля, работала на дециметровых волнах. На корабле были установлены три параболические антенны: две диаметром зеркала 12 м и одна с диаметром зеркала 2,1 м, помещенная под радиопрозрачное укрытие. Обе 12 метровые антенны имели трехосные опорно-поворотные устройства с автоматической стабилизацией по углам бортовой и килевой качек и рыскания по курсу. Малая антенна была установлена на гиростабилизированной платформе. На КИП «Академик Сергей Королев», как и на всех последующих КИП, была установлена аппаратура космических и обеспечивающих систем, специально разработанная для применения на судах в морском исполнении.

Общее число лабораторий на судне равно 79. Судно имело подруливающие устройства: один движитель в носу, расположенный в поперечном канале внутри корпуса, и две движительно-рулевые колонки в корме. КИП мог быть использован для нужд ПСК. Он был оснащен КВ и УКВ пеленгаторами для поиска спускаемых отсеков космических аппаратов при посадке их в океане. На рис. 6 показан универсальный КИП КИК «Академик Сергей Королев».

Самый крупный в мире отечественный универсальный КИП КИК «Космонавт Юрий Гагарин» ($D_{\text{п}}=45000$ т) был построен в 1971 году.



**Рис. 6. Универсальный отечественный КИП КИК
«Академик Сергей Королев»**

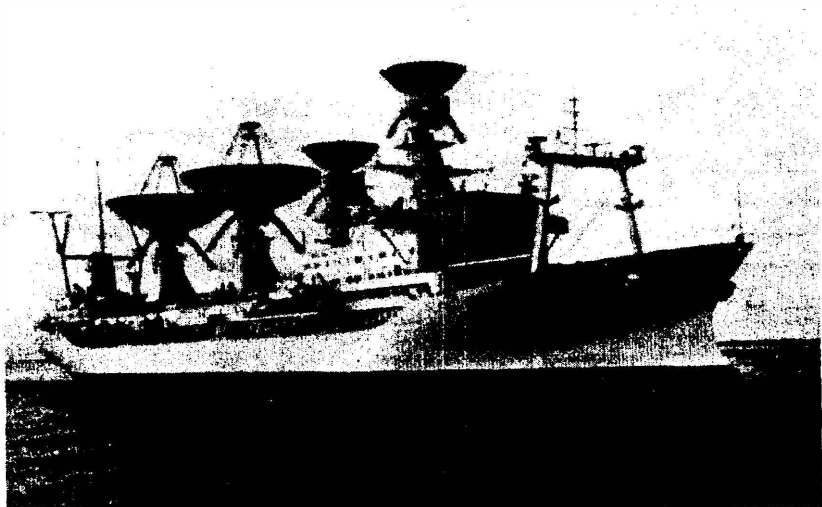
Он создан при значительной унификации корпуса и главной энергетической установки с танкером типа «София». КИП мог работать одновременно и независимо с двумя космическими объектами, осуществляя передачу команд, траекторные измерения, телеметрический контроль, двухстороннюю телефонную и телеграфную связь с космонавтами, прием из космоса научной информации и телевизионных изображений. Сеансы связи могли осуществляться с космическими объектами, находящимися на околоземных орбитах, с лунными станциями и межпланетными станциями, совершающими полет к Марсу и Венере. На судне было установлено 75 антенн, среди них две особобокрупногабаритных диаметром 25 м и две диаметром 12 м. Общее число лабораторий было равно 86. Судно имело высокие мореходные качества. Оно было оборудовано пассивным успокоителем качки, в качестве рабочей жидкости в котором использовалась забортная вода. КИП был оснащен подруливающими устройствами: два крыльчатых движителя в носу и один в корме. Крыльчатые движители были установлены внутри корпуса в поперечных сквозных каналах. Включение подруливающих устройств осуществлялось дистанционно из рулевой рубки. На судне была предусмотрена оптико-электронная аппаратура,

измеряющая упругие деформации корпуса: углы изгиба корпуса в диаметральной плоскости и плоскости ватерлинии. Данные об углах поступали в систему стабилизации антенн.

КИП «Космонавт Юрий Гагарин» мог принимать участие в работе ПСК. Для поиска в океане и эвакуации спускаемых отсеков спутников и межпланетных станций на корабле могли быть использованы радиопеленгаторы, осветительное оборудование и подъемники.

КИП «Космонавт Юрий Гагарин», как и КИП «Академик Сергей Королев», был приписан к порту г. Одесса. После распада СССР оба судна остались в Украине и за неимением потребности в подобных судах были выведены из эксплуатации. На рис. 7 показан самый крупный в мире отечественный универсальный КИП «Космонавт Юрий Гагарин».

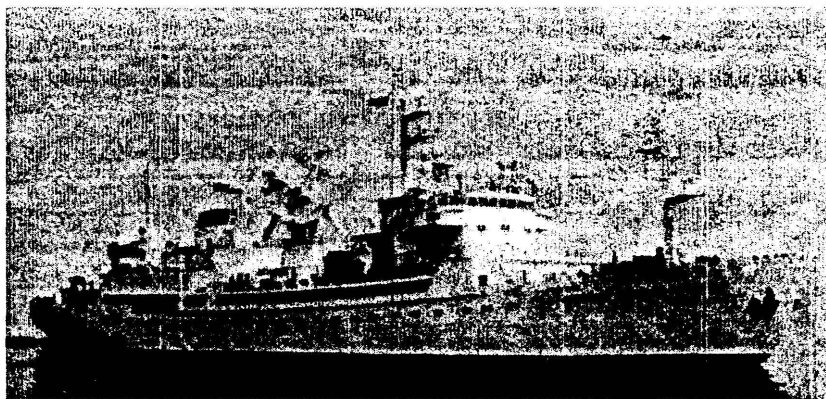
В 1977–1979 гг. отечественный флот КИП КИК пополнился четырьмя новыми однотипными малыми корабельными измерительными пунктами: «Космонавт Владислав Волков», «Космонавт Павел Беляев», «Космонавт Георгий Добровольский» и «Космонавт Виктор Пацаев» ($D_n=8950$ т).



**Рис. 7. Самый крупный отечественный универсальный КИП КИК
«Космонавт Юрий Гагарин»**

КИП типа «Космонавт Владислав Волков», как и первые малые КИП типа «Кегостров», были созданы в корпусах серийных лесовозов с сохранением энергетической установки. Они были оснащены универсальной телеметрической системой, которая принимала информацию от всех существующих типов отечественной бортовой телеметрической аппаратуры. КИП могли принимать телеметрическую и научную информацию одновременно от двух космических объектов.

Всего на судне 50 приемных и передающих антенн различного назначения. Среди них – главная антенна для приема сигналов из космоса, состоящая из четырех параболических зеркал диаметром 6м, объединенных в общую конструкцию. Оборудование на судне размещено в 25 лабораториях. КИП типа «Космонавт Владислав Волков» были укомплектованы новейшими по тому времени средствами радиотелеметрии, информационно-вычислительной техники и машинной обработки данных, новейшими средствами местоположения, связи и т. п. Оставаясь в рамках задач малых судов космической службы, КИП представляли собой значительный шаг вперед в развитии корабельных измерительных пунктов. Из-за сокращения отечественных космических программ к настоящему времени в эксплуатации остался один корабль этого типа. На рис. 8 показан малый КИП КИК «Космонавт Владислав Волков».



**Рис. 8. Малый отечественный КИП КИК
«Космонавт Владислав Волков»**

Проблемы создания КИП на базе корпусов транспортного флота, связанные с решением вопросов вместимости, остойчивости, непотопляемости, стабилизации, баллаستировки, предопределили создание КИП нового поколения в новых, специально для них спроектированных корпусах [1]. КИП нового поколения отличаются от КИП первого поколения рядом архитектурно- конструктивных особенностей, повышенными требованиями к комплектации систем и устройств, их взаиморасположению, уровню требований к мореходности и безопасности плавания и возможности проведения работы по прямому назначению, а также уровню предусмотренного резерва на модернизацию. Спущенный на воду в 1991 году на ГП «Адмиралтейские верфи» универсальный КИП КИК нового поколения «Академик Николай Пилюгин» ($D_n=16280$ т) был спроектирован на класс Морского Регистра судоходства КМЛ1 [2] А2 специального назначения. При этом двухотсечный стандарт непотопляемости обеспечен по требованиям для пассажирских судов. Теоретический чертеж специально спроектированного корпуса характеризует skeg-овая корма, позволившая повысить пропульсивный КПД, улучшить остойчивость судна, разместить сокращенное по длине МКО в кормовой части, а также облегчить удифферентовку судна за счет смещения в корму центра величины. Остойчивость судна удовлетворяет требованиям правил Регистра и обеспечена рациональным выбором главных размерений ($B/T=3,6$) и формы его корпуса без приема твердого балласта и необходимости балластирования судна в рейсе с одновременным обеспечением требуемых параметров по качке без применения успокоительных устройств.

На судне предусмотрена возможность приема 1100 т жидкого балласта в балластные (резервные) цистерны. На новом КИП был размещен лабораторный комплекс общей площадью около 3000 м². На открытых палубах установлены 11 крупногабаритных антенн, из которых наибольшие имеют диаметр 12 м. Главная энергетическая установка – двухвальная с гребными винтами регулируемого шага. Главные двигатели производства Брянского машиностроительного завода по лицензии фирмы «Бурмейстер и Вайн» отличает малый расход топлива, составляющий 177+7 г/кВт.ч. Для обеспечения возможности маневрирования в дрейфе, узкостях и при работе по ре-

шению целевых задач на судне установлены средства активного управления: в носу два подруливающих устройства ПУ 2.4, в корме выдвижная поворотная колонка ВПК 1.6, а также используются главные двигатели, работающие на ВРШ. Основное управление средствами маневрирования осуществляется с помощью системы, размещенной в рулевой рубке. Обеспечение судовождения осуществляется с помощью навигационного комплекса, за счет возможностей которого и ледовых усилений корпуса расширен диапазон географических широт возможного использования судна по условиям плавания. Он составляет $\pm 65^{\circ}$ (у судов-аналогов $\pm 60^{\circ}$).

Для прокладки трубопроводов по судну был предусмотрен коридор труб, расположенный во втором дне и примыкающий к диаметральной плоскости судна. Для прокладки кабеля побортно расположены коридоры, примыкающие к наружной обшивке, в которых также прокладывались трубопроводы. Прокладка кабеля и трубопроводов разнесена по стенкам коридоров и бортам. Междупалубные высоты на ряде палуб по условиям размещения аппаратуры измерительных комплексов подняты до 2,7 м. На КИП предусмотрены резервы на модернизацию в части нагрузки масс, остойчивости, резервы площадей лабораторного комплекса и объема жилых помещений. В результате разразившегося в стране в 1990-х гг. экономического кризиса строительство КИП «Академик Николай Пилюгин» было приостановлено, и в дальнейшем судно было продано за рубеж для переоборудования.

На рис. 9 показан универсальный КИП КИК нового поколения «Академик Николай Пилюгин» (модель).

Таким образом, КИП нового поколения отличаются от КИП первого поколения:

- новым специально для него спроектированным корпусом, уровнем ледовых подкреплений (по отношению к универсальным КИП) и рядом архитектурно-конструктивных особенностей;
- новой энергетической установкой, отличающейся количеством валов, типом винтов и повышенной экономичностью главных двигателей;
- повышенными требованиями к комплектации КИП судовыми устройствами и системами;

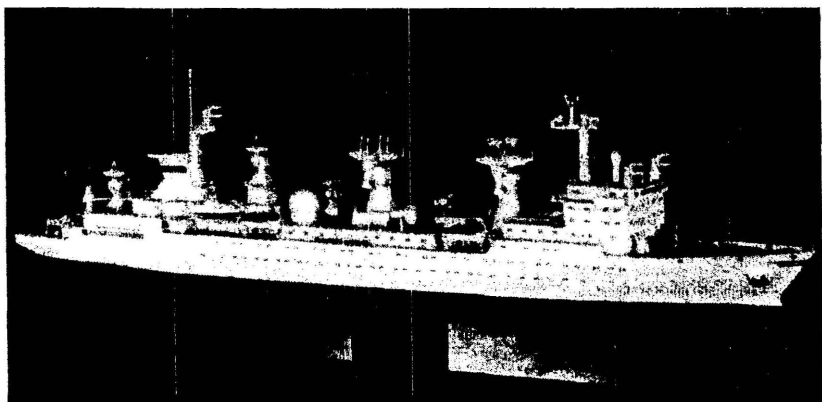


Рис. 9. Универсальный отечественный КИП КИК нового поколения «Академик Николай Пилюгин» (модель)

- выполнением требований правил Регистра к судам специального назначения с обеспечением двухотсечного стандарта непотопляемости, как для пассажирского судна;
- созданием безбалластного варианта судна по условиям обеспечения остойчивости и непотопляемости с одновременным выполнением требований по качке без применения успокоительных устройств;
- повышенной маневренностью судна и возможностью его позиционирования;
- расширением диапазона географических широт возможности использования судна;
- наличием резерва на модернизацию при обеспечении повышенных условий по обитаемости.

Основные проектные характеристики отечественных КИП КИК приведены в табл. 1.

Для поисково-спасательного обеспечения спускаемых космических аппаратов при их приводнении в ПСК к 1983 г. использовались шесть КИП [54]. Это три однотипных корабля «Сахалин», «Сибирь», «Спасск», созданные в 1958–1959 гг., два однотипных корабля «Чажма» и «Чумикан», вступившие в строй в 1963 г., и корабль «Чукотка», созданный в 1959 г. (переоборудован в 1963 г.). Эти корабли были

Таблица 1

Основные характеристики отечественных КИП КИК

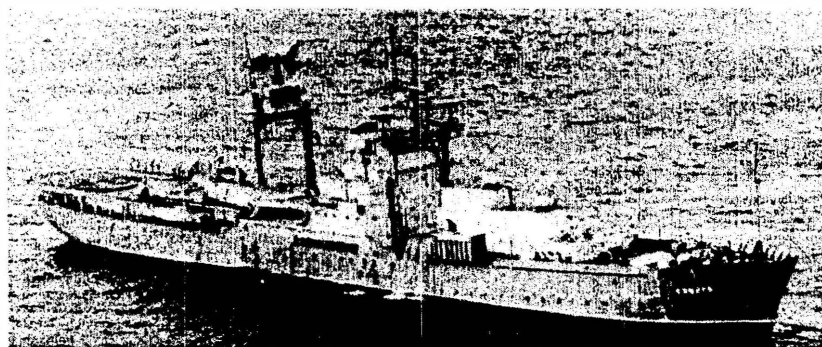
Наименование Характеристики	«Моржовец» (1967 г.)	«Космонавт Владислав Волков» (1977 г.)	«Космонавт Владимир Комаров» (1967 г.)	«Академик Сергей Королев» (1970 г.)	«Космонавт Юрий Гагарин» (1971 г.)	«Академик Николай Пилюгин» (1991 г.)
Класс Регистра	УЛОР4/1 С	КМОЛП1[1]	ЛОР 4/1 С	ЛЗО4/1 С[2]	ЛЗОР 4/1 С (экспед.)	КМОЛП2[2]А2 (Спец. назначения)
Длина между перпендикуля- рами, м	113,0	113,0	140,0	167,9	214,0	150,0
Ширина, м	16,7	16,7	23,0	25,0	31,0	24,0
Высота борта, м	8,3	10,8	14,8	15,7	15,4	12,3
Водоизмещение полное, т	6100	8950	17850	21250	45000	16280
Скорость, уз.	15,6	14,7	15,8	17,5	18,0	17,5
Автономность, сут.	90	90	120	120	130	120
Дальность плавания, мили	9000	16000	19000	22500	20000	20000
Численность экипажа и экспедиции, чел.	89	139	239	307	348	212
Главные двигатели: тип	Дизель 9ДКРН 50/110	Дизель 9ДКРН 50/110	Дизель 6ДКРН 74/160	Дизель 8ДКРН 74/160-2	Турбина ПТУ-ТС-2	Дизель 6ДКРН 42/136-10
Мощность, кВт	3825	3825	6620	8826	13975	2х4850
Количество валов	Одновальное с ВФШ					Двувальное с ВРШ
Мощность электростанции, кВт.	1500	2490	3600	4200	7500	6400
Холодопроиз- водительность, тыс. ккал/ч	720	1150	1800	3300	5700	3200
Высота двойного дна, м	1,2	1,2	1,4		2,0	1,6
Количество: ярусов корпуса	1 – нос 3 – корма	4	5	5	4	4
ярусов надстройки	4	4	4	5	6	6
непроницаемых отсеков	7	7	15	13	10	13
Базовое судно	Лесовоз	Лесовоз	Сухогруз	Сухогруз	Танкер	Новый корпус

* – спуск на воду

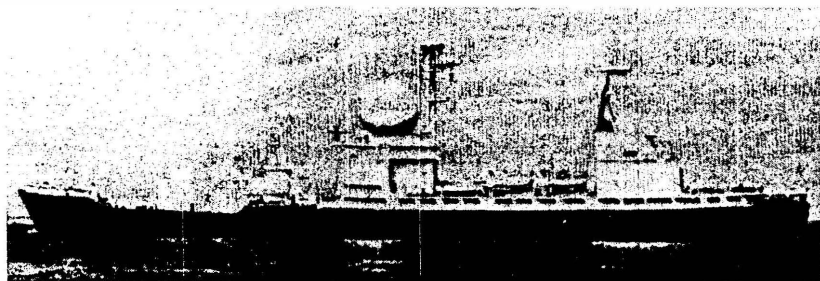
созданы в корпусах транспортного флота: первые три и «Чукотка» в корпусах углеводозов польской постройки типа «Донбасс»; «Чаж-

ма» и «Чумикан» в корпусах универсальных судов для навалочных грузов постройки ГДР типа «Джанкой». Корабли были оборудованы антенными постами и вертолетными площадками. Остойчивость и непотопляемость при принятом стандарте непотопляемости (для КИП в корпусах судов типа «Донбасс» – одноотсечном; для КИП в корпусах судов типа «Джанкой» – двухотсечном) обеспечивались укладкой твердого балласта до 10 % от полного водоизмещения. По объему выполняемых работ и способу их создания эти суда можно условно отнести к малым КИП ПСК первого поколения. Отработав свой срок службы, они к настоящему времени списаны из состава флота.

На рис. 10 показаны КИП ПСК первого поколения: а) судно «Сибирь»; б) судно «Чумикан».



а



б

**Рис. 10. Отечественные малые КИП ПСК первого поколения:
а – «Сибирь», б – «Чумикан»**

В 1983 году в строй вступил КИП ПСК нового поколения «Маршал Неделин», а в 1990 году был поднят флаг на однотипном ему КИП «Маршал Крылов» [52], который успешно эксплуатируется в настоящее время. Корабли были созданы в специально для них спроектированных корпусах и имеют аналогичные или близкие преимущества, указанные для КИП КИК нового поколения.

«Маршал Неделин» и «Маршал Крылов» – двухвинтовые корабли с развитыми надстройками, мощным лабораторным комплексом общей площадью более 4000 м² и антенным комплексом, насчитывающим более 100 антенн различного назначения, из которых более 10 крупногабаритных. Корабли оборудованы вертолетными площадками и ангарами для двух вертолетов. Для вылова спускаемых аппаратов и подъема их на борт корабли оборудованы, кроме вертолетов, специальным тралом, установленным на борту корабля. КИП имеют по два подруливающих устройства в носу и по две выдвижные движительно-рулевые колонки в корме. Корпус этих КИП спроектирован с ледовыми усилениями применительно к классу Регистра с символом Л1. Остойчивость кораблей и непотопляемость при двухотсечном стандарте непотопляемости обеспечена по требованиям для пассажирских судов рациональным выбором главных размерений и формы корпуса при незначительном количестве твердого балласта, укладываемого во второе дно. На кораблях предусмотрена возможность приема жидкого балласта в рейсе в специально предусмотренные балластные цистерны.

Общая стабилизация кораблей обеспечивается двухуровневой пассивной успокоительной цистерной, в которой в качестве рабочей жидкости используется топливо из состава судовых запасов. Для прокладки кабельных трасс и трубопроводов побортно под главной палубой примыкающими к продольным переборкам со стороны бортов предусмотрены сквозные непроницаемые коридоры, что позволило проводить в них трассы и трубы без сальников и уплотнений. На рис. 11 показан КИП ПСК нового поколения «Маршал Крылов».

В 1987 году был построен отечественный КИП в интересах различных ведомств «Урал». Этот КИП с атомной двухвальной энергетической установкой имел практически неограниченную дальность

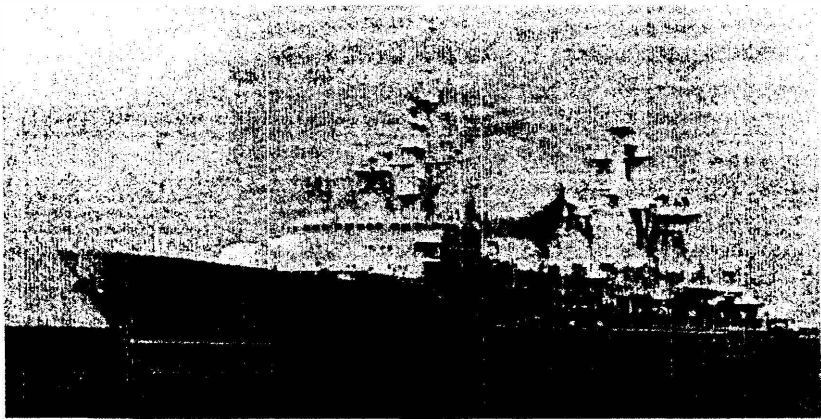


Рис. 11. Отечественный универсальный КИП ПСК нового поколения «Маршал Крылов»

плавания, был оснащен одним вертолетом и имел оборудование работы по прямому назначению мало отличающееся от оборудования КИК «Маршал Крылов».

В табл. 2 приведены некоторые проектные характеристики отечественных КИП ПСК и КИП «Урал» [22], [52], [54].

Развитие ракетно-космической техники вызвало появление в составе ВМС отдельных иностранных государств корабельных измерительных пунктов – нового класса кораблей, называемых в США кораблями слежения (КС) [55], [45]. Эти корабли предназначены для проведения измерений в различных районах Мирового океана в процессе испытаний и учебных пусков межконтинентальных баллистических ракет (МБР), запусков искусственных спутников Земли, межпланетных зондов и пилотируемых космических кораблей. Отличающиеся по тактике использования в процессе обеспечения запусков ракетно-космических объектов, корабли слежения различаются также по составу устанавливаемой аппаратуры, внешнему виду, силуэту, водоизмещению. По принятой в США классификации кораблей Военно-морских сил КС относятся к группе Т-АГМ. Первые корабли слежения были созданы в США в 1956–1958 гг. для обеспечения, в первую очередь, радиотелеметрических измерений при отработке

Т а б л и ц а 2

Основные характеристики КИП ПСК и КИП «Урал»

Наименование Характеристики	«Сучан» «Сибирь» «Сахалин» (1958-1959 г.)	«Чукотка» (1959 г, модер- низация 1963 г)	«Чажма» «Чумикан» (1963 г.)	«Маршал Неделин» (1983 г.) «Маршал Крылов» (1990 г.)	«Урал» (1987 г)
Длина, м	108,5	108,5	139,5	211,1	265,0
Ширина, м	14,6	14,6	18,0	27,7	30,0
Осадка, м	5,75	6,15	7,60	8,10	7,50
Водоизмещение, т	6150	6680	12740	23000	31600
Тип ЭУ	Паровая машина	Паровая машина	Дизель	Дизель	АЭУ
Мощность главного двигателя, л.с.	2500	2500	5400	30000	46000
Количество валов	Одновальное			Двувальное	
Скорость, уз.	10,0	10,5	14,5	21,5	21,5
Автономность, сут.	90	90	120	120	180
Дальность, мили	12500	10000	18900	15000	Неогран ич.
Экипаж, (экспедиция), чел.	201	118	289	417(106)	923(233)
Количество затопливаемых отсеков	1	1	1	2	
Количество вертолетов	1	1	1	2	1

первых американских ракет среднего радиуса действия. В это время в строй вступили «Коостал крусейдер», «Тимбер хитч», «Сампан хитч», «Сворд нот», «Роуз нот», «Коостал сентри», «Ричфилд». Эти плавучие телеметрические станции решали задачи проведения слежения за полетом на всей траектории полета ракеты.

В 1959 г. в строй вступил КС «Америкен маринер», предназначенный для контроля за головными частями ракеты при входе в плотные слои атмосферы и изучения физико-химических процессов, сопровождающих их полет на этом участке траектории.

В 1961 г. был введен в строй корабль слежения «Твин фоллс», предназначенный для проведения точных траекторных измерений при запусках ракет тактического назначения типа «Першинг».

В 1963 г. для выполнения программы исследований входа головных частей ракет в плотные слои атмосферы были введены в строй

корабли «Дженерал Арнольд» и «Дженерал Вандерберг». На рис. 12 показан КС США «Дженерал Арнольд».

Наблюдение за запусками искусственных спутников Земли (ИСЗ) в США первоначально осуществлялось первыми шестью плавучими телеметрическими станциями, созданными в 1956–1958 гг. для обеспечения отработки ракет.

В 1961–1962 гг. с целью обеспечения запусков ИСЗ были созданы корабли слежения «Рендж треккер», «Уэллинг», «Хантсвилл», «Уотертоун», которые использовались также и при отработке ракет.

В 1960 г. для спасения капсул разведывательных спутников и капсул других возвращаемых космических аппаратов при их посадке на воду были переоборудованы два торговых судна, получивших названия «Лонг вью» и «Саннивэйл».

В 1962 г. с целью исследования вопросов, связанных с созданием спутниковой связи, был введен в эксплуатацию корабль слежения «Кингспорт».

В 1971 г. была создана плавучая телеметрическая станция «Рендж сентинел», переоборудованная из войскового транспорта.



Рис. 12. Корабль слежения за входом головных частей ракет в атмосферу «Дженерал Арнольд» (США)

В 1966–1967 гг. для слежения и связи с пилотируемыми космическими кораблями типа «Аполлон» были созданы пять специальных кораблей, три из которых предназначались для работы на участке выведения космического корабля на траекторию полета к Луне. Это КС «Вэнгард», «Редстоун» и «Меркьюри». Два других корабля, переоборудованные из имевшихся КС «Хантсвилл» и «Уотертоун», предназначались для работ на атмосферной части траектории возвращения космического корабля.

Помимо указанных КС в США существовала группа кораблей, обеспечивающих выполнение более частных задач. Так, «Обзервейшн айленд» и «Компас айленд» использовались для испытаний и отработки опытных и лабораторных образцов приборов, разрабатываемых для кораблей слежения. Эти корабли были ранее радиотелеметрическими кораблями слежения и использовались для наблюдений при пусках ракет «Поларис» с подводных лодок. Корабль «Джилберт айленд» использовался в качестве плавучего ретрансляционного узла связи между КС и береговыми узлами связи. Созданный в 1960 г. корабль «Рендж рикроверер» использовался для испытаний и экспериментальной отработки специального оборудования, создаваемого для оснащения КС. В 1985 году было построено судно «Индепенданс» для подбора в океане использованных твердотопливных двигателей первой ступени космических кораблей программы «Шаттл».

Корабли слежения США были созданы на базе судов другого назначения, в основном постройки 1944–1945 гг. Например: КС типа «Лонг вью» – на базе сухогрузных судов типа «Виктори» (как и корабли «Рендж треккер», «Ричфилд», «Уэллинг», «Твин фоллс», «Кингспорт», «Хантсвилл», «Уотертоун» и «Рендж сентинел»);

КС «Американ маринер» – на базе грузового судна типа «Либерти»;

КС типа «Коостал крусейдер» – на базе сухогрузного судна типа С-1 (как и «Сворд нот», «Роуз нот», «Коостал сентри»);

«Дженерал Арнольд» и «Дженерал Вандерберг» – на базе сухогрузного судна типа С-4;

КС «Вэнгард», «Редстоун» и «Меркьюри» – на базе танкеров типа Т-2.

При переоборудовании энергетические установки и корпуса судов сохранялись без изменений. Исключение составляли танкеры

типа Т-2, переоборудованные в КС типа «Вэнгард», у которых длина была увеличена на 22,5 м, а ширина на 2 м. В качестве главных двигателей на американских КС использованы дизели, паровые машины, паровые турбины и турбозубчатые агрегаты.

Антенные посты и оптические средства КС США располагались, как правило, в диаметральной плоскости корабля. На некоторых КС ранней постройки (например КС «Американ маринер») применялась побортная установка антенных устройств, которая, как известно, сокращает сектор обзора. Параболические антенны американских КС достигают диаметра 9–11,6 м (КС типа «Вэнгард» и типа «Дженерал Арнольд»). Крупногабаритная антенна КС «Кингспорт» диаметром 9 м закрыта радиопрозрачным колпаком диаметром 16 м.

На КС, имеющих тяжелые антенные устройства, для улучшения остойчивости укладывался твердый балласт.

Для учета влияния деформаций корпуса корабля на результаты траекторных измерений на КС США устанавливали специальные устройства: на кораблях типа «Дженерал Арнольд» – оптическое устройство; на кораблях типа «Вэнгард» – лазерное оборудование.

Уменьшение качки на волнении на ряде КС, например «Рендж треккер», «Ричфилд», «Кингспорт», «Хантсвилл», «Уотертоун», обеспечивалось системой общей стабилизации.

В связи с тем, что быстрый прогресс ракетно-космической техники предъявлял все более жесткие требования к техническим характеристикам корабельных средств, в результате чего специальное оборудование КС через несколько лет морально устаревало и не обеспечивало решения вновь возникающих задач, корабли слежения США проходили неоднократную модернизацию. В разное время были модернизированы КС «Американ маринер», «Сворд нот», «Роуз нот», «Коостал сентри», «Дженерал Арнольд», «Дженерал Вандерберг» и др.

В 1981 г. была закончена модернизация (переоборудование) бывшего опытового КС США «Обзервейшн айленд» [29], предусматривающая установку на нем специализированной РЛС с электронным сканированием AN/SPQ-11 «Кобра Джуди», предназначенной для сбора разведывательных данных об испытаниях стратегических ракет иностранных государств. В кормовой оконечности этого корабля была установлена башня почти кубической формы высотой ок. 10,7 м, в ко-

торой размещалась основная аппаратура РЛС «Кобра Джуди» и передающая фазированная антенная решетка восьмиугольной формы, размером ок.6,9 м в поперечнике, смонтированная на слегка скошенной стенке башни и состоящая из 12288 активных элементов. ЦВМ и пост управления этой РЛС находятся в надстройке, на которой смонтированы два сферических колпака диаметром 9,8 м, защищающих приемные антенны. К настоящему моменту большинство КС США из-за устаревания списаны из состава флота. На рис. 13 показан КС США «Обзервейшн айленд».

Необходимость обеспечения ракетно-космических программ обусловила появление кораблей слежения и в других зарубежных странах.

В 1966 году во Франции была сформирована группа кораблей (группа «М») для обеспечения испытаний национальных баллистических ракет. В группу вошли эскадренный миноносец «Гепрат», сторожевые корабли «Баск» и «Савойар», тральщики «Денебэла», «Пегас», «Белатри». Окончательное оформление группы «М» было завершено с вводом в ее состав корабля слежения «Анри Пуанкаре», переоборудованного из приобретенного Францией итальянского танкера «Маина Морассо», размеры которого позволили разместить на нем различные антенны, оборудовать ангар для двух вертолетов, вертолетную площадку и обеспечить автономность в течение 45 суток. КС «Анри Пуанкаре» способен измерять траектории полета ракет,

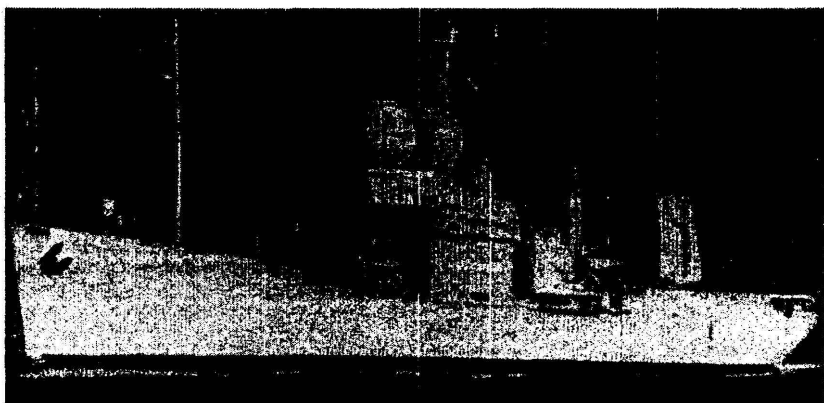


Рис. 13. Корабль слежения США «Обзервейшн айленд»

определять места падения их головных частей и руководить силами обеспечения, выделенными для проведения испытаний.

В 1972 году «Анри Пуанкаре» был модернизирован [66]. На нем была установлена вторая РЛС типа «Берн» для измерения параметров траектории головных частей ракет и система идентификации формы летящих тел с помощью спектрального анализа на основе данных с метеорологических ИСЗ. Кроме того, было установлено носовое подруливающее устройство с приводом мощностью 736 кВт (1000 л.с.)

В 1991 году во Франции был построен новый КС «Монг» (до вступления в строй в зарубежной литературе он проходил под названием «Анри Пуанкаре 2») [62]. Корабль предназначен для океанографических гидрологических исследований, а также корректировки полета баллистических ракет. В составе ЭУ корабля имеются два среднеоборотных дизеля «СЕМТ-Пилстик» марки 5L 400. На корабле предусмотрены два вертолета и установлены системы спутниковой навигации: «Навстар», «Сиракузы» и «Марисат». На рис. 14 показан КС Франции «Монг» до установки на нем антенных систем.

В 1979 году для наблюдения за космическим пространством в КНР был создан корабль слежения «Юаньван», принадлежащий ко-

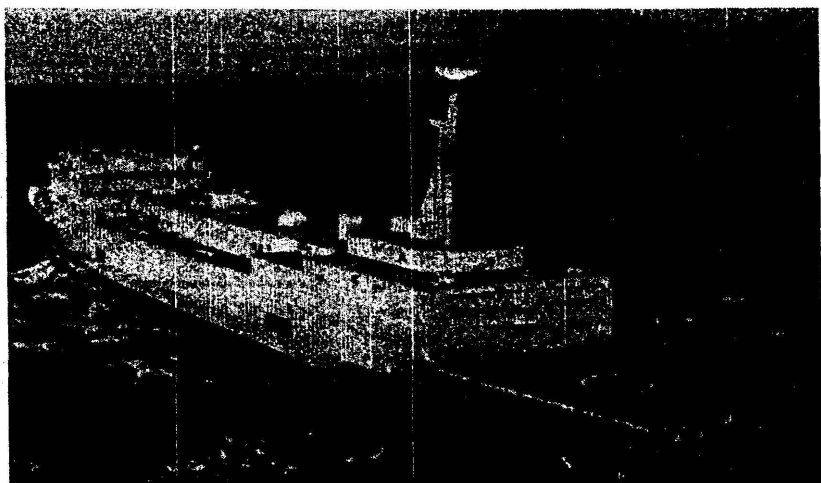


Рис. 14. Корабль корректировки полета баллистических ракет «Монг» (Франция)

митету оборонной науки, техники и промышленности. На корабле имеются крупногабаритные антенны различного назначения, необходимая аппаратура для измерений и вертолетная площадка. Кроме того, после проведения испытаний на корабле установлена новая станция спутниковой связи, приспособленная для работы на судах. Для обеспечения стабилизации судна при измерениях на нем установлены бортовые рули.

В КНР был еще один корабль, однотипный КС «Юаньван». Для обеспечения перспективных космических программ в КНР намечалось создание еще нескольких КС.

На рис. 15 показан КС КНР «Юаньван».

В табл. 3 приведены характеристики зарубежных кораблей слежения.

Т а б л и ц а 3

**Основные характеристики зарубежных кораблей слежения
(корабли США)**

Наименование Характеристики	«Рендж риковер» (1950 г.)	«Коостал крусайдер», «Тимбер хитч» «Сампан хитч» (1956-1963 гг.)	«Американ маринер» (1959 г.)	«Лонг вью», «Санивезайл» (1960 г.)	«Дженерал Арнольд», «Дженерал Ванденберг» (1963 г.)
Назначение	Обеспечение испытаний спецоборудова- ния для КС	Обеспечение Испытаний ракет и КА	Обеспечение испытаний ракет	Обеспечение испытаний ИСЗ	Обеспечение испытаний ракет, ИСЗ и КА
Длина, м	53,6	103,2	134,0	138,6	159,4
Ширина, м		15,2	17,0	18,9	21,8
Осадка, м		6,4		7,3	8,0
Водоизмещение, т	730	7450	10650	10680	16600
Тип ЭУ		Дизель	Паровая машина	Турбозубчатые агрегаты	Паровая турбина
Мощность главного двигателя, кВт		1288	1840	6256	6624
Скорость, уз.	13,0	11,5	10,5	18,0	17,0
Автономность, сут.					60
Дальность, мили					13000
Экипаж, (экспедиция), чел.	21()		150(90)	90(30)	200(100)
Диаметр крупногабарит- ных антенн, м	-	-	2×4,8	-	2×9,0

Продолжение таблицы 3

Основные характеристики зарубежных кораблей слежения
(корабли США, Франции, КНР)

Наименование Характеристики	«Венгард», «Редстоун», «Меркьюри» США (1966 г.)	«Обсервейинг айленд», США (1981 г.)	«Анри Пуанкаре» Франция (1968 г.)	«Монг», Франция (1991 г.)	«Юаньван», КНР (1979 г.)
Назначение	Обеспечение полета корабля «Аполлон»	Сбор данных об испытаниях ракет и КА других стран	Обеспечение испытаний ракет	Корректировка полета баллистических ракет	Наблюдение за космическим пространством
Длина, м	181,4	171,6	178,0	225,0	190,0
Ширина, м	22,9	23,2	22,3	24,8	22,6
Осадка, м	7,6	7,6	8,7	7,6	7,5
Водоизмещение, т	22300	17000	24000	20460	17100
Тип ЭУ	Паровая турбина	Паровая турбина	Турбина	Дизель	Паровая турбина
Мощность главного двигателя, кВт	7360	14200	7360	2×6615	11760
Скорость, уз.	16,0	20,0	15,0-16,7	15,0	20,0
Автономность, сут.	60		45	60	
Дальность, мили	13000				20000
Экипаж, (экспедиция), чел.	152(108)	142(60)	280(40)		
Диаметр крупногабаритных антенн, м	1×11,6 2×9,5	Обтекатель 2×9,8 Башня h=107 м			

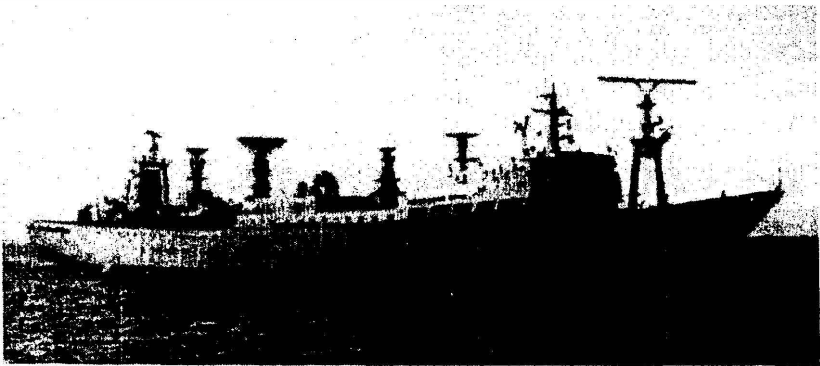


Рис. 15. Корабль для наблюдения за космическим пространством
«Юаньван» (КНР)

3. АРХИТЕКТУРНО-КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОРАБЕЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ

Архитектурно-конструктивные особенности КИП определяются в основном их назначением и условиями эксплуатации [44] (см. рис. 16).

Важнейшими из предъявляемых к ним требованиями, кроме общепроектных, являются: обеспечение необходимых углов обзора радиотехнических, радиотелеметрических и других средств, а также их электромагнитной совместимости (ЭМС). Назначение КИП – управление космическими полетами, траекторный и телеметрический контроль, связь с космонавтами – предопределило необходимость установки на судах большого количества антенн, включая крупногабаритные, размещения лабораторий и кладовых, а также большого экипажа с научным персоналом (экспедицией).

В основе принципиальной компоновки общего расположения КИП, как уже указывалось, требования по обеспечению максимальных углов обзора антенных систем и их размещению с учетом электромагнитной совместимости, а кроме того – оптимальных длин высокочастотных трактов и особые требования к размещению лабораторий одного назначения и резервированию площадей лабораторий. Архитектурный облик КИП определяется, прежде всего, мощными конструкциями антенн, наибольший диаметр которых доходит до 25 м. Антенны, как правило, располагаются в диаметральной плоскости судна. На некоторых КИП для снятия нагрузок от ветрового давления антенны помещены под радиопрозрачные укрытия (РПУ), наибольший диаметр которых на созданных КИП доходит до 19 м. Сумма длин радиусов обметания антенн, спроецированная на диаметральную плоскость судна, служит исходной величиной при определении минимально допустимой длины судна.

Для высвобождения открытой палубы под антенны дымовая труба смещается в корму (кормовое или промежуточное расположение МКО), а улучшению ходового обзора способствует размещение рулевой рубки в носовой части судна, свободной от антенн. Продолжительное пребывание КИП вдали от портов, где можно пополнить запасы топлива и продовольствия, требует обеспечения для этих судов большой дальности плавания и автономности, т. е. размещения на борту больших судовых запасов и кубатур помещений под эти запасы. Необходимость размещения

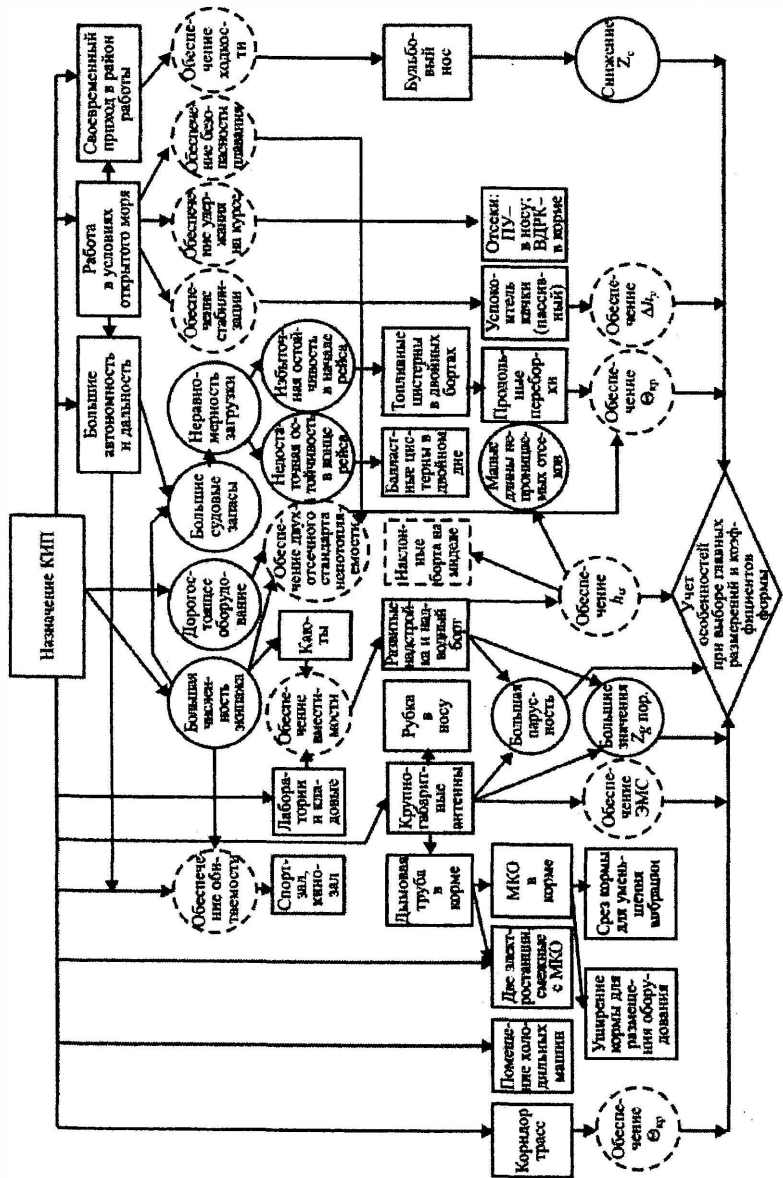


Рис. 16. Взаимосвязь особенностей эксплуатации судов космической службы

лабораторий с кладовыми, кают, служебных, общественно-бытовых и других помещений определяет подход к назначению высоты борта и высоты надстройки, а также к оптимальному соотношению этих величин. Как показывает статистика, отношение высоты борта к осадке у КИП колеблется от 1,7 до 2,0, а отношение высоты надстройки к высоте борта от 0,7 до 1,2. Коэффициент развитости надстройки (K_n), равный отношению объема надстройки к объемному водоизмещению (W_n/V), для отечественных КИП изменяется в пределах 0,5–1,2.

На рис. 17 приведено сопоставление силуэтов пассажирских судов, построенных в разное время [7], и близкого к ним по длине и осадке отечественного универсального КИП КИК нового поколения «Академик Николай Пилюгин».

Как видно из рисунка, силуэт сопоставляемого КИП близок к силуэту пассажирского судна 1960-х годов.

Средняя высота твиндеков (h_n) КИП колебалась в пределах 2,5–2,6 м, однако по условиям размещения оборудования в лабораториях возникала необходимость в ряде случаев увеличения верхних твиндеков до 2,7–2,8 м и более. При таких междупалубных пространствах количество их в корпусе доходит до 3–5. Сплошная двухъярусная надстройка, палуба которой служит платформой для установки барбетов антенн, в свою очередь, дополняется в носовой, а возможно и кормовой части многоярусной рубкой, что объясняется необходимостью роста кубатур под размещение аппаратуры, жилья и служебных помещений, а также размещения антенн.

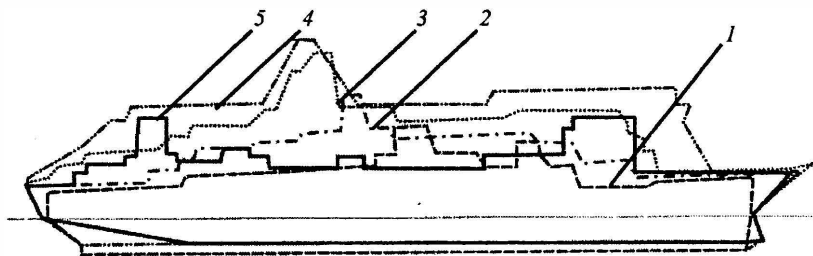


Рис. 17. Сопоставление силуэтов КИП КИК и ПС:
(1 – ПС 1930-х гг.; 2 – ПС 1960-х гг.; 3 – ПС 1970-х гг.;
4 – ПС 1980-х гг.; 5 – КИП КИК)

Характерное для КИП распределение масс по высоте, когда наиболее тяжелое оборудование (антенны) размещается в верхних частях, а электронное оборудование со сравнительно небольшой массой – внутри корпуса, приводит к повышению аппликаты центра масс судна порожнем ($Z_{g\text{ пор}}$). Кроме того, крупногабаритные антенны вместе с высоким надводным бортом и развитыми надстройками создают большую парусность. Все это вызывает проблемы при обеспечении остойчивости КИП в соответствии с требованиями правил Регистра.

Минимальная высота борта до палубы переборок (главной) ($H_{\text{гп}}$) определяется по условиям непотопляемости. Отстояние палубы переборок от верхней палубы характеризуется отношением $n=(H_{\text{вп}}-H_{\text{гп}})/h_{\text{г}}$. Если $n<1$, то $H_{\text{вп}}=H_{\text{гп}}$, т. е. за главную палубу принимается верхняя палуба, если $1\leq n\leq 2$, то главная палуба на ярус ниже верхней.

Значительные судовые запасы КИП, являющиеся переменными массами, вызывают избыточную остойчивость, а следовательно, и резкую качку в начале рейса и уменьшение остойчивости по мере их расходования. Поддержание остойчивости в рейсе на уровне, требуемом правилами Регистра, осуществляется на КИП путем приема жидкого балласта в балластные цистерны по мере расходования судовых запасов. При этом, наибольшую эффективность по восполнению остойчивости имеют отсеки двойного дна, которые, как правило, и отводятся под балластные цистерны. Учитывая, что к концу рейса на КИП остается около 10 % судовых запасов, с точки зрения обеспечения остойчивости желательно их также иметь во втором дне.

Двойное дно на КИП согласно правил Регистра должно простираться, как и на других пассажирских судах длиной более 76 м, на всю длину корпуса.

Высота двойного дна ($h_{\text{дд}}$) КИП определяется по условиям вместимости междудонного пространства при размещении в нем необходимого количества жидкого балласта, части топлива и объемов прочих мелких помещений (кингстонных ящиков, помещений лагов и эхолотов, сточных и циркуляционных масляных цистерн и т. п.) Для относительной величины высоты двойного дна КИП может быть применена приближенная зависимость [8]:

$$h_{\text{дд}}/T=(1,243W_{\text{дд}}/V+C^2)^{0.5}-C, \quad (1)$$

где $W_{\text{дд}}/V$ – минимальная относительная вместимость двойного дна, зависящая от коэффициента расходования судовых запасов на момент бал-

ластировки (K_{pz}_6), равного отношению израсходованных запасов на момент балластировки к общим судовым запасам в начале рейса; C – величина, зависящая от коэффициента общей полноты судна.

$$W_{дд}/V=0,253-0,186(K_{pz}_6) \quad (2)$$

$$C=-0,3\delta_{мп}-0,149. \quad (3)$$

По условиям обеспечения аварийной остойчивости $h_{дд}$ должна быть сведена к минимуму. При этом она не может быть меньше требуемой правилами Регистра

$$(h_{дд})_{\min}=(L-40)/570+0,04B+3,5T/L, \quad (4)$$

но не менее 0,65м,

где L , B , T – длина, ширина и осадка судна, определяемые по правилам Регистра.

Для уменьшения избыточной остойчивости основные запасы топлива желательно размещать в высоких цистернах, т. е. в двойных бортах. Это определяет применение на КИП продольных переборок, которые одновременно повышают жесткость корпуса судна, безопасность судна при бортовых пробоях (в этом случае их рекомендуется устанавливать на расстоянии не менее $0,2 B$ от борта) и сокращают потерянную площадь ватерлинии при затоплении, увеличивая аварийную метацентрическую высоту (h_s).

С целью уменьшения аварийного угла крена ($\theta_{кр}$) при затоплениях отдельные авторы рекомендуют продольные переборки устанавливать не далее $0,1 B$ от борта. Решение по оптимальному размещению внутренних бортов, как и второго дна, принимается с учетом обеспечения непотопляемости и вместимости.

На рис. 18 показана зависимость минимально допустимой относительной ширины двойного борта (b_n/B) от относительной высоты продольных переборок (h_n/T) при различных коэффициентах общей полноты судна ($\delta_{ал}$) и коэффициентах $K_{тб}$, представляющих собой отношение топлива в двойных бортах к общим запасам топлива.

График является интерпретацией приближенной зависимости:

$$b_n/B=0,5\delta_{ал}[W_{дб}/V \cdot L/l_n \cdot T/h_n - (2-l_n/L)^m] + 0,5, \quad (5)$$

где $W_{дб}/V$ – относительная минимально допустимая вместимость бортовых отсеков; l_n , L – протяженность продольных переборок по дли-

не судна и длина судна соответственно;

Значения $W_{\text{дб}}/V$ и m определялись по статистическим зависимостям:

$$W_{\text{дб}}/V = 0,998\eta_3 K_{\tau 6} + 0,01 \quad (6)$$

$$m = \beta/\delta + 0,5 l_{\text{п}}/L - 0,97 \quad (7)$$

при значениях коэффициента утилизации водоизмещения по судовым запасам $\eta_3 = 0,32$, $\beta = 0,93$, $l_{\text{п}}/L = 0,35$ – средних величинах, характерных для отечественных КИП.

По графику рис. 18 можно в начальных стадиях проектирования определить минимально допустимые значения $b_{\text{п}}/B$ при принятых значениях $h_{\text{п}}/T$ и $K_{\tau 6}$. Из графика видно также, что даже при наличии цистерн, доходящих до палубы переборок (в интервале $h_{\text{п}}/T = H_{\text{гп}}/T = 1,3-2,0$), в бортах может быть размещено 15–30 % топлива при $b_{\text{п}}/B = 0,1$ и около 70 % топлива при $b_{\text{п}}/B = 0,2$. Так как для современных отечественных универсальных КИП $K_{\tau 6}$ изменяется в пределах 0,5–0,7, то проблема исключения для них аварийных кренов является весьма актуальной.

Во многих случаях проблема решается устройством перетоков, соединяющих бортовые отсеки [13].

Количество поперечных переборок КИП стараются свести к минимуму с целью сокращения массы корпуса. Максимально допустимую длину отсека устанавливают в соответствии с требованиями не-

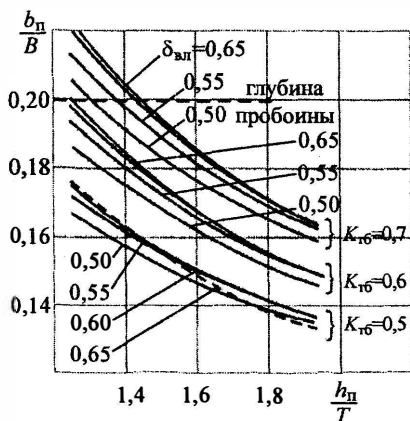


Рис. 18. Графическая интерпретация зависимости $b_{\text{п}}/B$

потопляемости, которые для универсальных отечественных КИП, как судов с большим экипажем и дорогостоящим оборудованием, заключаются в обеспечении двухотсечного стандарта непотопляемости при выполнении норм (в частности по аварийной остойчивости), как для пассажирского судна. Поэтому суммарную длину двух смежных отсеков стараются сделать минимальной. По условиям вместимости минимальная длина каждого отсека определяется уста-

навливаемым в нем оборудованием. Назначение отсеков и их размещение по длине связано с назначением судна и условиями его эксплуатации. Наличие большого количества потребителей электрической энергии вызвало необходимость оборудования на ряде КИП двух электростанций, одна из которых, как правило, ориентируется на судовые нужды, а вторая на нужды экспедиции. Электростанции располагают в нос и корму от МКО. КИП должны хорошо управляться, в том числе на малых ходах и в дрейфе. Для этого желательно размещать: в носу – отсек подруливающих устройств (ПУ), а в корме – отсек выдвижных движительно-рулевых колонок (ВДРК). ВДРК могут также использоваться для движения малым ходом.

В систему кондиционирования воздуха, вентиляции и воздушного охлаждения аппаратуры КИП входит мощная холодильная установка, отсек которой желательно располагать в нос от носовой электростанции.

Работа в условиях моря по прямому назначению предъявляет повышенные требования к стабилизации судна на волнении. Качка вызывает помехи во время сеансов связи, возрастание нагрузок на системы и ухудшение точности их наведения, снижает работоспособность научного и инженерно-технического персонала. Добиться необходимой стабилизации КИП только оптимизацией размерений и характеристик корпуса не всегда удастся и тогда судно оборудуется успокоителем качки. Учитывая необходимость стабилизации КИП на малых ходах и в дрейфе, в качестве успокоителей КИП применяются успокоительные цистерны, требующие запаса метацентрической высоты на свободные поверхности в них (Δh_y). Отсеки успокоителей качки размещают в районе миделя.

На рис. 19 показана зависимость суммарного количества отсеков КИП (при округлении до целого числа) от длины судна между перпендикулярами при различных длинах МКО ($l_{\text{мко}}$).

График является интерпретацией приближенной статистической зависимости и может быть использован на ранних стадиях проектирования для определения количества отсеков ($n_{\text{от}}$) и числа поперечных непроницаемых переборок для учета их при расчетах нагрузки масс.

По условиям размещения оборудования длина отсеков, кроме МКО, как правило, может быть принята равной минимально до-

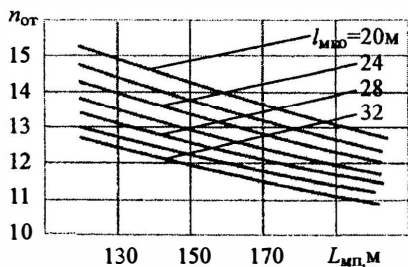


Рис. 19. Зависимость $n_{от}$ от $L_{мп}$ при различных значениях $l_{мко}$

длины судна. Согласно правил Регистра трубопроводы, проходящие через главные водонепроницаемые переборки, как правило, должны располагаться от борта на расстоянии не менее $0,2B$.

Если это условие не выполняется, то должны быть приняты меры, предотвращающие распространение забортной воды из поврежденного отсека в другие непроницаемые отсеки и цистерны.

Коридоры труб и трасс целесообразно размещать ниже палубы переборок и для обеспечения свободного прохода через непроницаемые переборки коридоры выделять в самостоятельные непроницаемые отсеки, расположенные непосредственно под этой палубой. При проверке непотопляемости каждый из коридоров присоединяют к паре смежных отсеков, что приводит к увеличению объема затопления и аварийного крена. Учитывая последнее, целесообразно коридоры труб и трасс смещать от бортов в сторону диаметральной плоскости.

Учитывая, что абсолютное большинство КИП создано в корпусах транспортного флота, вопросы оптимизации формы корпуса на них еще подлежат исследованию. Однако уже сейчас можно сделать некоторые выводы. При кормовом расположении МКО с целью увеличения площадей в кормовой оконечности может быть рекомендована транцево-крейсерская корма (крейсерская корма с транцем в надводной части), позволяющая упростить технологию постройки судна и снизить вибрацию вследствие уменьшения кормового свеса. Протяженность последнего должна быть такой, чтобы была обеспечена надежная защита рулей и винтов при швартовке.

пустимой по требованиям правил Регистра ($l_{p\ min}$), определяемой протяженностью пробойны по длине. В этом случае максимальная длина двух смежных отсеков может быть выражена $l_{2\ max} = l_{мко} + l_{p\ min}$.

Для прокладки магистральных трасс кабеля и трубопроводов на КИП устанавливаются побортно коридоры, простирающиеся на значительную часть

Представляется, что наклонный форштевень КИП целесообразно выполнять с бульбом в подводной части (по условиям ходкости), что приводит, однако, к некоторому снижению аппликаты центра величины судна (Z_c).

Форма миделя определяется требованиями остойчивости, непотопляемости, стабилизации судна и устанавливается поиском оптимума при наклонных (до $5-7^\circ$) или прямых бортах. Максимальный наклон борта ограничивается требованиями безопасной швартовки.

На рис. 20 а показана зависимость изменения отношения осадки судна при симметричном затоплении МКО и смежного с ним отсека (ΔT_a) к изменению осадки при расходе судовых запасов (ΔT_{pz}) от коэффициента расхода запасов на момент балластировки, а на рис. 20 б – как при этом изменяется отношение ширины аварийных ватерлиний у судов с наклонными (развал 5°) и прямыми бортами на миделе (B_n/B_n) при одинаковой ширине судна на КВЛ.

Из графиков видно, что при коэффициенте расхода судовых запасов на момент балластировки ($K_{pz})_6 = 0,5$ увеличение осадки при затоплении больше, чем от расхода судовых запасов к этому моменту. В этом случае борта с развалом более эффективны с точки зрения аварийной остойчивости, поскольку аварийная ватерлиния шире, чем у судна с прямыми бортами. Для безбалластного варианта ($K_{pz})_6 = 0,9$ эффект от наклона бортов незначительный и при $l_{2max}/L < 0,225$ предпочтительнее прямые борта.

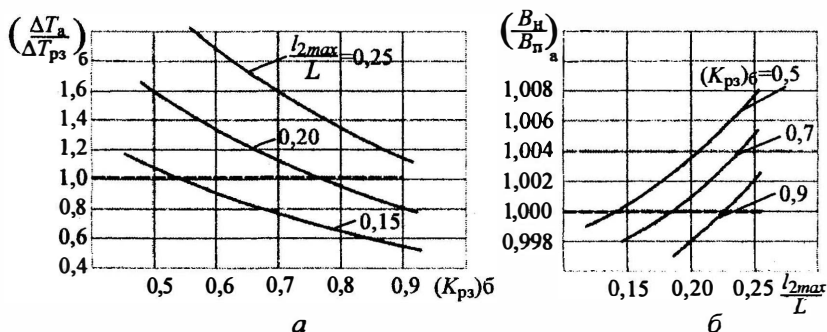


Рис. 20. Зависимости:

а – $(\Delta T_a/\Delta T_{pz})_6$ от $(K_{pz})_6$ и l_{2max}/L ; *б* – $(B_n/B_n)_a$ от l_{2max}/L и $(K_{pz})_6$

При выборе формы миделя заслуживает внимание опыт пассажирского судостроения с булевыми бортами в подводной части и развалом бортов в надводной части. Можно предполагать, что КИП с такими бортами будут иметь хорошие параметры качки при полном водоизмещении, достаточную остойчивость по мере расходования судовых запасов и хорошую остойчивость в аварийных ситуациях при затоплении. Однако нужно учитывать при этом, что с точки зрения технологичности такая форма значительно усложнена.

При проектировании КИП, учитывая их длительное пребывание в море, уделяется большое внимание вопросам обитаемости. Экипаж и экспедиция размещаются в удобных каютах. На универсальных КИП, учитывая их размеры, размещаются салоны отдыха, библиотеки, читальные залы, кинозал, спортзал, плавательные бассейны.

Малые КИП имеют меньшее число экипажа и экспедиции, меньшие автономности, и на них обеспечиваются более скромные условия обитаемости. Ввиду своих размеров малые КИП несколько отличаются от универсальных и в архитектурно-конструктивном исполнении.

На них меньше крупногабаритных антенн, они не имеют продольных переборок и подруливающих устройств и на них возможно было обеспечить только одноотсечный стандарт непотопляемости.

Таким образом, КИП, как и другие суда, имеют характерные архитектурно-конструктивные особенности, учет которых при проектировании гарантирует оптимальность принимаемых решений, исходя из назначений и условий эксплуатации этих судов.

4. НАГРУЗКА МАСС

Нагрузка масс судна зависит от многих факторов, среди которых для судна порожнем не последнее место принадлежит архитектурно-конструктивным особенностям [40]. КИП, имеющие развитые надстройки, предназначенные для размещения многочисленного экипажа, включая экспедицию ($n_{\text{эк}}$), и для оборудования в них лабораторий различного назначения, могут быть сопоставлены с пассажирскими судами (ПС).

Сравнение нагрузки КИП и ПС (табл. 4) показывает, что для средних значений масс КИП, представленных по разделам, наблюдает-

ся, с одной стороны, рост нагрузки радиотехнического, навигационного и другого оборудования по разделу «Вооружение» и связанное с ним некоторое увеличение нагрузки по разделам «Системы» и «Электроэнергетическая система», а с другой стороны, — уменьшение массы по разделу «Установка энергетическая». Последнее объясняется меньшими скоростями, присущими КИП, по сравнению с ПС, для которых высокая скорость, помимо круизной привлекательности, связана также с эффективностью работы бортовых управляемых стабилизаторов качки. Естественно, что большая скорость на ПС обеспечивается более мощной энергетической установкой, имеющей соответственно большие массу и габариты. С этой точки зрения характерны значения безразмерных скоростей, присущие судам, сопоставляемых назначений:

— для КИП: $Fr=0,20-0,26$

— для ПС: $Fr=0,25-0,32$

Так как многие из КИП создавались путем переоборудования из судов транспортного флота, которые имели избыточные объемы применительно к их новому назначению, на ряде КИП для обеспечения остойчивости, непотопляемости, мореходности принимался как твердый, так и жидкий балласт. С технико-эксплуа-

Т а б л и ц а 4

Сравнение нагрузки ПС и КИП

Раздел нагрузки	Обозначение	Океанское ПС P/D_0 , %	КИП	
			P/D_0 , %	Зависимость от D_0
Корпус с устройствами (в т. ч. постоянный балласт)	P_k	48,0 (2,3)	46,5±9,5 (10,0±10,0)	0,475 D_0 + +250
Системы	$P_{ст}$	2,5	3,5±1,5	0,030 D_0 + +100
Установка энергетическая	$P_{уэ}$	8,6	4,0±2,0	0,035 D_0 + +150
Электроэнергетическая система	$P_{эл}$	2,3	4,0±2,0	0,02 D_0 + +400
Вооружение (радиотехни- ческое, навигационное и пр.)	$P_{вп}$	—	5,0±3,0	0,05 D_0 + +100
Постоянные жидкие грузы	$P_{жг}$	2,6	2,0±1,0	0,01 D_0 + +200
Прочие разделы	$P_{пр}$	1,0	1,0±0,4	
Запас водоизмещения	$P_{зв}$	2,0	1,6±0,5	
Дедвейт (в т. ч. топливо, вода, масло)	DW	33,0 (10)	32,5±7,5 (26,5±9,3)	

тационной точки зрения использование водяного балласта в качестве постоянного считается менее эффективным по отношению к твердому балласту.

Наличие постоянного жидкого балласта увеличивает нагрузку по разделу «Корпус».

Зависимость масс основных разделов нагрузки от полного водоизмещения для отечественных КИП представлена на рис. 21 и 22.

Аналитические выражения графических зависимостей представлены в табл. 4.

Установленная на КИП радиотехническая и электронная аппаратура является основой для выполнения возложенных на него функций, поэтому коэффициент оснащения КИП специальным оборудованием, равный $\eta_{co} = P_{вр}/D_n$, является важной характеристикой этих судов. Он характеризует насыщение КИП специальным оборудованием и в определенной мере отражает полезность использования водоизмещения. Так, включение балласта в полное водоизмещение приводит к снижению η_{co} . Как видно из табл. 4, η_{co} для отечественных КИП составляет 0,02–0,08, причем на судах более поздней постройки наблюдается рост η_{co} по сравнению с КИП ранней постройки.

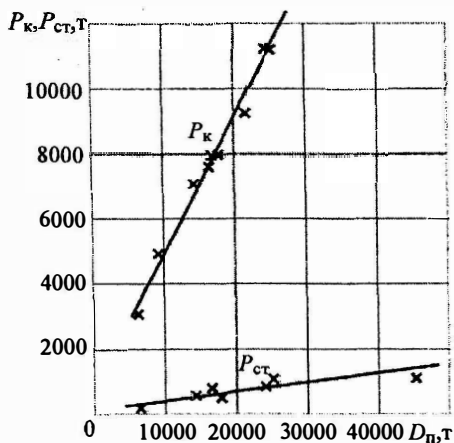


Рис. 21. Зависимость массы корпуса P_k и массы систем $P_{ст}$ от полного водоизмещения D_n

Рост коэффициента оснащения определенным образом сдерживается требованиями электромагнитной совместимости излучающих и приемных антенн: чем больше их на КИП, тем труднее обеспечить одновременность работы и избежать при этом взаимного воздействия излучений, искажающих характер передаваемой и принимаемой из космоса информации.

Расчет составляющих укрупненной нагрузки масс порожнего судна на начальных этапах проектирования

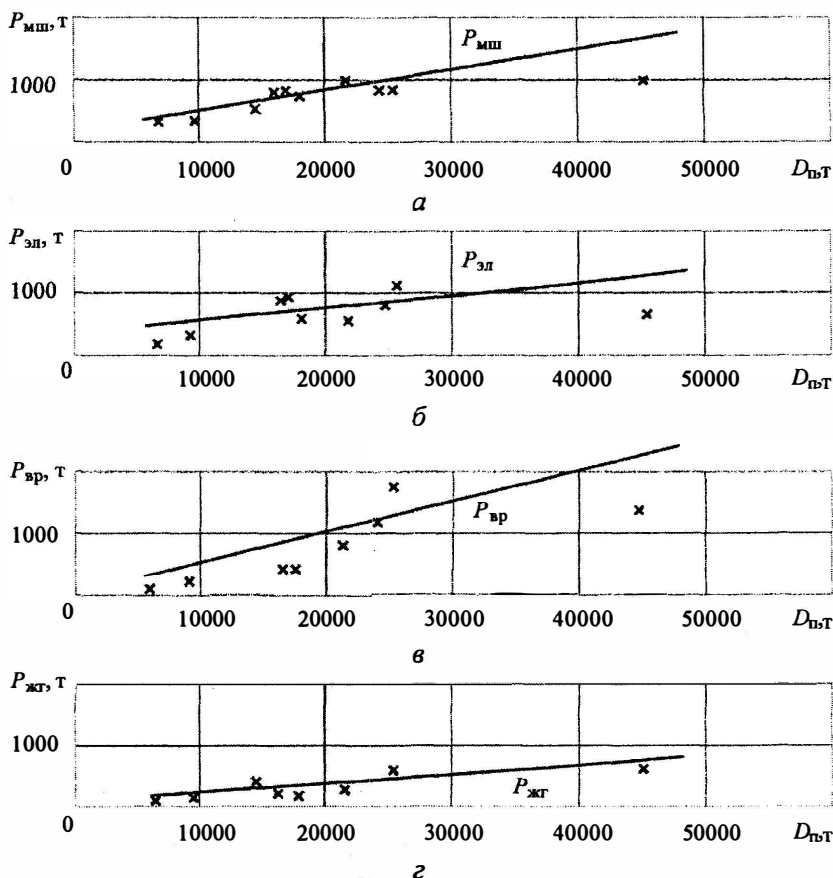


Рис. 22. Зависимость масс по разделам от полного водоизмещения:
 а – ЭУ, $P_{мш}$; б – ЭЭС- $P_{эл}$; в – вооружения, $P_{вр}$; г – жидких грузов, $P_{жг}$

КИП можно производить по формулам, приведенным ниже:

– масса металлического корпуса, включая фундаменты:

$$P_k + P_\phi = LBH(0,052\delta_{мп} + 0,021 + 0,32/H) + [0,1(LB)^{0,5}]^3 + 0,05LBH(3,25T/H - 1,06)(\delta_{мп})^{0,5}. \quad (8)$$

Первое слагаемое в формуле составляет массу металлического корпуса, ограниченного верхней непрерывной палубой, до которой

измеряется H . Второе слагаемое есть суммарная масса фундаментов и подкреплений, составляющая для КИП существенную долю в общей статье нагрузки «Металлический корпус» по отношению к судам других назначений. Третье слагаемое, отражающее для рассматриваемых судов условие определенного постоянства отношения общей кубатуры к водоизмещению, характеризует массу надстроек и рубок выше верхней непрерывной палубы в функции от кубического модуля. Погрешность получаемого по формуле результата не превышает 10 %.

- масса оборудования в зависимости от $(LBH)^{0.5}$ с коэффициентом пропорциональности $1 \pm 0,4$;
- масса покрытий, систем жидких грузов в зависимости от LB с коэффициентами $0,1 \pm 0,03$; $0,163 \pm 0,012$; $0,09 \pm 0,03$ соответственно;
- масса рулевого устройства в зависимости от LT с коэффициентом $0,043 \pm 0,005$;
- масса окраски, прочих устройств, электрооборудования, запаса водоизмещения в зависимости от D_n с коэффициентами $0,004$; $0,01$; $0,035 \pm 0,005$; $0,025$ соответственно;
- масса дельных вещей, якорного устройства, энергетической установки в зависимости от $D_n^{0.5}$ с коэффициентами $1,0$; $1,25 \pm 0,30$; $5,63 \pm 1,25$ соответственно;
- масса вооружения (радиотехнического, навигационного и пр.) в зависимости от $n_{\text{эк}} L^{0.5}$ с коэффициентами $(1,0 \pm 0,18) 10^{-4}$;
- масса швартовного, грузового устройства и снабжения функционально мало зависит от размеров КИП, поэтому их можно учесть добавлением к водоизмещению 140–150 т.

В составе дедефта КИП существенную долю составляют запасы топлива, что объясняется, в первую очередь, условиями эксплуатации, определяющими для этих судов большие значения автономности, дальности плавания, суммарных мощностей электростанции. Масса запасов энергетической установки и электростанции (топлива, масла и питательной воды) может быть представлена выражением:

$$P_{\text{з эи}} = (P_{\text{з гл д}} + P_{\text{з эл}}) K_{\text{мв}} K_{\text{мз}}, \quad (9)$$

где $P_{\text{з гл д}}$ – масса запасов топлива главного двигателя и котельной установки; $P_{\text{з эл}}$ – масса запасов топлива электростанции; $K_{\text{мв}}$ – коэффициент, учитывающий массу смазочного масла и питательной воды;

$K_{мз}$ – коэффициент морского запаса.

С помощью приближенных зависимостей и средних значений коэффициентов, характерных для КИП формула (9) может быть преобразована к виду:

$$P_{з\ эн} = 4,66 \cdot 10^{-6} (R v_{эк}^2 + 69 A n_{эк}) D_{п}^{0,5}, \quad (10)$$

где R – дальность плавания; A – автономность; $v_{эк}$ – скорость длительного (экономического) хода.

Значения коэффициента $K_{з\ эн} = P_{з\ эн} / D_{п}^{0,5}$, полученные по формуле 10, и фактические значения его для отечественных КИП приведены в табл. 5.

Анализ показывает, что формула 10 может быть использована на ранних стадиях проектирования для определения запасов энергетической установки и электростанции, так как ее погрешность по большинству приведенных судов не превышает 15 %.

Графическая интерпретация формулы (10) при значениях $A=120$ сут и $n_{эк}=300$ чел показана на рис. 23.

Для универсальности использования приведенного на рис. 23 графика при отклонении значений автономности и численности экипажа и экспедиции от принятых вводится поправка (а), определяемая по графику рис. 24.

Исправленное значение коэффициента $K_{з\ эн}$ вычисляется как сумма значений $K_{лз\ эн}$ и коэффициента a .

Расчет переменных в эксплуатации масс (дедвейта) во многом зависит от загрузки электростанции, как на стоянке, так и на ходу, и от выбранного спектра маневрирования различными скоростями, который может включать три-четыре скорости (v_i).

Т а б л и ц а 5

**Фактические значения коэффициентов $K_{з\ эн}$
и полученные по формуле (10)**

Коэффициент $K_{з\ эн}$	«Моржовей» (1967 г.)	«Космонавт Владислав Волков» (1977 г.)	«Космонавт Владимир Комаров» (1967 г.)	«Академик Сергей Королев» (1970 г.)	«Космонавт Юрий Гагарин» (1971 г.)	«Академик Николай Пилюгин» (1991 г.)
Фактические значения	16,5	16,3	47,6	38,7	52,1	31,0
Значения по формуле (10)	18,9	18,8	31,9	43,9	50,3	28,0

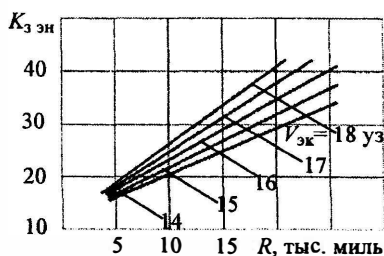


Рис. 23. Графическое представление коэффициента $K_{з.эн}$ при $A=120$ сут., $n_{ж}=300$ чел

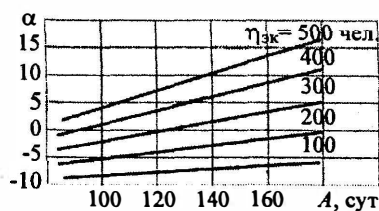


Рис. 24. Поправка к величине $K_{з.эн}$ на отклонение от принятых значений A и $n_{ж}$

ками, в ходовом и на стоянке без тренировок соответственно.

Значения $P_{дг}$ в зависимости от мощности и времени работы дизель-генераторов могут быть определены:

$$P_{дг} = g_{эл} N_{дг} t_{дг} K_{дг} \quad (14)$$

Для современных высокоэкономичных мало- и среднеоборотных дизелей, используемых в качестве главных и вспомогательных двигателей, удельный расход топлива в т/кВт.ч составляет $g_{эл} = g_{эл} = (200 \pm 10) 10^{-6}$.

Коэффициент одновременности загрузки электростанции на ходу и на стоянке $K_{дг}$ для КИП может быть принят: в режиме тренировок — $0,77 \pm 0,07$, без тренировок — $0,70 \pm 0,05$.

Под режимом «тренировок» следует понимать подготовительный период работы измерительных средств, связанный с прокручиванием антенн, введением аппаратуры в состояние горячего резерва, пред-

Запас топлива главных двигателей КИП может быть определен как сумма составляющих:

$$P_{гд} = \sum P_{гдj} \quad (11)$$

где $P_{гдj}$ — запасы топлива экономическим, полным и маневренными скоростями, определяемые в зависимости от удельного расхода топлива $g_{гд}$, мощности $N_{гдj}$ и продолжительности плавания в названных режимах $t_{гдj}$.

$$P_{гдj} = g_{гд} N_{гдj} t_{гдj} \quad (12)$$

На ранних стадиях проектирования значение $g_{гд}$ может быть принято постоянным.

Запас топлива дизель-генераторов по аналогии можно представить:

$$P_{дг} = \sum P_{дгj} \quad (13)$$

где $P_{дгj}$ — запасы топлива дизель-генераторов в режимах: ходовом с тренировками, стоянке с трениров-

шествующий сеансу работы судна по назначению.

Запас топлива для главных двигателей и дизель-генераторов с учетом морского запаса составит:

$$P_{\tau}^1 = K_{\text{мз}} (P_{\text{гд}} + P_{\text{дг}}), \quad (15)$$

где $K_{\text{мз}} = 1,15 \pm 0,05$

Запас топлива для котельной установки:

$$P_{\text{кт}} = p_{\text{кт}} P_{\tau}^1, \quad (16)$$

где для КИП $p_{\text{кт}} = 0,15$.

Запас смазочного масла:

$$P_{\text{м}} = p_{\text{м}} P_{\tau}^1. \quad (17)$$

Запас питательной воды:

$$P_{\text{кв}} = p_{\text{кв}} (P_{\tau}^1 + P_{\text{кт}}). \quad (18)$$

Коэффициенты в формулах (17) и (18) $p_{\text{м}} = p_{\text{кв}} = 0,04$.

Расчет мощностей и времени работы главных двигателей и дизель-генераторов в эксплуатационных режимах, полученных статистически, приведен в табл. 6.

Запас пресной воды на судне может быть рассчитан по формуле [48]:

$$P_{\text{в}} = g_{\text{в}} n_{\text{эк}} A_{\text{в}}, \quad (19)$$

где $g_{\text{в}}$ — расход пресной воды в тоннах на 1 человека в сутки $g_{\text{в}} = 0,15$;
— автономность по пресной воде в сутках $A_{\text{в}} \geq 5$.

Пополнение пресной воды на полную автономность на КИП производится от опреснителей.

Запас провизии:

$$P_{\text{пр}} = g_{\text{пр}} n_{\text{эк}} A. \quad (20)$$

Расход провизии на 1 человека в сутки в тоннах может быть принят $g_{\text{пр}} = 0,003$

Масса снабжения (включая массу экипажа с багажом, равную $g_{\text{эк}} n_{\text{эк}}$) определяется по формуле:

$$P_{\text{проч}} = p_{\text{проч}} (P_{\tau}^1 + P_{\text{кт}} + P_{\text{м}} + P_{\text{кв}} + P_{\text{в}} + P_{\text{пр}}), \quad (21)$$

где коэффициент $p_{\text{проч}} = 0,02 + 0,01$.

Для умерения качки на КИП в необходимых случаях применяют успокоительные цистерны [57]. В качестве рабочей жидкости в них используют запасы топлива или забортную воду. В первом случае при оборудовании судов успокоителями качки водоизмещение не увеличи-

вается, тогда как во втором оно растет из-за необходимости приема забортной воды. Масса рабочей жидкости в пассивном успокоителе качки отечественных КИП составляет 3–5 % от полного водоизмещения, тогда как на универсальных научно-исследовательских судах водоизмещением менее 4000 т эта величина колеблется в пределах 1–3 % [27].

Т а б л и ц а 6

Расчет мощностей и времени работы главных двигателей и электростанции КИП

Режим работы	Обозначение	Формула	Значения коэффициентов для КИП
Полная мощность главных двигателей, л. с.	N_n	$N_n = D_n^{0,5} v^{3,25} / C_N$	$C_N = 128 \pm 6$
Мощность механизмов на экономическом ходу, л. с.	$N_{ж}$	$N_{ж} = N_n (v_{ж} / v_n)^{3,25}$	
Мощность механизмов при скорости маневрирования, л. с.	N_m	$N_m = N_n (v_m / v_n)^{3,25}$	
Время следования экономическим ходом, ч	t_x	$t_x = R / v_{ж}$	
Время работы в период автономности, ч	t_p	$t_p = 24A - t_x$	
Относительная мощность электростанции на ходу с тренировками, кВт/т	$N_{ст} / D_n$	$N_{ст} / D_n = 2,7 \eta_{вп} + 2,9 n_{вд} / D_n$	
Мощность электростанции на ходу с тренировками, кВт	$N_{ст}$	$N_{ст} = D_n N_{ст} / D_n$	
Мощность электростанции на стоянке с тренировками, кВт	$N_{ст}$	$N_{ст} = K_{ст} N_{ст}$	$K_{ст} = 0,97 \pm 0,06$
Мощность электростанции на ходу, кВт	N_x	$N_x = K_x N_{ст}$	$K_x = 0,61 \pm 0,20$
Мощность электростанции на стоянке, кВт	N_c	$N_c = K_c N_{ст}$	$K_c = 0,46 \pm 0,05$
Мощность электростанции в целом, кВт	$N_{эв}$	$N_{эв} = K_{эв} N_{ст}$	$K_{эв} = 1,73 \pm 0,20$
Время работы электростанции на ходу с тренировками, ч	$t_{ст}$	$t_{ст} = (t_x + t_{вх} + t_m) \times \times t_{tp} / 24$	
Время работы электростанции на стоянке с тренировками, ч	$t_{ст}$	$t_{ст} = (t_p - t_{вх} - t_m) \times \times t_{tp} / 24$	
Время работы электростанции на ходу, ч	$t_{эвх}$	$t_{эвх} = (t_x + t_{вх} + t_m) \times \times (1 - t_{tp} / 24)$	
Время работы электростанции на, ч	t_c	$t_c = (t_p - t_{вх} - t_m) \times \times (1 - t_{tp} / 24)$	

5. БАЛЛАСТИРОВКА

На корабельных измерительных пунктах первого поколения, созданных на базе корпусов транспортного флота, вопросы обеспечения необходимой остойчивости неповрежденного и поврежденного судна при затоплениях в основном решались за счет укладки во второе дно твердого балласта, приема в цистерны корпуса постоянного жидкого балласта, а также путем укладки твердого балласта и приема постоянного жидкого балласта одновременно. Характеристики балластировки отечественных КИП приведены в табл. 7.

Суммарное количество постоянного балласта ($P_{бп}$) на КИП достигало 21 % от полного водоизмещения, что приводило к увеличению водоизмещения, снижению коэффициента оснащения и экономических показателей. По мере расходования судовых запасов в рейсе остойчивость на большинстве КИП восполнялась путем приема на них дополнительного жидкого балласта ($P_{бр}$). Нередко это осуще-

Таблица 7

Расчет мощностей и времени работы главных двигателей и электростанции КИП

Наименование Характеристики	«Морской» (1967 г.)	«Космонавт Владислав Волков» (1977 г.)	«Космонавт Владимир Комаров» (1967 г.)	«Академик Сергей Королев» (1970 г.)	«Космонавт Юрий Гагарин» (1971 г.)	«Академик Николай Пилюгин» (1991 г.)
Балласт, т:						
Твердый, $P_{бт}$	0	1230	1560	0	0	0
Постоянный жидкий, $P_{бж}$	209	377	0	1209	9600	160*
$P_{бс} = P_{бт} + P_{бж}$	209	1607	1560	1209	9600	160
Жидкий при- нимаемый, $P_{бр}$	975	0	0	1993	10790	0**
Отношения:						
$(K_{рз})_б$	0,1	1,0	1,0	0,4	0,2	1,0
$P_{бт}/D_n$	0	0,137	0,088	0	0	0
$P_{бж}/D_n$	0,034	0,042	0	0,056	0,213	0,010
$P_{бс}/D_n$	0,034	0,180	0,088	0,056	0,213	0,010
$K_{бс} = P_{бс}/P_z$	0,532	0	0	0,276	0,804	0

* — жидкий балласт, принятый для компенсации кренящего момента не установленного антенного поста, зарезервированного на модернизацию.

** — предусмотрены балластные цистерны на около 1100 т балласта, как аварийный и модернизационный резерв.

ствлялось на ранних этапах рейса еще до израсходования 50 % судовых запасов (у отдельных КИП при израсходовании 10–20 % запасов). На некоторых КИП из-за нехватки объемов прием жидкого балласта в рейсе производился в цистерны, освобождаемые из-под топлива, что вызывало необходимость поэтапного приема жидкого балласта — операции трудоемкой и далеко не безопасной в условиях моря.

К тому же, совмещенные топливо-балластные цистерны на КИП приводили к дополнительным проблемам, связанным с очисткой топливных цистерн, после откачки из них балласта с выполнением ряда операций по обеспечению не загрязнения моря. На некоторых КИП первого поколения необходимость балластирования вызывалась требованиями обеспечения заглублиения судна и нормальной его посадки. Все это заставило судостроителей наряду с отработкой архитектурно-конструктивных характеристик КИП — главных размерений судна и коэффициентов полноты его корпуса (для КИП нового поколения) внутреннего конструктивного подразделения — определять и рациональные схемы их балластирования и, в первую очередь, решать вопрос о возможности и экономической целесообразности создания безбалластного варианта КИП.

Как показывает опыт, по условиям балластирования новые КИП могут быть:

- балластируемыми твердым или постоянным жидким балластом с различными коэффициентами балластирования $K_{бр} = P_{бр} / D_n$, $K_{бж} = P_{бж} / D_n$, $K_{б\sigma} = P_{б\sigma} / D_n$;
- балластируемыми в рейсе по мере расходования судовых запасов при различных коэффициентах расходования судовых запасов на момент балластирования ($K_{рзб} = P_{рз} / P_3$) и коэффициентами балластирования $K_{бр} = P_{бр} / P_3$;
- балластируемыми в различных комбинациях первого и второго вариантов;
- безбалластными.

Взгляд на проблемы балластирования судна не является однозначным. Так, Л.М. Ногид считал, что, исходя из эксплуатационных условий, представляется рациональным проектировать гражданские суда таким образом, чтобы они не нуждались в приеме балласта по крайней мере до израсходования 50 % запаса топлива и воды. Б.Н. Захаров отмечал, что

оптимальным в экономическом отношении можно считать такое судно, у которого прочность, остойчивость и другие качества обеспечены без приема балласта в любом варианте нагрузки.

Опыт создания судов, у которых архитектурно-конструктивные особенности, вызванные требованиями эксплуатации, приводят к затруднению выполнения требований по остойчивости, показывает, что на них для решения проблемы широко используется твердый балласт, хотя они и создавались в новых специально для них спроектированных корпусах. Так, масса постоянного балласта на крупных пассажирских судах доходит до 10 % от водоизмещения [5].

Постоянный балласт принимается на судно тогда, когда при водоизмещении судно порожнем метацентрическая высота $h < 0$.

Применение водяного балласта в качестве постоянного с технико-экономической точки зрения считается менее эффективным по отношению к твердому балласту и его применение объясняется избыточными объемами переоборудуемых транспортных судов применительно к их новому назначению.

Твердый балласт, укладываемый на суда в соответствии с требованиями правил Регистра, должен изготавливаться в виде металлических или бетонных брусьев (плит) поштучно или в виде бетонной (бетонно-металлической) однородной смеси [35]. Штучный балласт должен быть раскреплен таким образом, чтобы исключить его смещение во время эксплуатации. Должна предусматриваться защита поверхности балласта в районе его укладки от проникновения влаги к обшивке и набору под балластом. В отечественной практике применяется твердый балласт в виде чугунных балластин, раскрепляемых металлическими полосами, привариваемыми к набору или заливаемых бетоном, а также твердый балласт, представляющий смесь чугуновой дробы с бетоном (чугунобетоном).

На судах, у которых в процессе эксплуатации значительно меняется водоизмещение (в первую очередь на грузовых), для компенсации переменных масс (дедвейта) применяется жидкий балласт. Количество жидкого балласта для грузовых судов определяется требованиями нормальной посадки и заглубления судна, обеспечения его остойчивости и прочности и его количество может составлять 15–30 % от дедвейта, а у танкеров доходить даже до 50 % [35].

Схема балластировки КИП переменным жидким балластом, устанавливающая максимальное количество балласта, размещение его на судне и порядок приема, характеризуется:

- коэффициентом балластировки судна в рейсе ($K_{\text{бр}}$);
- коэффициентом расходования судовых запасов на момент балластировки ($K_{\text{рз}})_6$;
- видом цистерн для жидкого балласта (топливо-балластные или чисто-балластные), которые в свою очередь во многом определяют этапность приема балласта (в один этап или по мере расходования судовых запасов).

Коэффициент расходования судовых запасов ($K_{\text{рз}}$) теоретически может изменяться в течении рейса от 0 до 1. В реальной практике на отдельных КИП, характеризующихся ранним приемом жидкого балласта в рейсе, балластировка начинается при израсходовании 10 % судовых запасов, т. е. $(K_{\text{рз}})_6 = 0,1$.

Согласно правилам Регистра расчетный эксплуатационный случай нагрузки, характеризующий конец рейса, – это «Судно с 10 % запасов». Можно полагать, что оставшиеся 10 % запасов – это аварийный запас для обеспечения движения судна. Таким образом, фактические значения коэффициента $(K_{\text{рз}})_6$ для КИП можно рассматривать в интервале от 0,1 до 0,9, и значения $(K_{\text{рз}})_6 \geq 0,9$ характеризуют безбалластный вариант.

Варианты КИП, требующие раннего приема жидкого балласта в рейсе $(K_{\text{рз}})_6 < 0,5$ для реализации вышеупомянутой рекомендации о приеме жидкого балласта в рейсе после израсходования 50 % судовых запасов, также нуждаются в приеме постоянного балласта.

Как показывают исследования, при двухотсечном стандарте непотопляемости для КИП с $(K_{\text{рз}})_6 < 0,5$ значения минимально допустимой относительной метацентрической высоты должны быть $(h/B)_{\text{min}} = 0,06 - 0,07$.

Для вариантов КИП, балластируемых в рейсе, $0,9 > (K_{\text{рз}})_6 > 0,5$ значения $(h/B)_{\text{min}} = 0,07 - 0,13$.

Для безбалластных вариантов КИП $(K_{\text{рз}})_6 > 0,9$ значения $(h/B)_{\text{min}} = 0,11 - 0,13$.

Изложенные выводы подтверждаются практикой создания отечественных КИП, у которых h/B изменяется в пределах 0,06–0,11. Нижний предел относится к судам с ранним приемом жидкого бал-

ласта в рейсе, а верхний к безбалластному варианту. Таким образом, возможность создания безбалластного варианта КИП была доказана теоретически и получила практическую реализацию при создании КИП «Академик Николай Пилюгин».

На рис. 25 показаны теоретические пределы изменения $(h/B)_{min}$ с кривой их средних значений в зависимости от $(K_{pz})_6$, а также показаны фактические значения h/B для некоторых отечественных КИП с двухотсечным стандартом непотопляемости.

Сравнивая варианты судов по условиям балластировки, к преимуществам безбалластного варианта можно отнести:

- экономию объемов судна за счет балластных цистерн;
- отсутствие балластной системы;
- уменьшение водоизмещения и, как следствие, мощности энергетической установки, судовых запасов и увеличение коэффициента оснащенности судна;
- экономию эксплуатационного времени, связанного с балластировкой;
- повышение надежности эксплуатации судна при отсутствии небезопасной операции, осуществляемой в море.

Наряду с преимуществами безбалластный вариант имеет и свои недостатки. Это возможная избыточная остойчивость в начале рейса и связанная с этим необходимость стабилизации судна, что, в свою очередь, может привести к увеличению водоизмещения судна и ухудшению его экономических показателей.

Исходя из сказанного, экономическая целесообразность того или иного варианта судна по условиям балластировки должна быть подтверждена в каждом конкретном случае экономическими расчетами.

При реализации вариантов КИП, балластируемых в рейсе, стараются обеспечить как можно больший коэффициент $(K_{pz})_6$, что приводит к определенным преимуществам безбалластного варианта. Балластировку стараются проводить в один этап в специально предусмотренные балластные цистерны.

Однако строить балластируемый КИП с $(K_{pz})_6 > 0,7$ может оказаться нерационально, так как затраты на устройство и эксплуатацию балластной системы могут превосходить полезность наличия жидкого балласта, для которого предназначена дорогая система балластировки.

В этой связи можно отметить некоторые преимущества варианта КИП с укладкой твердого балласта, при котором не требуется балластной системы. К тому же при равной массе объема для твердого балласта требуется меньше. КИП, остойчивость которых обеспечивается за счет укладки твердого балласта, могут иметь меньшие значения $(h/B)_{min}$, чем варианты КИП, остойчивость которых обеспечивается за счет увеличения B/T . Последнее можно видеть на рис. 25, на котором показаны h/B КИП с двухотсечным стандартом непотопляемости.

Для определения минимально необходимого количества жидкого балласта в рейсе, принимаемого из условия обеспечения необходимой остойчивости при расходовании судовых запасов на КИП, примем условие достаточной остойчивости судна в конце рейса. Это условие того, что метацентрическая высота забалластированного судна в конце рейса $(h_{10})_6$ должна быть больше или равна метацентрической высоте судна перед приемом жидкого балласта $(h_i)_6$, т. е. $(h_{10})_6 \geq (h_i)_6$.

Так как у КИП для соответствующих аппликатах метацентров справедливо неравенство $(Z_{m10})_6 > (Z_{mi})_6$, то для выполнения принятого условия достаточно чтобы аппликаты соответствующих центров масс судна были равны $(Z_{g10})_6 = (Z_{gi})_6$, т. е. равны и их относительные величины $(K_{g10})_6 = (K_{gi})_6$ по отношению к $H_{вп}$.

Для аппликаты центра масс судна в конце рейса, на который в i -ом случае нагрузки был принят балласт, запишем:

$$(Z_{g10})_6 = (D_{10} Z_{g10} + P_{6p} Z_{6p}) / (D_{10} + P_{6p}), \quad (22)$$

где D_{10} и Z_{6p} — водоизмещение судна с 10 % запасов без жидкого балласта и аппликата центра массы балласта соответственно.

Выразив:

$$D_{10} = D_{пор} + P_3 [1 - (K_{pz})_{10}], \quad (23)$$

$$D_{пор} = D_n - P_3 (1/\eta_3 - 1), \quad (24)$$

$$P_{6p} = K_{6p} P_3, \quad (25)$$

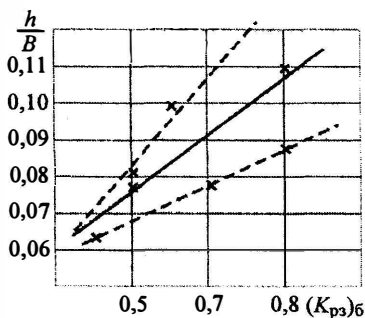


Рис. 25. Теоретические пределы изменения допускаемых значений $(h/B)_{min}$ от $(K_{pz})_6$ и фактические значения h/B для КИП

где $(K_{pz})_{10}$ — коэффициент расходования судовых запасов при D_{10} , равный 0,9; η_3 — коэффициент утилизации водоизмещения по судовым запасам, для отечественных КИП равный $0,325 \pm 0,075$.

С учетом (23)–(25) и указанных коэффициентов зависимость (22) можно представить:

$$(Z_{g10})_6 = Z_{g10}/(1+K_{6p}/2,18) + Z_{6p}/(2,18/K_{6p} + 1). \quad (26)$$

Приняв $Z_{6p} = 0,5h_{\text{лд}}$ и учтя, что для КИП $h_{\text{лд}}/H_{\text{вп}} = 0,125 \pm 0,025$, зависимость (26) с учетом принятого равенства относительных аппликат может быть преобразована к виду:

$$K_{6p} = 2,18[K_{g10} - (K_{gi})_6]/[(K_{gi})_6 - 0,065], \quad (27)$$

где K_{g10} — относительная аппликата центра масс судна при D_{10} .

Расчет K_{6p} по формуле (27) можно произвести в зависимости от $(K_{pz})_6$ и $h_{\text{н}}/H_{\text{вп}}$, приняв K_{gi} и $K_{g\text{пор}}$ — по приближенным формулам, справедливым для КИП:

$$K_{gi} = 2,09 K_{g\text{пор}}/[3,09 - (K_{pz})_i] + 0,34[1 - (K_{pz})_i]/[3,09 - (K_{pz})_i], \quad (28)$$

$$K_{g\text{пор}} = 0,3 h_{\text{н}}/H_{\text{вп}} + 0,53,$$

где $K_{g\text{пор}}$ — относительная аппликата центра масс судна при $D_{\text{пор}}$.

При этом K_{g10} также может быть определено по (28) при $K_{pz} = 0,9$.

Графическая интерпретация (27) представлена на рис. 26.

Из графика видно, что при $(K_{pz})_6 > 0,5$ влияние $h_{\text{н}}/H_{\text{вп}}$ на K_{6p} незначительно и им можно пренебречь в практических расчетах. Зависимость в указанном интервале K_{pz} может быть аппроксимирована выражением:

$$K_{6p} = 0,52 - 0,58(K_{pz})_6. \quad (29)$$

Нанесенные на график рис. 29 фактические значения K_{6p} для отечественных КИП показывают, что зависимость (29) хорошо соответствует нижнему пределу фактических значений K_{6p} . Зависимость для верхних фактических значений K_{6p} может быть аппроксимирована формулой:

$$K_{6p} = 0,62 - 0,62(K_{pz})_6. \quad (30)$$

Использование этой формулы для вновь проектируемых КИП может привести к некоторому завышению

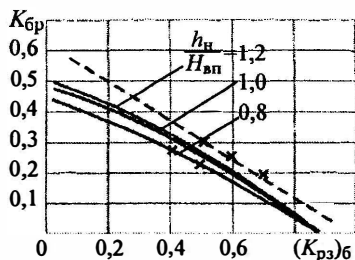


Рис. 26. Графическая интерпретация зависимости (27) и фактические значения K_{6p} для отдельных КИП

минимально необходимого количества жидкого балласта в рейсе. Это объясняется тем, что жидкий балласт на созданных КИП принимался не только во второе дно, а и в высокие бортовые цистерны, форпик и ахтерпик. Особенно это относится к КИП с топливо-балластными цистернами. На многих КИП жидкий балласт принят не из необходимого минимального количества, а в меру емкости балластных цистерн. На отдельных КИП жидкий балласт принят не из условия обеспечения необходимой остойчивости, а по другим отмеченным ранее причинам.

Объем цистерн для жидкого балласта можно выразить:

$$W_6 = K_{ц6} [0,52 - 0,58(K_{рз})_6] P_3 / \gamma_в, \quad (31)$$

где коэффициент $K_{ц6} = 1,04 \pm 0,01$; $\gamma_в$ — плотность забортной воды.

Для размещения жидкого балласта на новых КИП отводят обычно емкости двойного дна. В зависимости от максимального количества жидкого балласта под него могут быть отведены форпик и ахтерпик, облегчающие обеспечение необходимой посадки судна в рейсе, а при необходимости и емкости двойного борта. В этом случае возможно чередование цистерн топлива и балласта в пределах одного отсека, ограниченного главными поперечными переборками (например, половина бортового отсека занимает топливной цистерной, а другая половина балластной). Это приводит к уменьшению свободных затапливаемых бортовых объемов в балластных случаях нагрузки и, как следствие, к уменьшению аварийного крена.

6. ОСТОЙЧИВОСТЬ И НЕПОТОПЛЯЕМОСТЬ

В соответствии с правилами Регистра КИП, как научно-исследовательские суда, имеющие в силу своего назначения на борту более 12 человек специального персонала (экспедиции), относятся к судам специального назначения (ССН) [46]. На ССН должен выполняться определенный объем требований правил Регистра, разработанных на основе «Кодекса по безопасности судов специального назначения» (Резолюция ИМО А534(13), принятая 17 ноября 1983 г). Судам (научно-исследовательские, экспедицион-

ные, гидрографические, учебные и др.), выполняющим эти требования, в символ класса Регистра добавляется словесная характеристика «специального назначения». В главе 2 «Остойчивость и деление на отсеки» кодекса предусматривается разделение ССН в зависимости от числа специального персонала, имеющегося на борту судна, на три группы:

- первая группа не более 50 человек;
- вторая группа более 50 человек, но не более 200;
- третья группа более 200 человек.

Для первых двух групп ССН кодексом установлена необходимость обеспечения одноотсечного стандарта непотопляемости по нормам кодекса (за исключением повреждения, затрагивающего машинное помещение для судов первой группы). Третья группа ССН должна отвечать требованиям к делению на отсеки и аварийной остойчивости, предъявляемым к пассажирскому судну, перевозящему число пассажиров, равное количеству специального персонала. Дополнительно к кодексу требованиями правил Регистра, начиная с 1990 г., установлена необходимость обеспечения двухотсечного стандарта непотопляемости для ССН второй группы при длине судна 160 м и более. Для ССН требования норм для пассажирского судна с аналогичным специальному персоналу числом пассажиров должны выполняться дополнительно к требованиям судна специального назначения. Таким образом, правилами Регистра были ужесточены требования кодекса для ССН второй и третьей группы.

Большинство отечественных КИП было создано до принятия указанной резолюции. Для выполнения задач по прямому назначению КИП имеют большое количество экипажа и экспедиции и на них устанавливается уникальное дорогостоящее оборудование. Все это предопределило выполнение на созданных отечественных КИП требований по остойчивости и непотопляемости, как для пассажирского судна. При этом для универсальных КИП требования по непотопляемости выполнялись при двухотсечном стандарте непотопляемости. Сравнение требований по остойчивости и непотопляемости правил Регистра для ПС и кодекса для ССН приведены в табл. 8.

Таблица 8

**Сопоставление требований правил Регистра и кодекса
по непотопляемости для ПС и ССН**

Характеристика	ПС	ССН
Начальная метацентрическая высота в конечной стадии затопления h_{0z} , м	$\geq 0,05$ $\geq 0,015B_2/F_1$ $\geq 0,003B_2^2(N_1+N_2)/DF_1$ в зависимости от того, что больше	$\geq 0,05$
Положение аварийной ватерлинии	ниже палубы переборок	ниже нижнего любого отверстия, через которое может происходить затопление
Угол крена, возникший в результате затопления, $\theta_{кр}$, град	≤ 15	≤ 20
Угол крена после принятия мер по спрямлению $\theta_{крсп}$, град	≤ 7 – при затоплении одного отсека, ≤ 12 – при затоплении двух отсеков.	≤ 7 ≤ 12 – при затоплении с повреждением таранной переборки.
Протяженность участка диаграммы статической остойчивости с положительными плечами, град	≥ 30 – при симметричном затоплении; ≥ 20 – при несимметричном затоплении.	≥ 20
Длина пробоины, $l_{пр}$, м	$3+0,03L_s$, или 11 м, смотря по тому, что меньше	$L_1^{2/3}/3$ или 14,5 м, смотря по тому, что меньше

В формулах таблицы обозначено:

B_2 – наибольшая теоретическая ширина судна, измеренная на середине его длины на уровне палубы переборок;

F_1 – расчетный аварийный надводный борт пассажирского судна, равный площади проекции надводной части судна, деленной на $(2/3) L_s$. Площадь определяется в прямом (без учета крена) положении судна между палубой переборок и аварийной ватерлинией. При этом учитывается только та часть проекции, которая располагается на $(1/3) L_s$ в нос и в корму от середины длины судна;

N_1 – число людей, обеспеченных местами в спасательных шлюпках, из общего количества людей, предусмотренных для нахождения на борту судна в рейсе;

N_2 – число людей (включая экипаж), которых разрешается перевозить в превышение числа N_1 ;

D – водоизмещение судна до затопления;

L_1 – длина, равная 96 % полной длины судна по ватерлинию, проходящую на высоте, равной 85 % наименьшей теоретической высоты борта, измеренной от верхней кромки киля, или длина от передней кромки форштевня до оси баллера руля по той же ватерлинии, если эта длина больше;

L_s – длина деления судна на отсеки, равная наибольшей длине части судна, расположенной ниже предельной линии погружения.

Анализ характеристик табл. 8 показывает, что требования к характеристикам непотопляемости у ПС более высокие, чем у ССН, за исключением длины пробоины, которая, согласно определяющих ее формул, для ССН больше. Учитывая последнее, можно сказать, что требование правил регистра о выполнении для ССН третьей группы норм кодекса и дополнительно норм пассажирского судна приводит к необходимости выполнения для них норм более высоких, чем для ПС. Это находится в явном противоречии с утверждением кодекса о том, что нет необходимости рассматривать и предъявлять к ССН требования, как к пассажирскому судну, так как предполагается, что специальный персонал физически здоров, достаточно хорошо знает расположение помещений на судне и получил определенную подготовку в отношении действий, связанных с обеспечением безопасности.

Необходимо отметить также, что, как показывают расчеты, допустимая минимальная длина двух смежных отсеков по нормам для ПС больше, чем одного отсека по нормам для ССН при одинаковой длине судна. Таким образом, при выполнении всех требований для ПС при двухотсечном стандарте непотопляемости автоматически выполняются все требования для ССН с одноотсечным стандартом непотопляемости при длине отсека, равной двум отсекам по требованиям для ПС. Последнее дает возможность проектировать ССН второй группы при длине судна не более 160 м с двухотсечным стандартом непотопляемости по нормам пассажирского судна при автоматическом выполнении норм для ССН одноотсечном затоплении. При этом длина отсека принимается равной длине двух отсеков по нормам для ПС. По такой схеме проектировался отечественный универсальный КИП нового поколения «Академик Николай Пилюгин». Однако, при длине судна более 160 м, такая возможность исключается.

ется согласно указанному выше дополнительному требованию правил Регистра о двухотсечном затоплении ССН второй группы. При желании в этом случае выполнения норм пассажирского судна двухотсечный стандарт непотопляемости нужно обеспечивать при большей минимально допустимой длине каждого из смежных отсеков, чем для пассажирского судна.

Остойчивость КИП, как и судов другого назначения, в соответствии с правилами Регистра нормируется для величин начальной остойчивости, характеристик диаграмм статической остойчивости и «критерия погоды».

Остойчивость должна быть обеспечена для любого эксплуатационного случая нагрузки при обычной эксплуатации судна, при обледенении и при затоплении судна при авариях. Правилами выставляются требования о необходимости положительного значения метацентрической высоты для случая нагрузки «Судно порожнем». В расчетах остойчивости обязательно должны быть приведены случаи нагрузки «Судно со 100 % запасов», «Судно с 50 % запасов», «Судно с 10 % запасов».

Значения не исправленной метацентрической высоты для отечественных КИП КИК в случае нагрузки «Судно со 100 % запасов» приведены в табл. 9.

Решение вопросов остойчивости для КИП первого поколения, создававшихся на базе корпусов транспортного флота, происходило в основном за счет различных вариантов баллаستировки судна твердым и жидким балластом. На КИП нового поколения, создающихся в новых специально для них спроектированных корпусах, проблема остойчивости в основном решается за счет оптимальных характеристик архитектурно-конструктивного исполнения и в первую очередь его

Т а б л и ц а 9

Значения метацентрической высоты и ее относительные величины у отечественных КИП КИК

Характеристика	«Моржовск» (1967 г.)	«Космонавт Владислав Волков» (1977 г.)	«Космонавт Владимир Комаров» (1967 г.)	«Академик Сергей Королев» (1970 г.)	«Космонавт Юрий Гагарин» (1971 г.)	«Академик Николай Пилюгин» (1991 г.)
h , м	1,19	1,22	2,02	1,60	2,81	2,75
h/B	0,071	0,073	0,088	0,064	0,091	0,110

главных размерений, коэффициентов полноты корпуса и внутреннего конструктивного его подразделения непроницаемыми конструкциями. Последнее требует достаточно точной оценки характеристик остойчивости на ранних стадиях проектирования как в начале рейса, так и в течении рейса по мере расходования судовых запасов.

Начальная поперечная метацентрическая высота судна в произвольном (i -ом) случае нагрузки определяется формулой:

$$h_i = \rho_i + Z_{ci} - Z_{gi}, \quad (33)$$

где ρ_i – поперечный метацентрический радиус для произвольного случая нагрузки;

Z_{ci} , Z_{gi} – аппликаты центра величины и центра масс судна соответственно для произвольного случая нагрузки.

Определение ρ_i , Z_{ci} и Z_{gi} – в начальных стадиях проектирования можно провести по приближенным формулам:

$$\rho_i = K_{\rho} B_i^2 / 12 \delta_i T_i, \quad (34)$$

$$Z_{ci} = K_{ci} T_i, \quad (35)$$

$$Z_{gi} = K_{gi} H_{вп}, \quad (36)$$

где B_i , T_i , δ_i – ширина, осадка и коэффициент общей полноты судна для произвольного случая нагрузки;

K_{ρ} , K_{ci} , K_{gi} – коэффициенты, зависящие в основном от формы корпуса судна и его архитектурно-конструктивных особенностей.

Точность определения h_i по формуле (33) в основном зависит от этих коэффициентов.

Для полного водоизмещения коэффициент K_{ρ}^1 , равный $K_{\rho} / 12$, многими авторами рекомендуется определять в зависимости от коэффициента полноты площади ватерлинии (α). На рис. 27 дана графическая интерпретация зависимостей для K по рекомендуемым формулам [3], [30], [38] и приведены фактические значения этого коэффициента для современных судов различного назначения (КИП, лесовозов, контейнеровозов, Ро-Ро, танкеров, буксиров-спасателей):

-1- формула А.П. Фан-дер-Флита

$$K_{\rho}^1 = 0,0855 \alpha^2;$$

-2- формула А.П. Фан-дер-Флита

$$K_{\rho}^1 = 0,0875 \alpha^2;$$

-3- формула А.П. Фан-дер-Флита

$$K_{\rho}^1 = \alpha^2 / 2(1 + \alpha)(2 + 1/\alpha);$$

-4- формула Нормана

$$K_{\rho}^1 = 0,008 + 0,0745 \alpha^2;$$

-5- формула Бауэра	$K_p^1 = (2\alpha + 1)^3 / 326;$
-6- формула И.А. Яковлева	$K_p^1 = \alpha(1 + \alpha^2) / 24;$
-7- формула Тельфера	$K_p^1 = 0,0106\alpha + 0,0727\alpha^2;$
-8- формула В.Г. Власова	$K_p^1 = 0,0902\alpha + 0,02;$
-9- формула В.В. Ашика	$K_p^1 = 0,11\alpha - 0,035 \text{ (для } \alpha = 0,64 - 0,77);$
-10- формула Шмидта	$K_p^1 = 1,02\alpha^2 / 12;$
-11- формула Моррея	$K_p^1 = (3\alpha - 1) / 24;$
-12- формула Кери	$K_p^1 = (2\alpha + 0,841)^2 / 255;$
-13- формула В.Л. Поздюнина	$K_p^1 = (\alpha + 0,04)\alpha / 12;$

Значительный разброс точек фактических значений K_p для современных судов указывает на необходимость уточнения рекомендуемых зависимостей. Точность приближенных формул для определения K_p может быть повышена при учете формы ватерлинии в юрме (полная или заостренная) и относительной протяженности прямоугольного участка ($l_{\text{пр}}/L$) в средней части ватерлинии.

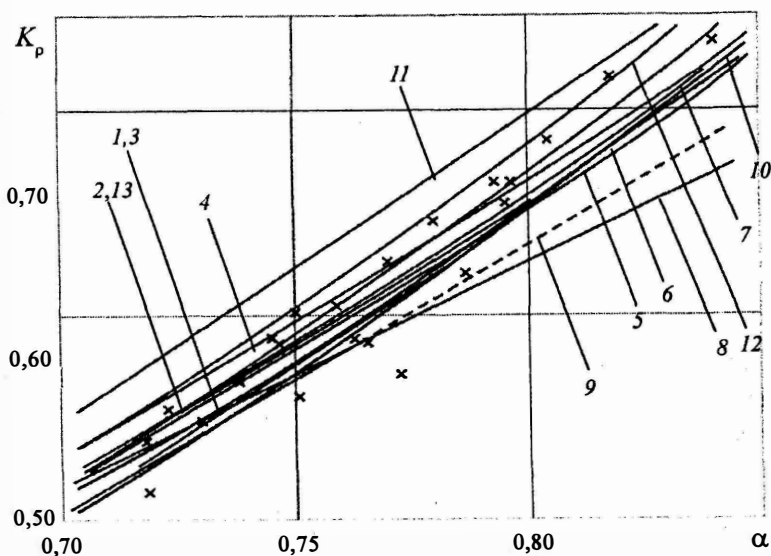


Рис. 27. Графическая интерпретация зависимостей K_p от α по рекомендованным формулам и фактические значения K_p у морских судов.

Момент инерции площади многоугольника (см. рис. 28), состоящего из двух концевых равнобоких трапеций и среднего прямоугольника относительно оси X , может быть записан:

$$I_{x\Sigma} = I_{\text{пу}} B^3/12 + (L - l_{\text{пу}})(B^4 - b^4)/48(B - b), \quad (37)$$

или

$$I_{x\Sigma} = LB^3 \{ l_{\text{пу}}/L + (1 - l_{\text{пу}}/L)[1 - (b/B)^4]/4(1 - b/B) \} /12, \quad (38)$$

Обозначив:

$$K_{\text{рм}} = l_{\text{пу}}/L + (1 - l_{\text{пу}}/L)[1 - (b/B)^4]/4(1 - b/B), \quad (39)$$

после преобразований (39) можно записать:

$$K_{\text{рм}} = \alpha_{\text{м}} + 2(\alpha_{\text{м}} - 1) [(\alpha_{\text{м}} - 1)/(1 - l_{\text{пу}}/L) + 1]^2, \quad (40)$$

где $\alpha_{\text{м}}$ – коэффициент полноты площади многоугольника.

Отклонение величины $K_{\text{рм}}$, определенных по формуле (40), от фактических значений этого коэффициента для современных судов с аналогичными значениями α и $l_{\text{пу}}/L$ на КВЛ показано на рис. 29.

Средняя величина отношения $K_{\text{рм}}/K_{\text{р}}$ может быть аппроксимирована зависимостями:

$$- \text{ для судов с полной кормой: } K_{\text{рм}}/K_{\text{р}} = 0,22 l_{\text{пу}}/L + 0,865, \quad (41)$$

$$- \text{ для судов с заостренной кормой: } K_{\text{рм}}/K_{\text{р}} = 0,22 l_{\text{пу}}/L + 0,830, \quad (42)$$

Для КИП стараются получить свободные площади для размещения антенных постов и обеспечения необходимого обзора антенн, и с этой точки зрения МКО у них имеет кормовое или промежуточное расположение, что, в свою очередь, вызывает необходимость приполнения ватерлинии в кормовой части судна. Таким образом, для КИП будет справедлива формула (41), которую после преобразований с учетом формулы (40) можно записать:

$$K_{\text{р}} = \{ \alpha + 2(\alpha - 1)[(\alpha - 1)(1 - l_{\text{пу}}/L) + 1]^2 \} / (0,22 l_{\text{пу}}/L + 0,865), \quad (43)$$

Графическая интерпретация (43), приведенная на рис. 30, показывает, что при постоянных в представленном интервале изменения значений $l_{\text{пу}}/L$ коэффициент $K_{\text{р}}$ увеличивается с ростом $l_{\text{пу}}/L$.

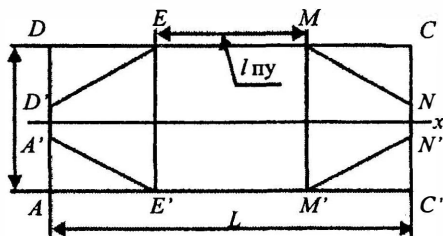


Рис. 28. Многоугольник, вписанный в прямоугольник

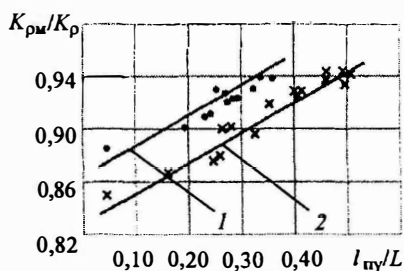


Рис. 29. Зависимость отношения $K_{рм}/K_{р}$ от $l_{пу}/L$:

1— для судов с полной кормой;
2— для судов с заостренной кормой

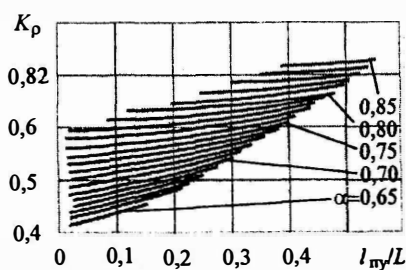


Рис. 30. Графическая интерпретация зависимости (43)

Обработка статистических данных по судам с $\delta/\alpha=0,73-0,85$ на КВЛ в интервале изменения $T_i/T=0,7-1,0$ показывает, что для произвольного случая нагрузки $K_{рi}$ могут быть определены по формуле:

$$K_{рi} = K_{р}(1,25\alpha_i/\alpha - 0,25). \quad (44)$$

Определение коэффициента K_c многие авторы рекомендуют производить в зависимости от коэффициента вертикальной полноты δ/α .

На рис. 31 представлена графическая интерпретация приближенных зависимостей [3], [30] в сравнении с фактическими значениями K_c для современных судов, включая и КИП:

-1- формула В.Г. Власова	$K_c = 0,372 + 0,168\delta/\alpha$;
-2- формула А.П. Фан-дер-Флита	$K_c = 1 - 0,5/(2 - \delta/\alpha)$;
-3- формула Нормана	$K_c = 0,833 - 0,333 \cdot \delta/\alpha$;
-4- формула Л.М. Ногида	$K_c = 2/3 - (2 - \delta/\alpha)/6(2 - \delta/\alpha)$;
-5- формула В.В. Ашика	$K_c = 0,858 - 0,370\delta/\alpha$;
-6- формула Л.М. Ногида	$K_c = 0,5(\alpha/\delta)^{0,5}$;
-7- формула Л. Эйлера	$K_c = 1/(1 + \delta/\alpha)$;

Прямая 8, построенная по средним значениям фактических величин K_c , может быть аппроксимирована зависимостью:

$$K_c = 0,802 - 0,315\delta/\alpha. \quad (45)$$

Из графика видно, что фактические значения коэффициента K_c несколько ниже, чем получаемые по кривым 1–7. Последнее можно

объяснить учетом фактическими значениями K_c наличия выступающих частей корпуса и для ряда судов особенностью подводной части корпуса судна, например носового бульба.

Для произвольного случая нагрузки значения K_c могут быть определены также по формуле (45) при $\delta/\alpha = (\delta/\alpha)_i$.

Для определения коэффициента K_{gi} воспользуемся формулой:

$$Z_{gi} = (D_{пор} Z_{гпор} + P_{zi} Z_{gzi}) / D_i, \quad (46)$$

где $Z_{гпор}$, Z_{gzi} — аппликаты центра масс судна порожнем и судовых запасов в произвольном случае нагрузки соответственно;

$D_{пор}$, D_i — водоизмещения судна порожнем и в произвольном случае нагрузки соответственно;

P_{zi} — количество судовых запасов в произвольном случае нагрузки.

Учтя, что $D_{пор} = D_n - P_z$, а $P_{zi} = P_z - P_{рзi} = P_z(1 - K_{рзi})$, где $K_{рзi}$ — коэффициент расходования судовых запасов для произвольного случая нагрузки, после преобразований можно записать:

$$Z_{gi} = Z_{гпор} (D_n - P_z) / (D_n - K_{рзi} P_z) + Z_{gzi} P_z (1 - K_{рзi}) / (D_n - K_{рзi} P_z). \quad (47)$$

Введя обозначения $Z_{гпор} / H_{вп} = K_{гпор}$, $Z_{gzi} / H_{вп} = K_{gzi}$, запишем:

$$K_{gi} = K_{гпор} (1 - \eta_z) / (1 - K_{рзi} \eta_z) + K_{gzi} \eta_z (1 - K_{рзi}) / (1 - K_{рзi} \eta_z). \quad (48)$$

Коэффициент $K_{гпор}$ для КИП может быть определен по статистической формуле: $K_{гпор} = 0,3 h_n / H_{вп} + 0,53$.

Формула учитывает влияние на центр тяжести судна порожнем развитости надстройки КИП, вызванной необходимостью размещения на судне помещений экипажа, экспедиции и многочисленных лабораторий.

Коэффициент K_{gzi} определяется в основном конструкцией цистерн судовых запасов и для КИП с конструкцией типичной для сухогрузных судов K_{gzi} изменяется в пределах 0,29–0,39. При среднем значении K_{gzi} и с учетом (29) формула (48) для полного водоизмещения ($K_{рзi} = 0$) может быть записана:

$$K_g = 0,3 h_n / H_{вп} (1 - \eta_z) - 0,19 \eta_z + 0,53. \quad (49)$$

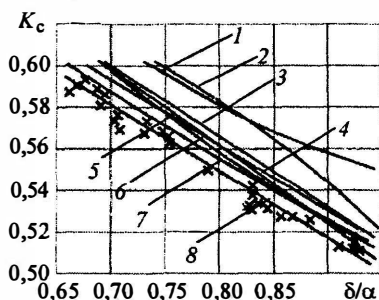


Рис. 31. Графическая интерпретация зависимостей K_c от δ/α , рекомендованных рядом авторов

Графическая интерпретация (49) представлена на графике рис. 32.

Последовательность расчетов h_i для различных случаев нагрузки (при различных значениях K_{pzi}), а также приближенные формулы для определения изменения осадки T_i/T , главных размерений B_i/B , L_i/L и коэффициентов формы приведены в табл. 10.

Т а б л и ц а 10

**Последовательность расчета начальной поперечной
метацентрической высоты**

Последовательность расчета	$K_{pzi}=0$	$K_{pzi}=0,5$	$K_{pzi}=0,7$
1. Исходные данные: $L, B, T, H_{вп}, \delta, \alpha$.			
2. Расчет: $T_i/T = 1 - K_{pzi} \eta_b \delta / \alpha$ $B_i/B = 1 - 2T/B(1 - T_i/T) \operatorname{tg} \alpha_6$ $L_i/L = 1 - T/B \cdot B_i/L(1 - T_i/T)(\operatorname{tg} \alpha_u + \alpha_k)$ $\delta_i/\delta = L_i/B_i B_i/T_i [1 - \alpha/\delta(1 - T_i/T)]$ $K_i = 5,71 \delta / \alpha - 2,94$ $\alpha_i/\alpha = L_i/B_i [1 + K_i(\alpha/\delta - 1)(T_i/T - 1)]$ $K_p = \{\alpha + 2(\alpha - 1)[(\alpha - 1)/(1 - I_{ny}/L) + 1]^2\} / (0,22 I_{ny}/L + 0,865)$ $K_{pi}/K_p = (1,25 \alpha_i/\alpha - 0,25)$ $K_{ci} = 0,802 - 0,315(\delta/\alpha)_i$ $K_{g \text{ пор}} = 0,3 h_w/H_{вп} + 0,53$ $K_{gi} = K_{g \text{ пор}}(1 - \eta_b)/(1 - K_{gi} \eta_b) + K_{gi} \eta_b(1 - K_{gi})/(1 - K_{gi} \eta_b)$ $\rho_i = (K_p/12)(K_{pi}/K_p)(B \cdot B_i/B)^2/\delta(\delta_i/\delta)T(T_i/T)$ $Z_{ci} = K_{ci}T(T_i/T)$ $Z_{gi} = K_{gi}H_{вп}$ $h_i = \rho_i + Z_{ci} - Z_{gi}$ $\Delta h_{pzi} = h - h_i$			

В формулах таблицы обозначено:

α_6 — угол наклона к диаметральной плоскости бортовой линии на миделе;

α_n — угол наклона форштевня к носовому перпендикуляру;

α_k — угол наклона линии подзора кормы к кормовому перпендикуляру;

K_s — коэффициент, учитывающий отклонение прямолинейной строевой по ватерлиниям от фактической.

Результаты расчета ρ_i , Z_{ci} , Z_{gi} и h_i при различных значениях K_{pzi} по предлагаемым приближенным зависимостям показаны на рис. 33 в сравнении с реальными значениями опорного варианта КИП с характеристиками $L/B=7,35$, $B/T=3,35$, $H_{вп}/T=1,88$, $\delta=0,57$.

При расчете приняты следующие значения характерных для КИП величин: $\eta_3=0,324$, $\alpha_6=4^\circ$, $\alpha_k=75^\circ$, $\alpha_n=34^\circ$, $l_{пу}/L=0,25$, $K_{гв}=0,345$, $h_n/H_{вп}=0,93$.

Из графика видно, что отклонения расчетных значений h от их фактических значений находятся в пределах, допустимых для расчетов начальных стадий проектирования. Кривая $\Delta h_{рз}$ показывает величину снижения h КИП в течении рейса.

Требования по обеспечению восприятия судном ветровых нагрузок формализуются правилами Регистра величиной «критерия погоды», который определяется отношением опрокидывающего момента к кренящему

$$K = M_{опр} / M_{кр}$$

и должен быть больше или равен 1, кроме судов погоды и других судов, работающих в аналогичных условиях, где K должен быть больше или равен 1,5.

На ранних стадиях проектирования КИП K может быть определена по приближенной формуле [42]:

$$K = B(h_{исп}/B - A_k)/3,03 M_{кр}/D, \quad (50)$$

где $M_{кр}/D$ – относительная величина кренящего момента, равна:

$$M_{кр}/D = T/B[0,1(H_{вп}/T - 1)/\delta + 0,13](H_{вп}/T - 1 + h_n/H_{вп} \cdot H_{вп}/T). \quad (51)$$

Значения величины A_k можно представить:

$$A_k = 0,2(l_{ф\theta_m}/B - l_{ф\theta_3}/B) + 0,39(\sum_{\theta_m=0}^{\theta_m=10} l_{\theta_f}/B - 1,02 \sum_{\theta_\theta=0}^{\theta_\theta=10} l_{\theta_f}/B), \quad (52)$$

где θ_m , θ_3 – углы диаграммы статической остойчивости, соответствующие расчетному значению амплитуды качки и углу заката соответственно;

l_f – плечи диаграммы, соответствующие углам.

Графическая интерпретация формулы (52) приведена на рис. 34 в зависимости от $H_{вп}/T$ и B/T .

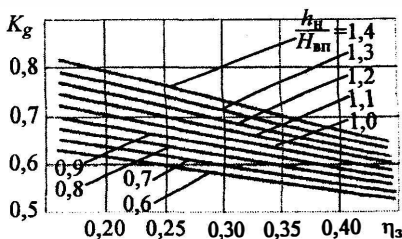


Рис. 32. Графическая интерпретация (49)

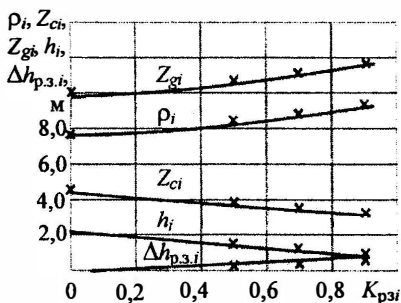


Рис. 33. Результаты расчета элементов остойчивости при различных K_{pi}

стойчивости расчетного варианта нагрузки. Таковым является случай с наименьшим коэффициентом остойчивости (Dh), которым на практике для КИП обычно является «Судно с 50 % запасов». Масса льда при проверке остойчивости для случая обледенения засчитывается в перегрузку и не включается в дедвейт судна. Для большинства отечественных КИП отношение массы льда к полному водоизмещению составляет $P_{\text{л}}/D_{\text{н}}=0,009\pm 0,001$, а отношение аппликаты центра масс льда к высоте борта $Z_{\text{л}}/H_{\text{вн}}=1,36\pm 0,24$. Исключение составляют малые СКС ранней постройки типа «Кегостров», где $P_{\text{л}}/D_{\text{н}}=0,015$.

Статистическая зависимость учитываемой расчетной массы льда для КИП в зависимости от полного водоизмещения представлена на графике рис. 35

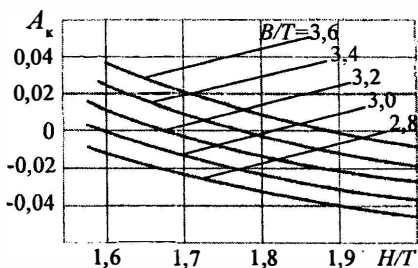


Рис. 34. Графическая интерпретация зависимости (52)

Расчет произведен исходя из приближенных формул для l_{ϕ} [30] и входящих в них средних значений коэффициентов, характерных для КИП. При заданном значении K по формуле (50) может быть определена минимально допустимая исправленная метацентрическая высота, необходимая для обеспечения требуемой величины K .

Расчет остойчивости при обледенении проводится для наихудшего в отношении остойчивости

нагрузки.

В результате учета обледенения уменьшение метацентрической высоты для КИП составляет $\Delta h_{\text{л}}=0,08-0,22$ м, а ее относительное значение $\Delta h_{\text{л}}/B=0,003-0,010$, что составляет 4–12 % от метацентрической высоты при полном водоизмещении. При принятом двухотсечном стандарте непотопляемости аналогичные

изменения от затопления отсеков Δh_a у КИП могут достигать до 30–80 %. Учитывая, что требования по аварийной метацентрической высоте для судна при обледенении правилами Регистра не предъявляются, можно сделать вывод, что при выполнении требований по аварийной остойчивости судна без обледенения метацентрическая высота неповрежденного судна при обледенении не будет принимать отрицательных значений, так как $\Delta h_n < \Delta h_a$.

Как показывают исследования, на величину h , наряду с требованиями восприятия ветровых нагрузок, существенное влияние оказывают требования по аварийной метацентрической высоте и другим параметрам диаграммы статической остойчивости. Изменение h в результате затопления на отечественных КИП находится в пределах $\Delta h_a = 0,5 - 1,7$ м, и ее величина во многом определяется архитектурно-конструктивными особенностями. Итак, с одной стороны, условия эксплуатации и ряд архитектурно-конструктивных особенностей судна влияют на предъявленные к ним требования и величину Δh_a :

- требования по двухотсечному стандарту непотопляемости с нормами для пассажирского судна;
- суммарная длина двух смежных отсеков, определяемая габаритами МКО и минимально допустимой длиной смежного отсека;
- высоко расположенный центр масс порожнего судна;
- наличие продольных переборок и двойного дна;
- наличие побортовых коридоров трасс и труб.

С другой стороны, требования по непотопляемости сами влияют на характеристики архитектурно-конструктивного типа судна:

- положение поперечных переборок по длине судна, их количество и число непроницаемых отсеков при сведении длины отсека к l_{pmin} ;

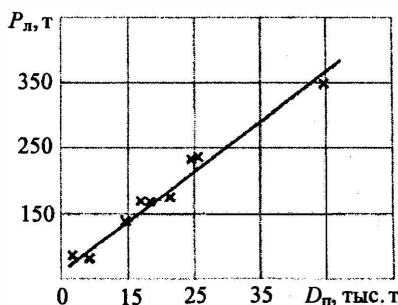


Рис. 35. Зависимость массы льда при обледенении от водоизмещения

- положение палубы переборок и второго дна по высоте судна и отстояние продольных переборок от борта;
- месторасположение побортных коридоров трасс и труб, цистерн основного запаса топлива и жидкого балласта.

Необходимо отметить, что на величину h оказывают влияние и требования по качке. С одной стороны, для обеспечения плавной качки требуется уменьшение h , и с этой точки зрения требования по качке ограничивают верхний предел допустимых значений h . С другой стороны, при применении успокоительных цистерн для стабилизации КИП требуется запас остойчивости на свободные поверхности в успокоительной цистерне Δh , что приводит к увеличению допустимого нижнего предела h . Влияние рассмотренных факторов на величину h показывает на необходимость комплексного подхода к проблеме решения вопросов, связанных с обеспечением остойчивости и непотопляемости КИП.

7. СТАБИЛИЗАЦИЯ. ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ МОРЯ

Антенны наземных измерительных пунктов и корабельных измерительных пунктов, предназначенные для измерения координат спутников и межпланетных станций, приема телеметрических сигналов и передачи команд, с целью увеличения дальности работы имеют остронаправленные диаграммы. Поэтому во время работы возникает задача в совмещении диаграммы направленности с линией визирования антенна-космический объект. Необходимо отметить, что измерительные средства КИП, выполняя аналогичные с НИП задачу, работают в более сложных условиях, чем такие же средства на земле. Это объясняется прежде всего влиянием качки, воздействием морских ветровых нагрузок и динамикой движения корабля. Работа КИП по прямому назначению производится в достаточно жестких условиях морского волнения до 5–7 баллов, что, однако, не является пределом, но при дальнейшем повышении бальности работа КИП весьма осложняется. На КИП первого поколения скорость ветра, при которой обеспечивалась работоспособность антенн была 16–17 м/с (на отдельных КИП 12–15 м/с). Работоспособность отечественных КИП нового по-

коления обеспечивается при ветре до 20 м/с. Корабельные антенны, диаметр которых на отдельных КИП достиг 25 м, значительно увеличивают парусность судна особенно в положении, характерном для начала сеанса связи, – «поставленные на ребро» и обращенные на борт. При скоростях ветра, более допустимых по условиям работоспособности антенн, они должны быть застопорены в положении «по походному» и направлены в зенит. При необходимости проведения работ в этот момент они проводятся укороченными сеансами из положения «по-походному». Работа КИП проводится на ходу или в дрейфе. При этом судно может отклониться от курса, а корпус, попадая на гребень или впадину между двумя гребнями волн, прогибается. Все эти обстоятельства необходимо учитывать при проектировании КИП, что в свою очередь связано с решением ряда проблем обеспечения работы КИП по прямому назначению в условиях моря.

Качка судна на волнении создает значительные помехи для работы с космическими объектами, ухудшая прием и передачу электромагнитных колебаний:

- влияет на надежность и точность работы измерительной аппаратуры;
- ухудшает точность наведения корабельных антенн;
- усложняет поиск объекта, вследствие чего возрастает вероятность потери измерительной информации из-за возможности ухода наблюдаемых объектов из поля зрения оптических средств или за пределы диаграмм направленности радиотехнической аппаратуры;
- приводит к возрастанию нагрузок на системы стабилизации корабельных антенн, на конструкции самих антенн и корпус судна в целом;
- снижает работоспособность научного и инженерно-технического персонала, участвующего в проведении сеансов связи, а также работоспособность экипажа корабля. В теории качки рассматривают три основных ее вида: бортовую, килевую и вертикальную. Значения параметров качки (амплитуда 3 % обеспеченности и период) для большинства отечественных КИП на 6–7 балльном волнении находится в пределах, указанных в табл. 11.

Характеристики качки отечественных КИП

Вид качки	Амплитуда	Период, с
Бортовая	$\leq 10^\circ$	$\geq 12-13$
Килевая	$\leq 3-5^\circ$	$\geq 6-7$
Вертикальная	≤ 4 м	≥ 9

Обеспечение указанных параметров качки достигается общей стабилизацией судна за счет его архитектурно- конструктивных особенностей (на КИП нового поколения) и применения в необходимых случаях различных успокоителей бортовой качки. Успокоители килевой и вертикальной качек на КИП не нашли применения. Необходимость в дополнительной общей стабилизации КИП возникает тогда, когда значения амплитуды качки ($\theta_{3\%}$), полученные по расчету, больше предельно допустимых значений (θ_d), указанных в техническом задании на проектирование судна. Выбор и проектирование успокоителей качки должны производиться из условия необходимого коэффициента умерения, величину которого можно представить:

$$K_{ум} \geq \theta_{3\%} / \theta_d. \quad (53)$$

Амплитуда бортовой качки 3 % обеспеченности на ранних стадиях проектирования может быть определена по приближенной формуле, рекомендованной для КИП [23]:

$$\theta_{3\%} = 2,11(47/\tau - 2)(H_{3\%} - 1)(1,55 - 0,22B/T)(0,34 + \delta), \quad (54)$$

где $\theta_{3\%}$ – высота волны 3 % обеспеченности; τ – период бортовой качки.

Для ранних стадий проектирования τ можно определить по формуле

$$\tau = K_\tau B / h^{0,5}, \quad (55)$$

где K_τ – статистический коэффициент, равный для КИП 0,8.

Значения τ , определенные по формуле (55), должны быть не менее указанных в техническом задании.

Определенный по формуле (53) с учетом формул (54) и (55) $K_{ум}$ не должен быть близок к 1, так как в противном случае умерение качки с помощью успокоителя с экономической точки зрения будет нецелесообразно и ее нужно проводить другими мерами. Практическое применение успокоителей качки, например пассивных успокоительных цистерн, можно наблюдать при $K_{ум} \geq 1,3$, хотя $K_{ум} = 1,3-1,5$ считаются ма-

лыми. В мировой практике создания КИП, кроме скуловых килей, нашедших применение на многих типах судов и имеющих невысокую эффективность умерения, применяются пассивные успокоительные цистерны, активные успокоительные цистерны и бортовые управляемые рули. Каждый из указанных типов успокоителей качки имеет свои достоинства и недостатки. В отечественной практике создания КИП получили применение одно и двухуровневые пассивные успокоительные цистерны, в качестве рабочей жидкости в которых используется забортная вода или топливо из состава судовых запасов. Эффективность двухуровневой цистерны повышается примерно в два раза.

При применении пассивных успокоительных цистерн, заполняемых забортной водой, успокоитель качки можно использовать в течение всего рейса, но в этом случае растет водоизмещение судна. Применение успокоителя, заполняемого топливом, не приводит к увеличению водоизмещения, однако связано с расходом топлива в рейсе, что, в свою очередь, может снизить эффективность его использования. Практически отключение успокоителя в этом случае происходит при израсходовании около 70 % судовых запасов.

Пассивные успокоительные цистерны, имея небольшой коэффициент умерения качки ($K_{ум}$ не более 1,8), значительно снижают начальную остойчивость, как неповрежденного, так и поврежденного судна. Относительное значение поправки на свободные поверхности в успокоительной цистерне (Δh_y) по отношению к метацентрической высоте при полном водоизмещении (h_{100}) доходит на отечественных КИП до значений $\Delta h_y / h_{100} = 0,34$.

Влияние поправки на свободные поверхности в успокоителе качки на характеристики диаграммы статической остойчивости неповрежденного и поврежденного судна может быть уменьшено «прокачкой успокоителя», т. е. путем учета истинных значений поправки при накренивании судна. Специалисты США при создании КИП остановили свой выбор на пассивных и по некоторым сведениям активных успокоительных цистернах. Последние могут умерять качку в 5–6 раз. Однако активные успокоительные цистерны требуют мощных дорогостоящих перекачивающих насосов, не производящихся отечественной промышленностью.

На КИП КНР применены бортовые управляемые рули, обеспечивающие значительное умерение качки на относительно больших скоростях хода, но малоэффективных на малых скоростях и практически не умеряющих качку в дрейфе и на стоянке, а работа КИП на этих режимах имеет немало преимуществ. Для размещения и управления бортовыми рулями требуются дополнительные площади и объемы на судне, а работа на больших скоростях требует увеличенных запасов топлива.

Таким образом, использование успокоителей качки для стабилизации КИП связано с проявлением присущих каждому виду стабилизации определенных положительных и отрицательных сторон. Учитывая это, проектанты КИП нового поколения стараются найти области возможных решений, где бы вопросы стабилизации решались без применения дополнительных устройств. Путь решения проблемы в большей мере зависит от совершенствования архитектурно-конструктивного типа судна и вариантов его загрузки. Можно назвать ряд особенностей судна, приводящих к умерению качки в начальные периоды рейса или в течении всего рейса. Архитектурно-конструктивные особенности, приводящие к уменьшению избыточной остойчивости в начале рейса:

- булевая форма корпуса на миделе, позволяющая иметь меньшую площадь ватерлинии на КВЛ, а стало быть меньшую остойчивость и более плавную качку;
- высокие бортовые или подпалубные цистерны для размещения части запасов топлива, приводящие к повышению аппликаты центра масс судна и уменьшению остойчивости судна;
- балластируемый в рейсе вариант судна, приводящий к уменьшению необходимого запаса остойчивости на расходование судовых запасов;
- вариант судна с уменьшенными судовыми запасами, приводящий к снижению создаваемого ими балластировочного момента (например, вариант с атомной ЭУ);
- вариант судна без успокоительной цистерны, не требующий предусмотрения запаса остойчивости на компенсацию в нем свободной поверхности.

Архитектурно-конструктивные особенности судна, приводящие к умерению качки в течение всего рейса, связаны с ликвидацией больших уменьшений остойчивости судна в результате его аварийного затопления, что достигается в основном рациональным конструктивным внутренним делением судна непроницаемыми конструкциями и обеспечением в необходимых случаях их односторонней проницаемости. Вариант судна с постоянным балластом, приводящий к возможности создания КИП с меньшими значениями B/T , а стало быть меньшими уменьшениями остойчивости в результате затопления отсеков, также позволяет создать вариант судна, имеющий более плавную качку. Во время использования мероприятия по снижению минимально допустимой метacentрической высоты за счет уменьшения величины потери остойчивости при затоплении с целью создания плавной качки, необходимо учитывать, что при определенных значениях D/L , B/T и коэффициента расходования судовых запасов на момент балластировки $(K_{рз})_6$ преобладающими в назначении могут оказаться требования по «критерию погоды».

Помимо общей стабилизации на КИП применяется местная стабилизация измерительных средств. Имеются две независимые системы автоматического регулирования: для платформы (непосредственная стабилизация), на которой укреплено основание антенны (противодействие качки), и для зеркала антенны — движение диаграммы направленности вслед за космическим объектом (косвенная стабилизация). Каждый из двух указанных способов местной стабилизации также имеет свои достоинства и недостатки. В первом случае обеспечивается наиболее точное наведение на космический объект. Во втором случае стабилизирующее устройство удастся выполнить меньшим по массе, но при этом снижается точность стабилизации и наведения антенного поста. На КИП нашли применение оба способа местной стабилизации.

Наряду с ускорениями от качки на площадь антенн значительные моменты, приложенные к элементам электросилового привода и конструкции антенн, создает ветровое давление. В результате снижается точность стабилизации и управления. Применение на КИП антенных стабилизаций, созданных для работы в наземных

условиях, привело для отдельных из них к превышению в приводах фактических усилий над расчетными, выбранными из условия работы в наземных условиях. Для возможности установки таких станций на КИП были применены радиопрозрачные укрытия (РПУ), как правило шарообразной формы. РПУ на КИП устраняют ветровое давление и позволяют проводить сеансы связи при любом направлении ветра. Кроме того, они защищают антенны от дождя, снега, брызг морской воды, солнечной радиации и пыли, существенно облегчая обслуживание антенн. Положительные стороны установки РПУ на КИП, а также учет необходимости проведения работы в отдельных случаях в условиях более жестких, чем расчетные, способствовали появлению мнения о полезности установки РПУ на КИП со станциями, созданными для морских условий работы. (В литературе отмечается, что была необходимость работы станции траекторных измерений отечественного КИП ПСК при скорости ветра 23 м/с [37]). Принятие окончательного решения об установке РПУ на КИП должно производиться с учетом отрицательных сторон, сопутствующих применению РПУ. Это, прежде всего, сложность осуществления монтажа РПУ на судне, рост нагрузки масс судна и его водоизмещения, а также увеличения его парусности.

Антенны КИП, установленные в разных местах по длине судна, при деформациях корпуса, вызванных воздействием волн и ветра, наклоняются по отношению друг к другу и оси опорно-поворотных устройств и перестают быть параллельными.

Это ведет к ошибкам при отсчете углов, определяющих положение линии визирования антенна-спутник. Таким образом, возникает проблема обеспечения повышенной жесткости корпуса судна [19]. Архитектурно-конструктивные особенности КИП способствуют обеспечению необходимой жесткости корпуса. Это, прежде всего, наличие продольных переборок, которые выполняются достаточно жесткими и продлеваются на максимально-возможное расстояние судна. По высоте эти переборки распространяются достаточно высоко и начинаются они от второго дна. В двойном дне под переборками устанавливаются стрингеры. Поперечные переборки стараются выполнить без уступов и рецессов, а количество вырезов в них сводят к мини-

муму. Повышению жесткости способствует и наличие достаточно длинной надстройки, которая надежно перевязывается с корпусом. Наружные продольные стенки надстроек и продольные выгородки конструктивно перевязываются с продольными переборками и выгородками, а также поперечные переборки и выгородки с главными поперечными переборками. Надежно перевязываются барбеты антенн с основным корпусом. Корпус подкрепляется в местах установки массивных антенн и других элементов оборудования, обладающих значительной массой. Выполнение перечисленных конструктивных мероприятий привело к значительному повышению жесткости корпуса КИП по отношению к жесткости корпуса транспортного судна. Деформации корпуса, уменьшенные за счет повышенной жесткости корпуса, измеряются на КИП специальным устройством. Для измерения деформаций корпуса КИП вдоль его оси (под палубой и основаниями антенн) прокладывается канал, в котором пропускается луч света или луч лазера. Когда судно идет по спокойной воде луч света в конце светового канала попадает точно в центр мишени, состоящей из светочувствительных элементов. При изгибе корпуса луч смещается от центра мишени, что позволяет получить электрические сигналы, пропорциональные величинам деформаций. Сигнал поступает в вычислительную машину и учитывается при расчетах. Так как антенны разнесены по длине и размещение канала по высоте судна возможно ниже палубы переборок, то протяженность канала может захватывать несколько непроницаемых переборок. В этом случае с целью обеспечения требований по непотопляемости канал должен быть непроницаемым по контуру, либо иметь непроницаемые закрытия на каждой непроницаемой переборке. Измерение деформаций необходимо, когда места установки корабельных антенн разнесены по палубам, а сами антенны обладают остронаправленными диаграммами. При слабонаправленных антеннах или установке на КИП одной остронаправленной антенны измерение деформаций корпуса может не проводиться.

Для удержания КИП на курсе во время проведения сеансов связи на малых скоростях и в дрейфе на универсальных КИП установ-

ливают носовые подруливающие устройства и одну-две выдвижные движительно-рулевые колонки в корме.

Рассмотренный материал по стабилизации КИП с учетом схемы рис. 36 позволяет сделать вывод, что проблемы обеспечения работы КИП в условиях моря требуют комплексного рассмотрения. Так, решение проблем точности и надежности поиска и измерений, проблемы прочности приводов антенн и проблемы физиологического воздействия качки на персонал связано с обеспечением общей стабилизации судна. Местная же стабилизация антенн в дополнение к общей стабилизации может обеспечить лишь точность и надежность поиска и измерений. Уровень общей стабилизации КИП и местной стабилизации антенных постов должны находиться в определенном соответствии друг другу.

Так, чем выше обеспечена общая стабилизация, тем менее жесткими могут быть требования к местной стабилизации антенн и наоборот. При рассмотрении в комплексе всех указанных проблем необходимо иметь в виду, что проблема обеспечения прочности приводов антенных систем при качке, должна рассматриваться одновременно с аналогичной проблемой от воздействия ветра с учетом целесообразности установки на антенну РПУ.

На общую стабилизацию КИП оказывают положительное влияние конструктивные мероприятия, ликвидирующие избыточную остойчивость судна в начале рейса. Выбор же успокоителей качки, имеющих достоинства и недостатки, должен осуществляться на основании экономических расчетов, учитывающих опыт их применения. При этом необходимо принимать во внимание тот факт, что бортовые управляемые рули, требующие для эффективной работы достаточно больших скоростей, могут решать проблемы только точности и надежности поиска и измерений во время движения КИП. Проблемы же прочности приводов и физического воздействия качки на персонал, требующие решения как на ходу, так и на стоянке, обеспечены только с помощью установки бортовых управляемых рулей быть не могут.

Упрощенная схема проблем и конструктивных решений обеспечения работы КИП в условиях моря показана на рис. 36

Работа КИП в условиях моря

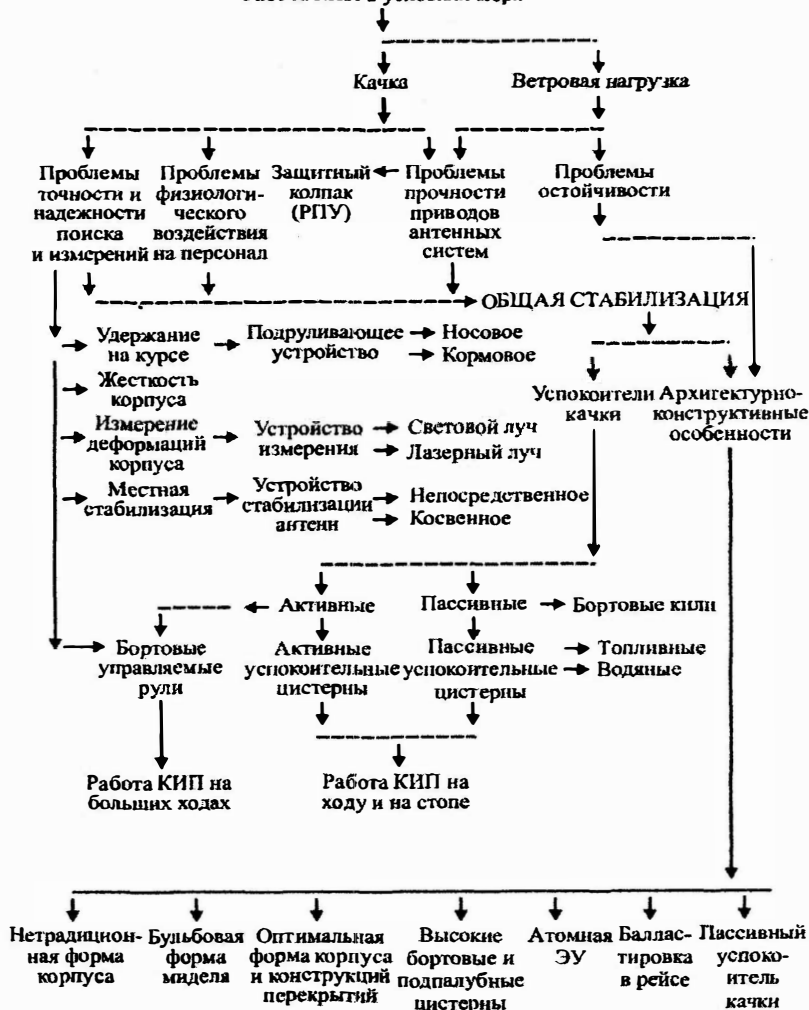


Рис. 36. Упрощенная схема проблем и конструктивных решений обеспечения работы КИП в условиях моря

8. ОТНОСИТЕЛЬНАЯ МЕТАЦЕНТРИЧЕСКАЯ ВЫСОТА (ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ)

Относительная начальная метацентрическая высота, как характеристика поперечной остойчивости [2], является исходной величиной при определении главных размерений и широко используется при решении многих задач, связанных с остойчивостью, непотопляемостью и стабилизацией судна. Правильное ее назначение уже на ранних стадиях проектирования во многом гарантирует выбор таких главных размерений судна, при которых будут удовлетворяться требования по остойчивости, непотопляемости и качки. Для созданных КИП относительная метацентрическая высота изменяется в довольно широком интервале $h/B=0,06-0,11$ [23], что создает определенные трудности при назначении ее величины на ранних стадиях проектирования. Для гарантированного назначения h/B и особенно ее граничных значений: минимально допустимого $(h/B)_{\min}$ и максимально допустимого $(h/B)_{\max}$ необходимо установление зависимости относительной метацентрической высоты от главных размерений и других характеристик судна. Анализ выполнения требований к остойчивости и непотопляемости применительно к КИП показывает, что на нижнюю границу допустимых правилами Регистра величин попадают значения начальной поперечной метацентрической высоты при симметричном и несимметричном затоплении отсеков (h_a), угол крена при несимметричном затоплении отсеков ($\theta_{кр}$), критерий погоды (K) и протяженность части диаграммы статической остойчивости с положительными участками с учетом заливаемости [42] (см. табл. 12).

Результаты анализа объясняются:

- необходимостью удовлетворения на КИП, имеющих большой экипаж и дорогостоящее оборудование, повышенных требований к непотопляемости и остойчивости, а именно – обеспечение двухотсечного стандарта непотопляемости и выполнение таких же норм по аварийной остойчивости, как и для пассажирского судна, и таких же требований к остойчивости, как у судов погоды;
- особенностями архитектурно- конструктивного типа КИП, характеризующегося наличием на судне продольных перебо-

Т а б л и ц а 12

**Требования правил Регистра к остойчивости и пределы
изменения нормируемых величин у КИП**

Характеристика	Обозначение, размерность	Значение по правилам Регистра	Пределы изменения у КИП при различных состояниях нагрузки
Критерий погоды	K	≥ 1 $\geq 1,5$ -для судов погоды	1,5–3,3
Максимальное плечо диаграммы статической стойчивости	$(l_{ст})_{max}$, м	$\geq 0,2$	0,7–1,6
Положение максимума диаграммы статической стойчивости	θ_{max} , град.	≥ 30 при $L \geq 105$ м	35–50
Угол заката диаграммы статической стойчивости	θ_z , град.	≥ 60 при $B/T > 2$ разрешается меньший угол	60–73
Метацентрическая высота	$h_{испр}$, м	≥ 0	0,54–1,80
Угол крена на установившейся циркуляции	θ_{Σ} , град.	≤ 12	1,5–8,0
Угол заката диаграммы статической стойчивости при обледенении	$(\theta_z)_{обл}$, град.	≥ 55	59–70
Угол крена несимметричного затопления до принятия мер по спрямлению	$\theta_{кр}$, град.	≤ 15	5,5–15
Максимальное плечо диаграммы статической стойчивости при затоплении	$(l_{ст\ max})_в$, м	$\geq 0,1$	0,12–1,0
Протяженность положительной части диаграммы статической стойчивости с учетом угла заливаемости: – при несимметричном затоплении – при симметричном затоплении	градусы	≥ 20	20–60
		≥ 30	47–60
Метацентрическая высота судна при затоплении	$h_{в}$, м	$\geq 0,05$	0,05–1,10

рок, образующих двойные борта, в которых размещается большая часть запасов топлива, а также наличием большого количества крупногабаритных антенн при высоком надводном борте и развитых надстройках, предопределяющих значительную парусность.

Минимальная начальная поперечная метацентрическая высота, необходимая для удовлетворения требований к остойчивости неповрежденного и аварийного судна с учетом обеспечения стабилизации может быть представлена как сумма запасов остойчивости на компенсацию различных факторов:

$$h_{min} = \Sigma \Delta h$$

Для условия обеспечения требований к относительной метацентрической высоте при симметричном затоплении отсеков $(\Delta h/B)_{pc}$ можно записать:

$$(h/B)_{min\ c} = (\Delta h/B)_{pз} + (\Delta h/B)_{ц} + (\Delta h/B)_{yc} + (\Delta h/B)_{ac} + (\Delta h/B)_{pc}. \quad (56)$$

Для условия обеспечения требований к углу крена при несимметричном затоплении:

$$(h/B)_{min\ к} = (\Delta h/B)_{pз} + (\Delta h/B)_{ц} + (\Delta h/B)_{yn} + (\Delta h/B)_{an} + (\Delta h/B)_{p\theta}. \quad (57)$$

Для условия обеспечения требований к критерию погоды:

$$(h/B)_{min\ к} = (\Delta h/B)_{pз} + (\Delta h/B)_{ц} + (\Delta h/B)_{yk} + (\Delta h/B)_{к}. \quad (58)$$

В формулах (56)–(59) обозначено:

- $(\Delta h/B)_{pз}$ – запас относительной метацентрической высоты на изменение остойчивости судна при расходовании судовых запасов;
- $(\Delta h/B)_{ac}$, $(\Delta h/B)_{an}$ – то же при симметричном и несимметричном затоплении отсеков соответственно;
- $(\Delta h/B)_{ц}$, $(\Delta h/B)_{yc}$, $(\Delta h/B)_{yn}$, $(\Delta h/B)_{yk}$ – то же на компенсацию свободных поверхностей в цистернах корпуса и цистерне пассивного успокоителя качки при расчетах симметричного и несимметричного затопления и критерия погоды соответственно;
- $(\Delta h/B)_{pc}$, $(\Delta h/B)_{p}$, $(\Delta h/B)_{к}$ – то же на выполнение требований правил Регистра к аварийной метацентрической высоте, аварийному крену и критерию погоды соответственно.

Расчеты величин $(\Delta h/B)_{pз}$, $(\Delta h/B)_{ac}$, $(\Delta h/B)_{an}$, $(\Delta h/B)_{p\theta}$, $(\Delta h/B)_{к}$ были произведены с помощью приближенных формул теории проектирования судов при средних значениях коэффициентов, характерных для КИП. При этом с целью сокращения количества расчетов и возможности графического представления зависимостей значения H/T и δ приняты постоянными и равными $H/T=1,85$ и $\delta=0,6$, как средние значения в интервалах изменения этих величин для КИП ($H/T=1,7-2,0$,

$\delta=0,57-0,63$ – интервал по δ определен по формуле Ю.М. Ларкина для $Fr=0,20-0,26$).

На рис. 37 показана графическая интерпретация выражения для определения $(\Delta h/B)_{pz}$:

$$(\Delta h/B)_{pz} = \rho/B(1 - \rho_6/\rho) + Z_c/B(1 - Z_{c6}/Z_c) + Z_g/B(Z_{g6}/Z_g - 1), \quad (59)$$

где $\rho, \rho_6, Z_c, Z_{c6}, Z_g, Z_{g6}$ – метацентрические радиусы, аппликаты центра величины и центра масс судна при 100 % запасов и перед приемом жидкого балласта соответственно. Из графика видно, что у прямобортного судна величина $(\Delta h/B)_{pz}$ в значительной степени зависит от принятой схемы балластировки, характеризующейся моментом начала приема жидкого балласта, выражаемой коэффициентом расходования судовых запасов на момент балластировки $(K_{pz})_6$.

Запас относительной метацентрической высоты на изменение остойчивости судна при затоплении отсеков $(\Delta h/B)_{ac}$, $(\Delta h/B)_{an}$ и запас относительной метацентрической высоты, необходимый для выполнения требований к аварийному крену $(\Delta h/B)_{p0}$, зависят в первую очередь от схемы деления судна на непроницаемые отсеки (см. рис. 38).

Суммарная наибольшая длина двух смежных отсеков при симметричном затоплении отсеков КИП может быть определена по формуле:

$$(l_{2max})_c = l_{мко} + l_{pmin}. \quad (60)$$

Приняв в соответствии с правилами Регистра $l_{pmin} = 3 + 0,03L$ и учтя, что у отечественных КИП $l_{мко}/L = 0,15 \pm 0,04$, можно записать:

$$(l_{2max})_c = 0,18L + 3. \quad (61)$$

При кормовом или промежуточном расположении МКО, характерном для КИП, продольные переборки в МКО с целью обеспечения необходимых площадей не устанавливаются или делаются проницаемыми.

Как правило, по условиям размещения оборудования длина каждого из водонепроницаемых отсеков вне района МКО может быть принята равной l_{pmin} или, при необходимости

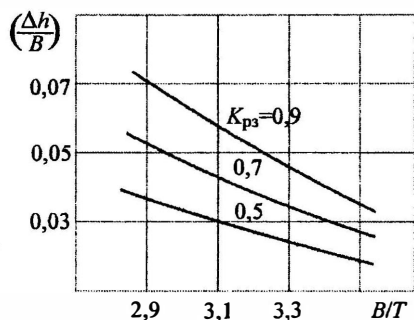


Рис. 37. Графическая интерпретация зависимости (59)

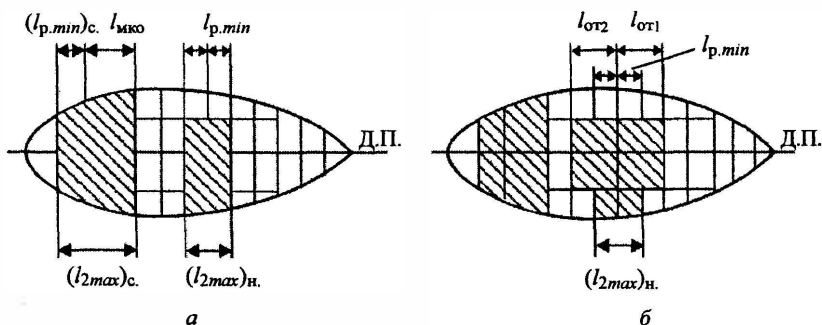


Рис. 38. Схема деления КИП непроницаемыми переборками:
а – симметричное и несимметричное затопление двух смежных отсеков;
б – несимметричное затопление при установке дополнительных переборок в двойном борте

сти, длина затопляемой части бортового отсека доведена до этой величины установкой дополнительных непроницаемых переборок в двойных бортах (см. рис. 38). Тогда суммарная наибольшая длина двух смежных отсеков при несимметричном затоплении будет равна $(l_{2max})_н = 2l_{pmin}$. Предполагалось, что при несимметричном затоплении отсеки расположены вблизи миделя, где ширина судна наибольшая. Расчеты проводились методом постоянного водоизмещения. При этом считалось, что двойное дно не повреждено и не затоплялось. Относительная высота двойного дна $h_{дд}/T$ принималась в зависимости от минимально допустимой его относительной вместимости $W_{дд}/V$ из условия размещения в нем части топлива и жидкого балласта. Коэффициент проницаемости отсеков μ принимался при симметричном затоплении 0,85 (МКО и смежный отсек, как правило, электростанция), при несимметричном затоплении 0,95 (жилые помещения, кладовые).

Запас относительной метацентрической высоты на изменение остойчивости судна при затоплении отсеков можно определить по формуле:

$$(\Delta h/B)_a = (\Delta h/B)_{зг} + (\Delta h/B)_н + (\Delta h/B)_ф + (\Delta h/B)_п. \quad (62)$$

Запас на изменение остойчивости за счет замещаемых грузов $(\Delta h/B)_{зг}$ может быть учтен при определении $(\Delta h/B)_{пз}$. При этом

к коэффициенту расходования судовых запасов на момент балластировки $(K_{pz})_6$ должен быть прибавлен коэффициент замещаемых грузов $K_{зг} = P_{зг}/P_з$ ($P_{зг}$ – количество замещаемых грузов в затопливаемых отсеках). В результате вырастет $(\Delta h/B)_{pz}$, т. е. наличие замещаемых грузов отрицательно сказывается на величине аварийной остойчивости при симметричном затоплении. При несимметричном затоплении замещаемые грузы, размещаемые в бортах, уменьшают величину $(\Delta h/B)_{pz}$, т. е. оказывают положительное влияние. При расчетах величина $(\Delta h/B)_{зг}$ принималась равной нулю в предположении, что при симметричном затоплении цистерны в МКО и электростанции отсутствуют. Для несимметричного затопления значение $K_{зг}$ снижается с ростом $(K_{pz})_6$ и при $K_{pz} = 0,9$ коэффициент $K_{зг}$ практически равен 0. При $K_{pz} < 0,9$ характер учета замещаемых грузов, зависящих от принятой схемы распределения и расходования судовых запасов, затруднен и величина $(\Delta h/B)_{зг}$ с погрешностью в безопасную сторону может быть принята равной 0.

Запас относительной метацентрической высоты на изменение остойчивости прямостенного (типа понтона) судна, а также запасы на изменение формы и дифферента можно представить в виде:

$$(\Delta h/B)_n = \Delta Z_{cn}/B + \Delta \rho_n/B, \quad (63)$$

$$(\Delta h/B)_\phi = \Delta Z_{c\phi}/B + \Delta \rho_\phi/B, \quad (64)$$

$$(\Delta h/B)_\psi = \Delta Z_{c\psi}/B + \Delta \rho_\psi/B, \quad (65)$$

При симметричном затоплении МКО и смежного отсека дифферент судна повышает аварийную остойчивость за счет входа в воду более полных кормовых ватерлиний. Таким образом, при симметричном затоплении рассматриваемых отсеков $(\Delta h/B)_\phi$ отрицательна и, как показывают расчеты, ее величина для КИП может быть принята 0,01. При несимметричном затоплении отсеков, расположенных вблизи миделя, $(\Delta h/B)_\phi$ может быть принята равной нулю.

На рис. 39 приведена графическая интерпретация зависимости (62) для симметричного затопления двух отсеков КИП, рассчитанная при указанных выше допущениях в интервале отношений $D/L = 100-200$ т/м.

Запас относительной метацентрической высоты на обеспечение судном требований правил Регистра к критерию погоды можно представить

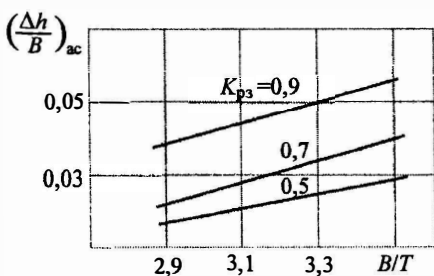


Рис. 39. Графическая интерпретация (62)

$$(\Delta h/B)_k = 3,03(K/B)M_{кр}/D + A_k. \quad (66)$$

Интерпретация зависимости (66) представлена на графике рис. 40.

Запас относительной метацентрической высоты на компенсацию свободных поверхностей в цистернах корпуса можно определить по формуле:

$$(\Delta h/B)_u = (\Delta h/B)_{u100} / [1 - (K_{pz})_6 \eta_3], \quad (67)$$

где $(\Delta h/B)_{u100}$ — запас относительной метацентрической высоты на компенсацию свободных поверхностей в цистернах корпуса судна при 100 % запасов, равный для КИП $0,005 \pm 0,002$.

Для упрощения расчетов принималось $(\Delta h/B)_{pc} = 0,003$.

Графики зависимостей $(h/B)_{min c}$ и $(h/B)_{min k}$ по формулам (56) и (58) без учета запасов относительной метацентрической высоты на свободные поверхности в пассивном успокоителе качки представлены на рис. 41. Пунктиром показаны участки кривых, соответствующих значениям h/B меньше допустимых при указанных $(K_{pz})_6$.

Область значений, лежащая на рисунке ниже ограничительных кривых при $(K_{pz})_6 = 0,5$, соответствует тем вариантам КИП, на кото-

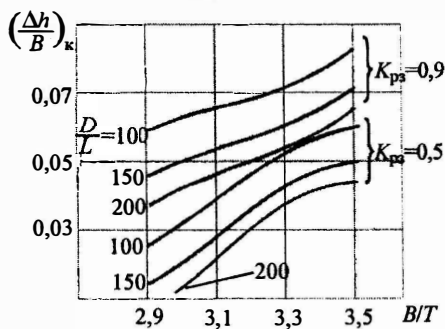


Рис. 40. Графическая интерпретация (66)

рые необходимо принимать твердый балласт, поскольку прием жидкого балласта до израсходования 50 % судовых запасов для вновь проектируемого судна нежелателен. Область значений $(\Delta h/B)_{min}$, лежащая между ограничительными кривыми в интервале $(K_{pz})_6 = 0,5 - 0,9$, определяет варианты КИП, балластируемые в рейсе при различных коэффициентах

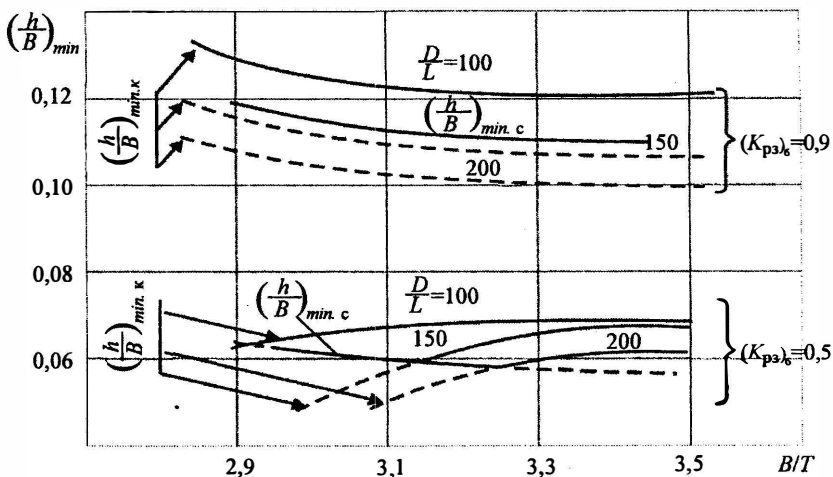


Рис. 41. Зависимость $(h/B)_{\min c}$ и $(h/B)_{\min k}$ от B/T и $(K_{pz})_6$

$(K_{pz})_6$. И, наконец, область при $(K_{pz})_6 \geq 0,9$ соответствует безбалластным КИП.

Для несимметричного затопления отсеков можно записать:

$$(\Delta h/B)_{p0} = 57,3/\theta_{кр} \cdot v/V \cdot y_p/B [1 + s/(S - s)], \quad (68)$$

где V и S – объемное водоизмещение судна и площадь ватерлинии соответственно;

v , y_p , s – объем затопляемых отсеков, отстояние центра объема от ДП и площадь потерянной ватерлинии соответственно.

С учетом зависимости (68) выражение (57) может быть представлено в графической форме, как показано на рис. 42. Из графика видно, что уменьшение относительного отстояния продольных переборок от борта b_n/B положительно сказывается на $(\Delta h/B)_{\min n}$. Есть рекомендации ограничения величины относительного отстояния продольных переборок от борта $b_n/B = 0,1$ [42].

Если $(h/B)_{in n}$ больше $(h/B)_{\min c}$ и $(h/B)_{\min k}$, то на судне для снижения $(h/B)_{\min n}$ нужно устраивать перетоки.

Вопросы оборудования КИП пассивным успокоителем качки решаются из условия обеспечения приемлемых параметров качки. Если по требованиям стабилизации необходима пассивная успокоительная цистерна, то значения минимально допустимой относительной

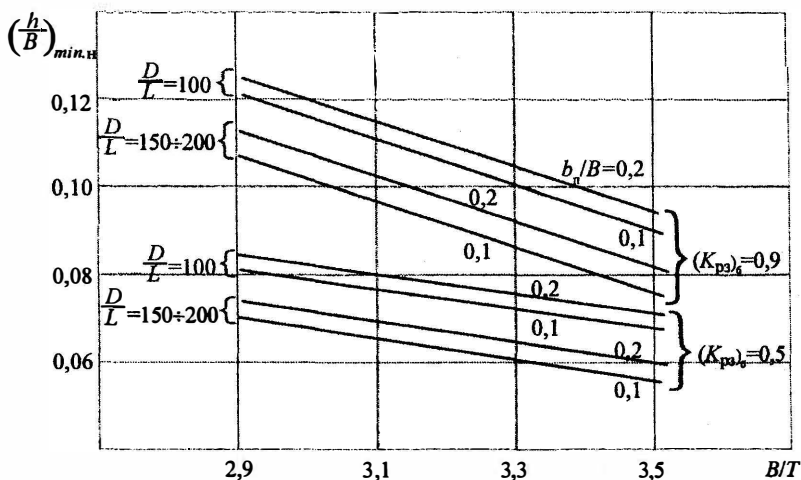


Рис. 42. Зависимость $(h/B)_{min}$ от B/T , $(K_{pz})_6$, b_n/B и D/L

метацентрической высоты, полученные по формуле (56), должны быть увеличены на 0,01–0,03. Вид рабочей жидкости пассивного успокоителя качки (топливо или забортная вода) определяет момент его отключения. Если успокоитель заполняется топливом, он обычно отключается при $K_{pz} > 0,7$ (при двухуровневом успокоителе воздушные подушки стравливаются, а топливо при необходимости перекачивается в топливные цистерны). В этом случае можно считать, что при $K_{pz} > 0,7$ $(\Delta h/B)_y = 0$.

Протяженность части диаграммы статической остойчивости с положительными участками во многом определяется величиной угла заливаемости. С этой точки зрения желательно чтобы верезы в палубах (трапы, шахты схода и т. п.), через которые возможно попадание воды внутрь корпуса судна, располагались как можно ближе к диаметральной плоскости.

Таким образом, при выборе главных размерений на ранних стадиях проектирования минимально допустимая относительная метацентрическая высота КИП может быть определена в зависимости от отношений B/T , D/L , b_n/B и коэффициента $(K_{pz})_6$.

Максимально допустимые значения $(h/B)_{max}$ определяются из условия обеспечения требуемых параметров бортовой качки: ампли-

туды θ , периода τ и ускорений a .

Для определения $(h/B)_{\max \theta}$ и $(h/B)_{\max \tau}$ могут быть использованы формулы (54) и (55), записанные относительно h/B .

Для расчета $(h/B)_{\max a}$ может быть использована формула:

$$\theta_{\text{доп } a} = 57,3a(\tau/2\pi)^2/2B, \quad (69)$$

которая также с помощью формул (54) и (55) должна быть выражена относительно h/B .

На рис. 43 дана графическая интерпретация зависимостей $(h/B)_{\max}$ от D/L и B/T , рассчитанных при $\delta_{\text{мп}} = 0,6$ для $\theta = 10^\circ$, $\tau = 13\text{ с}$ и $a = 0,1g$.

Из графика видно, что при принятых значениях амплитуды, периода и ускорений необходимость учета ускорений возникает только при значениях $D/L > 180-190$ т/м. Область графика, ограниченная осью $(h/B)_{\max}$ и кривыми $(h/B)_{\max \theta}$, определяет варианты КИП, на которых необходимо оборудование успокоителей качки, а область графика, ограниченная осью D/L и кривыми $(h/B)_{\max \theta}$, — варианты судов, где успокоители качки не нужны.

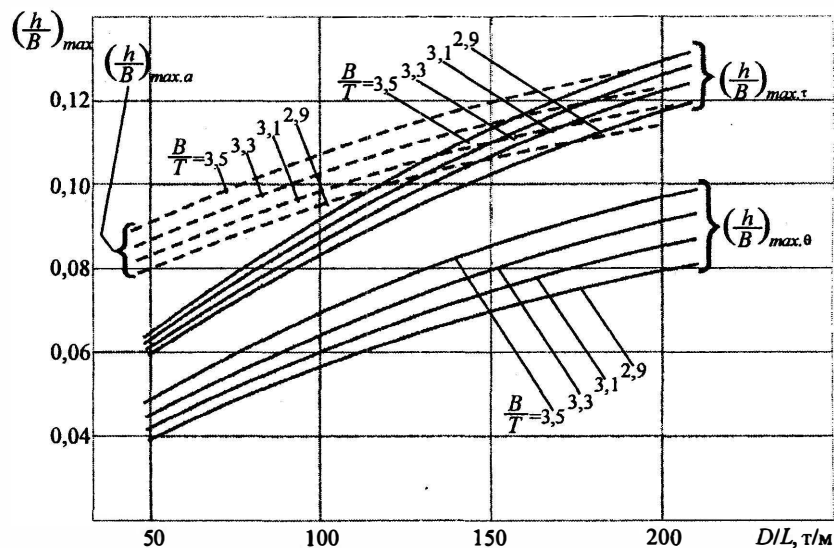


Рис. 43. Графическая интерпретация зависимостей $(h/B)_{\max}$ от D/L и B/T по различным критериям характеристик качки.

9. ВЫБОР ГЛАВНЫХ РАЗМЕРЕНИЙ

При определении элементов проектируемого судна используют два метода: метод последовательных приближений и метод вариаций. Эти методы не исключают друг друга, а часто дополняют. Примером тому может служить выбор главных размерений судна с помощью построения совмещенного графика элементов и характеристик судна (СГЭ и ХС) [9], [10], [39]. СГЭ и ХС представляет собой номограмму сетчатого вида, позволяющую определить область возможных решений (ОВР), относящуюся к вариантам судна, отвечающим требованиям технического задания, правилам по остойчивости, непотопляемости, мореходности и другим качествам судна. Совмещенный график позволяет наглядно выделить оптимальный вариант судна по принятому критерию. Конструктивно СГЭ и ХС можно представить состоящих из двух частей: сетки совмещенного графика (для не затенения последнего может не строиться) и нанесенных на сетку предельно допустимых величин (ПДВ), характеризующих вышеперечисленные качества судна и образующих ОВР. Основной особенностью СГЭ и ХС, определяемой способом его построения, является соответствие любой точки, лежащей на поле графика, уравнению плавучести при постоянном водоизмещении:

$$D_{\Pi} = \gamma_{\text{в}} K_{\text{вч}} \delta L B T, \quad (70)$$

где $\gamma_{\text{в}}$, $K_{\text{вч}}$ — плотность забортной воды и коэффициент, учитывающий выступающие части корпуса судна соответственно.

Виды совмещенных графиков элементов и характеристик судна и методики их построения разнообразны, как в отношении выбранной координатной системы, так и предельно допустимых величин, и зависят от типа судна, для которого они строятся, и от индивидуальных (вкусовых) особенностей конструкторов, применяющих этот метод выбора главных размерений. СГЭ и ХС может строиться в безразмерной или в размерной координатной системе, выбор которой имеет определенный логический смысл. Так, для ряда типов судов на ранних стадиях проектирования принимают наибольшую допустимую по условиям эксплуатации осадку T и варьирование ею на дальнейших стадиях не производят. В этом случае выбирается координатная система $(L/B, \delta)$. Для некоторых типов судов удастся выбрать по условиям об-

щей компоновки оптимальную длину судна L и далее ее целесообразно принять постоянной и график строить в координатной системе $(B/T, \delta)$. Кроме того, при выборе координатной системы принимается во внимание влияние соотношений главных размерений на мореходные качества судна. Отношение L/B в известной степени характеризует ходкость судна, и график в координатной системе $(L/B, \delta)$ может быть рекомендован при проектировании судов с повышенными требованиями по ходкости. Отношение B/T значительно влияет на остойчивость судна, и координатная система $(B/T, \delta)$ является более логичной при решении задач для судов, у которых выполнение требований по остойчивости и непотопляемости существенно влияет на их эксплуатационно-экономические показатели. Выбирая координатную систему следует учитывать, что при постоянном T (координатная система $L/B, \delta$) изменяются L и B . В этом случае погрешность допущения о постоянстве водоизмещения может определяться в 0,6–1,0 % относительно грузоподъемности (опыт расчета СГЭ И ХС для танкера [9]). При постоянном L изменяются B и T . В этом случае погрешность значительно уменьшается, что особенно важно для судов, не перевозящих грузов, а стало быть и не могущих их уменьшить при неточностях определения водоизмещения.

При необходимости оценить влияние L на характеристики судна при выбранной координатной системе $(B/T, \delta)$ можно построить 2–3 совмещенных графика с различными значениями L и откорректированной для каждого случая величиной D_n .

Семейства кривых сетки совмещенного графика в координатной системе $(B/T, \delta)$ рассчитываются по формулам:

– семейство постоянных ширин ($B=\text{const}$):

$$B/T = \gamma_{\text{в.в.ч.}} \delta B^2 L / D_n, \quad (71)$$

– семейство постоянных осадок ($T=\text{const}$):

$$B/T = (D_n / L) / \gamma_{\text{в.в.ч.}} \delta T^2. \quad (72)$$

Так как рассчитать линии предельно допустимых величин для непосредственного их нанесения на совмещенный график не всегда удастся, то рассчитывают и строят вспомогательные графики, с которых линии ПДВ перестраивают на СГЭ и ХС. Процесс расчета и построения вспомогательных и совмещенных графиков существенно облегчает использование ЭВМ, разработка программ для кото-

рых требует математической формализации задачи. Структурная схема определения главных размерений КИП с помощью СГЭ и ХС представлена на рис. 44, а последовательность расчетов на рис. 45.

Выбор главных размерений начинается с определения элементов и характеристик опорного варианта. Часть из этих характеристик в дальнейшем при построении графика принимается постоянными, например D и L .

В соответствии с требованиями технического задания (ТЗ), оговаривающего $A, A_p, R, v, v_p, n_{ж}$, на основе анализа объема устанавливаемого оборудования и исследования прототипов определяется суммарная длина проекции радиусов обметания крупногабаритных антенн на диаметрально плоскость ΣR_a (на ранних стадиях проектирования за ΣR_a можно принять сумму габаритных размеров антенн по длине судна), а также характеристики архитектурно-конструктивного типа судна и схемы балластировки: $K_w, h_r, (K_{pz})_6$ и отношения $L/B, B/T, H/T$. Далее необходимо определить D_n . Для ранних стадий проектирования оптимальными главными размерениями любого научно-исследовательского судна и в том числе КИП априорно можно считать такие размерения, при которых судно имеет наименьшее водоизмещение и способно выполнять все поставленные перед ним задачи при удовлетворении требованиям к остойчивости, непотопляемости, ходкости, мореходности, вместимости и т. п. Для отечественных КИП связь водоизмещения с главными размерениями можно представить в виде [43]:

$$D_n = K_D LBH + P_{6n}. \quad (73)$$

Зависимость коэффициента K_D от соотношения главных размерений представлена на графике рис. 46 и может быть аппроксимирована выражением

$$K_D = 0,286L/BH + 0,2. \quad (74)$$

Если для КИП корпус судна проектируется специально, то проектировщик должен стремиться к тому, чтобы все требования, предъявляемые к судну выполнялись без приема твердого и постоянного жидкого балласта, т. е. $P_{6n} = 0$. Тогда с учетом (74) формула (73) приобретает вид:

$$D_n = 0,2LBH + 0,286L^2. \quad (75)$$



Рис. 44. Структурная схема определения главных размерений КИП

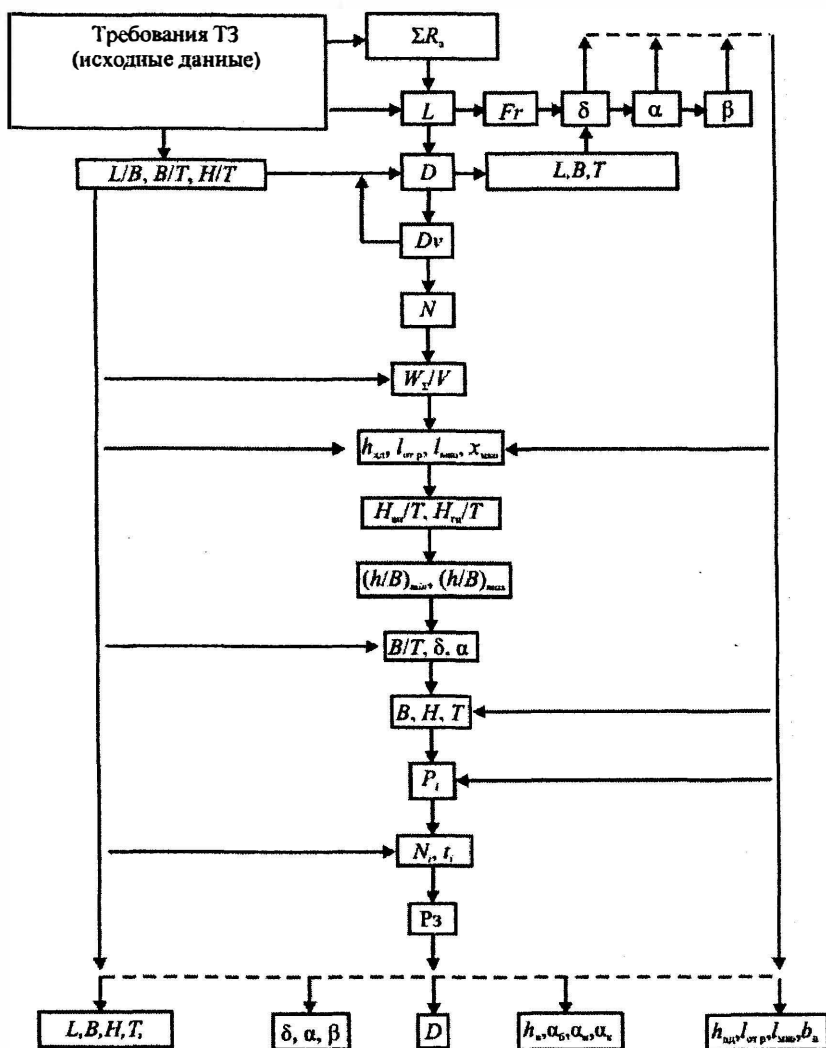


Рис. 45. Последовательность расчета главных размерений КИП

Из формулы видно, что для снижения водоизмещения следует уменьшать кубический модуль и длину судна. Вместе с тем следует учитывать, что выбор длины связан с необходимостью раз-

мещения на судне крупногабаритных антенн КИП, обеспечением достаточных углов их обзора и с учетом обеспечения необходимой электромагнитной совместимости радиотехнических средств. Статистическая зависимость длины судна от суммарной длины проекций радиусов обметания (ΣR_a) на диаметрально плоскость для отечественных КИП показана на рис. 47.

Зависимость аппроксимируется формулой:

$$L = 1,3 \Sigma R_a + 85. \quad (76)$$

Как известно, значения длины судна в определенной мере связаны также с величиной транспортного момента судна:

$$L = K_e (D_n v)^{1/3}, \quad (77)$$

где K_e – коэффициент, значения которого для отечественных КИП равны $2,3 \pm 0,16$.

Таким образом, за оптимальную длину для КИП может быть принято наибольшее из значений L , определенных по двум последним формулам.

Коэффициенты полноты можно определить по статистическим формулам:

$$\delta_{мп} = 0,74 - 0,59 Fr - \text{формула Ю.Н. Ларкина [25]}$$

$$\alpha = 0,6 \delta_{мп} + 0,39 \quad (78)$$

$$\beta = 0,36 \delta / \alpha + 0,646 \quad (79)$$

Выбор высоты борта связан с обеспечением необходимой вместимости и запаса плавучести КИП. Для минимально допустимой относительной высоты борта до верхней палубы по условиям вместимости можно записать:

$$H_{вп} / T = (W_{\Sigma} / V - K_w)^{\delta / \alpha}, \quad (80)$$

где W_{Σ} / V – минимально допустимая относительная суммарная вместимость судна;

K_w – коэффициент развитости надстройки;

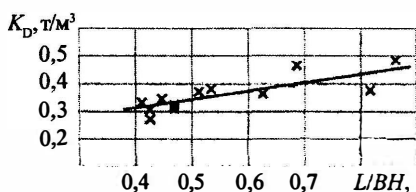


Рис. 46. Зависимость K_D от отношения L/BH

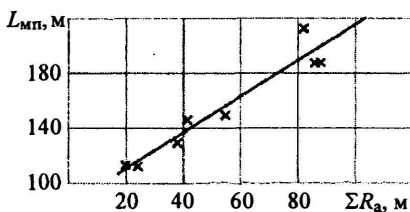


Рис. 47. Зависимость $L_{мп}$ от ΣR_a

δ/α – коэффициент вертикальной полноты судна.

Решение уравнения вместимости для КИП показывает, что отношение W_{Σ}/V можно представить в виде суммы:

$$W_{\Sigma}/V = (W/V)_1 + (W/V)_2 + (W/V)_3 + (W/V)_4, \quad (81)$$

где $(W/V)_1$ – относительная величина вместимости, зависящая от длины, водоизмещения, численности экипажа и экспедиции, равная:

$$(W/V)_1 = (292 + 0,03n_{\Sigma} - 21240/L)L/D;$$

$(W/V)_2$ – относительная величина вместимости, зависящая от водоизмещения, численности экипажа и экспедиции и автономности судна, равная:

$$(W/V)_2 = (33,4 + 0,02A)n_{\Sigma}/D;$$

$(W/V)_3$ – относительная величина вместимости, зависящая от водоизмещения и скорости хода, равная:

$$(W/V)_3 = 2,44 \cdot 10^{-3} v^3 (v/D)^{0,25} + 0,15;$$

$(W/V)_4$ – относительная величина вместимости, зависящая от коэффициентов утилизации водоизмещения по судовым запасам и расхода судовых запасов на момент балластировки, равная:

$$(W/V)_4 = \eta_3 [2 - 0,6(K_{\text{пр}})_6].$$

Минимально допустимая относительная высота борта до палубы переборок может быть определена в зависимости от максимальной относительной длины двух смежных отсеков $l_{2\text{max}}/L$ и относительной абсциссы их центров объемов $|X|/L$:

– для промежуточного расположения МКО ($|X|/L = 0,16 - 0,24$):

$$H_{\text{гн}}/T = (1,96 \mu_{2\text{max}}/L + 0,61)(2,12 |X|/L + 1,3), \quad (82)$$

– для кормового расположения МКО ($|X|/L = 0,32 - 0,40$):

$$H_{\text{гн}}/T = (2,47 \mu_{2\text{max}}/L + 0,51)(2,93 - 3,33 |X|/L), \quad (83)$$

Для интервала $|X|/L = 0,24 - 0,32$ значения $H_{\text{гн}}/T$ можно вычислить по формуле (83), приняв $|X|/L = 0,32$.

Минимальное число ярусов корпуса судна определяется из выражения:

$$n_{\text{я к}} = (H/T - h_{\text{дд}}/T)T/h_{\text{т}}, \quad (84)$$

при округлении полученной величины $n_{\text{я к}}$ до целого числа в большую сторону. В формуле (84) H/T большее из значений, получаемых по формулам (80) или (82), (83).

Относительная высота двойного дна КИП может быть найдена по формуле (1):

$$h_{\text{дд}}/T = (1,243 W_{\text{дд}}/V + C^2)^{0,5} - C,$$

где $W_{\text{дд}}/V = 0,253 - 0,186(K_{\text{рз}})_6$

$$C = -0,3\delta_{\text{мп}} - 0,149.$$

Значения $h_{\text{дд}}/T$, полученные по формуле (1), не должны быть менее получаемых по формуле (4) или 0,65 м.

Уточненная высота борта до верхней палубы, отвечающая условиям вместимости, плавучести и внутреннего разделения судна по высоте палубами и вторым дном, выразится:

$$H_{\text{вп}} = h_{\text{т}} n_{\text{ярк}} + h_{\text{дд}}. \quad (85)$$

Осадка по условиям плавучести:

$$T = [(D/L \cdot B/T) / \gamma_{\text{вк}} \delta]^{0,5}. \quad (86)$$

Произведение $BH_{\text{вп}}$ формулы (75) в первом приближении может быть определено:

$$BH_{\text{вп}} = (B/T \cdot H_{\text{вп}}/T) / (L/B \cdot B/T \cdot 1/L)^2. \quad (87)$$

Таким образом, по формуле (75) может быть определено D_1 и далее $(W_{\Sigma}/V)_1$, $(H_{\text{вп}}/T)_1$, T_1 , $(n_{\text{ярк}})_1$, $(H_{\text{вп}})_1$, B_1 . При достижении допустимой сходимости модулей $LBH_{\text{вп}}$ и $LB_1(H_{\text{вп}})_1$ можно считать размерения опорного варианта выбранными. Для анализа полученных размерений можно воспользоваться графиками рис. 48, представляющих связь водоизмещений отечественных КИП с их размерениями.

По установленным главным размерениям может быть также уточнено водоизмещение постатейных расчетов составляющих нагруз-

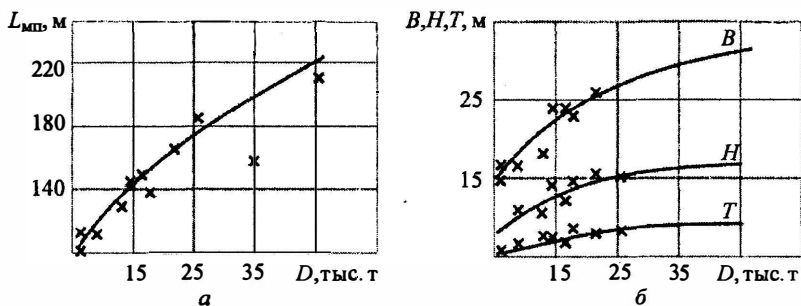


Рис. 48. Связь главных размерений отечественных КИП с водоизмещением: $L(a)$; $T, H_{\text{вп}}, B(b)$

ки по зависимостям раздела 4. Эта операция может производиться после уточнения B/T , на совмещенном графике.

Для уточнения значений B/T , δ , варьируя их значениями, построим совмещенный график элементов и характеристик КИП в координатной системе $(B/T, \delta)$ и обозначим на нем области возможных решений (ОВР), в которых варианты судна удовлетворяют требованиям остойчивости, непотопляемости и стабилизации. Эти требования выражаются условием $(h/B)_{\min} \leq h/B \leq (h/B)_{\max}$, реализуются решением равенств $h/B = (h/B)_{\min}$; $h/B = (h/B)_{\max}$.

Граничные кривые ОВР:

- минимально допустимые значения h/B по условиям симметричного затопления $(h/B)_{\min c}$, несимметричного затопления $(h/B)_{\min n}$ и по критерию погоды $(h/B)_{\min k}$.
- максимально допустимые значения h/B по условиям обеспечения заданной амплитуды бортовой качки $(h/B)_{\max \theta}$ и периода $(h/B)_{\max \tau}$.

Фактические значения h/B определяются по формуле (33).

На рис. 49 приведен совмещенный график элементов и характеристик КИП, построенный при $D/L=127$ т/м и $L=191,4$ м.

На графике представлены две возможные области решений:

- ОВР₁, заключенная между граничными кривыми $(h/B)_{\min c}$, $(h/B)_{\min k}$ и $(h/B)_{\max \theta}$. Варианты судов, относящиеся к этой области, требуют устройства переток в бортовых отсеках, так как у них $h/B < (h/B)_{\min n}$;
- ОВР₂, заключенная между граничными кривыми $(h/B)_{\min c}$, $(h/B)_{\min n}$ и $(h/B)_{\max \tau}$. Для вариантов судов, попадающих в эту область, необходимы успокоители качки, так как у них $h/B > (h/B)_{\max \theta}$.

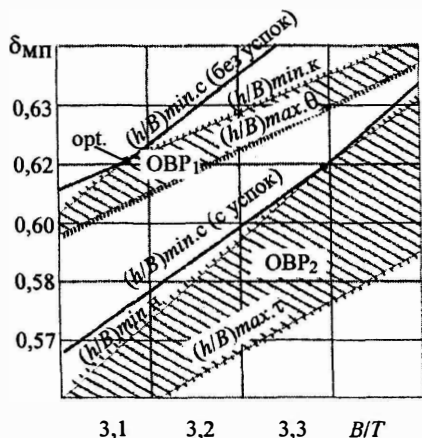


Рис. 49. Совмещенный график элементов и характеристик КИП

Наименьшие значения произведения BH имеют вари-

анты, лежащие в точке пересечения кривых $(h/B)_{\min c}$ и $(h/B)_{\min k}$ для ОВР₁ и $(h/B)_{\min c}$ и $(h/B)_{\min n}$ для ОВР₂. Поскольку в точке пересечения кривых в области ОВР₁ соответствуют меньшие значения ВН, то вариант в этой точке можно считать лучшим, обеспечивающим ранее принятое условие о минимуме водоизмещения. Таким образом, предложенные зависимости и графики позволяют уже на ранних стадиях проектирования КИП в первом приближении оптимизировать их размерения. Эти размерения и характеристики на дальнейших стадиях проектирования могут подлежать уточнению в связи с разработкой чертежей общего расположения и другой общекорабельной документации.

10. ПРОБЛЕМЫ ПЕРСПЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ

Появление в составе флотов нового класса кораблей – корабельных измерительных пунктов и проблемы поэтапного их развития поставили перед судостроителями ряд задач, необходимых для разрешения при их создании. Блок-схема проблемного спектра космических полетов и создания плавучих пунктов приведена на рис. 50.

Освоение космического пространства задача многоплановая и ее осуществление в полном объеме под силу только международному сообществу в целом. Поэтому в последнее время наряду с национальными программами, которые попрежнему развиваются (о готовящихся полетах на Луну с целью получения энергетического резерва «гелий-3» объявили США, Япония и Китай), появляются международные космические программы, как двусторонние, так и многосторонние. В связи с этим на повестку дня встают вопросы обеспечения этих программ корабельными измерительными пунктами, что, в свою очередь, требует уточнения состава устанавливаемых на них средств и объема выполняемых ими задач. На перспективных КИП, предназначенных для обеспечения международных космических программ, должно устанавливаться соответствующее оборудование, так как космическая техника, с которой они должны работать, не имеет единых международных стандартов и является, как правило, уникальной. Перспективные КИП будут отличаться дальнейшим развитием качеств КИП нового поколения в части оптимальных форм

корпуса, главной энергетической установки, внутреннего конструктивного деления корпуса непроницаемыми конструкциями, созданием КИП с контейнеризованными лабораториями, оптимальным решением вопросов по стабилизации, балластировке, позиционированию и другим корабельным качествам.

По условиям эксплуатации и особенностям архитектурно-конструктивного типа КИП значительно отличаются, как от крупных научно-исследовательских судов (НИС) для проведения комплексных экспедиций по изучению удаленных акваторий и малоисследованных частей Мирового океана типа «Академик Курчатов» ($D=6000-7000$ т), превосходя их по размерам и водоизмещению, так и от пассажирских судов, приблизившись к последним по развитости надводных объемов, включая надстройку. В тоже время НИС и ПС являются наиболее близкими прототипами для КИП. Отмеченное позволяет при проектировании новых КИП, наряду с опытом строительства и эксплуатации ранее созданных пунктов, использовать накопленный опыт создания крупных НИС и пассажирских судов, как наиболее отвечающих опыту эксплуатации и архитектурно-конструктивным особенностям.

Как было отмечено в разделе 3, отечественный опыт создания КИП нового поколения остановил свой выбор на корпусе с небольшим уклоном бортов на миделе ($3-7^\circ$), учитывая, что подобные борта положительно сказываются на характеристиках диаграммы статической остойчивости неповрежденного и поврежденного судна. Последние выводы по транспортным судам о возможности безопасного с точки зрения швартовки увеличения для них уклона бортов на миделе до $10-13^\circ$ [17] говорят о том, что и на перспективных КИП этот уклон также должен быть рассмотрен, проанализирован и по результатам анализа может быть реализован.

Можно предполагать также, что поиск по выбору оптимальных форм корпуса, позволяющих решить стоящие перед этими судами задачи, и, в первую очередь, по остойчивости и стабилизации, будет продолжен. Неравномерность загрузки КИП вызывает резкую качку в начале рейса и недостаточную остойчивость в конце его. Для решения аналогичной проблемы в пассажирском судостроении пришли к необходимости создания корпуса с булевыми обводами в сред-

ней части судна [26], [56]. Такая форма корпуса, характерная для итальянских лайнеров постройки 1945–1975 гг., позволяет получить удовлетворительные параметры качки путем снижения остойчивости формы, увеличить остойчивость судна в балластном пробеге по сравнению с судном в грузу и уменьшить сопротивление благодаря созданию хороших условий продольного обтекания и плавности формы корпуса. Эти преимущества вполне компенсировали незначительный прирост массы, стоимости конструкции корпуса и некоторое снижение призматического коэффициента. Можно предполагать, что аналогичная форма корпуса, примененная для КИП и дополненная при необходимости по указанным выше причинам развалом бортов в надводной части, могла бы снять проблемы неравномерности загрузки КИП в течении рейса и связанные с этим проблемы стабилизации. При этом должна быть дана предварительная экономическая оценка целесообразности подобной конструкции с учетом значительного усложнения технологичности корпуса.

Трудности при создании однокорпусного исследовательского судна, характерные и для КИП, – обеспечение хорошей остойчивости и получение достаточных площадей на верхней палубе для размещения лабораторий – заставляют обратить внимание проектировщиков КИП на катамараны – суда с двумя корпусами. К настоящему моменту построены пассажирские катамараны, катамараны для спасательных операций и исследовательских работ, катамараны для промысловых работ. Многие зарубежные институты заняты изучением особенностей проектирования катамаранов. Особенно это наблюдается в США. Исследовательские катамараны по сравнению с классическими однокорпусными судами обладают следующими преимуществами [27]:

- относительно большими размерами площадей на верхней палубе;
- более удобными условиями работы с тяжелой и громоздкой заборной аппаратурой;
- лучшими условиями для размещения лабораторных помещений;
- лучшей остойчивостью и непотопляемостью;
- большей эффективностью энергетической установки;
- большими скоростями хода.

На катамаранах не нужны успокоители качки и активные рулевые средства, так как они обладают хорошими маневренными качествами и достаточной устойчивостью даже в условиях сильного волнения.

К недостаткам катамаранов особенно с низкорасположенной палубой можно отнести:

- очень короткий период качки на волнении (3,5–4 с);
- большее по сравнению с однокорпусными судами сопротивление при малых числах Фруда;
- сильный слеминг в районах соединительного настила.

Усилия проектантов НИС направлены на поиск решений, с помощью которых можно ослабить влияние упомянутых выше отрицательных качеств катамаранов. Необходимо отметить, что исследования по возможности применения катамаранов в качестве НИС ограничиваются водоизмещениями 3–3,5 тыс. т, что значительно отличается от водоизмещений эксплуатируемых КИП.

Для достижения приемлемых параметров качки на волнении США проводили работы с целью изучения возможности создания самоходных плавучих пунктов радиолокационного обнаружения, слежения и радиосвязи на основе платформ, опирающихся цилиндрическими колоннами на погруженные корпуса и имеющих поэтому значительно меньшую качку на волнении по сравнению с обычными судами [58]. В основу разработки были положены результаты проектирования полупогруженной плавучей буровой установки сверхглубокого бурения «Мохол». Предполагалось, что, решая различные задачи радиослежения и радиосвязи, такие плавучие погружные установки могли бы обеспечить большую точность измерений при более низкой стоимости постройки и эксплуатационных расходов. В 1966 г. в США были проведены работы по проектированию такой плавучей установки под названием «Делос». Проектные исследования получили положительное заключение, но реализованы не были. Можно предполагать, что поиски по созданию оптимальных форм корпуса для КИП будут продолжены, как в части реализации одно-, так и многокорпусного (катамаранного) судна, а также судов с малой площадью ватерлинии.

Наряду с оптимальной формой корпуса проектанты стараются выбрать и оптимальную энергетическую установку (ЭУ) для КИП.

К ней предъявляются требования большой автономности, широкого диапазона скоростей, высокой маневренности. При выборе ЭУ учитываются масса, площади, объемы, расходы топлива, практическая реальность поставки оборудования в требуемые сроки и, в конечном счете, стоимость. Для мирового опыта создания КИП характерным является применение в качестве главных двигателей дизелей и паровых турбин. Причем первые в большей мере соответствуют отечественному опыту, а вторые опыту США. Необходимо отметить, что энергетические установки КИП первого поколения, созданные в корпусах транспортного флота, переоборудованию не подвергались, и, стало быть, их выбор в большей мере был обоснован оптимальностью использования на транспортных судах. При выборе ЭУ НИС проектанты стремятся обеспечить:

- плавное регулирование скоростей хода, особенно на малых ходах;
- экономичность работы энергетической установки на долевых нагрузках.

Выбирая энергетическую установку для НИС, обычно рассматривают следующие типы двигателей:

- паровые турбины и дизели с редукторной передачей на гребные валы;
- дизели с прямой передачей на гребные валы с ВРШ;
- малооборотные дизели с прямой передачей на гребные валы с винтами фиксированного шага;
- дизель- электрические и турбоэлектрические энергетические установки.

Как отмечается в технической литературе, только с помощью электродвижения можно выполнить все требования к ЭУ НИС. При этом электродвигатели значительно уменьшают шум и допускают плавную регулировку скоростей хода судна. Электродвигатели гораздо компактней, чем паровые турбины, и поэтому их легче разместить на судне.

Следует отметить целесообразность в перспективе рассмотрения использования для НИС, включая КИП, движительно-рулевых колонок в качестве энергетических установок в исполнении среднеоборотного дизельного варианта или варианта с электродвижением. Этот тип ЭУ обладает повышенной компактностью и отсутствием

необходимости установки рулевого устройства и кормовых подруливающих устройств.

Отечественный опыт создания КИП показывает, что дизельные установки имеют также достаточно высокий моторесурс, маневренность и обладают в целом высокими технико-экономическими показателями. Следует отметить, что для КИП определенную привлекательность представляет и атомная энергетическая установка (АУ), которая позволяет сократить судовые запасы, и, стало быть, создать КИП, эксплуатирующийся практически при постоянной ватерлинии, что важно для решения вопросов остойчивости, непотопляемости, стабилизации судна и особенно привлекательно с точки зрения постоянства упругой линии судна, основное назначение которого—проведение измерений. При АУ не требуется дымовая труба, что позволяет освободить палубу для размещения антенных постов. Таким образом, в качестве ЭУ перспективных КИП можно ожидать применение дизелей дизель-электрических ЭУ и АУ.

Выбор типа и мощности энергетической установки, наряду с отмеченным, в большой степени связан с максимальной скоростью хода, поэтому правильное ее назначение очень важно для КИП. С одной стороны, скорость определяет мобильность КИП и в этой части КИП первого поколения имели определенные ограничения, так как их скорость зависела от мощности ранее установленной для транспортного судна ЭУ. Скорость КИП нового поколения несколько выросла, однако ее рост ограничивается рациональным подходом к ее величине. При назначении максимальной скорости КИП необходимо учитывать, что его работа происходит на малых ходах или в дрейфе. Переход из порта приписки в рабочий район осуществляется на скорости длительного хода, определяемой необходимостью своевременного прибытия судна в район работы. В большинстве случаев работа КИП планируется заранее и время, затрачиваемое на переход в район работы, не является критерием в выборе и не требует максимальной скорости хода. В этом случае максимальная скорость хода выступает как скорость, необходимая для обеспечения незапланированных аварийных ситуаций: например, быстрого перехода в аварийный район и при необходимости

осуществления в нем быстрого поиска. В этой ситуации для решения указанной задачи могли бы быть использованы корабельные вертолеты, как выносные измерительные пункты, обладающие большей мобильностью по отношению к КИП их базирования. С учетом изложенного можно предполагать, что максимальная скорость КИП будет ограничена 17–19 узлами, а вертолеты будут иметь широкое применение особенно на КИП ПСК.

Как было отмечено ранее, круг задач КИП довольно широк и часто меняется, что требует увеличения числа КИП и их частой модернизации. Обеспечение приспособляемости НИС к изменению задач стараются достичь за счет выполнения лабораторий с оборудованием в виде контейнерных модулей, приспособленных для быстрого демонтажа или монтажа и подключения к судовым системам. Контейнеры в этом случае устанавливаются либо на открытой палубе, либо загружаются во внутрь судна через специальную рампу по горизонтальному коридору или грузятся кранами через люки. Контейнирование лабораторий перспективных КИП может быть реализовано с разрешением вопросов принципиального конструктивного внутреннего деления корпуса. Это прежде всего оптимальная расстановка поперечных и продольных переборок, второго дна, конструкции и расположения коридоров трасс и труб. Оптимальный архитектурно- конструктивный тип будущих КИП тесно связан с рациональными средствами требуемых качеств судна с целью обеспечения его основного назначения и с разумным обоснованием предпочтения тем или иным качествам судна. Это прежде всего балластировка судна, стабилизация, предъявляемые требования по ходкости, живучести, степени оснащенности оборудованием.

Так, например, при решении вопросов о рациональной балластировке КИП на первое место выходит вопрос о возможности и экономической целесообразности безбалластного варианта КИП, о границах вариантов судов, балластируемых в рейсе по мере расходования судовых запасов при различных коэффициентах их расходования на момент балластировки. Тесно связанная с вопросами остойчивости и непотопляемости задача стабилизации требует совершенствования КИП при учете отечественного и зарубежного опыта их

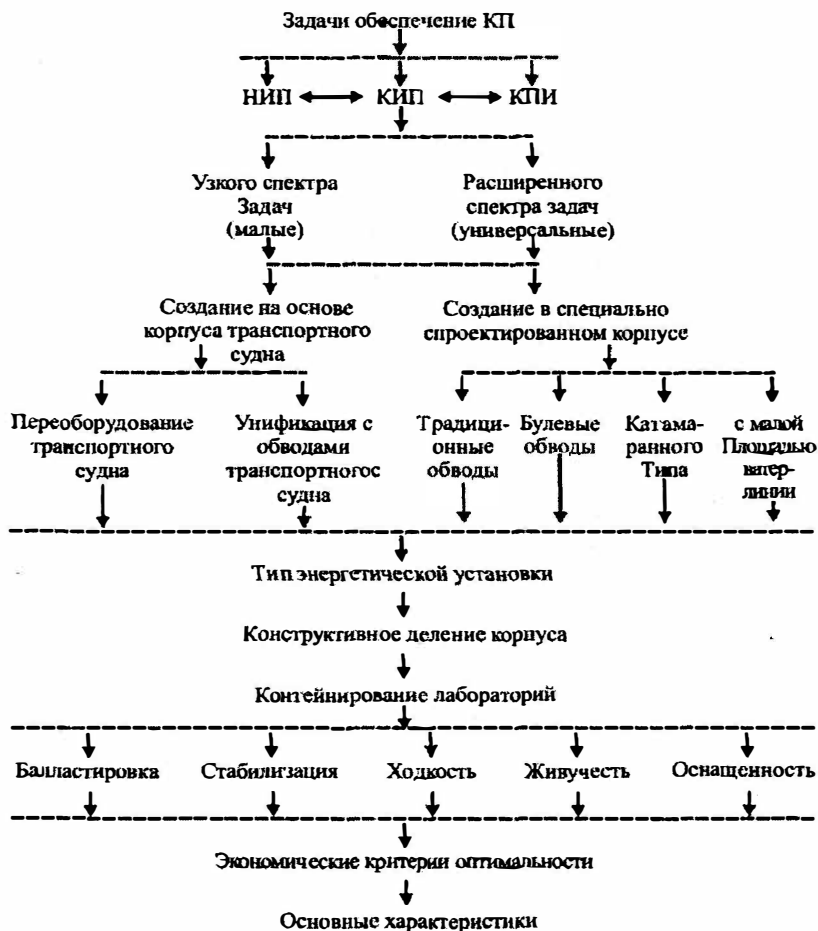


Рис. 50. Блок-схема проблемного спектра КИП

создания и эксплуатации.

Изложенный материал по предполагаемому развитию перспективных КИП позволяет сделать следующие выводы:

- с развитием международного сотрудничества по освоению космоса можно предполагать о возможности и ожидать дальнейшей необходимости создания перспективных КИП;

- исходя из уточнения поставленных задач и условий эксплуатации КИП будет осуществляться поиск и совершенствование формы корпуса перспективных КИП, включая нетрадиционные формы;
- будут продолжены изыскания по выбору оптимальных типов энергетической установки с установлением рациональных максимальных скоростей хода;
- продолжатся поиски более рациональных схем внутреннего конструктивного деления корпуса с одновременным решением вопросов по контейнеризованию лабораторий, совершенствованием видов стабилизации и отработки схем балластировки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ардашев Б.П., Рязанцев Ю.И.* Новое судно космической службы "Академик Николай Пилюгин". Судостроение, 1992, №10.
2. *Ашик В.В.* Относительная метацентрическая высота как проектная характеристика остойчивости. Судостроение, 1975, №8.
3. *Ашик В.В.* Проектирование судов. Л. Судостроение, 1985.
4. *Безбородов В.Г., Жаков А.М.* Суда космической службы. Л. Судостроение, 1980.
5. *Бронников А.В.* Особенности проектирования морских транспортных судов. Л. Судостроение, 1971.
6. *Бронников А.В.* Морские транспортные суда. Л. Судостроение, 1984.
7. *Будницкий Ю.А., Пилипенко. Г.П., Чукавин А.Г., Петухов В.С.* Морские пассажирские суда. Л. Судостроение, 1989.
8. *Букшев А.В.* Определение высоты двойного дна в начальных стадиях проектирования судна. Судостроение, 1978, №2.
9. *Векслер В.М.* Обоснование выбора главных размерений танкера. Судостроение, 1959, №6.
10. *Векслер В.М.* Некоторые вопросы проектирования танкеров. Л. Судостроение, 1967.
11. *Венскаускас К.К.* Оборудование спутниковых систем связи. (Фотоинформация). Судостроение за рубежом, 1986, №6.
12. *Горьков В., Дрогов В.* В океане как на суше. Авиация и космонавтика, 1986, №1, №3.
13. *Гундобин А.А., Дорофеев Э.Г.* Типы неуправляемых переточных каналов, применяемых для устранения аварийного крена. Труды ДВПИ, вып.107, 1975.
14. *Жаков А.М.* Как управляют спутниками. Лениздат, 1986.
15. *Захаров Б.Н.* О высоте двойного дна в районе грузовых трюмов на лесовозах перспективной постройки. Труды ЛКИ: Современные проблемы проектирования судов. Л., 1982.
16. *Захаров Б.Н.* Возможность создания безбалластных лесовозов. Судостроение, 1985, №5.
17. *Захаров Б.Н.* Суда для перевозки лесных грузов. Л. Судостроение, 1988.
18. *Каменецкий Ю.Т., Балабаев Г.М., Златопольская О.М.* Новое научно-исследовательское судно "Академик Сергей Королев". Судостроение, 1971, №9.
19. *Конторович Б.М.* Некоторые особенности конструкции судов космической службы. Судостроение, 1990, №3.
20. *Коронин В.И.* Новый корабль науки. Судостроение, 1977, №8.
21. Космический флот и управление космическим полетом (под редакцией А.М.Жакова). С.-Петербург. Судостроение, 1992.
22. *Кузин В.И., Никольский В.И.* Военно-морской флот СССР 1945–1991. Историческое Морское общество. С.-Петербург, 1996.
23. *Кузьменко А.В.* Некоторые проектные характеристики судов космической службы. Судостроение, 1982, №8.

24. Кузьменко А.В., Рязанцев Ю.И. Учет качки при проектировании судов космической службы. Судостроение, 1984, № 11.
25. Ларкин Ю.М. Некоторые соотношения главных элементов пассажирских судов. Судостроение, 1969, № 3.
26. Ларкин Ю.М. Современное состояние и тенденции развития пассажирского судостроения. Судостроение, 1970, № 10.
27. Медведев Н.Ф. Суда для исследования Мирового океана. Л. Судостроение, 1971.
28. Мореншильд В.А., Гольдин А.И. Современное состояние и тенденции развития усложнителей качки с бортовыми управляемыми рулями. Судостроение за рубежом, 1982, № 4.
29. Новая специализированная РЛС Cobra Judy на борту судна наблюдения «Observation Island» T-AGM-23 ВМС США. (Фотоинформация). Судостроение за рубежом, 1982, № 11 (191).
30. Ногид Л.М. Теория проектирования судов. Л. Судостроение, 1955.
31. Ногид Л.М. Остойчивость судна и его поведение на взволнованном море. Л. Судостроение, 1967
32. Регистр СССР. Инструктивные материалы. Вып.110, 1988.
33. Регистр СССР. Правила классификации и постройки морских судов, 1985.
34. Регистр СССР. Правила классификации и постройки морских судов, 1990.
35. Регистр. Руководство по техническому надзору за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий. Часть 4, 1992.
36. Романов П. Оптимальная балластировка танкеров. Морской флот, 1977, № 8.
37. Рубашка В. Европа–Америка–500. Морской сборник, 1993, № 4.
38. Рупперт Э.Э. Теория корабля. Плавучесть и остойчивость. Кн.1. ГТИ, 1935.
39. Рязанцев Ю.И. Построение совмещенного графика элементов и характеристик судна при выборе главных размерений с использованием ЭВМ «Наирн». Сборник рефератов НИОКР. Вып.3(7), 1974.
40. Рязанцев Ю.И., Кузьменко А.В. Особенности определения нагрузки масс судов космической службы. Судостроение, 1991, № 10.
41. Рязанцев Ю.И. Особенности расчетов нагрузки масс с использованием ЭВМ. Судостроение, 1987, № 2.
42. Рязанцев Ю.И. Назначение минимальной метacentрической высоты судов космической службы. Судостроение, 1987, № 7.
43. Рязанцев Ю.И. Определение размерений судов космической службы на ранних стадиях проектирования. Судостроение, 1988, № 7.
44. Рязанцев Ю.И. Архитектурно- конструктивные особенности судов космической службы и их учет при проектировании. Судостроение, 1990, № 3.
45. Рязанцев Ю.И. Зарубежные корабли слежения за космосом. Судостроение, 1993, № 7.
46. Рязанцев Ю.И. Выполнение требований «Кодекса по безопасности судов специального назначения» при проектировании судов космической службы. Судостроение, 1994, № 4.
47. Садовников А. Космическая вахта в океане. Морской флот, 1974, № 2.
48. Санитарные правила для морских судов СССР. М. В/О «Мортехинформреклама», 1984.

49. Семенов-Тянь-Шанский В.В., Благовещенский С.Н., Холодилин А.Н. Качка корабля. Л. Судостроение, 1969.
50. Силин Ю.П., Малеев П.И. Исследовательский флот зарубежных стран и перспективы его развития в 90-х годах. Судостроение за рубежом, 1991, № 12.
51. Смукул А. Зарубежные суда обеспечения космических полетов. Морской флот, 1971, № 9.
52. Соколов Д.Г., Ардашев Б.П., Рязанцев Ю.И. Роль ЦКБ «Балтсудопроект» в создании кораблей-измерительных комплексов. Судостроение, 1995, № 7.
53. Соколов Д.Г., Рязанцев Ю.И. Мировой флот КИП. Морской флот, 1995, № 9–10.
54. Соколов Д.Г., Рязанцев Ю.И. Российские корабли в обеспечении международных космических программ и укреплении дружбы между народами. В сб. 290 лет ГП «Адмиралтейские верфи», НТОС им. акад. А.Н. Крылова, Совет НТОС ГП «Адмиралтейские верфи». Материалы по обмену опытом, вып. 24, С.-Петербург, 1995.
55. Устинов Н.Г. Корабли слежения за космосом. М., Изд-во М.О., 1969.
56. Челпанов И.В. Пассажирские суда и паромы. В сб. Итоги науки и техники. Судостроение, т. 7, М., 1975.
57. Шмырев А.Н., Моренишльд В.А., Ильин С.Г., Гольдин А.И. Успокоители качки судов. Л. Судостроение, 1972.
58. Aerospace Technology, 1968, Vol 21, №23, p.34–35.
59. Forum №1/94, p.26–27.
60. Jane's Fighting ships, 1986–87.
61. MER, 1991, August, p.30.
62. Rivista marittima, 1989, №10, p.136.
63. Shipbuilding International, December, 1971, p.49–50.
64. Shipbuilding and Shipping Record, August 18, 1966, p.226–227.
65. Surveyor, 1967, 1, №4, p.2–9.
66. TAM, 1972, 1-15/12, № 233, p.13.

Научное издание

Киреев В.Н., Круглов В.Н., Рязанцев Ю.И.
КОРАБЕЛЬНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПУНКТЫ
Особенности проектирования
 Редакционно-издательский отдел

Подписано в печать 22.02.07 Формат 60×84 $\frac{1}{16}$. Бумага офсетная
 Усл. печ. 6,5 л. Тираж 100 экз.

196158, Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44
 ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова



Ки́реев Вале́рий Николаевич

Родился в 1958 году. Окончил Ленинградский кораблестроительный институт в 1981 году. Начальник-главный конструктор ЦКБ "Балтсудопроект". Заслуженный конструктор Российской Федерации.



Круглов Вале́рий Николаевич

Родился в 1941 году. Окончил Ленинградский кораблестроительный институт в 1964 году. Работает в ЦКБ "Балтсудопроект". С 1983 по 1999 год главный инженер ЦКБ "Балтсудопроект".



Рязанцев Ю́рий Ива́нович

Родился в 1944 году. Окончил Ленинградский кораблестроительный институт в 1968 году. Работает в ЦКБ "Балтсудопроект". Ведущий инженер-конструктор по общему проектированию КИП "Маршал Неделин", заместитель главного конструктора проекта КИП "Академик Николай Пилюгин".