

# ВЕСТНИК ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Научный и общественно-политический журнал Президиума ДВО РАН

Журнал основан в 1932 г.

Издание прекращено в 1939 г., возобновлено в 1990 г.

Дальнаука -1 (107). 2003

## СОДЕРЖАНИЕ

### К 70-летию ДВО РАН

Выездное юбилейное заседание Президиума ДВО РАН на Горнотаежной станции. 1 ноября 2002 г. (Цветная вклейка)

### Биология. Экология

- Е.И.БОЛОТИН, Г.Ш.ЦИЦИАШВИЛИ. Пространственно—временное прогнозирование функционирования очагов клещевого энцефалита.....5
- А.А.ГОРЯИНОВ, Т.А.ШАТИЛИНА. Динамика уловов азиатской горбуши и макросиноптические процессы над Северным полушарием в XX в.....20

### Физика. Физическая химия. Современные технологии

- В.И.ИВАНОВ, Ю.М.КАРПЕЦ. Перспективные среды для динамической голографии.....32
- М.В.МИРОНЕНКО, П.А.СТАРОДУБЦЕВ. Метод низкочастотной гидроакустической томографии и измерительная система контроля морских акваторий.....36
- Л.А.КУЗНЕЦОВА, И.В.СМИЛЕТОВА. Нетрадиционный способ управления распределением электроосажденной меди по электроду.....41
- В.Н.ХРАМУШИН. Исследования по оптимизации формы корпуса корабля.....50

### Экономика

- Е.И.ДЕВАЕВА, П.А.МИНАКИР. Региональные аспекты российской внешней торговли.....66

### История. Археология

- А.В.АЛЕПКО. Зарубежная историография об иностранном экономическом проникновении на русский Дальний Восток до 1917 г.....80
- С.С.ЛЕВОШКО. «Владивосток — тихоокеанский Константинополь» и другие символы градостроительной политики России на Дальнем Востоке во второй половине XIX-начале XX в.....89
- Н.П.КРАДИН. Православные храмы в городах Китая.....97
- А.С.ЗУЕВ. Русские поселения на севере Дальнего Востока (К вопросу о дате и месте основания первого русского острога на р. Олютор и датировке карты Ивана Львова).....108
- Д.Л.БРОДЯНСКИЙ. Первые узнаваемые персонажи «чашечных» петроглифов в бойсманской неолитической культуре.....114

### Научное сообщение

- И.М.СМОЛЕИЧУК. Уровень конкурентности приморского рынка товаров легкой промышленности по оценкам производителей.....122

### Архив науки

- Гидрографические работы I Тихоокеанской гидрографической экспедиции на западном побережье Северной Кореи и в заливе Ялу (ноябрь-декабрь 1948 г.). А.И.ГРУЗДЕВ.....129

### Ученые Дальнего Востока

- К 60-летию члена-корреспондента РАН Валентина Ароновича Стоника. В.И.КАЛИНИН.....140

### Книги

- О книге В.А. Алксесенко «Экологическая геохимия». П.И.ИВАШОВ.....145

### Хроника

- Международная конференция о развитии регионов нового освоения. Б.А.ВОРОНОВ, А.Н.МА-ХИНОВ, З.Г.МИРЗЕХАНОВА.....149

## BULLETIN OF THE FAR EASTERN BRANCH, RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

№ 1, 2003

## CONTENTS

### To the 70th Anniversary of FEB RAS

The external jubilee session of the Presidium of FEB RAS at the Mountain—Taiga Station. November 1, 2002 (The color inset)

### Biology. Ecology

- E.I.BOLOTIN, G.Sh.TSITSIASHVILI. The spatial and temporal prognosis of the tick-borne encephalitis foci functioning.....5
- A.A.GORYAINOV, T.A.SHATILINA. Dynamics of the Asian pink salmon catches in the main fishery regions and macrosynoptical processes over the Northern hemisphere in the XX century.....20

### Physics. Physical chemistry. Current technologies

- V.I.IVANOV, Yu.M.KARPETZ. Promising media for the dynamical holography.....32
- M.V.MIRONENKO, P.A.STARODUBTSEV. Method of a low-frequency hydroacoustical tomography and measuring system of the marine environment monitoring.....36
- L.A.KUZNETSOVA, I.V.SEMILETOVA. Uncommon way of control of electroplated copper distribution upon the electrode.....41
- V.N.KHRAMUSHIN. Research on optimization of the ship hull configuration.....50

### Economy

- P.A.MINAKIR, E.I.DEVAEVA. The regional aspects of the Russian foreign trade.....66

### History. Archaeology

- A.V.ALEPKO. The foreign historiography about the foreign economical penetration in the Russian Far East until 1917.....80
- S.S.LEVOSHKO. «Vladivostok is the Pacific Constantinople» and other symbols of the Russian town-planning policy in the Far East in the second half of the XIX — the beginning of the XX centuries.....89
- N.P.KRADIN. The Orthodox temples in the China towns.....97
- A.S.ZUEV. The Russian colonies in the north of the Far East (On date and place of the first Russian stockade foundation on the Olyutora River and dating of the Ivan L'vovs map).....108
- D.L.BRODYANSKY. The first recognized characters of the «cup» petroglyphs in the Boisman Neolithic culture.....114

### The scientific report

- I.M.SMOLEYCHUK. A level of competitiveness of the light industry market in Primorye in producers' opinion.....122

## Исследования по оптимизации формы корпуса корабля

Изложены подходы к поиску основных проектных решений для кораблей и судов повышенной штормовой мореходности. Разработаны принципы непротиворечивой оптимизации формы корпуса и общекорабельной архитектуры, основанные на технико-историческом анализе проектов известных кораблей и на практическом опыте морского судоходства в сложных условиях плавания, подтвержденные теоретическими исследованиями и опытовыми экспериментами. Показана возможность существенного улучшения мореходных качеств корабля при плавании в условиях штормового ветра и волнения. Приводится комплекс инженерно-технических решений, с использованием которых разработан эскизный проект формы корпуса и общекорабельной архитектуры для оптимизированного универсального транспортного судна.

### Research on optimization of the ship hull configuration.

V.N.KHRAMUSHIN (Special Research Bureau for Automation of Marine Researches, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk).

Approaches to search of basic design decisions for ships and vessels with improved storm seakeeping are considered. Principles of the non-contradictory optimization of the hull form and naval architecture are developed. They are based on the technical and historical analysis of projects of well-known ships and the seamanship experience under heavy sail conditions and confirmed by the mathematical research and towing basin experiments. Possibility of the essential improvement of propulsion and other nautical qualities of a ship in the storm and heavy sea conditions is shown. A complex of the technical decisions, which have been used to develop a draft of the hull form and naval architecture of optimized universal cargo ship, is offered.

Эффективность морских транспортных коммуникаций, рыбных промыслов и защиты морских рубежей в существенной степени определяется способностью судов двигаться произвольным курсом и выполнять производственные задачи при свежем ветре и волнении (рис. 1).

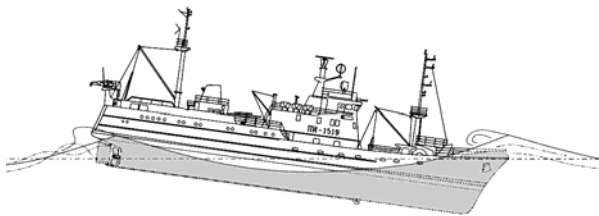


Рис. 1 Траулер, скатывающийся под волну

Проектные решения, реализуемые в современном кораблестроении, дают большое разнообразие в форме корпуса, его подводных обводах, в принципах построения общекорабельной архитектуры. Они существенно отличаются от аналогичных технических решений конца XIX-начала XX в., хотя с того времени не изменялись принципы приведения корабля в движение, не обновлялись теоретические подходы или экспериментальные методы в проектировании, не появилось также и принципиально новых математических моделей по гидродинамике плавания корабля в штормовом море. Различия во внешнем облике современных кораблей одного класса, скорее, свидетельствуют об отсутствии критериев оптимальности при их проектировании, чего нельзя сказать о кораблях конца XIX в., в проектах которых реализовывались существенно более сложные технологические решения [6]. Поэтому весьма актуальным представляется анализ принципов проектирования исторических кораблей и судов с целью поиска перспективных технических решений по улучшению мореходных качеств, определяемых гидродинамическими свойствами формы корпуса и аэродинамическими особенностями общекорабельной архитектуры.

## Хорошая морская практика

Технико-исторический анализ мореходности выявляет три способа поддержания штормового хода и обеспечения безопасности мореплавания. Два из них — штормование лагом к волне и активный штормовой ход по волне — применяются капитанами в прибрежном плавании, безопасность которого связывается с возможностью быстрого ухода под береговые укрытия при угрозе штормового ветра. Эти методы используются и на современных маломерных судах — буксирах, малых сейнерах, прогулочных яхтах. Однако если перед мореплавателями ставилась задача длительного плавания в открытом море, то строились (или модифицировались, на примере шлюпов «Восток» и «Мирный») суда, способные безопасно штормовать без хода, удерживаясь на курсе «носом на волну».

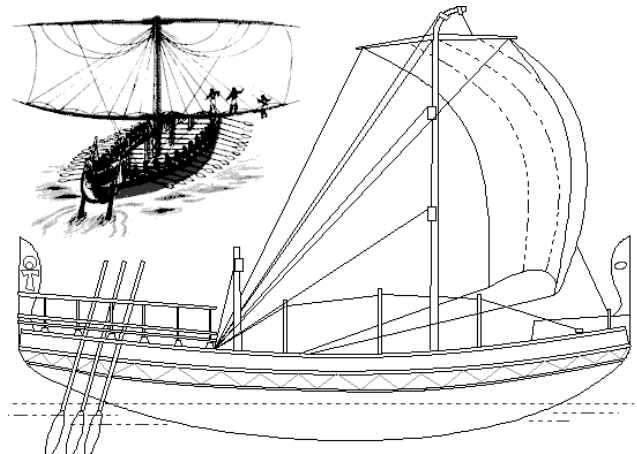
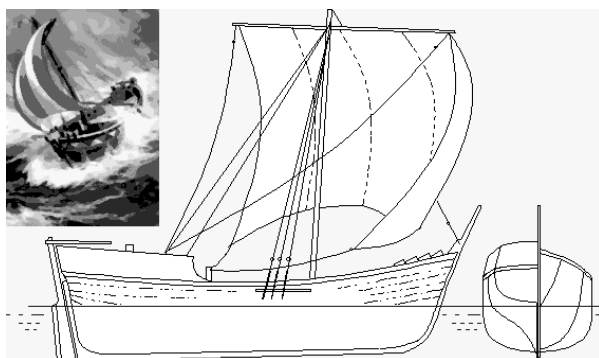


Рис. 2. Египетское судно хорошо приспособлено для плавания с частыми подходами к пологому необорудованному берегу

<sup>1</sup> ХРАМУШИН Василий Николаевич — кандидат технических наук (Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований ДВО РАН).

Штормовое плавание в режиме лагом к волне используется речниками при плавании на лодках по штормовым водохранилищам. Мореходные качества речных лодок вполне соответствуют судам викингов и древним египетским судам, форма корпуса которых обладает симметрией относительно миделя, развалом бортов и большой седловатостью линии борта (или палубы), поднимающейся высоко над водой в оконечностях (рис. 2). Такой корпус иногда представляется как широко раскрытый конверт, который хорошо отслеживает наклоны поверхности волны, что очень важно для поддержания возможности работы гребцов на веслах, а в случае усиления волнения судно удерживается на штормовом курсе с помощью кормовых весел. Высокие штевни обеспечивают незаливаемость в оконечностях, а наиболее крутые «девятые валы» молодых волн не попадают в корпус через борт, так как по своей природе гребни обладают свойствами стоячей волны. Такие суда обладают ограниченной штормовой мореходностью, достаточной только для быстрого ухода под береговые укрытия до развития свежего ветра в штормовой.



**Рис. 3. Рыболовное судно русских поморов. Образец корпуса, допускающего активное маневрирование в штормовом море**

К этому же классу ограниченной мореходности можно отнести режим плавания с активным штормовым ходом по волне, использовавшийся русскими поморами в северных морях. Поморские суда были чисто парусными (рис. 3), с очень небольшой командой. У судов не было плоского днища, а форму корпуса можно сравнить с плавающим закругленным бочонком, который менее всего реагирует на штормовые гидродинамические нагрузки. Судно должно было двигаться на попутных ветрах с максимальной скоростью, чтобы своевременно укрыться от штормовых волн на берегу при северных ветрах или в битых льдах при ветрах южных. Безопасность такого плавания зависит от искусства судовождения кормчего (рулевого), так как отклонение от курса грозит срывом

паруса, с последующим захватом корпуса попутной волной и гибелью судна.

Таким образом, ширококорпусные суда применимы для весельных или колесных судов, так как они позволяют удерживать плоскость палубы параллельной к волновым склонам. При таком режиме плавания на корпус оказываются огромные силовые нагрузки со стороны морского волнения, требующие соответствующего повышения прочности корпуса. Существенное снижение волновых нагрузок возможно, если средняя часть корпуса вместе с палубными надстройками будут образованы контурами, близкими к окружности. В этом случае штормовые волны трохoidalной природы, в которых частицы жидкости также движутся по круговым орбитам, будут оказывать минимальное кренящее воздействие на корпус корабля.

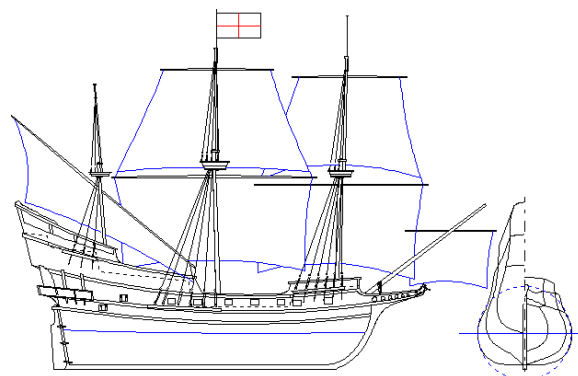
Эпоха великих географических открытий, так же как и дальние походы древних финикийцев, опирается на использование формы корпуса корабля и общекорабельной архитектуры, допускающих длительное штормовое плавание без активного участия экипажа в управлении кораблем. Именно за счет специальной формы корпуса, обеспечивающей непротивление штормовой стихии, средневековые мореплаватели получили возможность с уверенностью встречать ураганные океанские ветры, удерживая свой корабль на курсе носом на волну (рис. 4).

Малый тоннаж океанских кораблей Колумба и Магеллана свидетельствует об истинном совершенстве корабельных и навигационных наук того времени. Корабли сочетают гармоничность общекорабельной архитектуры со строгостью гидромеханических решений при проектировании формы корпуса. Раскрой парусного вооружения идеально соответствует особенностям гидродинамики корпуса в условиях штормового плавания.

Мореходные качества обусловлены следующими проектными особенностями формы корпуса этих кораблей.

1. Нарушение симметрии корпуса относительно мидельшпангоута со значительным смещением центра величины и центра бокового гидродинамического сопротивления в нос судна. Установленный с этой целью носовой бульб благоприятно сказывается на устойчивости движения навстречу волнению и стабилизации продольной качки.

2. Смещение в корму парусности надводной части корпуса за счет высокой кормовой надстройки служит хорошим средством для использования силы ветра при приведении корабля носом на волну. Очень низкий бак парусных судов означает, что мореплаватели не боялись попадания воды на палубу через фор-



**Рис. 4. Галион «Голден Хинт». Идеальный корабль для океанского плавания. Штормовые режимы плавания обеспечиваются исключительно специальной формой корпуса. При усилении штормового ветра экипаж убирает все паруса и судно подобно флюгеру выходит носом на волну**

штейвень. Любопытными деталями корпуса являются гальюн<sup>1i</sup> и княвдигед<sup>2ii</sup>, которые разрушают монолитность фронта гребня штормовой волны, падающего на носовую палубу.

3. Плавный подъем днища в корме и нависание кормовой оконечности высоко над водой раскрепощают рыскание. На древних судах активно использовалось кормовое рулевое весло, которое при штормовом маневрировании играет роль плавникового движителя и, пожалуй, единственного эффективного средства управления малым судном в свежую погоду, когда бортовые весла становятся неуправляемыми, а парус используется только для придания корпусу свойств «штормового флюгера».

### Непротиворечивое логическое проектирование

На примерах исторических весельных и парусных кораблей просматривается системный подход к проектированию как к замкнутой системе инженерно-технических решений, отвечающих принципу непротивления силовому воздействию морского волнения, в соответствии с неформализованными представлениями мореплавателей о хорошей морской практике.

Непротиворечивое, или оптимальное, проектирование может быть разделено на последовательные этапы комплексного изучения проблемы. Последовательность этапов образует направления исследований «сверху вниз» — от общих требований к кораблю к частным техническим решениям по его конструкции, или «снизу вверх» — от доступных технических решений к оптимальному по назначению кораблю в целом. Комплексное решение задачи непротиворечивой оптимизации возможно в том случае, если удовлетворены все требования к кораблю как на проходе по логическим этапам «сверху вниз», так и в строго обратном направлении «снизу вверх».

Если целью оптимизации выбрана максимально допустимая стабилизация корпуса корабля при плавании в условиях интенсивного морского волнения, то при анализе технических решений по принципу «сверху вниз» проектирование корабля включает три этапа.

1-й этап. Скалярный. Определяется основное назначение, или тип, корабля, которое описывается «линейным» набором (перечислением) требований. Такие требования редко бывают непротиворечивыми.

2-й этап. Векторный. Каждое из требований к кораблю формализуется внутри своеобразного проектного базиса, в котором каждое направление исследований является независимым, математически — ортогональным. В случае поиска непротиворечивых решений для корабля повышенной штормовой мореходности базисными направлениями могут стать: 1) ходкость, в том числе на волнении; 2) стабилизация корпуса при плавании и маневрировании на волнении; 3) безопасность штормового и аварийного плавания.

На векторном этапе исследования взаимозависимы, а главная цель такого логического проектирования — качественная оценка этой зависимости.



Рис. 5. Логическая схема проектной стадии изучения штормовой мореходности. Показано разделение комплекса требований к кораблю на три независимых направления исследований, образующих триичную матрицу системы поиска непротиворечивых проектных решений. Направление сверху вниз соответствует переходу от теории к практике, слева направо — от анализа общих вопросов к конкретным техническим решениям

3-й этап. Тензорный. Здесь не разрабатываются новые технические решения, но анализируются, по формальному признаку, уже проработанные на векторном этапе. Выстроенные в виде троичной логической матрицы, новые технические решения должны допускать «операцию обращения», по форме похожую на обращение математической матрицы. Если обратная матрица существует и сохраняет логическую связь между проектными элементами, то комплекс технических решений снова формализуется в виде скалярной точки отсчета и обратного логического базиса, задающего направления векторного анализа «снизу вверх».

При возврате к исходному уровню скалярный этап становится тензорным, допускающим анализ достаточности принятых в самом начале решений: удовлетворяют ли разработанные проектно-технические решения основному предназначению нового корабля?

По аналогии с решением сложных математических задач, на первой стадии проектных исследований имеется только комплекс требований к будущему кораблю, составляющий систему необходимых условий (рис. 5). Далее исследуется опыт мореплавания; проводятся теоретические разработки и опытно-экспериментальное изучение новых технических решений. Разбивая каждое направление на три группы задач, формируем искомую троичную матрицу, совместный анализ результатов элементов которой образует систему непротиворечивого проектирования.



Рис. 6. Логическая матрица поверочного анализа проекта нового корабля с эксплуатационных позиций

По завершении проектного этапа возникает концептуальный проект нового корабля, который может характеризоваться как нетрадиционный в целом или в основных элементах его архитектуры. В этом случае становится актуальным столь же комплексный поверочный анализ принятых технических решений с эксплуатационных позиций, по результатам которого возможно заключение об оптимальности нового проекта корабля — его эксплуатационной и экономической эффективности (рис. 6).

## О прототипах современных кораблей

Основным выводом из результатов анализа мореходности исторического флота является утверждение о существовании системного подхода к проектированию кораблей конца XIX-начала XX в., о существовании вполне определенных и взаимозависимых правил по обеспечению мореходности корабля.

1. Носовой таран-бульб, как и на галере, служит средством для стабилизации корпуса и сохранения устойчивости на курсе в условиях волнения. Тем более важно, что для высокой скорости хода, по сравнению с галерой на веслах, этот бульб способствует уменьшению волнового сопротивления на спокойной воде.

2. Заострение оконечностей и малая полнота надводных объемов в носу и корме способствуют ходкости на волнении, уменьшению килевой качки и предотвращению слеминга.

3. Завал бортов в средней части корпуса предотвращает концентрированные удары волн по надводному борту корабля, а округлый мидельшпангоут и в целом веретенообразный и симметричный относительно центральной линии корпус не допускают сильного рыскания и потери хода при движении практически любым курсом относительно штормового волнения.

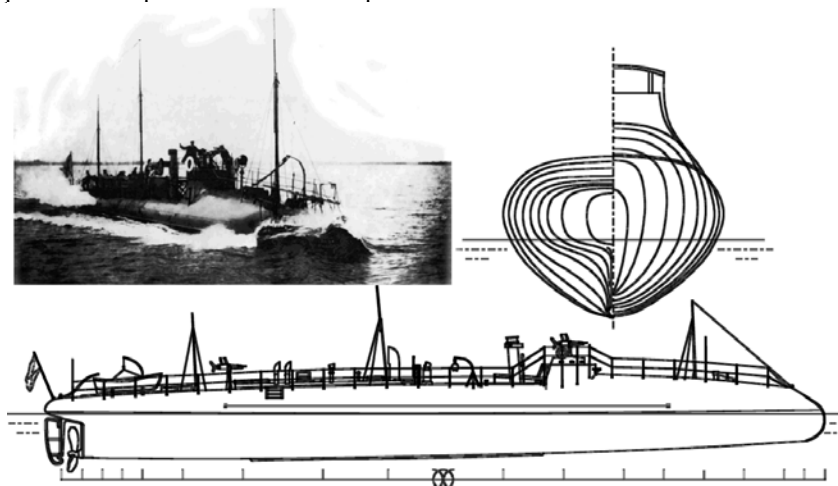
4. У всех кораблей отмечается срез форштевня под водой ниже тарана, что способствует устойчивости на курсе при накренениях на качке и в то же время позволяет корпусу свободно рыскать при косой встрече с крупными волнами и зыбью.

5. Так же как у средиземноморской галеры, строятся узкие корпуса кораблей для достижения высокой скорости хода.

6. Зауженная общая ширина палубы и длинные продольные надстройки служат целям сохранения штормовой остойчивости в условиях повышенной заливаемости верхних палуб.

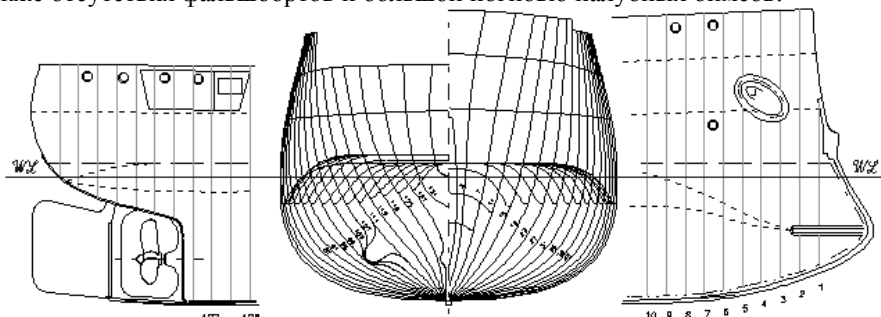
7. Достаточно низкий надводный борт и малая парусность надстроек дают возможность управления кораблем и маневрирования в условиях сильных ветров.

Несомненно, что в обводах корабля, построенного в начале XX в., находят отражение компромиссные решения между покорностью и противостоянием морской стихии.



**Рис. 7. Миноносец типа «Измаил».** Корабль пользовался штормовым ходом в режиме прорезания волн. Известно, что в 1887 г. миноносцу устраивались ходовые испытания на шестибалльном волнении, где он показывал 15,5 узла идя навстречу волне и зарываясь по ходовую рубку и 17 узлов — при ходе по волне. По теоретическому чертежу видно, что нос не обладает свойством всхожести на волну, в то же время развал шпангоутов в районе кормового подзора обеспечивает прижатие корпуса к поверхности волны на ходу корабля, что необходимо для стабилизации работы гребного винта и руля в условиях крупного волнения

Идеальную архитектуру корпуса, по всем названным критериям, имели многие эскадренные броненосцы, а также эсминцы (рис. 7) и крейсера (рис. 8), построенные в конце XIX—начале XX в. Не меньшей мореходностью обладали и линейные корабли первой половины XX в., имевшие заниженные и заостренные бак и ют и сосредоточенный в средней части корпуса основной объем. Это обеспечивало устойчивое движение на волнении, при котором не возникало интенсивной килевой качки и, соответственно, опасность заливаемости оконечностей исключалась за счет уменьшения общей площади и непрерывности верхних палуб бака и юта, а также отсутствия фальшбортов и большой погибью палубных бимсов.



**Рис. 8. Крейсер «Аврора».** В корпусе крейсера реализованы те же мореходные качества, что у миноносца «Измаил». Их суть — это непотопляемость в штормовой стихии. Хорошо виден завал бортов. На верхней палубе отсутствуют большие непрерывные площади. Довольно любопытно устроена внутрикорпусная прочная и непрерывная палуба, погиб которой образует второй внутренний борт. Очевидна технологическая сложность корпуса, в обводах которого нет ни одной прямой линии [1]. Как в те времена проектировали бы корпус корабля, если бы внутренние объемы не определялись громоздкостью судовых машин?

В зависимости от назначения корабля, типа его двигателей и заданного района плавания, все необходимые и достаточные технические решения реализуются либо в виде основных элементов формы корпуса и общекорабельной архитектуры, либо как дополнительные судовые устройства, используемые в особых условиях плавания. Корабли конца XIX в., к примеру, на случай возможной остановки главных двигателей оборудовались облегченным рангоутом и такелажем, позволявшими быстро устанавливать штормовое парусное вооружение и не терять управление кораблем в штормовых условиях. Флаг на гафеле кормовой мачты являлся главным свидетельством готовности корабля к установке косого паруса — бизани.

Современные суда обладают огромными запасами мощности главных двигателей, которая может быть противопоставлена энергии штормовой стихии. Критерием безопасности мореплавания выступает только надежность винторулевых комплексов, в условиях чрезмерных штормовых перегрузок грозящих остановками. Если, исходя из экономической или иной целесообразности, корабль не обеспечивается должной мореходностью для всех эксплуатационных режимов плавания, то очень важно информировать судоводителя о возможных опасностях морского плавания для такого корабля. Капитан и ходовая вахта должны овла-

деть альтернативными методическими и техническими средствами по наиболее безопасному управлению кораблем в штормовых или других особых условиях плавания, не предусмотренных проектом.

Важно также отметить, что проектирование корабля, являющегося чрезвычайно сложным инженерным сооружением, в очень большой степени зависит от уровня морской грамотности инженера-проектировщика, работающего в области знаний, где отсутствуют формализованные или математические методы оптимизации технических решений. Это означает, что некоторые этапы проектирования могут быть отнесены скорее к искусству [2], чем к решению замкнутых технических проблем.

Таким образом, можно выделить три главных блока исследований при проектировании корабля:

- 1) оптимизация частных технических решений, допускающих их математическую формализацию или экспериментальную проверку в опытовых бассейнах и на испытательных стендах;
- 2) эвристические методы поиска технических решений, опирающиеся на опыт эксплуатации морских судов в сложных условиях плавания, а также на знания неформализованных правил хорошей морской практики;
- 3) разработка правил судовождения и эксплуатации судовых устройств — особенно в тех случаях, когда в проекте допускаются ограничения по штормовой мореходности или безопасности в особых условиях плавания.

### Эвристические проектные решения

Проектирование корабля, приспособленного к плаванию в штормовых условиях, является наиболее ярким примером развития эвристических представлений о наилучшей форме корпуса, которые привели к большому разнообразию во внешнем облике кораблей и судов, построенных в течение XX в. Математические решения задач гидромеханики в этой области еще не получены, экспериментальные исследования слишком сложны и не всегда показательны, однако техническая эстетика в проектировании современного корабля виделась совсем не на последних ролях [5], в ущерб его мореходным качествам.

При проектировании же исторических кораблей XIX в. широко использовался капитанский опыт судовождения в сложных условиях плавания, в котором аналитические решения обосновывались практическим видением процессов, возникающих в реальных условиях эксплуатации корабля. В частности, особенности проведения сложных маневров корабля моряки-практики иллюстрируют графическим представлением гидродинамических потоков на винто-рулевых комплексах и их влияния на перераспределение гидродинамических сил у корпуса корабля. Аналогичный метод графической визуализации волновых потоков может быть использован для обоснования необходимости завала надводного борта корабля в средней части корпуса корабля. Такой анализ показывает (рис. 9), что форма корпуса и надстроек исторического крейсера «Аврора» обеспечивает минимальность воздействия волнения на корпус, в то время как у современного корабля даже бортовые кили способствуют усилению крена под воздействием ударов волн и бокового дрейфа [3].

Килевой качки невозможно избежать полностью, по крайней мере пока не найдено соответствующих простых проектно-технических решений. Однако остаточную килевую качку можно эффективно гасить силами демпфирования, возникающими в районе скуловых шпангоутов, которые должны иметь довольно сложную форму, обеспечивающую своеобразное затягивание (закручивание) под днище набегающего потока и гашение расходящейся корабельной волны.

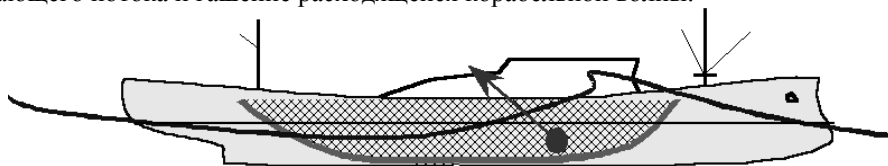


Рис. 10. Схема воздействия на корабль встречного волнения, показывающая динамические особенности качки, связанные с формальным понятием волнообразующей — волновоспринимающей длины корпуса корабля, при его взаимодействии с «правильной» прогрессивной штормовой волной

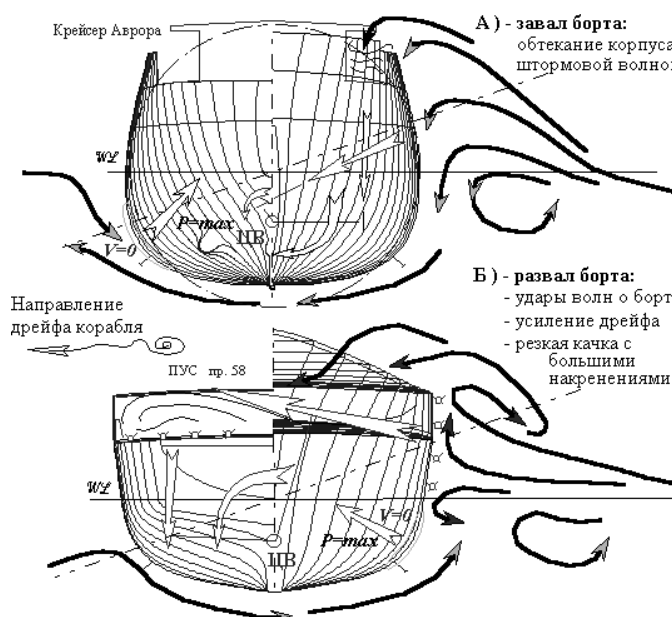


Рис. 9. Характер взаимодействия корпуса с волнением.

- А — кренящее воздействие волны существенно снижается в случае завала борта в средней части корпуса;  
 Б — если корпус имеет развал бортов, то бортовые кили и распределение давлений в подводной части корпуса будут усиливать кренящие моменты от штормовых волн



Демпфирование килевой качки может быть связано со своеобразной «волновоспринимающей» длиной (рис. 10), которая в расчетах корабельного волнообразования соответствует устаревшему понятию «волнообразующей» длины корпуса. Допуская такой «принцип обратимости», получаем, что минимизация корабельного волнообразования за счет проектирования специальной формы корпуса уменьшит также и килевую качку на внешнем волнении. Простейшие оптимизационные геометрические построения (рис. 10) возможны для последнего интерференционного минимума волнового сопротивления на скорости хода  $Fn=0,4$ , при которой силы волнового сопротивления образуются преимущественно из расходящейся корабельной волны. Оптимальная форма корпуса будет соответствовать историческим аналогам корпусов с ярко выраженными скулами, для которых таран-бульб создает условия «закручивания» потока под днище корпуса, а плавниковый ахтерштевень способствует гашению этого вихревого потока.

### Теоретические обоснования ходкости и стабилизации корабля на волнении

Современные математические модели корабельного волнообразования и взаимодействия корпуса корабля с морским волнением не позволяют получить законченных численных решений об оптимальной форме корпуса, что связано со слабой разработанностью трехмерных моделей вычислительной гидромеханики. Ограниченные вычислительные мощности современных компьютеров также не допускают построения многовариантных процессов оптимизации формы корпуса с использованием известных численных схем для решения трехмерных задач гидромеханики со свободными поверхностями.

Практическая оптимизация формы корпуса может быть выполнена с применением интеграла для расчета волнового сопротивления «узкого» судна, полученного Джоном Генри Мичеллом в 1898 г. [7]. Повторные математические выкладки и физико-геометрическая интерпретация гидродинамических процессов в интегралах Мичелла [4] показали, что в реальности этими уравнениями описывается процесс отражения от корпуса корабля внешних волн (рис. 4) в диапазоне длин:  $\lambda \in [0 \div \Lambda = 2 \cdot \pi \cdot V_0^2/g]$ .

Следовательно, справедлив вывод о том, что минимизация волнового сопротивления корабля на всех скоростях хода, включая закритически высокие, одновременно будет обеспечивать минимизацию силового взаимодействия корабля с внешним морским волнением. Аналогичный вывод иллюстрировался на рисунках 9 и 10 с помощью эвристических гипотез.

Рис. 11 показывает, что инженерная интерпретация особенностей корабельного волнообразования не вполне адекватно учитывает реальную картину, так как «теоретически» регулярные внешние волны при отражении от широкого корпуса корабля претерпевают очень сильные частотные (доплеровские) искажения, а в оконечностях корпуса происходит не отражение, а накопление волновой энергии. Соответственно, для корректного учета особенностей корабельного волнообразования снова необходимо искать инженерные (эвристические) подходы с использованием геометрической и динамической интерпретации потоков жидкости вблизи корпуса, и особенно в его оконечностях.

Математическая оптимизация подводных обводов и надводной формы корпуса корабля, по сути, является поиском технических решений, обеспечивающих прохождение штормовой волны через корпус с минимальными искажениями. Однако аналогичные математические модели описывают отражательные свойства формы корпуса под воздействием гидроакустических или радиолокационных волн, откуда следует дополнительное предположение, что оптимизация штормовой мореходности способствует скрытности корабля в море, а исторические корабли начала XX в. удовлетворяли требованиям современных стелс-технологий.

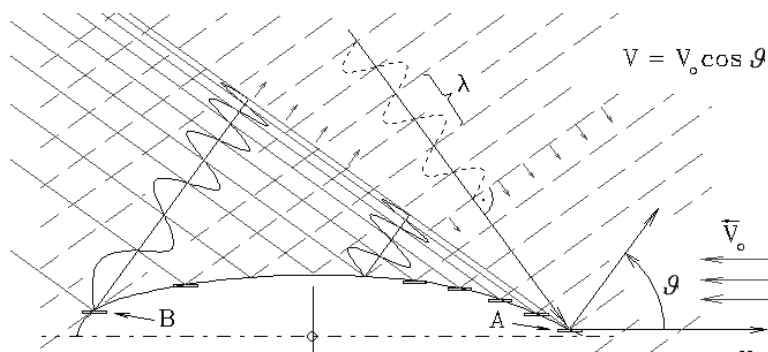
### Экспериментальная проверка проектных решений

Исходя из технико-исторического анализа, по результатам систематических расчетов нами разработаны обоснования и методические предложения для построения оптимальной формы корпуса в целом и его обводов на локальных участках бортовой обшивки и спроектирована форма корпуса гипотетического корабля с уменьшенными моментами инерции площади действующей ватерлинии (МИДВ), с моделью которого проводились сравнительные испытания штормовой ходкости и мореходности в гравитационной системе опытового бассейна Санкт-Петербургского государственного морского технического университета.

$$R_x = \pi \rho V_0^2 \int_0^{\pi} A^2(\vartheta) \cdot \cos^3 \vartheta d\vartheta$$

$$A(\vartheta) = \frac{g}{2\pi V_0^2} \left| \int_{\Omega} q(x_0, y_0) \frac{e^{k(-z_0 + i\omega_0)}}{\cos^3 \vartheta} d\Omega \right|$$

$$\omega_0 = x_0 \cos \vartheta + y_0 \sin \vartheta$$





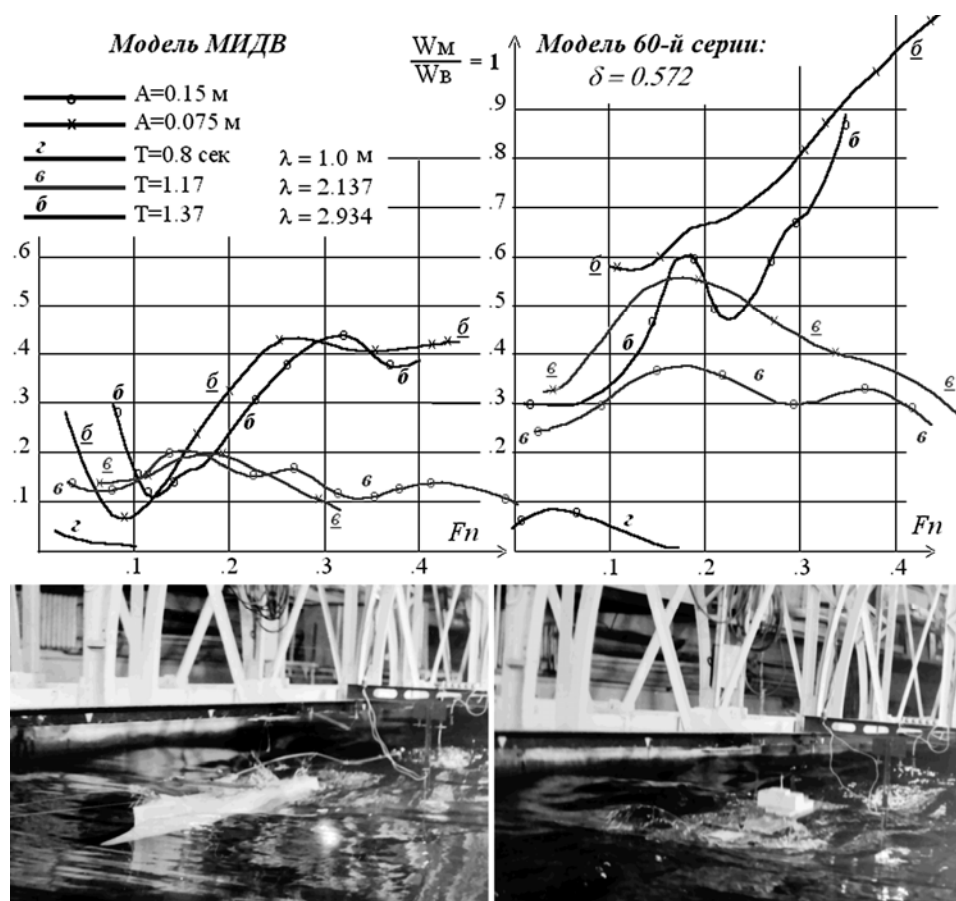


Рис. 12. Экспериментальное сравнение величин ускорений в оконечностях корпуса для оптимизированной модели судна с уменьшенными моментами инерции площади действующей ватерлинии (МИДВ) и стандартной модели быстроходного судна 60-й серии, при движении на регулярном волнении. На скорости хода  $F_n=0,4$  порождается собственная корабельная волна, равная длине корпуса модели. На кривых б — длина волны  $\lambda$ , больше длины корпуса модели  $\lambda=2,5$  м; в — меньше длины корпуса; г —  $\lambda=1,0$  м. Кружочками помечены кривые с амплитудой волны ( $A$ ), равной осадке модели, крестиком — половине осадки. Величины ускорений  $W_M/W_B=0,1$  соответствуют порогу комфортности обитания на корабле, при  $W_M/W_B>0,2$  условия обитания становятся невыносимыми

Испытаниями подтверждено улучшение мореходных качеств корабля в условиях интенсивного волнения, в частности: 1) малая потеря хода; 2) хорошая устойчивость на курсе; 3) существенное снижение как килевой (рис. 12), так и бортовой качки; 4) уменьшение заливаемости и полное исключение зарываемости корпуса под волну; 5) исключительная пассивность корпуса по отношению к крупным штормовым волнам, которая наблюдалась даже при отсутствии хода и управляемости. Одним из важных результатов исследования явилось обнаружение возможности улучшения мореходных качеств за счет форсирования хода или выбора особого курса относительно штормового волнения.

### Предложения к проектированию корабля с хорошей штормовой мореходностью

Сформулируем основные требования к мореходным качествам, на основе которых разработана новая гипотетическая модель формы корпуса универсального транспортного судна (рис. 13) и его общекорабельной архитектуры.

1. Корабли ВМФ, научно-исследовательские и рыбопоисковые суда в любых погодных условиях должны обеспечиваться следующими мореходными качествами: а) стабилизация корпуса (как платформы для оборудования); б) поддержание активного движения в любых погодных условиях (имеются в виду заданный курс и скорость).

2. Суда спасательной и патрульной службы должны иметь возможность поддержания хода на произвольном курсе относительно штормового волнения, а также активно маневрировать в любых погодных условиях.

3. К транспортному судну с маломощными двигателями не всегда возможно предъявление требований о всепогодной эксплуатации, однако поддержание хода в условиях интенсивного волнения является чисто экономическим требованием. Судно должно сохранять активный ход на интенсивном волнении для уклонения от циклонов, а при встрече с ураганскими штормами — иметь возможность пассивного штормования в режиме носом на волну, обеспечивающем минимальные нагрузки на винто-рулевой комплекс, корпус и груз.

4. Пассажирские, рыбообрабатывающие и другие гражданские суда с большими экипажами должны быть приспособлены к безопасному штормованию при остановленных главных двигателях и в других аварийных ситуациях. Мореходные качества обеспечиваются специальной формой корпуса и дополнительными судовыми устройствами (парусами, плавучими якорями и др.).

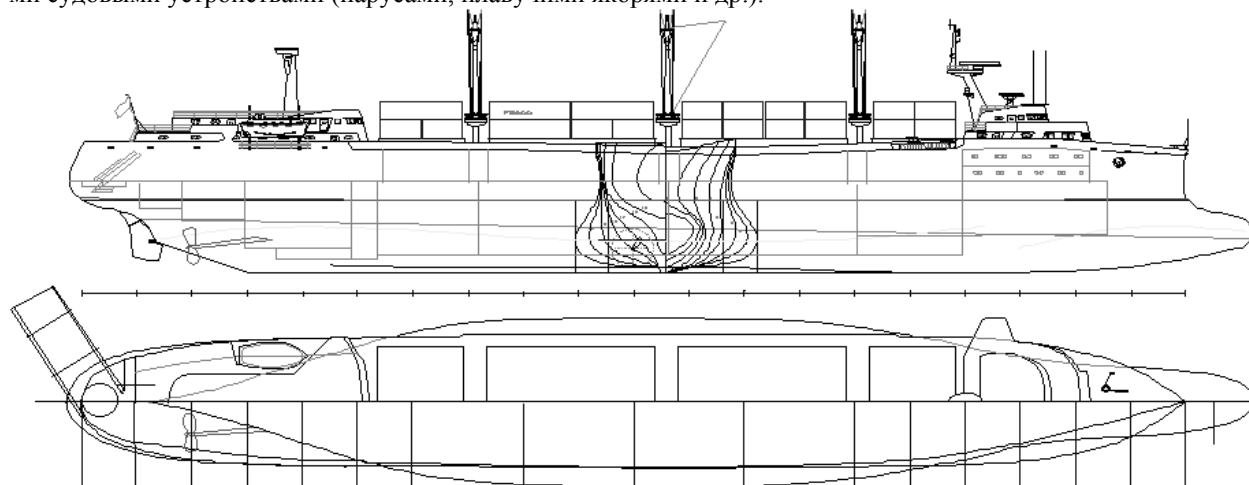


Рис. 13. Эскиз универсального транспортного судна с формой корпуса и общекорабельной архитектурой, удовлетворяющими вышеперечисленным требованиям к мореходности

Следуя вышеописанным проектным требованиям, в предполагаемый проект нового корабля могут быть включены шесть взаимосвязанных технических решений:

1) смещение центра величины в нос до приведения на одну вертикаль с динамическим центром бокового сопротивления. Это обеспечит стабилизацию качки при движении на волнении и создаст предпосылки для безопасного штормования без хода;

2) существенное уменьшение площади, а также поперечного и продольного моментов инерции действующей ватерлинии и заострение ее в оконечностях, что позволит уменьшить силовое воздействия умеренного волнения и сохранить ходкость в условиях плавания на океанской зыби;

3) исключение развала бортов, широкой и непрерывной верхней палубы (а также наклона вперед надводной части форштевня). Во время штормового плавания это снимет проблему чрезмерной качки и ударов волн как по корпусу, так и по палубе, а также создаст условия для активного управления штормовым ходом судна;

4) существенное уменьшение надводных объемов корпуса в оконечностях. Приведение надводного центра парусности к средней части корпуса улучшит штормовую управляемость. Обеспечение завала борта на уровне действующей ватерлинии стабилизирует ход на косом волнении без чрезмерного усиления качки и рыскания, так как корпус перейдет в режим прорезания волн;

5) перенос надводных объемов в кормовую часть корпуса (конечно же, без образования широкого транца и плоского кормового подзора), по правилу: нос загружается в подводной части, а кормовой объем нависает над водой, в том числе и за кормовым перпендикуляром. Таким образом будут выполнены требования безопасного штормования в режиме «штормового флюгера» курсом носом на волну;

6) существенное уменьшение парусности и высоты надстроек с переносом соответствующих помещений внутрь гидродинамически обособленного корпуса.

«Красота корабля» определяется отсутствием на его борту ненужных вещей. Попутно снимаются ограничения на выбор штормового курса, обусловленные заливаемостью, а также решается проблема ветрового крена. Уменьшение размеров палубных надстроек благоприятно скажется на сохранении остойчивости при обледенении.

Разработанные технические решения не должны противоречить мореходным качествам, важным в других эксплуатационных режимах плавания: ходкость на спокойной воде обуславливается бульбовыми обводами и округлыми шпангоутами, вмещающими наибольший объем в минимальную поверхность судовой обшивки; исключение отрыва пограничного слоя в районе руля и движителей достигается плавностью продольных образующих формы корпуса; проходимость во льдах может быть достигнута в режиме подламывания льда снизу, что также решает проблему ледовой защиты движителей.

В заключение еще раз подчеркнем, что непротиворечивое проектирование корабля подразумевает комплексное исследование современных технических решений, опыта эксплуатации и хорошей морской практики по управлению кораблем в сложных условиях плавания, а также отработку всех аспектов судовождения нового корабля, особенно в режимах ограниченной мореходности. Это трудоемкий и очень дорогостоящий процесс. В наших работах обоснованы только начальные проектные предпосылки относительно формы корпуса и общекорабельной архитектуры, однако результаты их теоретического и экспериментального анализа показали возможность существенного улучшения штормовой мореходности современных кораблей и судов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Буров В.Н., Юхнин В.Е.** Крейсер «Аврора». Памятник истории отечественного кораблестроения. Л.: Лениздат, 1987. 162с.
2. **Джилмер Томас С.** Проектирование современного корабля. Л.: Судостроение, 1984. 220 с.
3. Жизнь и деятельность кораблестроителя **В.П. Костенко**. СПб.: Галея-Принт, 2000. 204 с.
4. **Павленко Г.Е.** Сопротивление воды движению судов. М.: Водтрансиздат, 1953. 507 с.
5. **Павлюченко Ю.Н.** Основы художественного конструирования судов. Л.: Судостроение, 1985. 264с.
6. **Хмельнов И.Н., Турмов Г.П., Илларионов Г.Ю.** Надводные корабли России: история и современность. Владивосток: Уссури, 2000. 445 с.
7. **Michell J.H.** The wave resistance of a ship // Philosophical Magazine. Ser. 5. L., 1898. Vol. 45. P. 106—123.

---

<sup>i</sup> Гальюн — проникаемая для воды решетчатая площадка перед форштевнем парусного корабля, которая легко затапливается волной снизу и не обеспечивает всхожести корпуса на волну.

<sup>ii</sup> Княвдигед — прочная корпусная конструкция, являющаяся ответвлением вперед от форштевня, обычно завершающаяся массивным носовым украшением.