

§ 1. Технико-исторический анализ мореходности

(с)85-08, В.Н. Храмушин, СахНИРО - ДВО РАН - СахГУ
г. Южно-Сахалинск

(English version)

По материалам доклада на Всесоюзной конференции Советского национального общества истории философии естествознания и техники (СНОИФЕТ), "Историческое развитие представлений о наилучшей форме корпуса", представленного в феврале 1985 года.



Содержание

- 1.1 [Древние инженерные решения по мореходности судна.](#)
 - [Штормовое плавание лагом к волне](#)
 - [Активное штормование с ходом по волне](#)
 - [Штормование носом на волну](#)
 - 1.2 [Средневековое кораблестроение.](#)
 - [О постановке задачи непротиворечивого проектирования](#)
 - 1.3 [Расцвет парусного флота и эволюционный переход к механическому движению.](#)
 - [Гидродинамические особенности бортовой качки кораблей конца XIX – начала XX веков](#)
 - 1.4 [О современных проектных решениях.](#)
 - 1.5 [Предварительные предложения о корабельной архитектуре](#)
- [Литература](#)

Список рисунков:

- Рис.1 [Древнее египетское судно.](#)
- Рис.2 [Финикийское морское торговое судно](#)
- Рис.3 [Рыболовное судно Русских поморов.](#)
- Рис.4 [Древний военный корабль.](#)
- Рис.5 [Средиземноморская галера.](#)
- Рис.6 [Галион "Голден Хинт".](#)
- Рис.7 [Миноносец типа "Измаил"](#)
- Рис.8 [Крейсер "Аврора"](#)
- Рис.9 [Эскадренный броненосец "Цесаревич"](#)
- Рис.10 [Характер взаимодействия корпуса с внешним морским волнением](#)
- Рис.11 [Траулер скатывающийся под волну.](#)
- Рис.12 [Океанский спасатель и пассажирский лайнер.](#)
- Рис.13 [Форма корпуса современного корабля](#)
- Рис.14 [Эскиз универсального судна.](#)

Начало XX века может быть охарактеризовано интенсивным развитием торгового мореплавания, которое требовало большого количества новых морских судов, строившихся в условиях научно-технической революции. Это эпоха становления железного кораблестроения и всеобщего перехода к механическим энергетическим установкам, сделавшим корабль реально автономным и независимым от состояния морской стихии. Эпоха, - характеризующаяся внедрением сложнейших наукоемких технологий в морскую практику. Реализацией всех этих достижений стала заниматься самостоятельная кораблестроительная наука, таковым было требование интенсификации инженерно-технологических работ, а морская практика и навигационные науки, к сожалению, со временем заметно ослабили свое влияние на принятие проектных решений при строительстве нового флота.

*Не ветер с жестокого румба
Рвет с волн кисею эполет,
А киль каравеллы Колумба
Взбурунный выбросил след.
Форштевни безропотных барок,
Галер горемычных ряды
И утлая лодка Бомбара
Оставили эти следы, ...
[Пантюхов И.М., 1975].
Вечный спор, стр 97,*

Известно, что древние корабли строились самими же мореплавателями, и проектирование нового корабля всегда выполнялось с учетом особенностей района плавания и режима эксплуатации будущего корабля. Можно сделать предположение, что если определенные проектные решения по форме корпуса и корабельной архитектуре сохранялись веками и тиражировались одновременно в нескольких странах, то соответствующие корабли можно считать вполне мореходными или оптимальными по условиям плавания и хорошей морской практики.

Древним кораблям-мореплавателям приходилось уделять существенно большее внимание безопасности штормового плавания, так как гребные весла непригодны в качестве движителей даже при умеренном волнении, а сильный шквальный ветер превращает парусное вооружение в источник серьезной опасности. Современное же судно, при условии поддержания работоспособности главного двигателя и рулевого устройства, в состоянии противопоставить морской стихии мощность своих машин, тем самым снижая требования к штормовой мореходности, обеспечиваемые ранее за счет непротивления, или пассивного снижения силового воздействия на корпус и надстройки корабля со стороны штормовых волн и ураганных ветров.

Историческая эволюция корабельной архитектуры главным образом связана с совершенствованием принципов и методов приведения корабля в движение, и лишь отчасти зависит от состояния кораблестроительных технологий как таковых. Последний тезис будет использован при анализе мореходных качеств наиболее характерных исторических кораблей и судов, форма корпуса и общекорабельная архитектура которых позволяет проследить логически связную эволюцию с древнейших времен и до начала XX века. В архитектуре же современных кораблей и судов одинакового назначения можно найти существенные отличия в их форме корпуса и архитектуре надстроек, что во многом обосновывает необходимость сравнительного анализа мореходных качеств, обусловленных столь различными обводами корпуса, формой и расположением палубных надстроек. Актуальность такого вопроса связана также с тем, что в последние десятилетия очень

быстро меняется представление о наилучшей форме корпуса, но за этот период не произошло каких-либо изменений в принципах обеспечения мореходности или в способе поддержания движения.

- *Чем вызвана современная эволюция формы корпуса судна?*
- *Лучше ли мореходные качества кораблей Второй Тихоокеанской эскадры вице-адмирала Зиновия Петровича Рожественского, в сравнении с современными кораблями такого же водоизмещения?*
- *Безопаснее и комфортнее ли океанское плавание на борту лайнера "United States", чем на лайнере "Константин Симонов" 1982г. постройки?*

Можно предположить, что связанная история развития представлений о наиболее мореходном корабле определялась практическим опытом мореплавания, который формализовался в систему эвристических и, по-видимому, неписаных правил. Эти правила потеряли свое определяющее значение с приходом к практическому проектированию поколения профессиональных инженеров - незнакомых с практическим судовождением. Этот рубеж отмечается во времени появлением и триумфом проекта эсминца типа "Новик". То есть, когда стремление к максимальному насыщению корабля оружием возобладало над свойственной мореплавателям заботой о хорошей мореходности.

По выражению Томаса Джилмера [Джилмер Томас С., 1984]: "Проектирование кораблей часто считают искусством...", он продолжает: "... Значение его как искусства недооценивается лишь теми конструкторами, воображение и творческая мысль которых ограничены... ". При проектировании судовых обводов, такое искусство будет актуальным вплоть до появления методов вычислительной оптимизации, учитывающей не только ходкость корабля на спокойной воде, но и весь комплекс вопросов штормового плавания на взволнованной поверхности моря. В настоящее же время неизвестно удовлетворительных оптимизационных решений как в задаче о ходкости, так и в задаче о мореходности. Нет таких решений и для поверочных расчетов по заданной форме корпуса, и не только в случае плавания на волнении, но даже и на спокойной воде.

1.1 Древние инженерные решения по мореходности судна.

Хронологически связанная история кораблестроения начинается с египетских папирусных лодок, датируемых 5000-3000гг до нашей эры. Но Египет тех времен не славился морскими походами, его флот предназначался для плавания по Нилу, и от корпуса судов в большей степени требовалось удобство при подходе к пологому берегу, нежели обеспечение плавания по взволнованному морю. Выбор специфической формы корпуса, с почти плоским днищем и плавными подъемами штевней, объясняется отсутствием в Египте благоустроенных портов и спусковых стапелей, что, видимо, объясняется также и частыми изменениями полноводности Нила. Известно, что фараон Нэхо (612-576гг. до н.э.), для организации внешней торговли и мореплавания, обращался к услугам финикийцев, государство которых находилось на богатой лесом территории современных Ливана и Сирии. Расцвет кораблестроения и морской славы Финикии приходится на 1200-700гг. до н.э.



Рис.1 Древнее египетское судно.

Корпус судна хорошо приспособлен для речного плавания с частыми подходами к необорудованному пологому берегу.

Это были крупные торговые суда с палубами, по форме корпуса и мореходным качествам похожие на ладьи викингов, а также военные корабли с тараном и даже, двумя рядами весел. О финикийцах по праву можно судить как о великих мореплавателях, - они имели колонии по всему побережью Средиземного моря, их знали далеко за пределами Гибралтарского пролива, в том числе на английских островах и даже за мысом Доброй Надежды. [Курти, 1977].



Рис.2 Финикийское морское торговое судно.

Подобно судам викингов, такое судно в состоянии удерживаться лагом к штормовой волне. В этом режиме плавания килевая качка демпфируется развалом шпангоутов в оконечностях, а большая поперечная остойчивость корпуса позволяет отслеживать поверхности волны, чем обеспечивается незаливаемость.

Морская слава финикийцев говорит о хорошей мореходности их кораблей и торговых судов, вполне достаточной для дальнего плавания. Принципы проектирования формы корпуса торговых судов дольше всего сохранялись в ладьях викингов и успешно используются ныне при строительстве небольших рыболовных судов. Аналогичные по мореходным качествам речные деревянные лодки, показывают наглядный пример уверенного хода по взволнованной поверхности волжских водохранилищ, держа курс "лагом к волне". Корпус подобных судов является наиболее ярким примером приспособляемости к свойствам ветрового волнения, при котором обеспечиваются наилучшие условия незаливаемости беспалубных судов, при очень интенсивном силовом взаимодействии корпуса с волнением для постоянного удержания борта над поверхностью взволнованного моря.

Штормовое плавание лагом к волне

Главными особенностями судовых обводов, обеспечивавшими штормовую незаливаемость беспалубного корабля, можно назвать следующие:

- Низкий надводный борт, не воспринимающий кренящего давления ветра, и широкий корпус, обеспечивающий хорошую поперечную остойчивость;
- Округлая форма мидельшпангоута и развал бортов на уровне действующей ватерлинии обеспечивает крутые ветви диаграммы статической остойчивости, что в совокупности с низким центром тяжести позволяет корпусу легко удерживаться на наклонной поверхности волны. Это необходимо для обеспечения незаливаемости;
- Зауженные и высокие V-образные шпангоуты в носу и в корме способствуют демпфированию килевой качки. При килевой качке такие шпангоуты расталкивают воду, создавая динамические условия незаливаемости в оконечностях;
- Судно делается симметричным относительно носа и кормы, что является главным условием непотопления стихии. Для удержания курса лагом к волне (т.е. вдоль волновых фронтов - когда корпус не пересекает волновые хребты), оказываются достаточными усилия гребцов на веслах, а при усилении волнения и потере хода, эта задача может быть решена с помощью только одного рулевого весла.

Такая форма корпуса хорошо использует свойства ветрового волнения при малой длине разгона свободных волн. (Длительный шторм в океане порождает волнение в форме суперпозиции волн зыби и активных молодых волн, что с позиций рулевого, делает непредсказуемым подход волны к корпусу и затрудняет маневрирование с целью уклонения от волны). Групповой характер ветрового волнения обуславливает появление крупных "девятого вала", которые всегда имеют четко выраженную продольную вытянутость, а по динамическим свойствам эти валы подобны стоячим волнам, то есть вершина вала не несет на корпус судна обрушающегося потока.

Кормчему необходимо следить, чтобы корпус судна удерживался лагом к волне, далее судно свободно кренился, удерживая палубу параллельно волновой поверхности. Незаливаемость в этом режиме плавания обеспечивается, даже если высота "девятого вала" в несколько раз превышает высоту корпуса судна (или речной лодки). Захватывающее и красивое плавание, когда со стороны видно как судно полностью погружается в пучину, затем на мгновение появляется на вершине волны в полной сохранности!

Мореходность такого судна не безгранична, и в случае нарушения характера качки за счет неуправляемого поворота судна, или при усилении шторма, первая губительная волна попадает в корпус в районе скулы или кормовой раковины.

Активное штормование с ходом по волне

Новый - дерзкий метод штормового плавания пришел на флот с введением парусного вооружения. Это штормовой ход по волне, который может использоваться современными спортивными яхтами. Древними аналогами таких парусников можно назвать: арабские парусники, китайские джонки и рыболовные суда русских поморов. Причем, для русских поморов такие режимы плавания обосновываются тем, что при усилении северного ветра в Баренцевом море, к примеру, рыбакам необходимо двигаться к берегу и укрываться в прибрежных шхерах.

Это необходимо еще и потому [Бадигин К.С., 1956], что их суда приспособлены к лову рыбы и плаванию во льдах, но не могут выдержать реальных северных штормов, и не имеют достаточной автономности для длительного плавания в ледяных полях в северной части Баренцева моря.

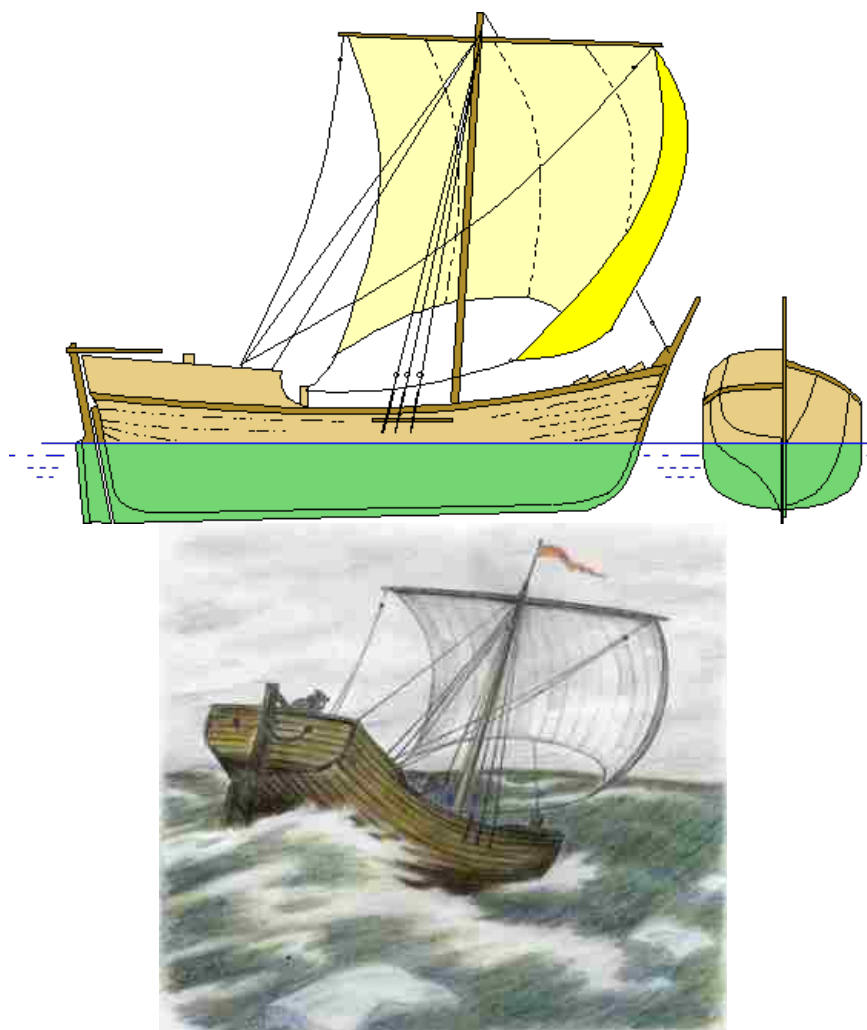


Рис.3 Рыболовное судно Русских поморов.

Образец корпуса, допускающего активное маневрирование в штормовом море, что необходимо для ухода в укрытие от реальной штормовой опасности. При этом обводы корпуса учитывают особенности штормового плавания по волне, под управлением штормовых парусов и навесного руля.

- Судно имеет полные кормовые обводы, с глубоко посаженным пером руля. При этом надводная часть кормы не должна нависать над водой, что необходимо для исключения захвата корпуса быстро движущимся гребнем попутной волны. Руль желательно иметь заглубленным настолько, чтобы его основная площадь всегда находилась на уровне подошвы волны, так как поток воды в гребне движется в попутном направлении и быстрее самого судна.
- Штормовой парус должен обеспечивать перемещение центра парусности в нос, что в совокупности с полной кормой и обтекаемыми носовыми обводами сделает возможным удержание курса по волне и по ветру. Здесь, носовая оконечность не должна иметь заостренного и килеватого форштевня, так как последнее будет перемещать центр динамического бокового сопротивления в нос и тем самым нарушать устойчивость на штормовом курсе.
- В отличие от древнего финикийского судна, такой корпус требует непрерывного и активного управления движением с помощью кормового руля. В случае, если корпус все же захватывается и ставится лагом к волне, то вывести судно на исходный курс можно только с помощью управления парусом, так как судно сразу же теряет ход.

Заливаемость верхних палуб при таком режиме плавания не исключена, но разрушительная сила попутной волны ослаблена ходом судна вперед и поэтому вода на палубе не представляет непреодолимых трудностей по управлению рулем и парусом.

Рассмотренные выше два типа корпуса представляют собой два проекта, в которых: первое судно является наилучшим для плавания на веслах, второе для плавания под парусами. Оба корпуса сохранились до наших дней: первый используется при изготовлении спасательных шлюпок и буксиров; второй - при изготовлении спортивных яхт и опять - буксиров спасателей - если брать во внимание архитектуру надстроек. Это хорошие малые суда, которые способны сохранять активность (ход и управляемость) при движении в условиях усиливающегося штормового волнения. Но это режимы плавания, в которых корпус судна подвергается большим перегрузкам, обусловленным штормовой качкой, поэтому обводы таких корпусов не могут быть использованы при проектировании крупных судов, по двум причинам:

- *Ограниченная безопасность штормового плавания - так как при усилении волнения, непредсказуемость появления волн и зыби вблизи корпуса превзойдут опыт и искусство рулевого, или же энергия волн и ветра превзойдут возможности экипажа по управлению парусным вооружением;*
- *Естественно, что такое судно, при необходимости поддержания хода и управляемости, будет предполагать интенсивный обмен энергией между корпусом и волнением. Это недопустимо для крупного судна, потому, что пропорциональное увеличение прочности корпуса нереализуемо, также, и по техническим причинам.*

Оба проекта древних судов, как для плавания лагом к волне, так и для активного штормования по волне, требуют повышенной начальной статической остойчивости, достигаемой за счет существенного увеличения ширины корпуса на уровне действующей ватерлинии, а также, за счет развала бортов, приводящего к увеличению площади верхних палуб, и как следствие, при усилении может приводить к опасной заливаемости беспалубного корпуса, или разрушительному разгону штормовых волн по широкой палубе.

И снова, обращаясь к Финикии, мы находим третье решение - как прообраз будущего всепогодного корабля. Это древний военный корабль - галера.

Штормование носом на волну

В отличие от торговых судов, военные корабли финикийцев не были симметричны относительно мидельшпангоута. Существует однобокое мнение, что таран-бульб галеры выполняет роль только боевого тарана, при этом не берется в расчет, что такое устройство очень затрудняет маневрирование. Если речь вести о ходкости и уменьшении волнового сопротивления, то для скорости хода галеры он, скорее всего, окажет отрицательное влияние увеличением смоченной поверхности корпуса.

Бульб также делает невозможным уверенное плавание под парусами, так как смещение центра бокового сопротивления корпуса в нос, делает корабль очень неустойчивым на курсе. Это устройство можно определить как революционное решение в судостроении, так как оно отменяло важнейшее свойство для судов прибрежного плавания - это возможность подхода к пологому берегу. Итак - финикийский военный флот строился для длинных морских вояжей, что соответствовало колониальной политике этой страны.

Вспомним, что на взволнованном море трудно управиться с веслами маленькой шлюпки и сделаем вывод, что галера должна быть приспособлена к безопасному штормовому плаванию без хода. Пусть это будет штормовое плавание без хода с удержанием курса носом на волну.

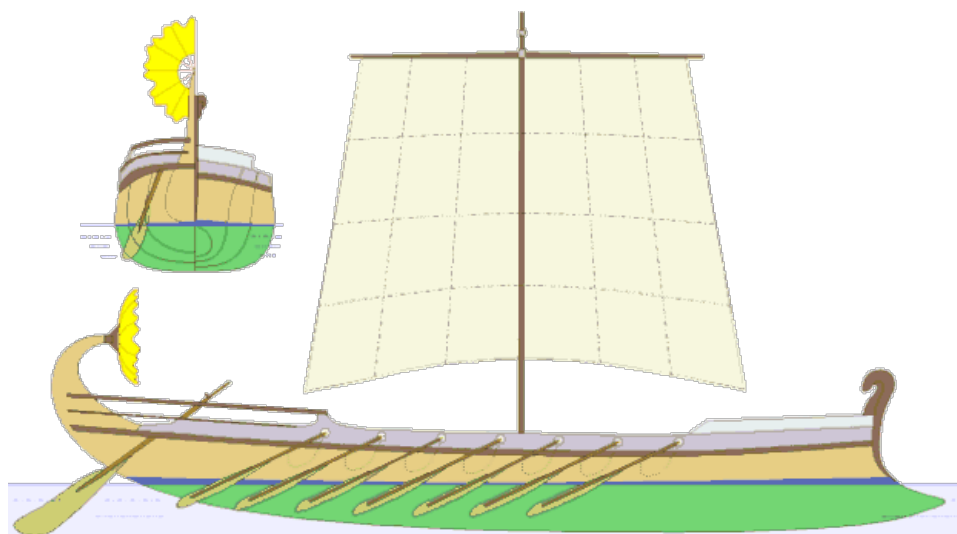


Рис.4 Древний военный корабль.

Изображен "Корабль Аргонавтов", который унаследовал мореходные качества Финикийских военных кораблей. Такой асимметричный относительно мидельшпангоута корпус позволяет удерживать курс штормового плавания носом на волну.

Особенностями формы корпуса, обеспечивающими такой режим штормового плавания, являются:

- *Нарушение симметрии корпуса относительно мидельшпангоута со значительным смещением центра величины и центра бокового сопротивления в нос. Установленный с этой целью носовой бульб благоприятно*

сказывается на устойчивости движения навстречу волнению и стабилизации продольной качки. При этом динамический центр качки и рыскания оказывается вблизи форштевня;

- Плавный подъем днища в корме и нависание кормовой оконечности высоко над водой раскрепощают рыскание. Можно объяснить необходимость использования именно кормового рулевого весла, которое при маневрировании может исполнять роль очень эффективного плавникового движителя, обеспечивающего произвольное направление силы тяги, и, пожалуй, единственно эффективного гребного весла в свежую погоду, когда бортовые весла становятся неуправляемыми, а парус используется только для придания корпусу свойств «штормового флюгера».
- Смещение центра парусности надводной части корпуса за счет кормовой надстройки и объемных кормовых фигур также служит хорошим средством для использования силы ветра при приведении корабля носом на волну. Здесь также уместно обратить внимание на низкий бак древних гребных и парусных судов, а это означает, что мореплаватели не боялись попадания воды на палубу через форштевень. Любопытными деталями корпуса являются, также, наличие гальюна и княвдигеда, которые способны разрушить монолитность фронта, падающей на носовую палубу волны.

Такие галеры существовали вплоть до нового летоисчисления, их строили греческие, затем римские кораблестроители.

На примере трех вышеприведенных проектов древних кораблей и судов, были показаны почти все известные в кораблестроении инженерные решения для обеспечения заданной мореходности корпуса.

1.2 Средневековое кораблестроение.

Римское кораблестроение достигло расцвета в 30-е годы до н.э. Несколько столетий Рим не имел соперников в Средиземном море.

Для защиты торговых судов от пиратов, саксонских на севере, и иллирийских на юге, были созданы легкие и быстроходные парусно-весельные корабли, - либуры. Считается, что либурн является прототипом средиземноморской галеры, просуществовавшей вплоть до XVIII века. Целью этого проекта ставилось достижение максимальной скорости хода, и как следствие, новые эксплуатационные требования заставляют серьезно пересматривать концепцию мореходности и безопасности плавания, к сожалению – в сторону их снижения, что оправдывается ограниченным районом плавания этих кораблей.

- На средиземноморской галере уже нет бульба, так как он, очевидно, не выдерживал испытания на ходкость и маневренность;
- В носовой части корпуса сохраняется большая полнота обводов, и делается более крупный гальюн, так как отсутствие бульба существенно снижает стабилизацию носовой оконечности на встречном волнении и приводит к увеличению заливаемости;
- Тем не менее, кораблестроители уменьшают высоту бака и существенно увеличивают парусность юта и кормовой надстройки. Таким образом, сохраняется возможность штормования носом на волну;
- Дифферентовка корпуса на корму, установка ахтерштевня и малая полнота вогнутых ветвей кормовых шпангоутов, позволяют привести центр бокового сопротивления корпуса на одну вертикаль с центром парусности латинских парусов. Это необходимо для достижения устойчивости в движении под парусами, а также делает эффективной работу кормового навесного руля.



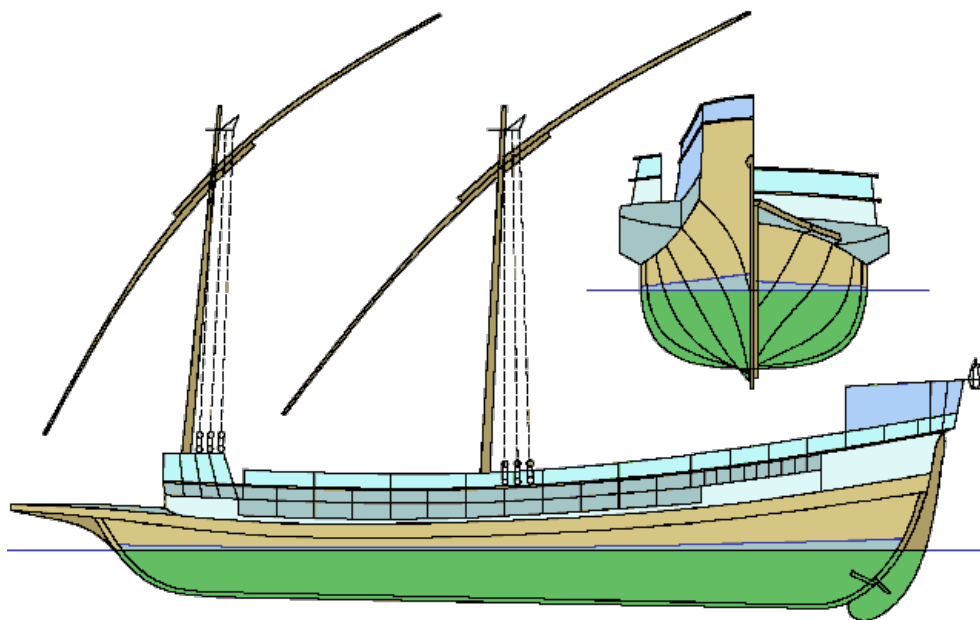


Рис.5 Средиземноморская галера.

В архитектуре данного корабля реализовано требование максимальной скорости хода. Это новое качество снижает безопасность штормового плавания. Но для Средиземноморской галеры обеспечение штормового плавания не является определяющим требованием, так как она предназначена для прибрежного плавания с малой автономностью.

Таким образом, было отмечено появление проектов кораблей специального назначения, в которых мореходные качества оптимизировались совместно с достижением максимальной ходкости на спокойной воде. Однако в те же времена были созданы парусные корабли неограниченных районов и автономности по срокам плавания, которые и положили начало эпохе великих географических открытий.

Мы имеем полуторатысячелетний период истории кораблестроения, когда корабли, в основном, придерживались вышеописанных проектных решений в отношении обводов корпуса. Фактически, за это время существенные изменения можно отметить только в конструкции парусного вооружения. Наступление эпохи великих открытий - XV век, может быть снова охарактеризован строительством кораблей, наилучшим образом приспособленных к длительному океанскому плаванию под парусами. Учитывая небольшой тоннаж кораблей Колумба и Магеллана, нужно признать истинное совершенство корабельной науки того времени, отметить гармоничность в сочетании архитектурных и гидромеханических решений; а также точность в раскрое парусного вооружения и его полное соответствие особенностям гидродинамики корпуса в условиях штормового плавания на волнении.

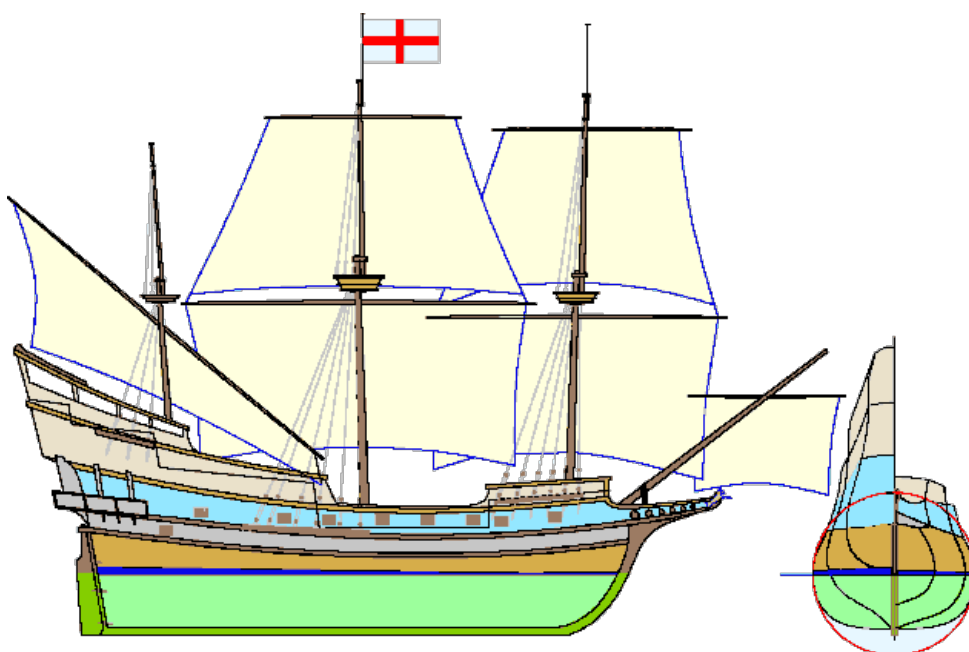




Рис.6 Галион "Голден Хинт".

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.

Экипаж этих относительно небольших судов уже не мог управляться с развитым парусным вооружением в штормовую погоду, и не полагался на активное использование парусного вооружения в противостоянии со штормовой стихией. Поэтому определяющую роль в обеспечении безопасного плавания опять играет специальная форма корпуса, где обводы и надводная архитектура обеспечивают режим минимального взаимодействия с энергией штормового моря.

На примерах исторических весельных и парусных кораблей вполне просматривается системный подход к проектированию, как к замкнутой системе инженерно-технических решений, отвечающих принципу непротивления силовому воздействию со стороны морского волнения, обоснованных неформализованными представлениями мореплавателей о хорошей морской практике. С использованием исторического опыта уже возможно тезисное формулирование главных составляющие проектно-технических решений по обеспечению штормовой мореходности и безопасности плавания, в которых проектные противоречия будут замкнуты в троичном логическом базисе: времени-существования и пространства-явления, отражающем эксплуатационные требования и технологические возможности при создании нового корабля.

О постановке задачи непротиворечивого проектирования

Проектирование, как наука, всегда оперирует частными инженерными решениями, что по определению свидетельствует об отсутствии «достаточных условий» для поиска единственно верного или абсолютно оптимального проектного заключения. Рассматривая корабль как единую и сложную инженерно-техническую систему, приходится также отмечать и отсутствие математически строгих формализаций, или каких-либо других количественных критериев для постановки оптимизационной задачи о наилучшей форме корпуса и общекорабельной архитектуре. Именно это и означает, что мореходные качества корабля зависят от **искусства проектирования**, в котором, кроме строгих технических наук, необходимо также широко использовать практический опыт судовождения, в том числе в различных условиях эксплуатации кораблей и судов специального назначения.

Для проектирования сложных инженерных систем может быть определен трехмерный логический базис, оси которого будут служить проекциями для отметки основных инженерно-технических решений, по которым возможен контроль **непротиворечивости проектных решений** в целом, и в том числе по форме корпуса и связанной с ней общекорабельной архитектуре. По аналогии с построением сложных вычислительных экспериментов в корабельной гидромеханике, в качестве базисных осей проекта могут быть выбраны независимые друг от друга логические направления проектных исследований, которые формально могут быть связаны следующими терминами:

- 1) **«время»** – как наука управления кораблем в сложных или в штормовых условиях плавания;
- 2) **«пространство»** - или способность активного существования корабля в данном физическом окружении;
- 3) **«проект»** - или обобщенные инженерно-технические решения, заложенные в конструкцию корабля с целью обеспечения его основного предназначения.

Может быть, для исторического анализа конкретного класса океанских кораблей, применение троичного базиса выглядит несколько искусственным. Но эта матрица может объяснить разнообразие проектных решений, принимаемых кораблями различных стран, и особенно, если принять в рассмотрение основное предназначение корабля - (п.3), условия его плавания - (п.2) и особенности эксплуатации флота конкретной страны - (п.1).

Интересующие нас корабли строились в странах Европы, имеющих морское побережье с выходом к Атлантическому океану. Если перед мореплавателями ставилась задача длительного автономного плавания в открытом море, то строились (или модифицировались, на примере подготовки к дальнему походу шлюпов "Восток" и "Мирный") корабли, обладавшие всеми

необходимыми проектными особенностями, позволявшие им безопасно штормовать без хода, удерживаясь на курсе "носом на волну".

Непротиворечивое или оптимальное проектирование может быть разделено на последовательные этапы комплексного изучения проблемы и согласования требований к кораблю как к сложной и единой инженерно-технической системе. Последовательность этапов образует направление исследований, формально определяемых как методы проектирования «сверху–вниз» - от общих требований к кораблю – к частным техническим решениям по его конструкции, или «снизу–вверх» - от доступных технологических возможностей – к оптимальному по назначению проекту корабля 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» (или наоборот).

Из анализа мореходных качеств исторических кораблей можно сделать вывод об использовании ранее своеобразного системного подхода, связанного замкнутой системой проектного анализа инженерно-технических решений и эксплуатационных требований к всепогодному кораблю, которые ныне воспринимаются только как комплекс забытых или «неписаных» правил «хорошей морской практики». Если целью оптимизации выбрана стабилизация корпуса корабля при плавании в условиях интенсивного морского волнения, что является важнейшим требованием боеспособности артиллерийских кораблей, то на примере анализа технических решений по принципу: «сверху – вниз», проектирование корабля может быть разделено на три строго последовательных во времени этапа исследований:

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

2 этап. **Векторный**. Каждое из требований к кораблю формализуется внутри своеобразного проектного базиса, в котором каждое направление исследований является независимым, математически - ортогональным. В зависимости от этапа проектирования (или типа корабля), базисные направления могут быть различными. Так, в случае поиска непротиворечивых решений для корабля повышенной штормовой мореходности базисными направлениями могут стать:

- 2.1. Ходкость, в том числе на волнении;
- 2.2. Стабилизация корпуса при плавании и маневрировании на волнении;
- 2.3. Безопасность мореплавания в штормовых условиях и в аварийных ситуациях, в том числе при повреждениях корпуса.

На векторном этапе исследования остаются взаимозависимыми, и главной целью логического проектирования является качественная оценка этой зависимости.

3 этап. **Тензорный** (матричный). Здесь уже не разрабатываются новые технические решения, но анализируются по формальному признаку уже проработанные на втором - 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 весь комплекс новых технических решений снова формализуются в виде скалярной точки отсчета и обратного логического базиса, задающего направления векторного анализа «снизу-вверх»: от имеющихся судостроительных и технологических возможностей – к оптимальному по эффективности, экономичности и безопасности штормовой эксплуатации проекту корабля.

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

Такой метод двухпроходного анализа проектной задачи позволяет найти оптимальные алгоритмы при разработке сложных программных комплексов для ЭВМ, что позволяет наиболее эффективно использовать имеющиеся вычислительные ресурсы (анализ: «снизу-вверх»), и при этом сохранить общность или комплексность к решению прикладной задачи (анализ: «сверху-вниз»). Такое сравнение проектных задач вполне уместно, если придерживаться концепции проектирования корабля как сложного, но единого инженерно-технического комплекса, однако, именно ошибки в исходном проектировании программных комплексов и автоматизированных систем проявляются на первых же этапах разработки, и практически никогда не прощаются.



Схема 1. Логическая схема проектного этапа изучения штормовой мореходности.

Показано разделение комплекса требований к кораблю на три независимых направления исследований, образующих троичную 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

Также по аналогии с решением сложных математических задач, на первых этапах проектных исследований имеется только комплекс требований к будущему кораблю, составляющий систему необходимых предпосылок (условий) (схема 1). Для корабля повышенной штормовой мореходности такие условия можно определить как: ходкость, стабилизация корпуса и безопасность мореплавания в штормовом море. Методически и инструментально независимыми направлениями проектных исследований можно выбрать: опыт мореплавания; теоретические разработки и опытно-экспериментальное изучение новых технических решений. Разбивая каждое направление на три группы задач, будет сформирована искомая троичная матрица (схема 1), совместный анализ результатов элементов которой образует систему непротиворечивого проектирования.

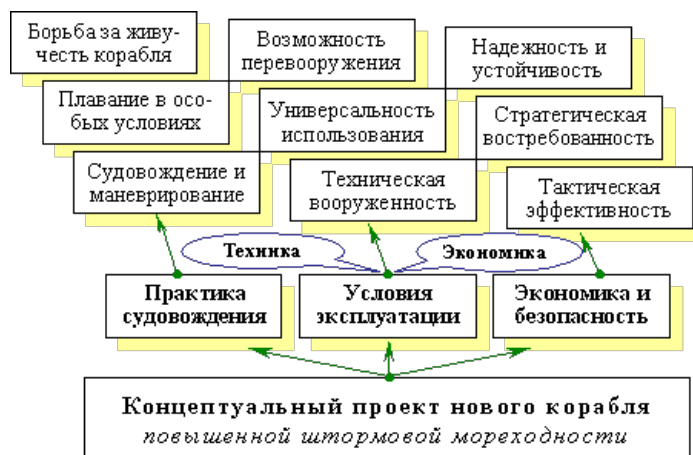


Схема 2. Логическая матрица поверочного анализа проекта нового корабля с эксплуатационных позиций

По завершению проектного этапа возникает концептуальное построение нового корабля, который может охарактеризоваться 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 (схема 2).

1.3 Расцвет парусного флота и эволюционный переход к механическому движению.

Возвращаясь к проектированию корабля, можно отметить, что по мере совершенствования принципов приведения корабля в движение, уже на галерах и парусных кораблях (фрегат «Паллада»), отмечаются случаи обеспечения режимов штормового плавания только путем активного использования движителей. Движители современных кораблей способны развивать



огромные мощности, в том числе для приведения корабля в движение на волнении. Эти режимы специально не исследовались включались в настоящей работе, виду того, что при поломке руля или двигателя, корабль может погибнуть, подобно неуправляемому самолету. Слишком же большое разнообразие современных решений о форме корпуса корабля, скорее всего свидетельствует о потере единого системного подхода к достижению наилучшей мореходности, так как оптимальные проектные решения обычно не отличаются разнообразием.



Спрямоленная палуба фрегата «Паллада» означает, что парусное вооружение и форма корпуса корабля оптимизированы для достижения его наилучшей ходкости при умеренных ветрах, а пассивное штормовое вооружение обеспечивается косыми штормовыми парусами, устанавливаемыми на гафеле бизань мачты

Поэтому, представлялось актуальным изучить особенности мореходных качеств кораблей с существенно отличными судовыми обводами и принципиально разной общекорабельной архитектурой. Так, физико-геометрический анализ взаимодействия корпуса корабля и волнения, показывает существенные гидродинамические преимущества корпуса крейсера "Аврора" в сравнении, к примеру, с ракетным крейсером "Варяг". Рисунок (см.10) с распределением гидродинамических сил волновой природы показывался в курсе морского дела Калининградского мореходного училища, т.е. старые судоводители знали об этом "неписаном правиле" морской практики, - довольно важном для штормовой мореходности корабля.

В итоге, принимая целью проектирования возможность неограниченно - длительного океанского плавания, формулируются новые тезисы о форме корпуса о общекорабельной архитектуре корабля:

- Развитая кормовая надстройка смещает центр парусности надводного борта в корму, а большая ширина и полнота носовых шпангоутов переносит центр тяжести и величины в носовую часть корпуса. Таким образом, на ветру корпус ведет себя подобно "флюгеру", обеспечивая штормование носом на волну без хода;
- Оборудование ахтерштевня и малая полнота кормовых шпангоутов позволили привести центр бокового гидродинамического сопротивления на одну вертикаль с центром парусности. Это необходимо для достижения устойчивого движения под парусами, а также для повышения эффективности работы кормового навесного руля;
- Для достижения устойчивости значительно уменьшается отношение длины корпуса к ширине ($L/B - 3 \div 4$). Тем не менее, для парусного корабля нет необходимости в широкой и непрерывной по длине палубе. Использование волноотталкивающего завала бортов и разделение палубы поднимающимися в корму надстройками, исключают попадание на палубу большого по массе количества воды, обеспечивая сохранение штормовой устойчивости. Этот же завал бортов уменьшает риск заливания палубы при ходе корабля под парусами с большим креном, и уменьшает интенсивность рыскания на курсе, так как корпус приобретает вертикальную симметрию относительно продольной оси, проходящей вдоль ватерлинии;
- Если при взгляде в кормовую часть средневековый корабль кажется парящим над водой, - позволяя ветру без особых усилий приводить его корпус к ветру (т.е. носом на волну), то носовая часть корпуса видится тяжелой и глубоко вдавленной в воду, что необходимо для безударной встречи с набегающими на корпус штормовыми валами волн (в режиме их неразрушительного обтекания). В отличие от современных кораблей - бак древнего парусника очень низок - то есть корабель тех времен совершенно не заботились о незаливаемости на встречном волнении. Единственная защита - это бушприт, княвдигед и гальюн, которые первыми воспринимают встречную волну и несколько деформируют ее фронт, не позволяя сконцентрировать удар на носовой палубе.

Русский флот, создавался под влиянием европейской кораблестроительной школы, которая к тому времени достигла уровня проектирования наилучших по мореходным качествам парусных кораблей. Кораблем английской архитектуры корпуса являлся первый русский корабль «Орел», а также построенные на Дальнем востоке пакетботы «Петр» и «Павел». Основные корабли Петра I относились к Голландской корабельной школе [Шарпан, 1968], они уже не имели развитой кормовой надстройки и были достаточно высокобортными в носовой части. Это означало, что по аналогии с балтийскими странами, кораблестроительная программа Петра I в первую очередь учитывала потребности в обеспечении ближних морских коммуникаций на Балтике и в северных морях.

В XVIII веке парусное вооружение достигает абсолютного совершенства, теперь уже нет необходимости решать задачу безопасного штормового плавания только путем проектирования специальной формы корпуса. Для противостояния штормовому волнению и ураганному ветру активно используется парусное вооружение. Мореплавателям ставится задача поддержания заданного курса и максимальной скорости хода даже в условиях очень свежих ветров и – умеренных штормов, при которых малотоннажные каравеллы эпохи великих открытий обязательно переходили в режим штормования без хода. Палуба парусного корабля спрямляется и становится непрерывной, а иногда почти горизонтальной, как у фрегата «Паллада». Для улучшения маневренности теперь широко используется разнообразное косое парусное вооружение, на слабых ветрах реи прямых парусов удлиняются лиссель-спиртами, а в штормовую погоду судно уверенно держит курс, либо с помощью специальных штормовых парусов, либо используется рифы на нижних парусах для уменьшения их площади.

Если сила урагана превышает возможности экипажа по управлению парусами, то остается радикальное аварийное средство: **фок-мачту - за борт**, - в качестве плавучего якоря, что превращает штормующий быстроходный парусник в его исторический прототип с парусностью, смещенной в корму, за счет оставшихся мачт и носом, прижатым к воде силой сопротивления буксируемой фок-мачты. К сожалению, современные суда с механическими двигателями не имеют аналогичных аварийных средств, и при этом эксплуатация двигателей и рулевых машин в штормовых условиях зачастую ведется с серьезными или даже опасными перегрузками.

Начало XIX века отмечается строительством первых судов с паровыми машинами. В 1815 году был построен первый колесный пароход в России, который ходил на линии Петербург - Кронштадт. В 1819 году "Саванна" совершила переход через Атлантику из Нью-Йорка в Ливерпуль за 24 дня.

Механический привод значительно повышает мореходные качества корабля, что в первую очередь обусловлено возможностью поддержания хода и произвольного курса относительно ветра и волнения. Техническая история кораблестроения стала существенно в большей степени проявляться решением задач оптимизации эксплуатационных качеств морских судов с исправно работающими рулями и движителями, и все менее и менее прорабатывались пассивные средства сохранения мореходности и безопасности плавания с помощью построения специальной формы корпуса и общекорабельной архитектуры. Появились также первые крупные корабли и суда, в которых новые инженеры-механики для упрощения технологических решений пренебрегали вопросами морской грамотности и штормовой мореходности, что усложняло эксплуатацию таких судов, но активный ход под машинами уже позволял любому плавающему сооружению выстаивать под ударами штормовой стихии. Однако основной флот всех стран Мира в полной мере унаследовал методы проектирования наиболее мореходной формы корпуса.

Первые колесные пароходы, в силу технических причин, обладали всеми недостатками весельного судна:

- Широкая палуба;
- Уязвимость движителя - гребного колеса;
- Невозможность противостояния штормовому волнению.

Первое крупное судно, оснащенное гребным винтом: **Great Britain**, было построено в 1843 году. Последующие 50 лет форма корпуса быстроходного всепогодного корабля претерпевает последовательные эволюционные изменения, которые всегда учитывали лучшие свойства формы корпуса гребных и парусных кораблей.

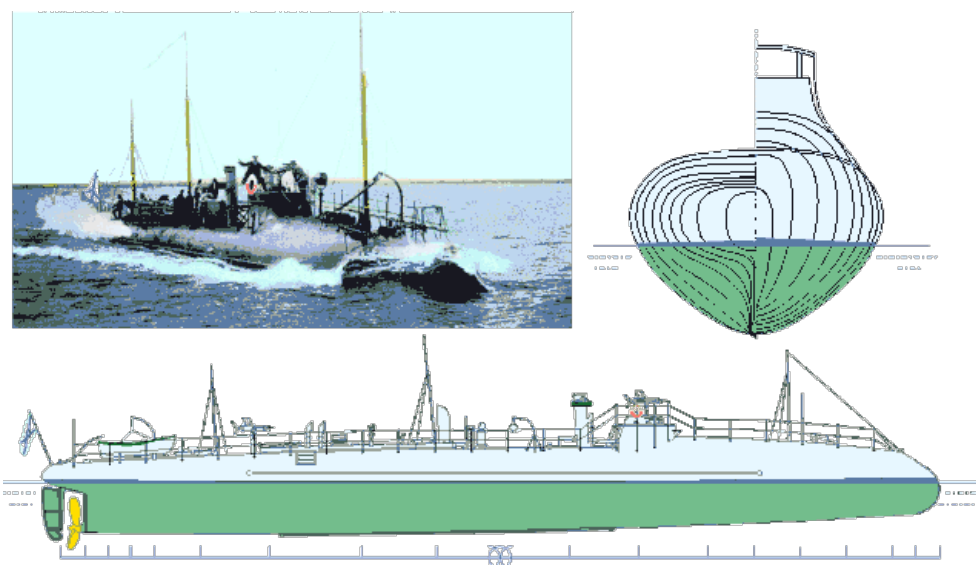


Рис.7. Миноносец типа "Измаил".

Корабль пользовался штормовым ходом в режиме прорезания волн. Известно, что в 1887 году миноносцу устраивались ходовые испытания на 6-ти бальном волнении, где он, идя навстречу волне и зарываясь по ходовую рубку, показывал 15.5 узлов, и 17 узлов при ходе по волне [Мельников, 1981]. По теоретическому чертежу хорошо 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

Несомненно, что в обводах корабля, построенного в начале XX века можно прочесть компромиссные решения между покорностью и противостоянием перед морской стихией:

- Таран - бульб продолжает служить 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 благоприятно сказывается на уменьшении волнового сопротивления и на спокойной воде, также;
- Заострение оконечностей и малая полнота надводных объемов в носу и корме способствуют ходкости на волнении и благоприятно сказываются на уменьшении килевой качки и предотвращении слеминга;
- 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 допускает сильного рыскания и потери хода при движении практически любым курсом относительно штормового волнения;
- Практически 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 кривой встрече с крупными волнами и зыбью;
- Так же как у средиземноморской галеры, строятся узкие корпуса кораблей для достижения высокой скорости хода;
- Зауженная общая ширина палубы и длинные продольные надстройки служат целям сохранения штормовой остойчивости в условиях повышенной заливаемости верхних палуб;
- Достаточно низкий надводный борт и малая парусность надстроек дают возможность управления кораблем и маневрирования в условиях сильных ветров.

Идеальной архитектурой корпуса по всем названным критериям обладали многие эскадренные броненосцы, а также крейсера и эсминцы, построенные в конце XIX начале XX века. Не меньшей мореходностью обладали и линейные корабли первой половины XX века, имевшие заниженные и заостренные бак и ют, а основной объем корпуса сосредотачивался в средней части.

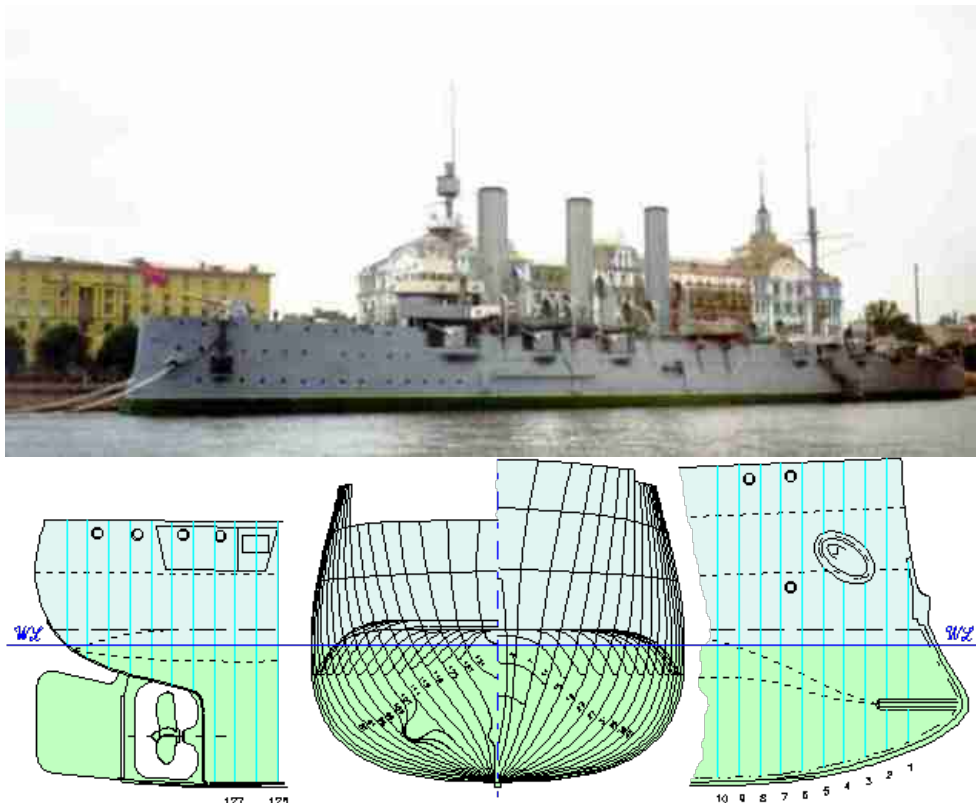


Рис.8. Крейсер Аврора.

В корпусе крейсера реализованы мореходные качества аналогичные обводам миноносца. Их суть - это непротивление штормовой стихии. Хорошо виден как завал бортов, так и отсутствие больших непрерывных площадей на верхней палубе. Очевидна технологическая сложность корпуса, в обводах которого нет ни одной прямой линии. Интересно как в те времена проектировали бы корпус корабля, если бы внутренние объемы не определялись громоздкостью судовых машин?

Это обеспечивало устойчивое движение на волнении, при котором не возникало интенсивной килевой качки, и, соответственно, возможность опасной заливаемости оконечностей исключалась за счет уменьшения общей площади и непрерывности верхних палуб бака и юта, а также отсутствием фальшбортов и большой погибью палубных бимсов.

Гидродинамические особенности бортовой качки кораблей конца XIX – начала XX века

В дальний поход II тихоокеанской эскадры в 1904-1905 году, в помощь корабельным механикам, вице-адмирал З.П. Рожественский брал заводских инженеров-кораблестроителей. Так на броненосце «Орел» в походе и бое участвовал известный корабельный инженер Владимир Полиевктович Костенко [Жизнь и деятельность..., 2000], который во время сильнейшего шторма у южной оконечности Африки в декабре 1904 года отмечал «странное явление»: четыре броненосца типа «Бородино» взмывали и проваливались между двенадцатиметровыми океанскими валами, **практически не качаясь**, в то время как крейсер «Аврора» (Рис. 11, Рис.13) раскачивался **с борта на борт (всего лишь) градусов на 20!** В.П. Костенко отмечает, что столь различное поведение кораблей не объяснялось особенностями остойчивости или весовой нагрузки.

Наблюдения за ударами волн о борт броненосца «Орёл» с правого крыла среднего мостика показали следующую картину: очередной океанский вал настигает корабль и налезает на борт, иллюминаторы кают-компаний и офицерских кают скрываются под водой, затем волна наваливается на срез верхней палубы и заливают ее так, что средняя (152 мм) башня кажется торчащей прямо из воды. От такого удара в правый борт, по представлениям В.П. Костенко, корабль должен был бы качнуться резко влево, но вместо того «Орел» не только сохраняет вертикальное положение, но даже чуть кренится на правый борт! Столь «неожиданное» открытие корабельный инженер связывал именно с особенностями формы надводного борта броненосца: крутым завалом бортов выше броневых пояса и у верхней палубы, а также открытыми срезами вдоль бортов по носу и корме.

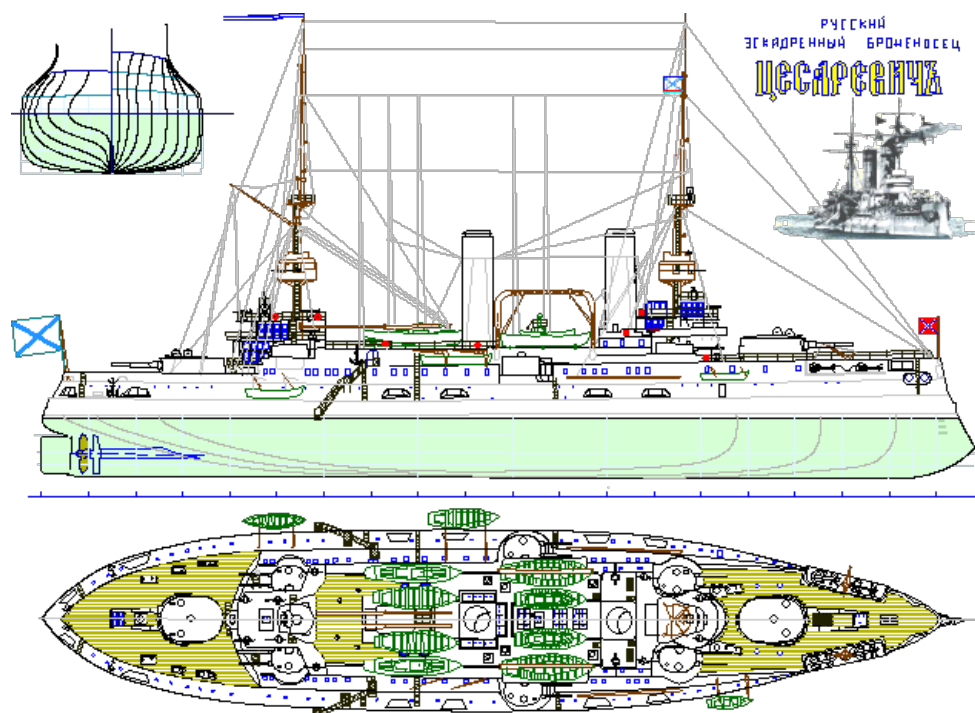


Рис.9. Эскадренный броненосец Цесаревич.

Эскадренные броненосцы типа «Бородино» имели водоизмещение более 13000 тонн, и показывали на мерной мили скорость хода около 18 узлов. Несмотря на величайшие технологические сложности в кораблестроении того времени, в ущерб эксплуатационным требованиям по обслуживанию громоздких артустановок, – угольных котлов и паровых машин, форма корпуса этих кораблей, тем не менее, обеспечивала наилучшую штормовую мореходность и удовлетворяла всем требованиям снижения качки и устойчивости на курсе в условиях штормового океанского волнения

Даже небольшой завал надводного борта в средней части корпуса благоприятно влияет как на уменьшение бортовой качки, так и на снижение заливаемости верхней палубы, что в первую очередь обуславливается особенностями гидродинамического непротивления или, соответственно, ослабленного воздействия преграды – корпуса на форму и динамику движущихся на него гребней штормовых волн.

Надвигающийся на корпус корабля гребень волны несет потоки воды со скоростью в два раза превышающей фазовую скорость распространения этой волны. Если надводный борт завален внутрь корпуса, то в точке встречи с судовой обшивкой жидкость в гребне волны успевает приобрести направленную вниз составляющую скорости, которая способна увлечь весь поток воды из гребня волны под днище, и проявиться на противоположной стороне корпуса корабля с минимальными искажениями формы фронта этой волны (рис.10). Аналогичная форма мидельшпангоута, как бы вписанного в окружность, использовалась также и на парусных кораблях, предназначенных для океанского плавания, критерии начальной остойчивости у которых изначально ставились существенно выше, и, тем не менее, возможность увеличения ширины ватерлинии при больших углах крена за счет расширения верхней палубы не использовалась (рис.6).

Под воздействием бортового ветра и волнения, корпус корабля получает заметный боковой дрейф, который усиливается еще и оттого, что в подошве волны скорость жидкости направлена навстречу волнению, отчего судно получает постоянный кренящий момент. В таком режиме бортовые кили только ухудшают условия плавания судна лагом к волне, а применение таких успокоителей качки на парусниках вообще нецелесообразно. Однако, если за счет завала бортов под днище будет увлекаться поток жидкости из гребня волны, то бортовые кили действительно смогут создать небольшой восстанавливающий момент сразу же после удара крупной штормовой волны в борт корабля. В случае же развала надводного борта, поток из гребня волны не увлекается под днище, и отталкиваясь от корпуса увеличивает скорость бокового дрейфа корабля, а бортовые кили в таких условиях могут способствовать только ускоренному опрокидыванию.

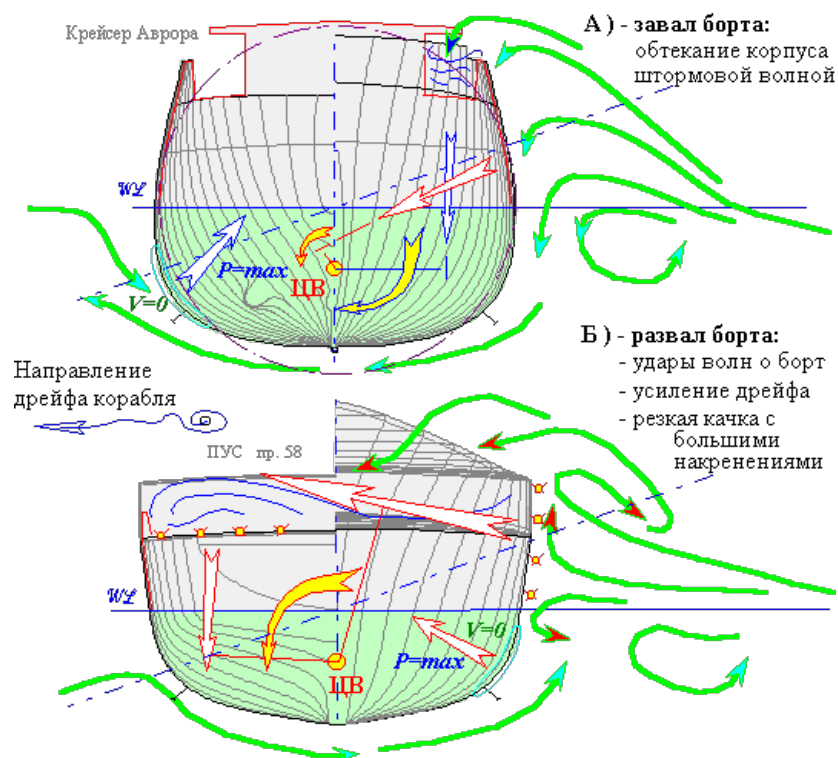


Рис.10. Характер взаимодействия корпуса корабля с внешним морским волнением.

На схеме А) показано, что крен от прямого воздействия гребня волны на надводный борт корабля может быть минимизирован с помощью завала борта, а длинная вдолькорпусная надстройка на верхней палубе, округлость шпангоутов и бортовые кили, в этом случае, и только при условии завала надводного борта, смогут частично скомпенсировать остаточный кренящий момент от воздействия ветра и волнения. Если же корпус имеет развал бортов (схема Б), то и бортовые кили и распределение давлений в подводной части корпуса будут только усиливать бортовую качку. Над палубой округлость средних шпангоутов может обобщенно дополняться (закрывается) за счет вытянутой вдоль корпуса надстройки, которая не позволит перетекать массе воды, попавшей на палубу, с одного борта - на другой. Удержав попавшую на палубу воду на наветренном борту, суммарный кренящий момент может быть уменьшен, и наоборот – если масса воды по «плоской» палубе перейдет на противоположный борт, то возникнет дополнительный и неблагоприятный (точнее - опасный) кренящий момент

Для поиска математического подхода к минимизации сил взаимодействия корпуса корабля с волнением, показанный выше гидродинамический процесс можно формализовать: необходимо добиться такого обтекания корабля штормовыми валами, чтобы подходящий к корпусу фронт трихоидальной волны проявлялся затем с противоположного борта с минимальными искажениями. Таким образом, облегчение перетока волновой энергии под днищем корпуса корабля, то есть, обеспечение перетока жидкости в момент прохождения гребня волны на подветренный борт, и в подошве волны – обратно, является основным условием снижения энергии взаимодействия корпуса корабля и штормового волнения.

Можно отметить гидродинамическую особенность затягивания жидкости из гребня волны под днище корпуса, который в любом случае будет заторможен встречным потоком в подошве волны. В точке остановки этого потока образуется повышенное давление на обшивку корпуса, и если это происходит с подветренного борта, то скорость накренения под воздействием волны замедляется. При отражении же волны от наклоненного наружу борта, остановка дрейфового потока под днищем происходит на наветренном борту, – качка усиливается. Другую, «гидростатическую особенность» успокоения качки за счет завала бортов в средней части корпуса, которую кораблестроитель В.П. Костенко называл «надводным бортовым килем», на том же броненосце «Орел» он отмечал как препятствующий накренению момент, образуемый удерживающейся на наветренном борту массой воды. Однако и для достижения такого эффекта успокоения качки также необходим завал борта, чтобы гребень волны безударно попадал на борт, и удерживался на палубе с наветренного борта, без перетока с остановкой у фальшборта с подветренного борта. С этой целью верхняя часть окружности средних шпангоутов дополнялось длинной палубной надстройкой по диаметральной плоскости корпуса.

Если форма корпуса корабля и его весовая нагрузка хорошо оптимизированы для плавания в штормовом море, то, как это обычно происходит в искусственно оптимизированных системах, небольшие отклонения от проектной нагрузки или посадки корабля могут привести к вполне заметным отклонениям от должной мореходности. В этом случае знание экипажем особенностей штормовой гидродинамики, могут позволить найти решение по изменению хода и курса корабля, или по небольшому перераспределению балласта, чтобы вновь оптимизированный корпус вернулся к оптимальному режиму штормового плавания, или - к наилучшему выполнению поставленных перед кораблем задач.

В том же походе на «Орле» В.П. Костенко провел очень показательный эксперимент по успокоению килевой качки, возбуждаемой попутными океанскими валами, двигавшимися вдвое быстрее самого броненосца. Расстояние между гребнями волн было примерно на одну четверть больше длины корпуса, и собственные колебания броненосца иногда не совпадали с фазой очередной настигающей его волны. Тогда на стремительно погружающуюся корму сзади надвигалась многотонная водяная гора и создавалась ситуация особо тяжелая для всплытия броненосца. Широкая корма в этих случаях, страживая с себя потоки воды, поднималась быстрее, чем острый нос, который полностью зарывался в уходящую волну. От

этой неравномерности всплытия кормы и носа броненосец терял устойчивость на курсе, начинал рыскать. В.П. Костенко было предложено принять 200 тонн балласта в кормовой танк, расположенный в междудонном пространстве от 77-го до 87-го шпангоута под кормовой 12-дюмовой башней главного калибра. Как только приказ командира о затоплении междудонного отсека был исполнен, отчего нос подвсплыл почти на 2 фута (0.6 метра), корабль перестал рыскать, что сразу облегчило удержание курса в кильватерном строю.

К транспортным паровым судам, ввиду громоздкости и малой мощности главного двигателя, не предъявлялось специальных требований по ходкости в штормовом океане. Судно имело заостренный вертикальный форштевень и округлую нависающую над водой корму. В случае штормовой погоды судно должно было взять курс носом на волну и удерживаться на нем с помощью двигателей до улучшения погоды.

Но все же, наблюдения В.П. Костенко за поведением в штормовом море, в общем-то, тихоходного броненосца «Орел», дают основу для отличного технического решения не только по безопасности плавания на крупном волнении, но также и по архитектурному оформлению корабля с полными обводами, для которого активное плавание и решение боевых задач в штормовом океане является основным назначением. Так если форму корпуса броненосца типа «Бородино» будет иметь спасательный буксир или гидрографическое судно, то:

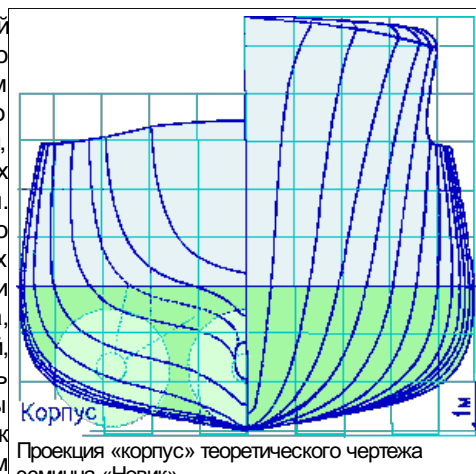
- *сильный завал борта в средней и кормовой части корпуса существенно облегчит спасение людей по тревоге «человек за бортом»;*
- *округлая форма мидель-шпангоута и сгруппированные к диаметральной плоскости верхние надстройки позволят существенно более безопасно швартоваться к судну, терпящему бедствие в штормовом море, а также подавать на него водоотливные или пожарные шланги, и другие спасательные коммуникации;*
- *незначительная собственная бортовая и килевая качка, а также сниженная скорость бокового дрейфа, позволят швартоваться или удерживаться с наветренного борта от спасаемого судна;*
- *существенно сниженные вертикальные перемещения юта, обусловленные малой килевой и вертикальной качкой, а также отсутствие эффекта захвата корпуса штормовыми валами, приводящие к быстрым изменениям скорости хода и тяги на буксирном гаке, позволят избежать излишне сильных рывков буксирного троса.*
- *завал бортов в зоне работы экипажа, занимающегося заводкой буксирных тросов или принимающего заборные грузы, послужит существенному повышению безопасности людей. В этом случае, если штормовые гребни волн и попадают на верхнюю палубу, то они уже не имеют стремительной скорости перемещения на противоположный, да еще и накрененный борт;*
- *уменьшение общей площади верхней палубы за счет завала бортов, также как и для любых других проектов судов, не позволит задерживаться на палубах больших объемов воды от набегающих штормовых волн, упростит борьбу с обледенением и в целом улучшит условия работы экипажа на верхних палубах во время штормов.*

Здесь, конечно же, важно отметить «существенный недостаток» корпуса корабля, в архитектуре которого за счет завала бортов реализован принцип непротивления волновой стихии. Такой корабль не сможет защитить от интенсивного волнения шлюпки и другие мелкие суда, подходящие к нему с подветренного борта, так как устремляющиеся под корпус потоки энергии штормовых волн, создадут и там столь же интенсивные изменения уровня воды, как и с наветренного борта. Однако на «старых» кораблях шлюпки и более крупные баркасы обычно не швартовались непосредственно к борту, удерживаясь от него на некотором удалении с помощью заборных выстрелов. Грузы в этом случае снимались обычными стрелами, а люди поднимались на борт по трапам или шкентелям с мусингами, закрепленным на специально оснащенных для этого выстрелах.

Без сомнения, возврат к использованию выстрелов для работы со шлюпками послужит расширению штормового диапазона использования бортовых плавсредств в целом, чему в первую очередь будет служить уменьшение бортовой качки корабля с заваленными бортами в средней части корпуса, так как качка, все же, является главной опасностью при проведении операций по спуску-подъему шлюпок. Важно также заметить, что в практике экспедиционных работ рыбопромысловых судов (так же как и в эскадренном плавании кораблей), шлюпочные сообщения между судами являются довольно важным элементом повседневной деятельности флота, а повсеместно используемая ныне швартовка шлюпок непосредственно к вертикальному борту судна несет немалые опасности для мореплавателей.

1.4 О современных проектных решениях.

1 августа 1910 года, на основе конкурсного проекта, был заложен эскадренный миноносец «Новик», в проекте которого было очень хорошо сбалансировано соотношение мощностей энергетической установки и многочисленных систем вооружений. Форма корпуса корабля вполне соответствовала представлениям о наилучшей мореходности тех лет: надводный борт имел внутренний завал, оконечности корпуса заострены, все шпангоуты построены на плавных лекальных кривых, а отношение ширины к осадке корпуса еще не было слишком завышенным. Однако, несколько завышенная высота надводного борта и высокий полубак этого корабля, внесенные в проект для размещения многочисленных корабельных механизмов и палубных вооружений, хотя и не очень значительно, но все же были устроены в ущерб штормовой мореходности, что, как показала морская практика, лишила эсминец «Новик» преимуществ в избытке артиллерийских вооружений, эффективность которых в условиях морской зыби и волнения оказалась сниженной. К сожалению, проявившиеся тогда негативные элементы формы корпуса в современном кораблестроении существенно усилены стремлением к обеспечению еще и незаливаемости верхних палуб, что оказалось возможным



только за счет усиления интенсивности килевой качки даже на слабом волнении.

Наклоненный вперед форштевень и развал скуловых шпангоутов в советское время был устроен линкорам типа «Севастополь» при их модернизации в конце 20-х годов XX века, считалось, что это улучшит всхожесть на волну и снизит заливаемость носовой палубы [Хмельнов и др, 1996]. Но морская практика показала обратное. В ноябре 1929 года линкор «Парижская коммуна» (бывший «Севастополь») под командованием Л.М. Галлера отправился в дальнее плавание на Средиземное море и в Бискайском заливе попал в жестокий шторм. Носовая наделка ничуть не улучшила всхожимость на волну, а наоборот, черпала воду, из-за чего корабль зарывался носом еще сильнее. Крен достигал 29 градусов, нарушилась герметичность палубных люков, один за другим начали выходить из строя различные механизмы... Положение стало критическим. К счастью, несуразная носовая конструкция под ударами волн вскоре развалилась, несколько облегчив движение линкора... [Балакин, 1998]. Носовая часть современных кораблей, и в том числе большого водоизмещения, имеет очень высокий полубак с сильным развалом скуловых шпангоутов.

Новые эсминцы 1930-х годов типа «Гневный» (проекта 7) уже не имели завала бортов в средней части корпуса, форштевень был заметно наклонен вперед, а крейсерская корма заменена на транцевую. Силовые нагрузки на корпус эсминца, при его плавании в условиях штормового волнения должны были заметно возрасти. 22 ноября 1942 года, при плавании в штормовых условиях Баренцева моря, эсминец «Сокрушительный», штормя на курсе «носом на волну», потерял 26 метров кормы, после чего качка корабля несколько стабилизировалась, и корабль еще не менее двух суток штормовал без хода, что позволило спасти большую часть его экипажа. Трагическая морская практика кораблей этого типа, к сожалению, с точностью до наоборот отразилась в проектах современных кораблей с еще более широкой транцевой кормой и развалом бортов в средней части корпуса. Это свидетельствует о современной концепции кораблестроения, ориентированной на поддержание абсолютной «всхожести на волну», что вполне соответствует требованию по запасу плавучести, многократно превышающему водоизмещение корабля.

Однако следует отметить, что победившая в цусимской компании Япония, воевавшая на английских кораблях, включила в свою новую кораблестроительную программу не новомодные «Дредноуты», а проекты кораблей более похожих на русские «Бородино» и «Цесаревича». Примечательно также, что обводы корпуса, заострение оконечностей, завал бортов на уровне действующей ватерлинии и внешняя архитектура немецких карманых линкоров в целом, также приводила их к мореходным качествам, аналогичным старым русским броненосцам. Причем, по многим документальным съемкам немецких кораблей, отмечается постоянное присутствие воды на верхней палубе, что свидетельствует о важной для артиллерийских кораблей стабилизации килевой качки в ущерб «всхожести на волну» и «незаливаемости».



Немецкий линкор «Адмирал граф Шнее» обладал завалом бортов в районе действующей ватерлинии, а также малыми моментами инерции ее площади в оконечностях корабля, что способствовало эффективности артиллерии в условиях океанской зыби и умеренного волнения

Отрыв от морской практики отмечен и другими технологическими «успехами» современной «самостоятельной» корабельной науки. В начале XX века транспортные суда оборудовались парусиновыми люковыми закрытиями, унаследованными еще спарусного флота. Опасность для штормования представлялась в результате срыва такого закрытия «гуляющей» по палубе штормовой волной, что усугублялось как увеличением размеров люковых закрытий, так и открытостью палуб транспортных судов для ударов волн. Надежность люковых закрытий была обеспечена после создания металлических самораскрывающихся люков типа «Мак-Грегори», повсеместно внедренных, правда, только в 50-е годы.

Независимо эту же задачу решали и корабельные инженеры, пытавшиеся обеспечить незаливаемость верхних палуб за счет всхожести корпуса на волну. Форштевень судна (или корабля) стал наклонным вперед, а над ним стала простирается широкая палуба бака с крылообразным развалом носовых шпангоутов, что вместо ожидаемой «всхожести на волну», привело к резкой килевой качке и явлению «подныривания» под встречную волну. Широкая и объемная, нависающая над водой транцевая корма, устроенная, видимо, для стабилизации потока в районе винто-рулевого комплекса, теперь легко подхватываются штормовой волной, усугубляя рыскание, бортовую качку, и, даже, опасные захваты корпуса попутной волной.

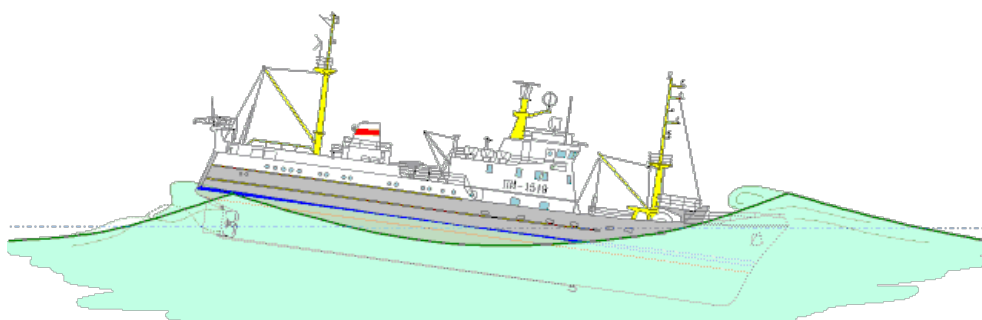


Рис.11 Траулер скатывающийся под волну.

Это единственно допустимый режим штормования для этого судна (СРТМК), так как движение вразрез волне невозможно из-за ударов волн по развалистой скуле. Траулер поддерживает ход, необходимый для сохранения управляемости, это усиливает разрушительную силу падающей на бак волны. В следующий момент времени между баком и надстройкой образуется озеро метровой глубины, судно теряет

стойчивость и кренясь, сбрасывает это "озеро" через фальшборт. Широкая транцевая корма - это слеминг и сильнейшая качка при выходе на курс по волне (но "морские волки" должны любить давать здесь полный ход)

Это единственно допустимый режим штормования для этого судна (СРТМК), так как движение вразрез волне невозможно из-за ударов волн по развалистой скуле. Траулер поддерживает ход, необходимый для сохранения управляемости, это усиливает разрушительную силу падающей на бак волны. В следующий момент времени между баком и надстройкой образуется озеро метровой глубины, судно теряет стойчивость и, кренясь, сбрасывает это "озеро" через фальшборт. Широкая транцевая корма - это слеминг и сильнейшая качка при выходе на курс по волне (но "морские волки" должны любить давать здесь полный ход)

К сожалению, достижение незаливаемости палуб за счет хорошей всхожести на волну, привело к необходимости усиления продольной прочности корпуса (эскадренные миноносцы без высокого полубака намного легче держали ход на волнении). Наблюдения за поведением корпуса судна во время штормовых ходовых вахт также наглядно подтверждали, что задача о безусловной незаливаемости верхней палубы приводит к совершенно неприемлем, а часто и к прямо противоположным результатам. Судно (рис.11), падая с гребня одной волны, принимало на свою широкую палубу новую волну в ее наиболее разрушительной фазе. В результате интенсивной килевой качки траулера, вертикальное ускорение в носовом трюме нередко превышает ускорение свободного падения g , что для транспортных судов может грозить смещением грузов.

Судовладельцы, зная о проблемах штормовой мореходности, организовали службу штормовых предупреждений, которая выработывала рекомендации по обязательному уклонению от циклонов, а также отреагировали запретами плавания в штормовую погоду.

Для уменьшения качки, предотвращения днищевых слемингов и чрезмерных изгибных нагрузок корпуса на волнении, обычно используется режим штормования «вразрез волне», при котором поддерживается минимальный ход с курсовым углом приблизительно 30 градусов от встречного к волнению. Такое плавание сопровождается сильными перегрузками главного двигателя и рулевой машины, так как для удержания минимального хода главный двигатель работает с малыми переменными нагрузками, а для поддержания управляемости требуются постоянные перекладки руля с борта на борт. Вследствие усиленной килевой качки и малого хода создаются условия для оголения винторулевого комплекса, что приводит к его ударным перегрузкам. Штормование вразрез волне является комбинированным методом, в котором отклонение от курса «носом на волну», позволяет корпусу плавно отслеживать волновую поверхность, сохраняя режим активного хода, при котором рулевой не отдает судно полностью во власть волны.

Но и этот метод плавания был отменен в результате установки носового бульба, так как в результате высокой инерционности бульба, на курсе «вразрез волны» может быть получен сильнейший удар волны по скуле с большим развалом надводных шпангоутов. Удары по скуле - это новый вид слеминга, вызванный усилением динамического взаимодействия корпуса и волнения.

В основном режиме работы этого траулера, - при выборке трала на курсе по волне, даже в случае умеренного волнения регулярно ощущаются удары слеминга под широкой транцевой кормой, которые, к тому же, сопровождаются продольной вибрацией корпуса. Главной особенностью рыболовных судов является необходимость работы экипажа на верхней палубе, в штормовую погоду. В данном случае, достижение незаливаемости бака, которое имеет следствием усиление всех видов качки, приходит в явное противоречие с обеспечением безопасности работы на кормовой траловой палубе. Если же супертраулер, к примеру, следуя штормовым курсом «носом на волну» немного превысит скорость, то в условиях зарываемости под встречную волну, может быть получен удар обрушающегося потока по верхней палубе.

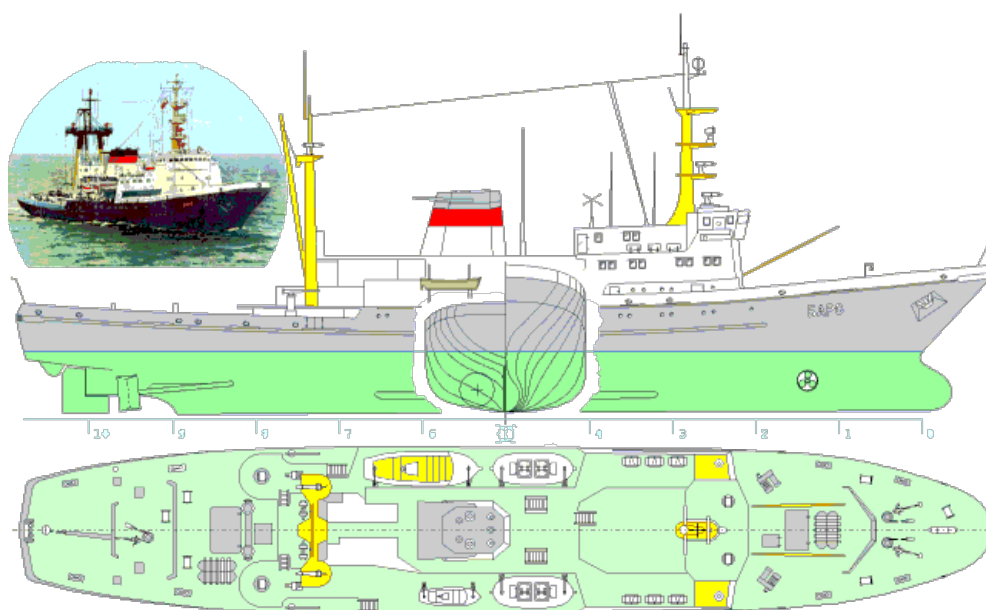
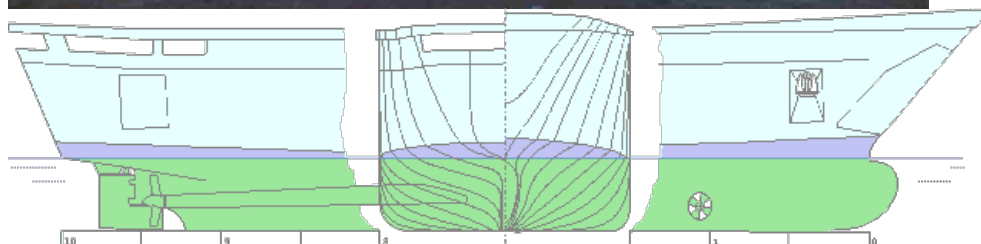


Рис.12. Океанский спасатель и пассажирский лайнер.

Из исторического анализа эти корабли можно сопоставить с поморскими кочами (рис.3) и ладьями викингов (рис.2), если исключить соотношение прочности и размеров корпуса. Их обводы оправданы для малых судов, которые способны удерживаться на поверхности волны, несмотря на огромные ускорения в процессе качки (теоретически - это g на гребне 9-го вала), и перед которыми не ставится задача

сохранения хода, работоспособности оборудования, комфортной обитаемости и т.п. Видимо, такая форма корпуса есть вершина абсурдов борьбы с заливаемостью верхних палуб



Огромный надводный объем в носовой части корпуса должен обуславливать плавание со свободным рысканием на курсе, но этого не допускает бульб. Широкая кормовая палуба существенно ограничивает возможности выбора штурмового курса. В целом же штурмовая безопасность связывается с надежностью двигателей и опытом ходовой вахты. Возможно, что в проектировании этого пассажирского судна участвовала не хорошая морская практика, а модная техническая эстетика с множеством архитектурных прямых, и - полусонными ассоциациями отдыха на речных глиссерах

Корабль имеет очень большой развал бортов в районе действующей ватерлинии, что обуславливает интенсивную бортовую качку на штормовом волнении. Очень высокий надводный борт, огромный развал носовых шпангоутов и большая дополнительная плавучесть в кормовой части корпуса, приводят к очень интенсивной килевой качке. При этом глубоко посаженный бульб не позволяет корпусу уворачиваться (рыскать) от ударов встречных волн. Если же командир примет решение об уменьшении бортовой качки за счет снижения начальной остойчивости, то также будут существенно уменьшены и запас остойчивости, и угол ее заката, что создаст опасность опрокидывания корабля при маневрировании на волнении

Но все же стабилизация корпуса особенно важна для кораблей с гидро- и радиолокационным оборудованием. К примеру: английский эсминец "Шэффилд" имеет корпус более устойчивый на волнении, чем любой из российских кораблей такого же класса (Рис.19). Как известно, во время шторма "Шэффилд" погиб, оказавшись беззащитным даже перед устаревшим авиационным ракетным оружием Аргентины.

Исследование мореходных качеств современного флота является отдельной и очень интересной задачей. К сожалению, до настоящего времени, в России не налажено постоянного взаимодействия кораблестроительной науки с капитанским опытом реального мореплавания. Не опубликованы материалы о мореходности, имеющиеся в судовых журналах 1-ой тихоокеанской эскадры адмирала З.П. Рожественского, не учитывается опыт флотских испытаний на мерной штормовой миле, которые в начале XX-го века проводились даже в условиях штормового волнения.

Попытки использования богатейшего материала из судовых журналов, наталкиваются на непреодолимое сопротивление в виде чиновничьей волокиты. Остается опираться на собственный морской опыт, на сленг береговых встреч с однокашниками по мореходке, да на художественное повествование капитанов-писателей. Получается эмоционально-палубное критическое восприятие современного искусства проектирования формы корпуса. Корабль является сложной, но единой системой, и если при его проектировании усиливается одно из требований к мореходности, то из этого не должно следовать абсурдного следствия, которое, если не губит мореходность, то, по крайней мере, снимает актуальность требования - причины. Именно это произошло в результате неумного желания справиться с заливаемостью носовой палубы

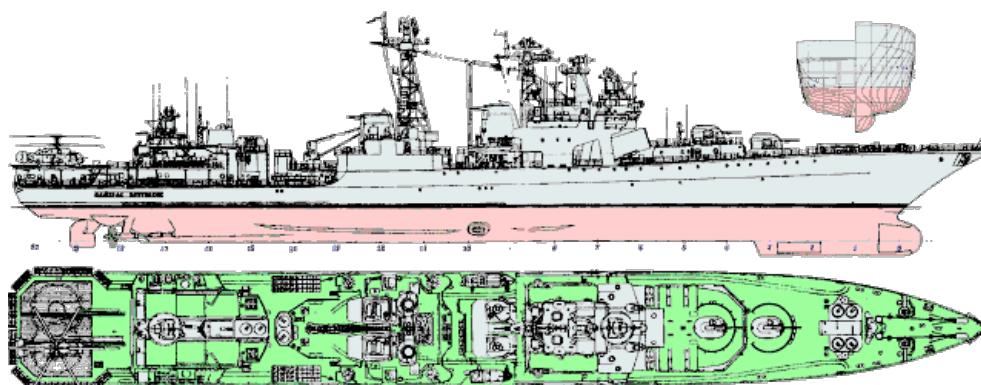


Рис.13 Форма корпуса современного корабля. Корабль имеет очень большой развал бортов в районе действующей ватерлинии, что обуславливает интенсивную бортовую качку на штормовом волнении. Очень высокий надводный борт, огромный развал носовых шпангоутов и большая дополнительная плавучесть в кормовой части корпуса, приводят к очень интенсивной килевой качке. При этом глубоко посаженный бульб не позволяет корпусу уворачиваться (рыскать) от ударов встречных волн. Если же командир примет решение об уменьшении бортовой качки за счет снижения начальной остойчивости, то также будут существенно уменьшены и запас остойчивости, и угол ее заката, что создаст опасность опрокидывания корабля при маневрировании на волнении

Но все же стабилизация корпуса особенно важна для кораблей с гидро- и радиолокационным оборудованием. К примеру: английский эсминец "Шэффилд" имеет корпус более устойчивый на волнении, чем любой из российских кораблей такого же класса. Как известно, во время шторма "Шэффилд" погиб, оказавшись беззащитным даже перед устаревшим авиационным ракетным оружием.

Исследование мореходных качеств современного флота является отдельной и очень интересной задачей. К сожалению, до настоящего времени, в России не налажено постоянного взаимодействия кораблестроительной науки с капитанским опытом реального мореплавания. Не опубликованы материалы о мореходности, имеющиеся в судовых журналах 2-ой тихоокеанской эскадры адмирала Рожественского, не учитывается опыт флотских испытаний на мерной штормовой миле, которые в начале XX-го века проводились даже в условиях штормового волнения.

Попытки использования богатейшего материала из судовых журналов, наталкиваются на непреодолимое сопротивление в виде чиновничьей волокиты. Остается опираться на собственный морской опыт, на сленг береговых встреч с однокашниками по мореходке, да на художественное повествование капитанов-писателей. Получается эмоционально-палубное, критическое восприятие современного искусства проектирования формы корпуса. Корабль является сложной, но единой системой. Если при его проектировании есть необходимость усилить одно из требований к мореходности, то этого не должно следовать абсурдного следствия, которое, если не губит мореходность, то, по крайней мере, снимает актуальность требования - причины. Именно это произошло в результате неумного желания справиться с заливаемостью носовой палубы

1.5 Предварительные предложения о корабельной архитектуре

Проектирование корабля, как инженерного сооружения, должно обеспечивать сочетание свойств непротivления стихии с возможностями активного управления судном в штормовом море, в соответствии с его назначением.

Современные корабли обладают огромными запасами мощности главных двигателей, а также очень прочными корпусами, что позволяет им уверенно штормовать в открытом море при активном использовании (и чрезмерной перегрузке) винторулевых комплексов. Используя исторический опыт мореплавания и непротivоречивого проектирования кораблей различного назначения, можно существенно повысить эффективность, экономичность и безопасность эксплуатации флота.

Однако, учитывая большие технические возможности и энергетические мощности современных кораблей, оптимизация формы корпуса и общекорабельной архитектуры может быть проведена с целью существенной специализации корабля, как по его назначению, так и по режимам его повседневной эксплуатации и боевого использования. Чрезмерная специализация инженерной системы, так же как ее оптимизация по жестко заданным формальным критериям, может привести к появлению критических режимов эксплуатации сверхспециализированного корабля, когда человек будет не в состоянии адекватно оценивать обстановку на море и предпринимать действия по управлению кораблем, особенно в сложных условиях плавания, в о внештатных или аварийных ситуациях. К примеру, достижение наилучшей штормовой мореходности может позволить поддерживать высокую скорость хода при высокой стабилизации корпуса активными успокоителями качки, малейшая ошибка в управлении которыми будет представлять немалую опасность для удержания корабля на поверхности воды. Такое проектирование потребует более углубленного изучения особенностей эксплуатации флота в штормовых режимах плавания, чтобы после формализации основных законов управления можно было воспользоваться как аналитическими возможностями бортовых вычислительных комплексов, так и практическим опытом по обеспечению безопасности корабля при сбоях автоматических систем управления.

Такое проектирование потребует углубленного изучения особенностей эксплуатации флота в штормовых режимах плавания, чтобы после формализации основных законов управления можно было воспользоваться аналитическими возможностями бортовых вычислительных комплексов.

В заключение можно сформулировать основные требования к мореходным качествам судна и на их основе построить гипотетическую модель формы корпуса и общекорабельной архитектуры:

- *Кораблям ВМФ, исследовательским и рыболовным судам необходимы:*
 - а) *стабилизация корпуса (как платформы для оборудования);*
 - б) *поддержание активного движения в любых погодных условиях (имеется в виду заданный курс и скорость);*
- *Суда спасательной и патрульной службы должны иметь возможность поддержания хода на произвольном курсе относительно штормового волнения, а также активно маневрировать в любых погодных условиях;*
- *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. Сохранение активного хода на волнении также необходимо для уклонения или обхода циклонов, а при встрече с ураганными штормами судно должно иметь возможность пассивного штормования в режиме носом на волну, обеспечивающем минимальные нагрузки на корпус и груз;*
- Конечно, это важно для всех, а для пассажирских и рыбообрабатывающих судов важно также и по этическим нормам

(здесь нет проблем ни с обеспечением высокой скорости транспортировки грузов, ни с поддержанием боеготовности). Это требование безопасности штормового плавания без хода, которое должно быть обеспечено проектированием специальной формы корпуса и надстроек.

Реально это три взаимоувязанные проблемы: **1 - ходкость; 2 - стабилизация корпуса; 3 - безопасность плавания**, которые должны решаться применительно к реальному плаванию, в том числе в условиях штормового волнения. Следуя вышеописанным проектным требованиям, полученным из исторического анализа свойств корабельной архитектуры, в предполагаемый проект нового корабля должны быть включены следующие 6 взаимозависимых правил:

1. *Смещение центра величины в нос, до приведения на одну вертикаль или даже опережения динамического центра бокового сопротивления. Это обеспечит стабилизацию качки при движении на волнении, а без хода создаст предпосылки для безопасного штормования;*
2. *Существенное уменьшение площади, а также поперечного и продольного моментов инерции действующей ватерлинии, и заострение ее в оконечностях. Для уменьшения силового воздействия умеренного волнения и сохранения ходкости в условиях океанского плавания;*
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 ходом судна;*
4. *Существенное уменьшение надводных объемов корпуса в оконечностях. Если надводный центр парусности привести к средней части корпуса, то это улучшит штормовую управляемость, если же обеспечить завал борта на уровне действующей ватерлинии, то это стабилизирует ход на волнении без усиления килевой качки и рыскания, так как корпус перейдет в режим прорезания волн;*
5. *Последнее не противоречит переносу основных 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 носом на волну. Такое решение учитывает свойства реального штормового волнения, исключая, может быть, условия непредсказуемости волнообразования в центре циклона. Завышенные кормовой надводный объем и высота юта не мешают поддержанию эффективности хода и управляемости, так как ускоренный движителем поток "удерживает" кормовой подзор на осредненном уровне поверхности взволнованного моря.*
6. *Существенное уменьшение парусности и высоты надстроек, с переносом соответствующих помещений внутрь гидродинамически обоснованного корпуса, - это уже хорошая морская примета: "Красота корабля определяется отсутствием на его борту ненужных вещей". Попутно снимаются ограничения на выбор штормового курса, обусловленные заливаемостью; а также решается проблема ветрового крена, и как следствие, за счет уменьшения начальной метацентрической высоты, корпус может стать пассивным по отношению к кренящему воздействию волн; и уж конечно - это основное и единственное решение задачи о борьбе с обледенением.*

Указанные правила не противоречат другим мореходным качествам:

- *Ходкость на спокойной воде, обусловленная 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 описанных правилах упомянут завал борта в районе действующей ватерлинии (пп.4). Это новый элемент формы корпуса, выведенный из принципа непротивления морской стихии. Скорее всего, корабли прошлого века широко использовали бы такой завал борта у корпусов военных кораблей, если бы форма мидель-шпангоута не определялась громоздкостью паровых машин, используемых в то время в качестве главных двигателей.



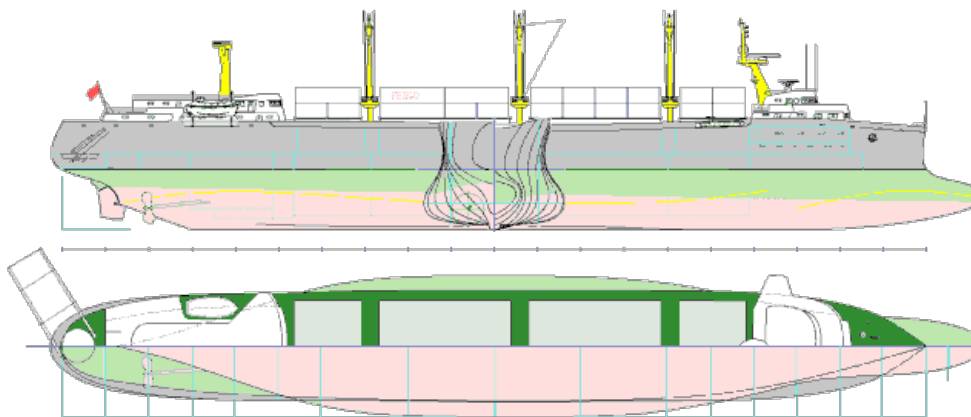


Рис.14 Эскиз универсального судна.

В проекте показывается, что реализация формы корпуса, удовлетворяющей всем вышеперечисленным требованиям к мореходности, и использование этого корпуса возможно даже в случае самого сложного универсального судна

В следующих главах, с помощью вычислений по формулам Мичелла букет показано, что носовой бульб сказывается на снижении волнового сопротивления на относительной скорости: $F_n=0.3$, завал борта на уровне действующей ватерлинии снижает волновое сопротивление на критической скорости: $F_n=0.5$. С использованием геометрического анализа корабельного волнообразования показана связь между силами, затрачиваемыми волнообразование, и силовым воздействием на корпус корабля стороны морского волнения: если корпус корабля в движении на различных скоростях излучает крупные корабельные волны, то корабль будет подвержен воздействию со стороны морских волн такой же длины. Такое предположение можно взять за основу при выборе оптимальной формы корпуса из серии вычислительных экспериментов по расчету корабельного волнообразования и волнового сопротивления.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Артюшков Л.С.**, Расчеты сопротивления при движении судов в особых условиях, Л., ЛКИ, 1983.
2. **Бадигин К.**, По студеным морям, М., Государственное издательство географической литературы, 1956.
3. **Ван-Ламмерен, Троост, Конинг.** Сопротивление, пропульсивные качества и управляемость судов. Л., СудПромГИЗ, 1957.
4. **Войткунский Я.И.**, Гидромеханика, Л., Судостроение, 1982.
5. **Войткунский Я.И.**, Сопротивление воды движению судов, Л., Судостроение, 1964.
6. **Джилмер Томас С.** Проектирование современного корабля. Л., Судостроение, 1984.
7. **Кацман Ф.М., Пустошный А.Ф., Штумпф В.М.**, Пропульсивные качества морских судов, Л., Судостроение, 1972.
8. **Костюков А.А.**, Сопротивление воды движению судов, Л., Судостроение, 1966.
9. **Курти О.** Постройка моделей судов. Энциклопедия судомоделизма. Л., Судостроение, 1977.
10. **Мельников Р.М.**, Миноносцы типа "Измаил", Судостроение, № 8, Л., Судостроение, 1981.
11. **Ногид Л.М.**, Остойчивость судна и его поведение на взволнованном море, Л., Судостроение, 1972.
12. **Ньюмен Дж.**, Морская гидромеханика, Л., Судостроение, 1985.
13. Основы корабельной архитектуры. Т.1-2, Л., СудПромГИЗ, 1948.
14. **Павленко Г.Е.**, Сопротивление воды движению судов. М., ВодТрансИздат, 1953.
15. **Пантюхов И.М.**, Моряна, Калининград, Книжное издательство, 1975.
16. Проблемы прикладной гидромеханики судна. Под редакцией Титова И.А., Л., Судостроение, 1975.
17. **Турбал В.К., Шпаков В.С., Штумпф В.М.**, Проектирование обводов и движителей морских транспортных судов, Л., Судостроение, 1984.
18. **Ханке Х.**, Люди Корабли Океаны. Л., Судостроение, 1976.
19. **Хаскинд М.Д.**, Гидродинамическая теория качки корабля, М., Наука, 1973.
20. **Шебалов А.Н.**, Нелинейная теория волн и волнового сопротивления, Л., ЛКИ, 1984.
21. **Kane John R.**, The Speed of the SS United States, Marine Technology, vol. 15, №2, April 1978, pp.119-143.