

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

Роменкова Варвара Александровна

**Исследование особенностей проектирования судов
для перевозки крупно-габаритных и тяжеловесных грузов**

Направление подготовки
26.04.02 «Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов
морской инфраструктуры»

**АВТОРЕФЕРАТ
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

2020

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре
государственный университет»

| | |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Научный руководитель | Бурменский Андрей Дмитриевич кандидат технических наук, доцент кафедры «Кораблестроение» ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» |
| Рецензент | Журбин Олег Владимирович кандидат технических наук, доцент, начальник отделения диагностики искусственных сооружений Дальневосточного филиала ФАУ «РОСДОРНИИ» |

Защита состоится «29» июня 2020 года в ___ часов ___ мин на заседании государственной аттестационной комиссии по направлению подготовки 26.04.02 «Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина 27, ауд. 228

Автореферат разослан 25 июня 2020 г.

Секретарь ГАК

Н.С. Гуменюк

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Изменения в подходах строительства крупных предприятий тяжелого машиностроения, нефтехимических комплексов, масштабное освоение морских шельфов, создания энергетических технологий, требующих монтажа все более крупного моноблочного оборудования, определило развитие морских перевозок крупногабаритных тяжеловесных грузов (далее – КТГ) и тем самым строительство специализированных судов различных типов. Доставка КТГ повышенной степени заводской готовности к строящимся промышленным и энергетическим объектам значительно повышало экономический эффект, за счет доставки КТГ, с завода-изготовителя (он же грузоотправитель) до строительной площадки в собранном виде и существенного снижения затрат на монтаже крупных строительных блоков, по сравнению с детальной сборкой.

В последние годы развитие шельфовой инфраструктуры в Арктике и Дальнем Востоке России, а также развитие химической промышленности по более глубокой переработке газа и нефти, развитие судостроительных мощностей создает потребность в морских перевозках крупногабаритных и тяжеловесных грузов. В настоящее время такие перевозки осуществляются или судами отечественных операторов зарубежной постройки или к этим перевозкам вообще привлекаются зарубежные судоходные компании.

Это делает актуальным научно-технические исследования, связанные с вопросами исследовательского проектирования данных типов судов, тем более что отечественный опыт их проектирования и тем более строительства практически отсутствует.

Целью магистерской диссертации является исследование архитектурно-конструктивных особенностей и вопросов проектирования многоцелевых судов с вертикальной грузообработкой оснащенные кранами большой грузоподъемностью с целью использования результатов исследования в математической модели проектирования (ММП) судов данного класса.

Основными задачами диссертационной работы являются:

- проанализировать специальную литературу и другие источники научно-технической информации о научно-технических достижениях по тематике магистерской диссертации;
- провести сбор технических характеристик по современным многоцелевым судам, предназначенным для транспортировки КТГ и оснащенные кранами большой грузоподъемностью;
- провести анализ архитектурно-конструктивных особенностей и статистические исследования проектных характеристик судов рассматриваемого типа;
- провести анализ методик проектирования контейнеровозов и сухогрузных судов, с целью их адаптации к задачам проектирования судов для КТГ;
- провести анализ методик расчета функциональных характеристик судов с целью их использования в задачах проектирования судов для КТГ;
- разработать методику определения главных размерений судов для

КТГ, основанную на комплексном учете геометрических и конструктивных факторов размещения КТГ и возможности транспортировки контейнерного груза;

– сформулировать задачу оптимизационного проектирования судов для КТГ;

– рассмотреть вопросы технологии постройки рассматриваемого типа судов на отечественных верфях.

Объектом исследования в данной диссертации является многоцелевое сухогрузное судно с вертикальной грузообработкой, оснащенное грузовыми кранами большой грузоподъемности.

Предметом исследований является архитектурно-конструктивные особенности многоцелевых сухогрузных судов; особенности проектирования судов данного типа на начальных стадиях; особенности расчета функциональных качеств и технологии постройки судов для КТГ.

Методы исследования. Для решения поставленных задач и достижения намеченной цели в исследованиях архитектурно-конструктивных особенностей использованы методы системного анализа и математической статистики. При создании отдельных математических моделей проектирования многоцелевого судна для КТГ использованы основные методики и аппарат теории проектирования судов с учетом дополнений, разработанных в настоящем исследовании.

Научную новизну результатов исследования составляют:

1. Результаты анализа архитектурно-конструктивных особенностей современных многоцелевых судов для КТГ.

2. Статистические зависимости проектных характеристик многоцелевых судов для КТГ.

3. Методика определения главных размерений судов для КТГ, основанная на комплексном учете геометрических и конструктивных факторов размещения КТГ и возможности транспортировки контейнерного груза.

4. Алгоритмы проверки вместимости судна с учетом обеспечения требований остойчивости.

Практическая значимость и ценность работы состоит в исследовании особенностей многоцелевого судна для КТГ, как объекта проектирования и получении новых зависимостей для определения главных размерений судна. Разработанные методики и алгоритмы предназначены для использования в задачах начального проектирования судов рассматриваемого типа.

Личный вклад автора заключается в выполнении теоретического и практического исследования, включая сбор информации, анализ архитектурно-конструктивных особенностей, разработку алгоритмов, расчетных методик и проведения расчетов.

На защиту выносятся основные результаты:

1. Результаты анализа архитектурно-конструктивных особенностей современных многоцелевых судов для КТГ с вертикальной грузообработкой.

2. Результаты анализа применения существующих методик проектирования и расчета функциональных качеств судов в задачах исследовательского проектирования судов для КТГ.

3. Методика определения главных размерений судов для КТГ, основанная на комплексном учете геометрических и конструктивных факторов размещения КТГ и возможности транспортировки контейнерного груза.

4. Алгоритмы проверки вместимости судов с учетом процедур обеспечения требований устойчивости.

5. Формулировка оптимизационной задачи исследовательского проектирования судов для КТГ

6. Предложения по технологии строительства судов рассматриваемого типа на отечественных судостроительных заводах.

Апробация работы. Результаты и положения, изложенные в диссертации, докладывались и обсуждались на научно-технических семинарах кафедры «Кораблестроение» КнАГУ, а также на ежегодных научно-технических конференциях студентов и аспирантов КнАГУ (г. Комсомольск-на-Амуре, 2019, 2020 г.).

По теме диссертации автором подготовлено к публикации 1 печатная работа.

Структура и объем магистерской диссертации.

Диссертация состоит из введения, шести разделов, заключения, списка использованных источников и приложений. Она содержит 107 страниц основного текста (включая 37 рисунка и 15 таблицы) и 2 страницы оглавления. Список использованных источников включает 46 наименований и занимает 3 страницы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы общая цель и задачи исследования, а также определена последовательность решения задач, выносимых на защиту.

В первом разделе проведен анализ возможного рынка перевозок крупно-габаритных грузов России. Рассмотрены виды КТГ и их характеристики. Рассмотрены архитектурно-конструктивные типы судов приспособленных для транспортировки КТГ в зависимости от способов их грузообработки. Приведена постановка задачи исследования.

Анализ постепенного развития всех видов промышленности в России и перспектив ее технического переоснащения показал, что потребность в перевозках КТГ в будущем будет только повышаться. Здесь можно отметить следующие отрасли экономики, которые являются потребителями КТГ: добыча углеводородов на шельфе, трубопроводный транспорт, тяжелое машиностроение и судостроение, химическая и металлургическая отрасли и другие. Отдельные примеры КТГ приведены на рисунке 1.

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Суда и объекты океанотехники</p>  <p>От 1 000 т и свыше 110 000 т</p> | <p>Объекты нефтегазовой и химической промышленности</p>  <p>Сепараторы, реакторы и др. от 5 т до 22 000 т</p> | <p>Строительная промышленность</p>  <p>Мельницы, обжиговые печи и др. от 35 т и выше</p> |
| <p>Малотоннажные суда и корабли</p>  <p>До 1 000 т</p> | <p>Примеры КТГ</p>  | <p>Энергетическая промышленность</p>  <p>Генераторы, лопасти ветряков и др.</p> |
| <p>Металлургическая промышленность</p>  <p>Станции, прокатные станки и др. от 100 т и выше</p> | <p>Судостроительная промышленность</p>  <p>СЭУ, корпусные блоки, движительные установки и др. от 12 т и выше</p> | <p>Магистральные нефтегазовые проводы</p>  <p>Трубы диаметром до 3 м, длиной до 12 метров</p> |

Рисунок 1 – Примеры отдельных видов КТГ

Одним из видов транспорта, который способен осуществлять все виды КТГ является водный транспорт и зачастую только им можно осуществлять транспортировку КТГ из одних регионов страны в другой, или доставку отдельных видов КТГ от зарубежных поставщиков. По методу ведения грузовых операций, определяющему также архитектурно-конструктивные особенности, самоходные суда для перевозки КТГ можно разделить на четыре основных типа.

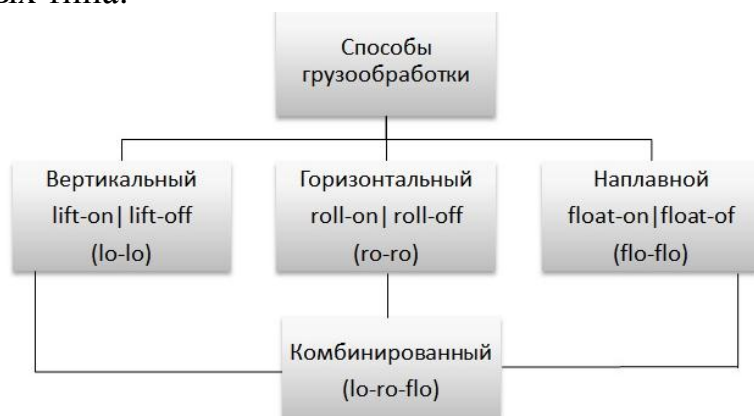


Рисунок 2 – Способы грузообработки судов

По сути можно выделить три архитектурных типа судов для КТГ.

К первому типу относятся полу-погружные суда (рисунок 3). Данная группа судов малочисленна и предназначена в первую очередь к транспортировке грузов, которые обладают собственной плавучестью и не могут быть загружены на судно ни какими грузовыми устройствами из-за своих огромных габаритов (которые могут выступать за пределы грузовой палубы) или массы. Данные грузы загружаются на палубу либо наплавным способом, либо накатным.



Рисунок 3



Рисунок 4

Ко второй группе относятся многоцелевые полу-погружные транспортные суда докового типа – суда типа Lo-Ro (рисунок 4). Они отличаются от классических лихтеровозов тем, что не осуществляют наплавную грузообработку, хотя и конструктивно напоминают последние.

Эти суда имеют один большой открытый трюм на всю длину грузовой части судна. В корме трюм имеет водонепроницаемое закрытие, которое в открытом положении образует рампу – аппарель. Загрузка тяжеловесного груза производится накатным способом, но в отличие от ролкеров, распределение груза по грузовым уровням производится не за счет наличия на судне наклонных пандусов и лифтов, а за счет подтопления судна до совмещения «погрузочной палубы» с уровнем причала. Также этот тип судов оборудован собственными кранами большой грузоподъемности для ведения вертикальной грузообработки.

Третью группу судов для перевозки КТГ составляют так называемые «проектные» суда («Project ship»). Это не погружные многоцелевые сухогрузные суда типа Lo-Lo.

Эти корабли образуют самый крупный подтип судов для КТГ, приспособлены для транспортировки наиболее широкой номенклатуры как генеральных, так и массовых грузов и являются наиболее востребованными и перспективными для транспортного флота России. Однако опыт проектирования и строительства таких судов в отечественной практике практически отсутствует. Поэтому данное исследование является начальным этапом по исследованию вопросов проектирования судов данного типа.

Второй раздел посвящен анализу современного состояния многоцелевых судов для КТГ с вертикальной грузообработкой и их архитектурно-конструктивных особенностям. Приведены результаты статистических исследований главных размерений данных судов.

Для проведения исследований архитектурно-конструктивных особенностей предварительно был произведен сбор технической и графической информации по проектам многоцелевых судов для КТГ с возможностями проведения перегрузочных работ с грузами массой от 140 до 3000 т.

Под архитектурно-конструктивным типом судна понимается совокупность определенных архитектурных и конструктивных признаков, которые характеризуют конструкцию корпуса в соответствии с функциональным назначением судна.

Многоцелевое судно для КТГ представляет собой гладкопалубное, одновинтовое судно с двойными бортами и двойным дном, с бульбообразной носовой оконечностью и транцевой кормой (рисунки 5 и 6), с кормовым расположением машинного отделения.

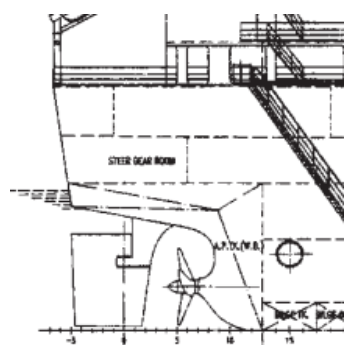


Рисунок 5 -Транцевая корма

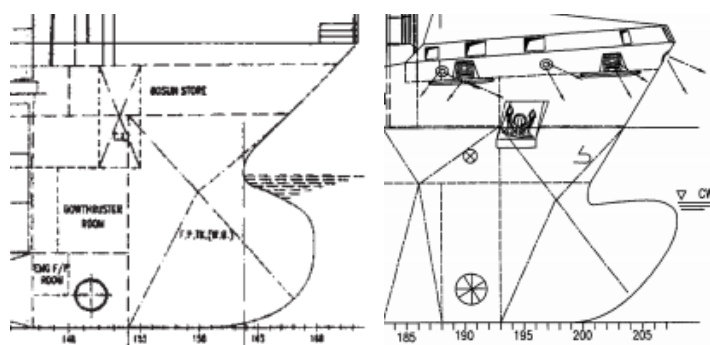


Рисунок 6 - Бульбообразная носовая оконечность

В зависимости от концепции использования палубного и трюмного грузового пространства многоцелевые суда для КТГ имеют как носовое, так и кормовое расположение ходовой рубки с блоком помещений экипажа (рисунки 7-8). Носовое расположение ходовой рубки наиболее характерно для судов с кранами большой грузоподъемности (свыше 400 т).



Рисунок 7 – Кормовое расположение ходовой рубки



Рисунок 8 – Носовое расположение ходовой рубки

Суда оборудуются грузовыми трюмами ящичной формы. Количество грузовых трюмов зависит от проектной концепции и в том числе от расположения ходовой рубки. Так на судах с носовым расположением рубки, как правило, организуется один трюм от носовой надстройки, до машинного отделения (рисунок 9) и зачастую имеет уступ над ним. Для судов классической архитектуры характерно наличие двух грузовых трюмов: центральный – ящичной формы; носовой ящичный с уступами (рисунок 10). Трюмы разде-

ляются диптанком, в котором располагаются цистерны судовых энергетических запасов.

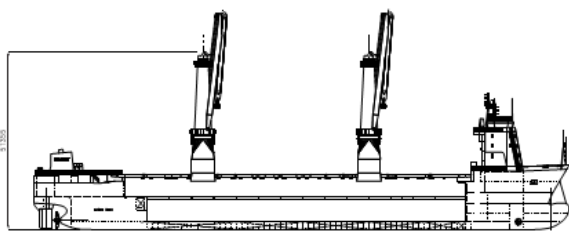


Рисунок 9 – Судно с одним грузовым трюмом

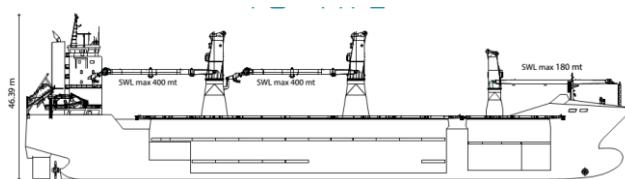


Рисунок 10 – Судно с двумя грузовыми трюмами

Так как КТГ имеет малую партионность, а также зачастую исключает штабелирование (за исключением труб и контейнеров), то на судах организуется съемные твиндеки в виде отдельных понтонов которые делят грузовой трюм на горизонтальные грузовые пространства различной высоты (рисунок 12). Это позволяет одновременно перевозить различные виды КТГ и генеральных грузов.

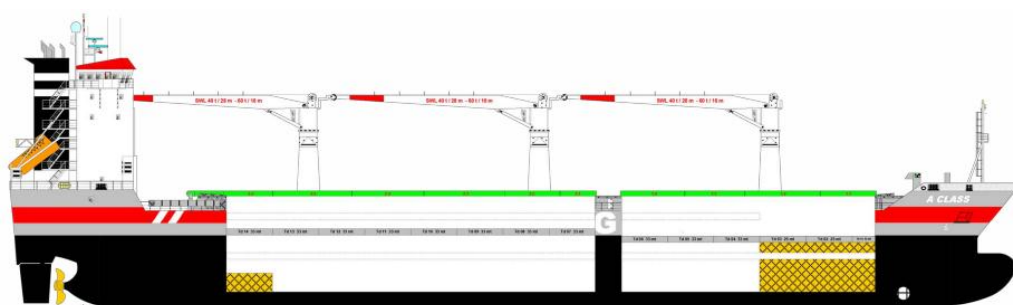


Рисунок 11 – Современный «твиндекер» со съемным твиндеком

Люки грузовых трюмов оснащаются люковыми крышками понтонного или складываемого гидравлического типа.

Многоцелевые суда для КТГ оснащаются двумя кранами большой грузоподъемности (до 1500 т), способными работать в тандеме. Расположение грузовых кранов бортовое с целью максимального освобождения грузового пространства. Для грузообработки в носовой или кормовой грузовых зонах часто устанавливается третий кран меньшей грузоподъемности, причем он устанавливается на противоположном борте от главных кранов.

Третий раздел посвящен рассмотрению отдельных вопросов проектирования многоцелевых судов для КТГ. Были рассмотрены вопросы определение главных размерений и методология определения составляющих нагрузки.

Определение таких главные размерений, как длина L , ширина B и высота борта H для судов КТГ предлагается вести от параметров перевозимого груза. На процесс определения главных размерений влияет также расчетный архитектурно-конструктивный тип судна.

Рассмотрим методику определения длины для расчетного варианта АКТ судна КТГ представленного на рисунке 12.

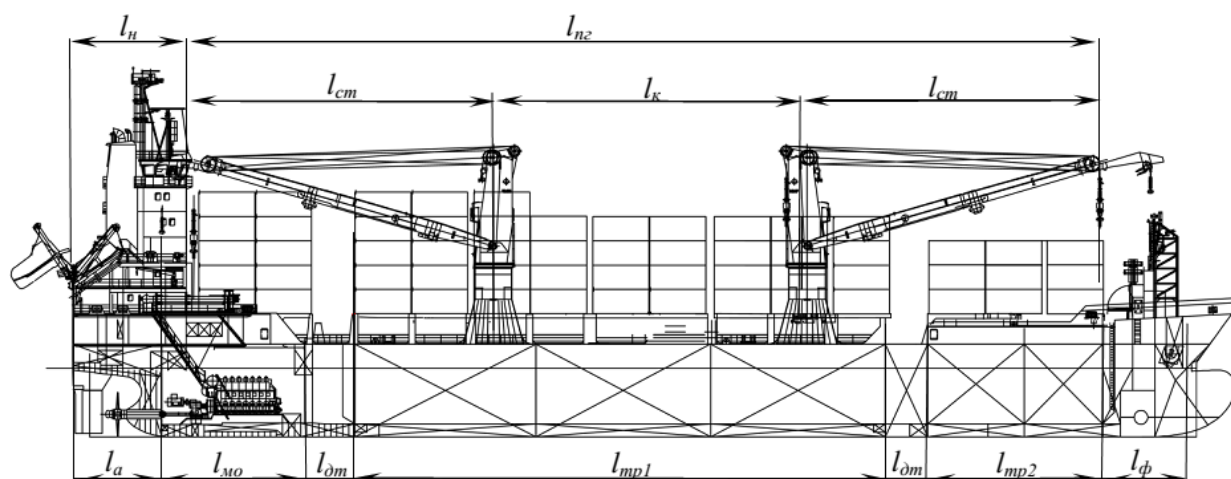


Рисунок 12 – Расчетный АКТ судна

На основе анализа расчетного архитектурно-конструктивного типа судна КТГ, его корпус можно разделить на три части.

Длина по КВЛ L может быть представлена как сумма составляющих

$$L = L_{\phi} + L_{nz} + L_n \quad (1)$$

где L_{ϕ} – длина форпика; L_{nz} – суммарная длина палубной грузовой зоны; L_n – габаритная длина надстройки юта.

Также длина судна по КВЛ может быть представлена как

$$L = L_a + L_{mo} + 2L_{om} + L_{mp1} + L_{mp2} + L_{\phi} \quad (2)$$

где L_a – длина ахтерпика; L_{mo} – длина машинного отделения; L_{om} – длина диптанка; L_{mp1} – длина центрального трюма; L_{mp2} – длина носового трюма, м.

Суммарная длина палубной грузовой зоны зависит от параметров вылета стрел грузовых кранов для заданной грузоподъемности, а также принятой кратности размещения крупногабаритных грузов.

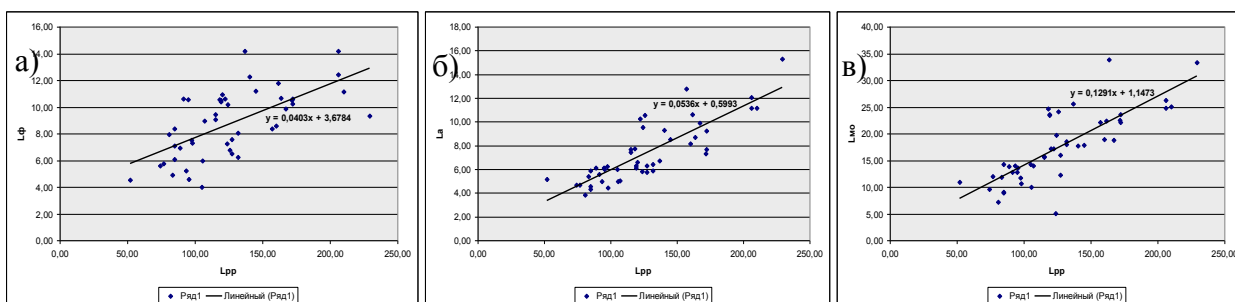
Длины машинного отделения, ахтерпика и форпика определяются по статистическим зависимостям. Для статистического анализа данных составляющих длины был рассмотрен ряд современных многоцелевых, универсальных и контейнерных судов. На основе анализа данных получены следующие статистические зависимости для составляющих длины:

$$\text{– форпика } L_{\phi} = 0,0403 \cdot L + 3,6784 \quad , \quad (3)$$

$$\text{– ахтерпика } L_a = 0,0536 \cdot L + 0,5993 \quad , \quad (4)$$

$$\text{– машинного отделения } L_{mo} = 0,1291 \cdot L + 1,1473 \quad . \quad (5)$$

На рисунке 13 представлены статистические зависимости составляющих длины:



а – длины форпика; б - длины ахтерпика; в - длины машинного отделения
 Рисунок 13 - Статистические зависимости составляющих длины от длины судна

Полученные зависимости предназначены для составления уравнения длины судна в разрабатываемой параметрической расчетной модели.

Начальную длину диптанков проектант назначает минимальной, с дальнейшим ее уточнением из условия размещения требуемого количества судовых энергетических запасов.

Длина центрального трюма определяется из требований к ее форме. Длина носового трюма определяется из выражения (2), на основе определения всех остальных составляющих.

Начальное значение ширины судна принимается как минимальное значение из двух значений

$$B = \min \{ B_k, B_t \} . \quad (6)$$

где B_k – ширина судна в зависимости от суммарной грузоподъемности кранов; B_t – ширина судна в зависимости от ширины трюма.

Определение осадки судна проводится на основе решения уравнения нагрузки в функции главных размеров

$$\rho \delta L_m B T = \sum P(\delta L_m, B, H, T) + \sum P_n \quad (7)$$

где L_m – длина между перпендикуляров; $\sum P(\delta L_m, B, H, T)$ – сумма зависимых масс; $\sum P_n$ – сумма независимых масс.

Структура уравнения (7) основывается на структуре уравнения для универсальных судов, однако имеет свои особенности.

Главными особенностями уравнения (7) является, что группа нагрузки «грузовые устройства» выделяется состав независимых масс и также эта группа определяет значение раздела нагрузки «твердый балласт».

Масса раздела «твердый балласт» определяется из условия отсутствия крена от бортового расположения судовых грузовых кранов.

Еще одной особенностью уравнения является процедура определения такой независимой составляющей, как раздел «перевозимый груз». В качестве расчетной грузоподъемности судна выбирается максимальная величина из двух вариантов нагрузки. В первом случае проектантом прорабатывается наиболее вероятный вариант полной загрузки судна различными видами КТГ.

Во втором случае КТГ заменяется «эквивалентным гомогенным КТГ». В качестве «эквивалентного КТГ» предлагается использовать контейнероризированный груз. Тогда грузоподъемность судна можно определить как

$$P_{cp} = m_{cp} K \quad (8)$$

где K – максимальная расчетная контейнеровместимость судна; m_{cp} – средняя масса контейнера TEU.

Расчетная контейнеровместимость судна определяется на основе разработки грузового плана судна, и она зависит от габаритов трюмов, площади палубной грузовой зоны и возвышение ходовой рубки. Также на контейнеровместимость влияет выполнение требований SOLAS к безопасности мореплавания в плане обеспечения требуемого обзора из ходовой рубки.

В четвёртом разделе приводится анализ методик расчета функциональных качеств транспортных судов, с целью их адаптации к использованию в математической модели начального проектирования многоцелевых судов для КТГ. Были проанализированы методики расчета ходкости и проверки остойчивости.

На начальных стадиях проектирования, в зависимости от наличия исходной проектной информации, используются различные методики приближенного определения сопротивления корпуса судна. Наиболее простая из них – это использование Адмиралтейской формулы. Однако она требует наличие проектных данных близкого прототипа. Также можно воспользоваться экстраполяционными методами, основанными на обработке экспериментальных данных серийных испытаний моделей судов. Но следует отметить, что эволюция судовых форм по сравнению с моделями, серийные испытания которых проводились в 70-х годах XX века, привела к тому, что коэффициенты сопротивления современных судов выросли. Это объясняется возможным наличием кормового бульба, большим развалом шпангоутов в оконечностях, обеспечивающим дополнительные площади для размещения палубного груза, использованием транцевой кормы.

Наиболее перспективной методикой расчета буксировочного сопротивления, которую рекомендуется использовать в математической модели начального проектирования многоцелевых судов для КТГ, является статистический метод Холтропа. Эта методика требует минимального количества исходных данных и не нуждается в использовании какого-либо прототипа. Конкретные особенности обводов в ней учитываются путем специальных поправок.

Для проверки адекватности статистического метода в системе MathCAD был реализован алгоритм расчета мощности главного двигателя и проведены тестовые расчеты для уже эксплуатирующихся многоцелевых судов и контейнеровозов. Расчеты показали хорошую сходимость результатов по методу Холтропа. Так для многоцелевого судна для КТГ «BBS Everect» погрешность расчета составила менее 6%.

Алгоритм определения мощности ГД основанный на методике Холтропа может быть реализован непосредственно в решении уравнения нагрузки в функции главных размерений.

Одним из главных мореходных качеств судна является остойчивость. Особенно это актуально для многоцелевых судов для КТГ, так как очень сложно учесть в математической модели проектирования многообразие видов КТГ, которые могут перевозить. данный тип судов. Поэтому предлагается проектное обеспечение остойчивости в математической модели проводить относительно параметров «эквивалентного груза».

В этом случае при невыполнении требований к остойчивости ее обеспечение производится в первую очередь за счет понижения центра тяжести судна в грузу при постоянном водоизмещении. Данная процедура заключается в последовательном удалении верхних ярусов контейнеров при палубной их перевозке и компенсации их масс приемом жидкого балласта (рисунок 14).

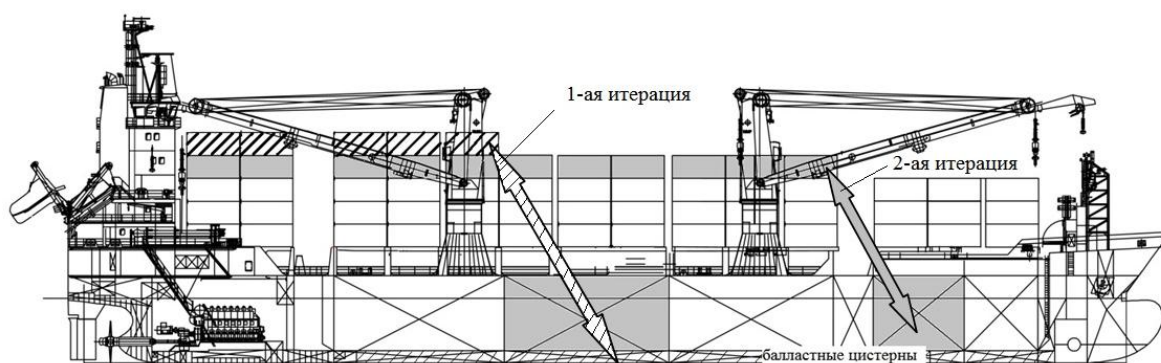


Рисунок 14 – Процедура замещения груза жидким балластом

Данная процедура выполняется до тех пор, пока не будут полностью выполнены требования к остойчивости судна. Если же при обеспечении остойчивости будет превышен требуемый объем балластных цистерн, то производится переход на процедуру обеспечения остойчивости за счет изменения главных размерений, в первую очередь за счет изменения ширины судна.

В пятом разделе приводится формулировка задачи проектирования многоцелевых судов для КТГ, как задачи экстремального математического программирования, а также приведен обзор методов нелинейной оптимизации.

Задача начального проектирования судов для КТГ может быть сформулирована следующим образом:

Для выбранного архитектурно-конструктивного типа судна и вектора параметров задания на проектирование $C(c_1, \dots, c_q)$, определить такой вектор искомых характеристик судна (вектор оптимизируемых переменных) $X(x_1, \dots, x_n)$, при которых функция критерия эффективности Z достигает своего экстремального значения

$$Z = \text{extr} \{Z(X, C)\}. \quad (9)$$

При этом должны выполняться m функциональных требований к проектируемому судну

$$G_j(X, C) \geq A_j \quad j = 1, \dots, m, \quad (10)$$

где A_j – требование к j -му показателю качества; $G_j(X, C)$ – значение функционального j -го показателя качества; q – количество элементов вектора задания; m – количество функциональных требований.

На элементы вектора X накладываются двухсторонние ограничения вида

$$(x_i)_{\min} \leq x_i \leq (x_i)_{\max} \quad i = 1, \dots, n, \quad (11)$$

где $(x_i)_{\min}$, $(x_i)_{\max}$ – пределы изменения оптимизируемой переменной x_i ; n – количество накладываемых ограничений.

Основными исходными данными в ММП являются: l_{max} , b_{max} – максимальные габариты единицы КТГ; M_{max} – максимальная масса единицы КТГ; $v_{экс}$ – эксплуатационная скорость; R – дальность плавания; n_e – численность экипажа.

Основными оптимизированными переменными являются: L , B , H – длина, ширина и высота борта, δ – коэффициент общей полноты, K – контейнеровместимость эквивалентного груза, h_n – высота ходовой рубки.

Среди основных отношений, описывающих ограничения в ММП можно выделить следующие:

- геометрические (например: ширина судна должна быть не более максимальной по условиям постройки судна; центральный трюм должен иметь ящичную форму; высота надстройки должна обеспечивать достаточный обзор по курсу судна; объем цистерн должен быть достаточным для размещения требуемого объема балласта; габариты грузовых пространств должны обеспечивать размещение КТГ заданных габаритов; высота надводного борта должна обеспечивать требуемую заливаемость при наклонениях судна);

- силовые (например: грузоподъемность кранов должна обеспечивать перегрузку КТГ максимальной массы при их парной работе; мощность ГЭУ должна обеспечивать заданную эксплуатационную скорость);

- моментные (масса твердого балласта должна устранять крен от установленных побортно крановых грузоподъемных устройств; положение центра тяжести загруженного судна и гидростатические характеристики формы корпуса должны обеспечивать требуемые параметры остойчивости);

- энергетические (мощность источников энергии должна превышать суммарную мощность ее потребителей).

В качестве функции цели ММП предлагается использовать экономический критерий, а именно критерий минимума приведенных затрат при транспортировке эквивалентного груза.

В качестве алгоритма оптимизации предлагается использовать метод случайного поиска. Он позволяет ускорить поиск оптимальных характери-

стик проектируемого судна, а также может применяться при любых типах функций критерия, ограничений и переменных.

Шестой раздел посвящен вопросам анализа возможности строительства судов рассматриваемого типа на отечественных судостроительных заводах и разработке технологии строительства судов рассматриваемого типа.

Отмечается, что одними из перспективных мощностей для строительства многоцелевых судов для КТГ могут быть два крупнейших судостроительных завода на Дальнем Востоке. Это судовой верфь «Звезда» и «Амурский судостроительный завод».

Так как спусковая масса многоцелевых судов для КТГ не превышает 15 тыс. т и их размерения не превышают по длине 180 м и ширине 30 м, то завод «Звезда» не имеет ограничений по строительству судов данного типа. Но как раз из-за своих судостроительных мощностей, «Звезда» должна быть ориентирована на строительство самых больших судов для КТГ с кранами большой суммарной грузоподъемностью – от 900 т и выше. Организация строительства таких судов заключается в сборке крупных блоков из секций в корпусо-сборочном цехе, выкатке блоков на тяжеловесный стапель и сборке корпуса судна, спуске на воду с помощью транспортно-передаточного дока большой грузоподъемности (рисунок 15).



Рисунок 15 – Организация строительства судов на «Звезде»



Рисунок 16 – Сборка корпуса из блоков на понуре наливного бассейна

Строительство многоцелевых судов с суммарной парной грузоподъемностью кранов менее 900 т может быть освоено на «Амурском судостроительном заводе». Причем организация строительства может быть применено двух видов. Корпуса судов шириной менее 19 м могут собираться блочно-секционным способом в закрытых строительных доках элингах В. Спуск судна осуществляется при этом с помощью передаточного док-понтон. Формирование корпуса судов шириной до 23 метров может быть организовано по агрегатно-блочной технологии. В этом случае в закрытых элингах из отдельных секций собирают корпусные блоки, максимально насыщенные судовым оборудованием и системами. Готовые блоки из элингов на стапельных тележках выкатываются на понур (горизонтальная

строительная площадка вдоль элингов), на котором осуществляется стыковка блоков и их сварка (рисунок 16). «Спуск» готового корпуса осуществляется методом самовсплытия при наполнении наливного бассейна. После всплытия корпуса он выводится на ось выводного канала, вода из наливного бассейна сбрасывается и через шандоры корпус выводится к достроечной стенке в заводском затоне.

Организация строительства многоцелевых судов различной грузоподъемности, позволит более полно использовать судостроительные мощности заводов.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ.

В диссертационной работе решена задача, имеющая практическое значение для разработки методик проектирования перспективных судов для отечественного транспортного флота.

Основными результатами исследования являются:

- собрана техническая информация по проектам современных многоцелевых судов для КТГ с вертикальной грузообработкой;
- выявлены основные архитектурно-конструктивные особенности современных многоцелевых судов;
- получены статистические зависимости главных размерений многоцелевых судов;
- предложена определения главных размерений судов для КТГ, основанная на комплексном учете геометрических и конструктивных факторов размещения КТГ и возможности транспортировки контейнерного груза;
- разработаны алгоритмы проверки грузоместимости судна с учетом обеспечения требований остойчивости;
- сформулирована задача оптимизационного проектирования многоцелевых судов для КТГ;
- предложена схема организации строительства судов рассматриваемого типа на отечественных судостроительных заводах Дальнего Востока.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Роменкова, В. А. Современные архитектурно-конструктивные типы судов для перевозки крупногабаритных и тяжеловесных грузов / В. А. Роменкова, А. Д. Бурменский // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : материалы III Всерос. нац. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 01-12 апреля 2020 г. / редкол. : Э. А. Дмитриев (отв. ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2020.