
ПРОБЛЕМЫ КОРАБЛЕСТРОЕНИЯ И ОКЕАНОТЕХНИКИ

УДК 629.5.001

Нгуен Зуй Бак

ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРТОВЫХ БУКСИРОВ ДЛЯ СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ РЕСПУБЛИКИ ВЬЕТНАМ

Социалистическая Республика Вьетнам, г. Хайфон

Обсуждается проблема создания современных портовых буксиров, способных обеспечить эффективную и безаварийную кантовку крупнотоннажных судов в портах Вьетнама.

Ключевые слова: морские порты, буксирные суда, транспортные суда, кантовочные операции, грузы, пропускная способность.

Развитие морских портов Вьетнама – это стратегическое направление развития инфраструктуры морского транспорта и портов, принятое согласно программе Правительства Социалистической Республики Вьетнам (СРВ).

Работа судов морского транспортного флота во многом зависит от успешного обслуживания их буксирными судами. Основным видом буксирных работ в настоящее время являются портовые работы, главным образом, буксирные и кантовочные операции. В последние годы количество грузов и транспортных судов, проходящих через порты Вьетнама, непрерывно увеличивалось. Планами Правительства СРВ намечено пополнить транспортный флот страны новыми крупнотоннажными судами. Ставится задача существенно развить пропускную способность морских портов. Таким образом, роль портовых буксиров (ПБ), предназначенных для буксировки и кантовочных работ, значительно возрастет. Следовательно, проблема создания современных ПБ, способных обеспечить эффективную и безаварийную кантовку крупнотоннажных судов, весьма актуальна для СРВ. Эта задача может быть решена посредством проектирования и постройки специальных буксирных судов. Роль проектирования в решении этой задачи очень велика, так как уже на его начальных стадиях за счет технического совершенства и экономической эффективности новых судов, можно сэкономить значительные средства на создание портового флота.

Особенности эксплуатации ПБ в современных условиях и в будущем не позволяют в полной мере использовать традиционные методы, используемые при определении эффективности транспортных судов. Вопрос, связанный с определением масс и координат центра тяжести (ЦТ) судна, является одним из важнейших вопросов при проектировании судна, поскольку от него зависят многие важные качества судна, такие как мореходные качества судна и экономические показатели. В настоящее время на начальных стадиях проектирования, при отсутствии необходимых чертежей, нагрузка масс и координаты ЦТ судна, как правило, определяются по статистическим формулам. Возможность уточненного определения нагрузки масс и координат ЦТ судна на начальных стадиях сократит трудоемкость последующих этапов и повысит качество процесса проектирования.

До 1975 г. судостроения, как отрасли промышленности, в СРВ практически не существовало. Лишь отдельные мелкие заводы в разных концах страны занимались постройкой

деревянных или малых стальных судов. Послевоенный этап проектирования и строительства портового флота начался с 1959 г, когда был разработан кораблестроительным научно-технологическим институтом (г. Хайфон, Вьетнам) проект ТКЛ60 мощностью 170 л.с. В 1996 г. была создана Вьетнамская судостроительная корпорация (Vinashin) на основании существующих предприятий судостроительной отрасли. Деятельность этой корпорации направлена на развитие судостроительной промышленности как одного из ведущих секторов экономики страны. На сегодняшний день Вьетнамская судостроительная корпорация достигла значительных успехов. В настоящее время Правительством СРВ принимаются меры по строительству новых ПБ на верфях Вьетнама. Так, с 2003 г. реализуется план строительства ПБ “TRANSVINA” по проекту VN - L141 мощностью 2х755 л.с., а с 2006 г. - строительство ПБ “Chan May” по проекту VN LT41 мощностью 2х500 л.с.

Определению массы металлических корпусов буксирных судов посвящены работы А.В. Слуцкого, В.М. Пашина, и Б.В. Богданова. Кроме того, А.В. Слуцкий и В.М. Пашин предложили формулы и для определения координат ЦТ буксирных судов. Однако эти работы не учитывают архитектурно-конструктивные особенности вьетнамских портовых буксиров. В настоящее время отсутствуют систематические исследования, посвященные обоснованию частных и общих показателей эффективности использования ПБ, отсутствуют методики определения массы металлического корпуса на начальных стадиях проектирования.

В связи с отсутствием достаточного количества материалов для статистической обработки данных по нагрузкам масс спроектированных и построенных ПБ, различающихся по архитектурно-конструктивному типу (АКТ) и размерениям, было принято решение о проектировании специальной серии таких судов для дальнейших исследований.

Анализ АКТ вьетнамских ПБ и статистические данные по количеству поперечных переборок, ярусов надстроек и рубок, длине машинного отделения, расположению машинного отделения по длине судна, практическим шпациям. В результате были установлены АК характеристик для проектирования серий стальных корпусов ПБ. Принятые параметры характеристик серийных ПБ, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика систематической серии портовых буксиров

Характеристики	Принятые величины
Расчетная длина L , м	15,0; 20,0; 25,0; 30,0; 35,0
Отношение L/B	2,80; 3,30; 3,80
Отношение B/T	2,20; 3,00; 3,80;
Отношение H/T	1,20; 1,40; 1,60
Коэффициент полноты мидель-шпангоута, β	0,840; 0,890; 0,940
Коэффициент продольной полноты, ϕ	0,500; 0,590; 0,680
Система набора	Поперечная
Расположение МО	Среднее
Практическая шпация, мм	500; 600
Придел текучести материала, МПа	235,0

Статьи массы металлического корпуса разделены на две конструктивные группы. В первую группу вошли массы статей металлического корпуса, размеры связей которых устанавливаются по Правилам классификации и постройки морских судов: наружная обшивка; продольный и поперечный набор двойного дна; продольный и поперечный набор бортов; палубы и платформы; обшивка и набор главных поперечных переборок; обшивка и набор бортов, палуб и переборок основного корпуса, надстроек и рубок. В состав второй группы вошли следующие статьи металлического корпуса: мачты с мостиками и площадками, штевни,

отливки, клюзы, дымовые трубы и дымоходы, подкрепления корпуса, фундаменты и т.д. В общем виде массы второй группы можно представить как функции переменных L, B, H .

Разделение массы металлического корпуса на 15 составляющих позволило достаточно точно определить массы и координаты ЦТ каждой статьи с учетом АК особенностей ПБ. Кроме того, позволило подобрать функциональные зависимости, наиболее точно определяющие связь конкретной статьи нагрузки с характеристиками судна при удовлетворении требованиям Правил Российского Морского Регистра Судоходства к назначению размеров связей корпуса. Важно, что избранный принцип разбивки массы металлического корпуса на укрупненные статьи не нарушает требований существующего отраслевого стандарта по нагрузке масс.

Использованы программные продукты AutoCad, Rhinoceros (рис. 1) и ShipConstructor (рис. 2) для определения масс и координат ЦТ наружной обшивки, настилов палуб, поперечных и продольных переборок, элементов набора и т.д. Программа ShipConstructor позволяет создать трехмерную модель набора корпуса судна. В результате её использования получаем высокую точность расчета масс и координат ЦТ отдельных деталей корпуса. В разработке математической модели конструкции корпуса судна авторы опирались на возможности AutoCad, так как важнейшей особенностью решаемой внутренней задачи проектирования судов является создание обводов и конструкции корпуса для соответствующих стадий разработки проекта судна.

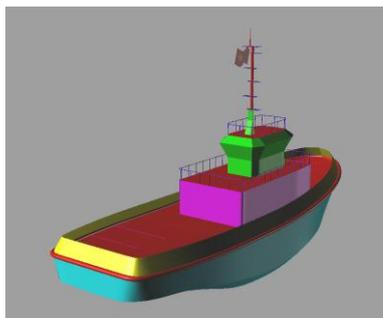


Рис. 1. 3D-модель ПБ варианта №58 в Rhinoceros

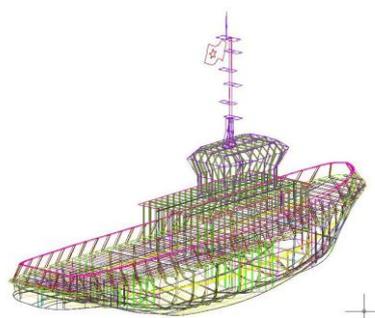


Рис. 2. 3D-модель ПБ варианта №58 в ShipConstructor

В разработанной методике определения масс и координат ЦТ ПБ с учетом АК особенностей была спроектирована серия из 135 судов с систематически меняющимися главными размерениями и основными характеристиками формы и конструкции корпуса. Все модели систематической серии имеют упрощенные обводы с двумя сломом линейчатых обводов на скуле.

Для примера рассмотрены основные этапы определения массы и координат ЦТ наружной обшивки ПБ для варианта №58: $L=25$ м, $B=6,58$ м, $H=3,59$ м, $T=2,99$ м, $a=0,50$ м, $\delta=0,592$, $\varphi=0,680$.

Путем статистической обработки теоретических чертежей (ТЧ) спроектированной серии моделей ПБ с помощью программы AutoCad получаем теоретический чертеж (рис. 3).

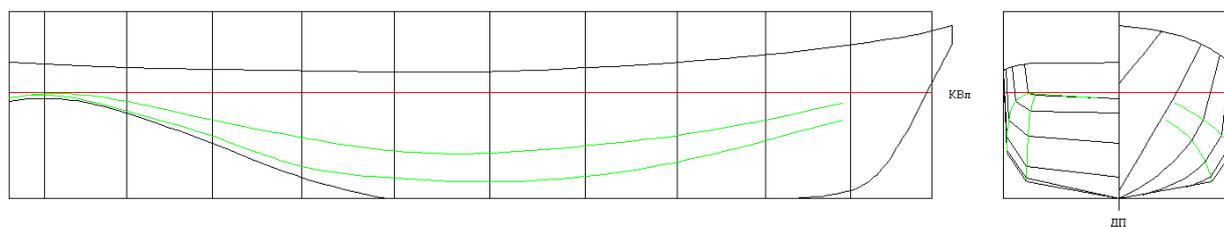


Рис. 3. Теоретический чертеж портового буксира варианта №58

На следующем этапе строится 3D-модель наружной обшивки корпуса в среде AutoCAD (рис. 4).

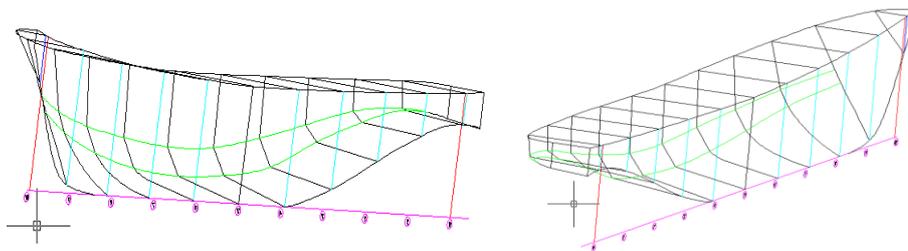


Рис. 4. 3D-модель наружной обшивки в AutoCAD

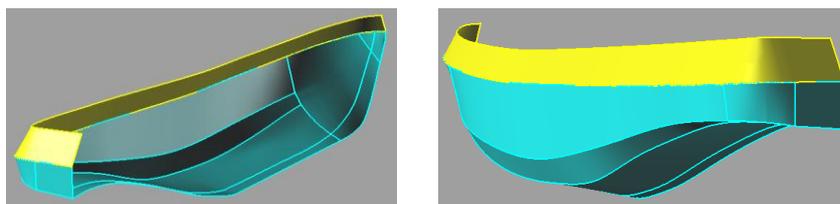


Рис. 5. 3D-модель наружной обшивки и фальшборта в Rhinoceros

Использование программы Rhinoceros позволяет импортировать 3D-модель наружной обшивки (рис. 5) из программы AutoCAD в программу Rhinoceros для формирования поверхности наружной обшивки модели судна, представленной на рис. 5.

Затем с использованием программы ShipConstructor (рис. 6) импортируется модель поверхности наружной обшивки из программы Rhinoceros для создания пространственной 3D-модели конструкции корпуса.

ShipConstructor предоставляет в распоряжение проектанта инструменты для определения массы и координат ЦТ обчитываемой модели судна в графической оболочке WINDOWS, где и производятся непосредственные расчеты по конструкции корпуса.

Аналогично можно определить массы и координаты ЦТ других статей.

Разделение массы металлического корпуса на 15 составляющих позволило определить массы и координаты ЦТ каждой статьи с учетом АК особенностей ПБ, систематически изменяющихся главных размерений, отношений главных размерений, коэффициентов полноты, вариации расположения МО по длине судна, числа и расположения по длине судна главных поперечных переборок, расположения и протяженности надстроек и рубок, шпации. Учет этих характеристик позволил подобрать функциональные зависимости, определяющие связь массы конкретной статьи нагрузки с характеристиками судна при удовлетворении требованиям Правил Российского Морского Регистра Судоходства к назначению размеров связей корпуса.

В качестве примера представим функциональные зависимости, позволяющие рассчитать по разрабатываемой методике массу и координаты ЦТ отдельных статей нагрузки проектируемого буксира на примере наружной обшивки. В зависимости от АКТ ПБ, наружную обшивку можно разбить на нескольких участков, как это показано на рис. 7. Площади участков I, II разбиваются по длине и высоте борта судна на более мелкие участки в соответствии с требованиями Правил классификации и постройки морских судов к толщинам отдельных листов

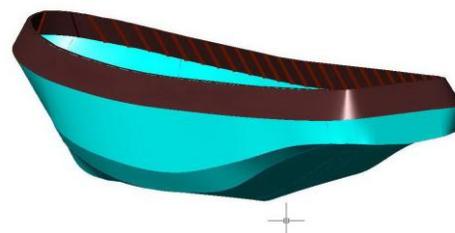


Рис. 6. 3D-модель наружной обшивки и фальшборта в ShipConstructor

наружной обшивки. При этом масса наружной обшивки определяется суммированием масс наружной обшивки основного корпуса P_1 и обшивки фальшборта P_2' (P_2' – масса фальшборта без стоек контрофорсов и планширя).

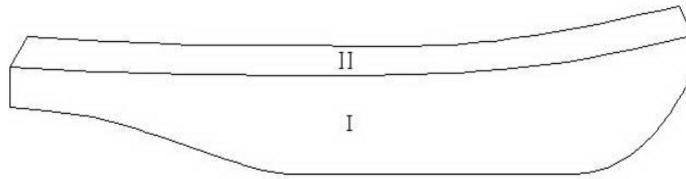


Рис. 7. Наружная обшивка основного корпуса и фальшборта:

I участок – наружная обшивка основного корпуса;

II участок – обшивка фальшборта

Суммарная масса наружной обшивки основного корпуса оценивается по следующей формуле:

$$P_1 = p_1 \cdot 10^{-3} \cdot L^2 (B + H) T / H, \text{ т}, \quad (1)$$

где p_1 – измеритель массы наружной обшивки основного корпуса, $\text{т}/\text{м}^3$.

Измеритель массы наружной обшивки основного корпуса ПБ определен выражением:

$$\begin{cases} p_1 = 47,283 \cdot (LT / H)^{-0,9187}, \text{ т}/\text{м}^3 - \text{ для шпации } a=0,500 \text{ м} \\ p_1 = 55,975 \cdot (LT / H)^{-0,9268}, \text{ т}/\text{м}^3 - \text{ для шпации } a=0,600 \text{ м} \end{cases} \quad (2)$$

В формулах (2) измерители массы наружной обшивки представляются для постоянных значений коэффициентов полноты. С целью универсализации формулы (2) в нее введен ряд поправок, учитывающих возможные изменения коэффициентов полноты и относительной ширины корпуса. С учетом этих поправок формулы (2) для определения измерителя массы наружной обшивки основного корпуса соответственно приобретают вид:

$$P_1' = c_{11} \cdot c_{12} \cdot c_{13} \cdot P_1, \text{ т}/\text{м}^3 \quad (3)$$

где P_1' – измеритель массы наружной обшивки основного корпуса с поправкой на изменение коэффициентов полноты и отношения B/T , $\text{т}/\text{м}^3$; $c_{11} = -0,0452 \cdot B/T + 1,1368$ – коэффициент, учитывающий влияние отношения B/T ; $c_{12} = 0,0914(\varphi - \varphi_0) + 1,0003$ – поправка на коэффициент продольной полноты φ , при постоянном коэффициенте полноты мидель-шпангоута $\beta = \beta_0 = 0,871$; $c_{13} = 0,214(\beta - \beta_0) + 0,9995$ – поправка на коэффициент полноты мидель-шпангоута β , при постоянном коэффициенте продольной полноты $\varphi = \varphi_0 = 0,638$;

Зависимости аппликаты ЦТ наружной обшивки основного корпуса z_1 от выражения H^2/T для вьетнамских ПБ могут быть выражены в виде:

$$\begin{cases} z_1 = 0,4007 \cdot (H^2 / T)^{1,0249}, \text{ м} - \text{ для } H/T=1,200 \\ z_1 = 0,3280 \cdot (H^2 / T)^{1,0374}, \text{ м} - \text{ для } H/T=1,400 \\ z_1 = 0,2841 \cdot (H^2 / T)^{1,0279}, \text{ м} - \text{ для } H/T=1,600 \end{cases} \quad (4)$$

Выражение зависимости абсциссы ЦТ массы наружной обшивки основного корпуса x_1 от длины судна L для ПБ имеет вид

$$x_1 = 0,4925 \cdot L^{0,9966}, \text{ м}. \quad (5)$$

Для определения массы фальшборта, включая стойки и планширь, получена зависимость:

$$P_2 = c_2 \cdot p_2 \cdot L^2 B, \text{ т}, \quad (6)$$

где P_2 – измеритель массы фальшборта; т/м³; h_ϕ – высота фальшборта, м; $c_2 = 0,893h_\phi + 0,109$ – коэффициент, учитывающий фактическое значение высоты фальшборта при его сочетании по высоте с леером. Значения указанного измерителя для ПБ и получено выражение для p_2 :

$$p_2 = 0,0726 \cdot (LB)^{-0,8489}, \text{ т/м}^3. \quad (7)$$

Зависимость центра тяжести фальшборта z_2 от суммарной высоты $(H+h_\phi)$ для портовых буксиров, которая может быть выражена формулой:

$$z_2 = 0,8444 \cdot (H+h_\phi)^{1,0888}, \text{ м}. \quad (8)$$

Выражение зависимости абсциссы ЦТ массы фальшборта x_2 от длины судна L для вьетнамских ПБ имеет вид

$$x_2 = 0,4598 \cdot L^{1,0061}, \text{ м}. \quad (9)$$

Аналогичную структуру имеют формулы и для определения масс и координат ЦТ других статей нагрузки металлического корпуса.

Функциональные зависимости нагрузки масс и относительных координат ЦТ остальных 13 статей нагрузки судна порожнем разработаны путем статистической обработки данных по построенным и спроектированным вьетнамским, российским и советским ПБ.

Функциональные зависимости, связывающие массу и относительные координаты ЦТ статей нагрузки дедвейта судна от его основных характеристик, разработаны для двух случаев нагрузки, при которых проводится проверка остойчивости и посадки буксиров по Правилам классификации и постройки морских судов:

- судно с полными запасами;
- судно с 10% запасов.

Величина дедвейта ПБ разбита на пять групп нагрузки и в основном определяется величиной жидких грузов (пресной воды, топлива, смазки) в составе его нагрузки масс. Из прочих составляющих дедвейта ПБ в основном включается масса экипажа с багажом и провизия.

Сравнение расчетов масс и координат ЦТ металлического корпуса и водоизмещения порожнем судна по предложенному алгоритму с данными технических проектов свидетельствуют об их удовлетворительном согласовании.

Например, для пр. 1514 ошибки в определении масс и координат ЦТ равны ($\delta(P_{\text{МК}})=-1,5\%$, $\delta(x_{\text{МК}})=+2,9\%$ и $\delta(z_{\text{МК}})=+0,5\%$) и ($\delta(D_{\text{П}})=+2,9\%$, $\delta(x_{\text{П}})=+4,2\%$ и $\delta(z_{\text{П}})=-6,4\%$); для пр. VN - LT41 ошибки в определении масс и координат ЦТ равны ($\delta(P_{\text{МК}})=+0,2\%$, $\delta(x_{\text{МК}})=-1,0\%$ и $\delta(z_{\text{МК}})=-3,1\%$) и ($\delta(D_{\text{П}})=-1,8\%$, $\delta(x_{\text{П}})=+0,7\%$ и $\delta(z_{\text{П}})=+0,1\%$).

В настоящее время намечается тенденция к сокращению этапов проектирования, т.е. вместо технического и рабочего проекта создается техно-рабочий проект. А это требует более высокой точности расчетов на стадии эскизного проектирования. В работе показано, что для обеспечения допустимой точности расчета в определении водоизмещения порожнем необходимо водоизмещение порожнем определить со средней квадратичной погрешностью: на стадии технического предложения на более 7,69%; на стадии эскизного проекта - 5,01%. Для определения водоизмещения судна необходимо массы металлического корпуса в стадии технического предложения определять с допустимой средней квадратичной погрешностью 5,8%, а в стадии эскизного проекта 3,8%.

Результаты определения массы и координат ЦТ металлического корпуса по предлагаемой методике свидетельствуют об удовлетворительном согласовании расчетных и проектных значений, а возможная средняя квадратичная погрешность в определении массы металлического корпуса с достоверностью 0,95 составляет 4,3%, что вполне удовлетворяет точно-

сти расчетов на стадии эскизного проекта. Возможная допустимая погрешность в определении водоизмещения порожнем по предлагаемому алгоритму с достоверностью 0,95 составляет 5,1%.

Следовательно, предлагаемые функциональные зависимости для определения массы металлического корпуса и водоизмещения порожнем ПБ удовлетворяют требованиям точности на стадиях технического предложения и эскизного проекта.

Современные тенденции проектирования судов ориентированы на все более широкое применение вычислительной техники. Специфика ПБ и их многообразие требуют разработки специализированных модулей для расширения вычислительных ресурсов систем автоматизированного проектирования. Математическое моделирование на начальных стадиях проектирования судна применяется, чтобы оценить успешность функционирования судна и получить возможность исследования и имитации функционирования проектируемого судна в любых условиях. Применение математического моделирования с использованием соответствующих формул сводит задачу проектирования ПБ к экстремальной задаче математического программирования.

Представление о характере исходных данных, необходимых для решения задачи оптимизации флота ПБ, можно получить из схемы, приведенной на рис. 8.

Рассматриваемая задача в общем случае представляет собой нелинейную задачу математического программирования с функциями критериев и ограничениями неопределенной (в смысле выпуклости и вогнутости) природы. Особенностью этой задачи является также и то, что большинство входящих в модель функций заданы алгоритмически в виде расчетных процедур (например, процедуры расчета скорости на свободной воде, тяги, остойчивости и т.д.).

Установление оптимальных главных размерений, коэффициентов полноты и других основных характеристик судна, обеспечивающих выполнение всех обязательных нормативных требований, предъявляемых к судну, а также удовлетворение в максимально возможной степени многочисленных и подчас противоречивых требований эксплуатации, является основной задачей проектирования современного судна.



Рис. 8. Исходные данные, необходимые для решения задачи оптимизации пополнения ПБ СРВ

Задача выбора наивыгоднейших основных параметров проектируемого судна и числа судов серии в общем виде может быть сформулирована для элементов морского портового буксира при выполнении следующих ограничивающих условий:

- главные размерения, их соотношения, а также коэффициенты полноты не превосходят заданных или принятых допустимых величин;
- характеристики начальной остойчивости ПБ укладываются в рекомендуемые нормами Регистра границы, гарантирующие удовлетворительное поведение его в условиях волнения и ветра, а также в случае косоого рывка буксирного троса;
- тяговые и маневренные показатели достаточны для эффективного выполнения работ в соответствии с его назначением, оговоренным ТЗ;
- соблюдаются требования конвенции о грузовой марке в отношении допустимой величины надводного борта.

Компонентами вектора U (в число параметров задачи проектирования ПБ (вектора U) включаются следующие величины): тип ПБ, $n_{\text{э}}$ – численность экипажа, автономность плавания по запасам, район плавания, T – срок инвестиций и т.д. Значения этих величин считаются заданными заказчиком или определенными на основе тщательного изучения и анализа современного состояния и тенденций эксплуатации буксирного судна в заданном районе. Кроме перечисленных основных параметров, в состав компонентов вектора U могут входить и другие исходные данные, характеризующие условия создания и эксплуатации ПБ. По характеру описания задаваемой величины компоненты вектора U могут быть как детерминированными, так и случайными.

Компонентами вектора X в данном случае приняты:

$x_1 = L/B$ – отношение длины к ширине; $x_2 = B/T$ – отношение ширины к осадке;
 $x_3 = H/T$ – отношение высоты борта к осадке; $x_4 = n$ – число судов в серии ($n \in N$);
 $x_5 = \sum Ne$ – суммарная мощность ГД судна, л.с. (кВт).

Диапазон оптимизируемых переменных:

Множество переменных образует вектор $X = (x_1, x_2, \dots, x_m)$, на компоненты которого накладываются двухсторонние ограничения типа:

$$(x_i)_{\min} \leq x_i \leq (x_i)_{\max} \quad (i = 1, \dots, m), \quad (10)$$

где $m = 5$ – количество независимых переменных в данной работе.

Двухсторонние ограничения заменяются односторонними тривиальными ограничениями:

$$\text{ями: } x_i - (x_i)_{\min} \geq 0; \quad (x_i)_{\max} - x_i \geq 0. \quad (11)$$

К функциональным ограничениям относятся:

$$\text{– требование к длине судна: } L_{\min} \leq L \leq L_{\max}, \quad (12)$$

где L_{\min} , L_{\max} – минимальная, максимальная допустимая длина судна по условиям постройки и характеристикам порта обслуживания, м;

$$\text{– требование к ширине судна: } B_{\min} \leq B \leq B_{\max}, \quad (13)$$

где B_{\min} , B_{\max} – минимальная, максимальная допустимая ширина судна по условиям постройки и характеристикам эксплуатации, м;

$$\text{– требование к осадке судна: } T_{\min} \leq T = \frac{\sum P_i}{\gamma \delta L B} \leq T_{\max}, \quad (14)$$

где T_{\min} , T_{\max} – минимальная, максимальная допустимая осадка судна по условиям эксплуатации на рейде, в канале и в порту обслуживания, м;

К функциональным условиям относятся:

$$\text{– требование соотношения между силами веса и силами поддержания по закону Архимеда, выраженное в виде: } D \geq \sum P_i, \quad (15)$$

где $D = \gamma \delta LBT$ – водоизмещение судна, т; P_i – составляющие нагрузки масс, т.

$$\text{– требование запаса плавучести: } W_{B12} \geq W_{B12}^* ; \quad (16)$$

где $W_{B12} = \alpha \cdot k \cdot L \cdot B \cdot (H - T)$ – фактический запас плавучести; $W_{B12}^* = \alpha \cdot k \cdot L \cdot B \cdot H_{ГМ}$ – требуемый запас плавучести; H – высота борта; $H_{ГМ}$ – величина надводного борта, определяемая по правилам о грузовой марке; α – коэффициент полноты площади КВЛ, k – коэффициент, учитывающий особенности формы надводной части корпуса;

– начальная метацентрическая высота, устанавливаемая с помощью нормативного требования к нижнему пределу начальной поперечной метацентрической высоты:

$$h_0 \geq h_{o_{\min}} , \quad (17)$$

где h_0 – фактическая начальная метацентрическая высота; $h_{o_{\min}}$ – минимально допустимое значение начальной метацентрической высоты (для портовых буксиров $h_{o_{\min}} = 0,15$ м);

– критерий остойчивости при рывке буксирного троса в процессе проведения морских буксировок:

$$K_p = \sqrt{l_{d_{\text{онп}}} / l_{d_{\text{кр}}}} \geq 1 ; \quad (18)$$

где $l_{d_{\text{онп}}}$ – плечо динамической остойчивости, определяемое как ордината диаграммы динамической остойчивости буксира при угле крена, равном углу заливания или углу опрокидывания, определяемому без учета бортовой качки, в зависимости от того, какой из них меньше, м; $l_{d_{\text{кр}}}$ – динамическое кренящее плечо, характеризующее действие условного рывка буксирного троса, м;

– ограничения значений параметров диаграммы статической остойчивости: максимальное плечо диаграммы статической остойчивости должно быть не менее 0,25 м, ($l_{\text{max}} \geq 0,25$); угол заката диаграммы должен быть не менее 60° , ($\theta_{\text{зак}} \geq 60^\circ$); угол максимума диаграммы должен быть не менее 30° , ($\theta_{\text{max}} \geq 30^\circ$);

Все перечисленные функциональные ограничения удобно представить односторонними неравенствами вида $g_j(X, U) \geq 0$. Для этого используется одна из следующих формул:

$$g_j(X, U) = \frac{A_j}{a_j(X)} - 1 \text{ при } a_j(X) \leq A_j, \text{ или } g_j(X, U) = \frac{a_j(X)}{A_j} - 1 \text{ при } a_j(X) \geq A_j, \quad (19)$$

где $a_j(X)$ – значение характеристики судна, полученное в результате расчетов.

Критерий эффективности (функция цели):

Критерии оптимизации, выбираемые в зависимости от требований заказчиков, сформированы в виде:

$F \rightarrow \mathbf{max} (\mathbf{min})$ – экономические критерии оптимизации характеристик флота портовых буксиров.

Оптимальным вариантом судна считается тот вариант, который обладает одним из следующих признаков, рассчитанных с учетом дисконтирования:

- минимальной себестоимостью единицы продукции (услуги) $C_{уд}$ за весь период инвестиции;
- минимальными затратами при эксплуатации судна $З_{\text{общ}}$ за весь период инвестиций;
- минимальным сроком окупаемости судна $T_{ок}$;
- максимальной общей экономической эффективностью $\mathcal{E}_{\text{общ}}$;
- максимальным экономическим эффектом за весь период инвестиций \mathcal{E} ;
- максимальной рентабельностью за весь период инвестиций R ;
- максимальной прибылью (валовой или чистой) за весь период инвестиций $\Pi_{\text{вал}}$ (или $\Pi_{ч}$).

Кроме этих экономических критериев (max и min), существует критерии конкурентоспособности: т. е. ЧДД > 0 и ИД > 1.

где ЧДД – чистый дисконтированный доход, ИД – индекс доходности.

При вариации вариантов судов, по одному из критериев можно определить оптимальный вариант судна графическим или математическим путем.

Для реализации математической модели используются программные продукты систем Visual Basic For Application (VBA) и средств Microsoft Office Excel.

Библиографический список

1. **Нгуен, З.Б.** Исследование влияния основных характеристик портовых буксиров на измерители массы и координаты центра тяжести металлического корпуса / З.Б. Нгуен, Д.К. Нгуен // Вестник АГТУ. Сер. Морская техника и технология. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2009. №2. С. 33–38.
2. **Нгуен, З.Б.** Определение массы и координат центра тяжести наружной обшивки портового буксира с использованием программ Autocad, Rhinoceros и Shipconstructor / З.Б. Нгуен, Е.В. Маслюк // Морская индустрия, транспорт и логистика в странах региона балтийского моря: новые вызовы и ответы: VII Международная конференция / БГАРФ. – Калининград, 2009. С. 93–96.
3. **Нгуен, З.Б.** Направления исследований влияния основных характеристик судна на измерители массы и координаты центра тяжести статей нагрузки портовых буксиров / З.Б. Нгуен, Е.В. Маслюк // Инновации в науке и образовании – 2009: VII Международная научная конференция. – Калининград, 2009. Ч. II. С. 47–49.
4. **Нгуен, З.Б.** Математическая модель оптимизации флота портовых буксиров / З.Б. Нгуен, Е.В. Маслюк // Изв. КГТУ. – Калининград. 2010. № 18. С. 233–240.

*Дата поступления
в редакцию 02.08.2011*

Zuy Back Nguyen

JUSTIFICATION OF PROJECT PERFORMANCE PORT TUGS FOR THE SOCIALIST REPUBLIC OF VIETNAM

The problems of modern port tugs for efficient and trouble-free manipulation of large vessels in the ports of Vietnam are considered.

Key words: ports, tugboats, cargo ships, manipulations operation, cargo throughput.