

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебная дисциплина «Проектирование судов» состоит из двух взаимосвязанных частей общего курса «теория проектирования судов» и курсов, в которых на основе теории конкретизируются особенности проектирования судов различных типов и назначений. Большинство ранее изданных учебников по данной дисциплине издавались отдельно по каждому из этих курсов. Это классические учебники по теории проектирования В. В. Ашика, Л. М. Ногида, В. Л. Позднюнина, изданные, к сожалению, более 40 лет назад. Особенности проектирования морских транспортных судов и промысловых судов отражены в учебниках А. В. Бронникова, А. И. Ракова и др. Учебника, посвященного особенностям проектирования транспортных судов внутреннего плавания, не считая некоторых монографий по отдельным типам речных судов, не издавалось вообще. Профессор А. В. Бронников в 1991 г. издал учебник, в котором за счет конкретизации общей методики проектирования, исключения второстепенных и необязательных подробностей, но без ущерба научному уровню и практической значимости объединялись обе части дисциплины. Несмотря на то что учебник предназначался для студентов заочной и вечерней форм обучения и явился первой попыткой объединения обеих частей дисциплины в одном издании, жизнь и опыт преподавания признали такое объединение удачным. Данный вывод актуален и в настоящее время, поскольку в соответствии с Государственным образовательным стандартом учебный план специальности, а следовательно, и его методическое обеспечение при любой форме обучения должны быть едиными.

Предлагаемый вниманию настоящий учебник также состоит из двух частей. В первой части рассматриваются основные вопросы теории проектирования судна, такие как определение главных проектных элементов судна – водоизмещение, главные размерения, параметры формы корпуса, вместимость. Решаются задачи при выборе главных размерений обеспечения остойчивости, ходкости, непотопляемости, плавучести.

Во второй части приведены вопросы проектирования сухогрузных и нефтеналивных судов, буксиров, толкачей, толкаемых составов, судов-химовозов внутреннего и смешанного (река-море) плавания, особенности условий их эксплуатации.

В целом учебник предназначен для освоения студентами дисциплины «Проектирование судов», которая включает в себя и опирается на систему знаний по основным кораблестроительным дисциплинам. Несмотря на некоторое сокращение и исключение ряда подробностей при рассмотрении теоретических вопросов, дает полное представление об изучаемой дисциплине и позволяет самостоятельно освоить смысл изложенного материала.

Автор выражает благодарность рецензентам за сделанные замечания, направленные на улучшение учебника, а также коллегам, сотрудникам кафедры профессорам, докт. техн. наук Е. Г. Бурмистрову и В. И. Любимову, доценту, канд. техн. наук Ю. А. Кочневу за обсуждения и полезные советы, способствующие написанию учебника, и доценту, канд. техн. наук С. В. Давыдовой за совместную работу по главе 16. Отдельная благодарность Т. А. Галочкиной, взявшей на себя труд по его оформлению.

Учебник предназначен для студентов-кораблестроителей, обучающихся по уровню подготовки бакалавриат и специалитет. Может быть полезен магистрантам, аспирантам и студентам других кораблестроительных специальностей, а также практическим работникам судостроительных предприятий и организаций водного транспорта.

# **ЧАСТЬ I**

## **ТЕОРИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СУДОВ**

### **Глава 1. Дисциплина «Проектирование судов», ее составляющие и задачи**

#### **1.1. Предмет и задачи теории проектирования судов**

Многоэтапная и разносторонняя работа по созданию судна включает в себя две основные части: разработку проекта судна и его постройку. В чем состоит задача проектирования судна, решению которой служит данная учебная дисциплина? Один из ее основателей И. Г. Бубнов писал: «Задача проектирования судна заключается в составлении таких чертежей его, чтобы построенное по ним судно удовлетворяло всем заданиям и требованиям, положенным в основу составляемого проекта...

Таким заданием для коммерческого судна являются, например, грузоподъемность, род перевозимого груза, объем пассажирских помещений, скорость, район плавания, род топлива, достаточная прочность всех частей судового корпуса, надлежащая остойчивость и мореходные качества и многое другое» [1].

Нельзя упрощенно понимать приведенное здесь высказывание о том, что задача проектирования состоит в выпуске соответствующих чертежей. Нужно иметь в виду, что чертеж сам по себе является всего лишь носителем информации, одной из форм ее представления. И, следовательно, прежде чем какой-либо чертеж будет составлен, проектант должен, используя те или иные методики, создать эту информацию, представляющую собой сведения о различных показателях судна в целом или его отдельных частей. Поэтому в общем случае, говоря о задаче проектирования, ее следует понимать в широком смысле, основная суть которой состоит в определении соответствующих показателей судна или его подсистем, на основании которых разрабатываются те или иные чертежи или другие носители информации, делаются различные описания и инструкции, используемые как во время постройки судна, так и при его эксплуатации.

Сравнивая основную задачу с задачами, рассматриваемыми другими специальными кораблестроительными дисциплинами, можно сказать, что последние занимаются анализом качеств судна. Например, дисциплина «Теория корабля» изучает методы, позволяющие оценивать различные навигационные качества судна с известными элементами. По ее методам можно количественно прогнозировать плавучесть судна, его остойчивость, качку, ходкость и т. п., а также рассчитать уровень этих качеств.

В то время как в проектировании судов аналогичные расчеты и зависимость трансформируются так, чтобы можно было найти такие элементы проектируемого судна, которые обеспечат требуемый уровень качеств. То же самое можно сказать и в отношении других специальных дисциплин и их соотношении с «Проектированием судов». Задачу проектирования в связи с этим принято также называть задачей синтеза судна. Полагая, что проектирование судна суть синтезирования в нем требуемых заданием и нормативными документами необходимого уровня различных навигационных и эксплуатационных качеств.

Дисциплина состоит из общего курса «теории проектирования судов» и курсов, в которых рассматриваются особенности проектирования судов различных типов (рис. 1.1).

ДИСЦИПЛИНА:

КУРСЫ (ЧАСТИ):

ЗАДАЧИ:

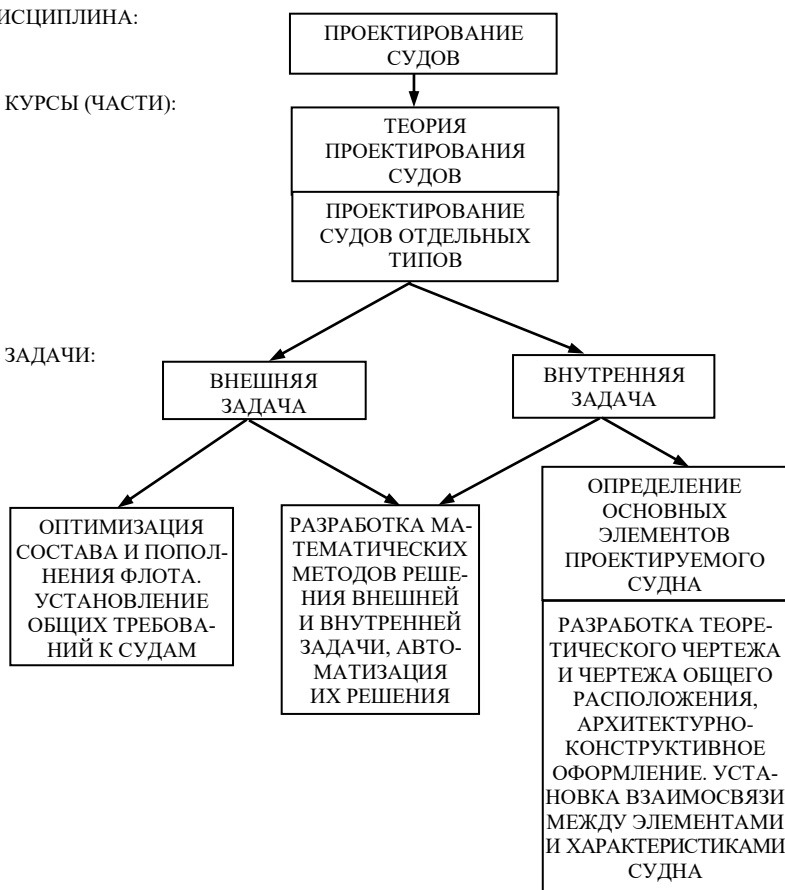


Рис. 1.1 – Структурная схема основных частей и задач дисциплины «Проектирование судов»

На теории проектирования судов полностью или частично базируются все фазы проектирования судна, начиная с выявления потребности в нем и вплоть до разработки рабочих чертежей. Исходя из чего, в настоящее время всю совокупность решаемых при этом задач объединяют в две группы, которые имеют следующие названия: 1) внешняя задача проектирования судна; 2) внутренняя задача проектирования судна.

Задача верхнего иерархического уровня, или внешняя задача проектирования, включает в себя решение вопросов, связанных с определением характеристик судов, указываемых в заданиях на их проектирование, а также в установлении общих требований, предъявляемых к проектируемым судам. Первая часть этой задачи, связанная с определением характеристик судов, по сути, предопределяет суда, которыми будет пополняться существующий флот. Поскольку это пополнение должно осуществляться наилучшим образом судами, имеющими оптимальные характеристики, то и вся эта часть еще называется задачей оптимизации состава и пополнения флота.

Внутренняя задача, в свою очередь, подразделяется на два уровня: верхний, связанный с определением основных элементов проектируемых судов, являющийся методологией их проектирования, и нижний, на котором рассматриваются вопросы обоснования архитектурно-конструктивного оформления, разработки теоретического чертежа и чертежа общего расположения. Кроме того, к задаче верхнего уровня относятся вопросы установления взаимосвязи между элементами и характеристиками судна, лежащими в основе методологии проектирования.

На современном этапе развития дисциплины «Проектирование судов» она активно пополняется математическими методами решения как внутренней, так и внешней задач проектирования. Часто в силу трудоемкости этих методов их решение автоматизируют на базе использования вычислительной техники. Так как наивысшая эффективность от автоматизации достигается, если они используются для совокупности взаимосвязанных расчетов, то создаются и развиваются системы автоматизированного проектирования судов – САПР судов. Специфические разработки привели к тому, что к теории проектирования судов стали относиться комплекс исследований по прикладной и вычислительной математике, составляющих ее формально-математическую часть.

## **1.2. Классификация величин в задаче проектирования судов**

Основной подход в определении тех или иных искомых величин при создании объектов техники состоит в составлении и решении уравнений, связывающих эти величины с известными. Не являются исключением и задачи, решаемые при создании транспортных средств и, в частности, судов. В этом случае уравнения теории проектирования выражают связь между характеристиками судна и характеристиками его качеств, которые

оговорены техническим заданием и различными нормативными требованиями. Все эти уравнения, как правило, являются не изолированными, а составляют систему уравнений типа

$$F_i(X_1, X_2, \dots, X_n, Y_1, Y_2, \dots, Y_j, Q_1, Q_2, \dots, Q_k, A_1, A_2, \dots, A_q) = 0. \quad (1.1)$$

Здесь  $F$  – символ некоторой функции величин, стоящих в скобках;  $i$  – порядковый номер уравнения (функции).

Величины, присутствующие в этих уравнениях, можно разделить на четыре группы: неизвестные –  $X_n$ , заданные –  $Y_j$ , нормативы –  $Q_k$  и параметры –  $A_q$ .

К неизвестным величинам относятся те элементы и характеристики судна, которые в данной задаче определяются. Примерами таких величин могут быть водоизмещение судна, его главные размерения, вместимость, мощность главных двигателей, коэффициенты полноты водоизмещения, конструктивной ватерлинии, площади мидель-шпангоута и др. Перечисленные неизвестные, конечно, не охватывают весь их возможный перечень, который имеет место при разработке проекта судна и в многочисленных расчетах, выполняемых при этом. Однако они, как правило, являются первыми, которые определяют в начале проектирования, с них разворачивается процесс проектирования судна. Поэтому их называют *главными* неизвестными. Водоизмещение, мощность и вместимость называют *обобщенными* неизвестными.

Заданные величины, как следует из их названия, известны проектиранту, то есть задаются техническим заданием или однозначно определяются им. При проектировании транспортных судов заданными величинами являются грузоподъемность, пассажировместимость, род груза, скорость хода или главные двигатели (либо их мощность), автономность по запасам, район плавания и др. Совокупность заданных величин определяется техническим заданием на проектирование судна.

Нормативы представляют собой величины, которые в соответствии с заданием определяются требованиями соответствующих нормативно-технических документов, правил, законоположений, которым должно отвечать судно. Примерами нормативов могут быть допускаемые напряжения в связях корпуса, минимальные размеры жилых и служебных помещений, уровень шума и вибрации в них, нормативы остойчивости и непотопляемости и т. п. Несоблюдение нормативов в проекте недопустимо, так как такой проект не будет утвержден соответствующими контролирующими организациями, а судно не будет построено. При проектировании судна внутреннего плавания основными нормативными документами являются Правила классификации и постройки судов внутреннего плавания Российского Речного регистра, Санитарные правила для судов внутреннего плавания, Требования техники безопасности к судам внутреннего и смешанного плавания и судовому оборудованию. При проектировании судов смешанного плавания, совершающих международные рейсы, распространяются требования международных конвенций по

охране человеческой жизни на море (SOLAS-74), по предотвращению загрязнения с судов (MARPOL 73/78), по обмеру судов, по грузовой марке (YLLC-66), международным правилам предупреждения столкновения судов в море и др.

Количество уравнений типа (1.1), используемых при определении элементов и характеристик судна, как правило, оказывается меньше, чем число неизвестных величин, входящих в них. Поэтому, чтобы сравнить количество уравнений и количество неизвестных величин, частью последних задаются. Их как бы условно переводят в разряд известных, постоянных величин в решаемой задаче. Эти величины называют *параметрами*. Проектировщик назначает или выбирает параметры сам. В связи с этим возникает необходимость отыскать наилучшую систему параметров, обеспечивающую оптимальное проектное решение. На начальных стадиях проектирования при определении водоизмещения и главных решений в качестве параметров чаще всего принимают соотношения главных размерений  $\left( \frac{L}{B}; \frac{B}{T}; \frac{H}{T} \text{ и др.} \right)$ , коэффициенты полноты. На последующих стадиях параметрами могут быть различные характеристики архитектурно-конструктивного типа судна (число ярусов надстройки, тип и количество движителей, тип люкового закрытия и т. п.), а также основные характеристики отдельных проектных подсистем (например, по подсистеме «корпус» – материал корпуса, система набора, размер шпации и др.).

### 1.3. Основные качества и характеристики судна

Многочисленные качества, которыми обладает судно, можно классифицировать, с одной стороны, исходя из его конструктивного совершенства и надежности как плавучего сооружения, а с другой – отражая транспортные возможности судна и экономические оценки его транспортной работы. Это позволяет разделить их на две группы: 1) навигационные качества; 2) эксплуатационно-экономические (рис. 1.2).

Именно совокупность этих качеств в их определенном соотношении делает судно плавучим инженерным сооружением, предназначенным для выполнения заданных функций. Качества могут быть простыми или комплексными. Например, плавучесть можно отнести к простому качеству, тогда как непотопляемость является комплексным, определяется запасом плавучести и остойчивостью судна. Надежность также надо рассматривать как сложное качество, связанное с ремонтопригодностью конструкции, ее безотказностью в работе и долговечностью.

Величина некоторых качеств, прежде всего эксплуатационно-экономических, задается техническим заданием на проектируемое судно, тогда как необходимый уровень других (например, большинства навигацион-

ных) предусматривается соответствующими нормативными документами и должен быть обеспечен при разработке проекта судна.

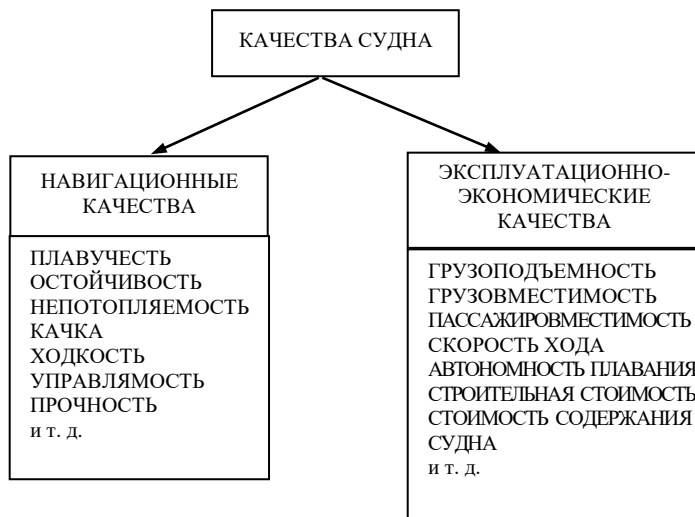


Рис. 1.2 – Классификация качеств судна

Количественно качества судна определяются совокупностью численных величин, называемых показателями качеств. В настоящее время отсутствует единая, общепринятая система их классификации. С известной степенью условности эти показатели качеств судна можно разделить (рис. 1.3) на две группы: 1) технико-эксплуатационные; 2) технико-экономические.

В свою очередь показатели одноименных качеств судна принято делить на *характеристики* и *элементы*. К характеристикам относят показатели эксплуатационно-экономических качеств судна. Именно характеристики указываются как исходные данные в техническом задании на проектирование судна, определяя тем самым желаемый заказчиком уровень эксплуатационно-экономических качеств будущего судна. К таким характеристикам, следовательно, можно отнести величины грузоподъемности судна, пассажировместимости, скорости хода либо мощности энергетической установки, автономности по запасам и т. д.

В процессе проектирования исходя из данных технического задания определяются элементы судна, т. е. размеры и обводы корпуса, состав и расположение помещений, основное оборудование, материалы и механизмы, необходимые для выполнения всех конкретных требований задания и удовлетворения требований надзорных организаций и обществ. Из общего числа элементов выделяют так называемые *основные* или *главные элементы* – главные размерения и коэффициенты формы корпуса.



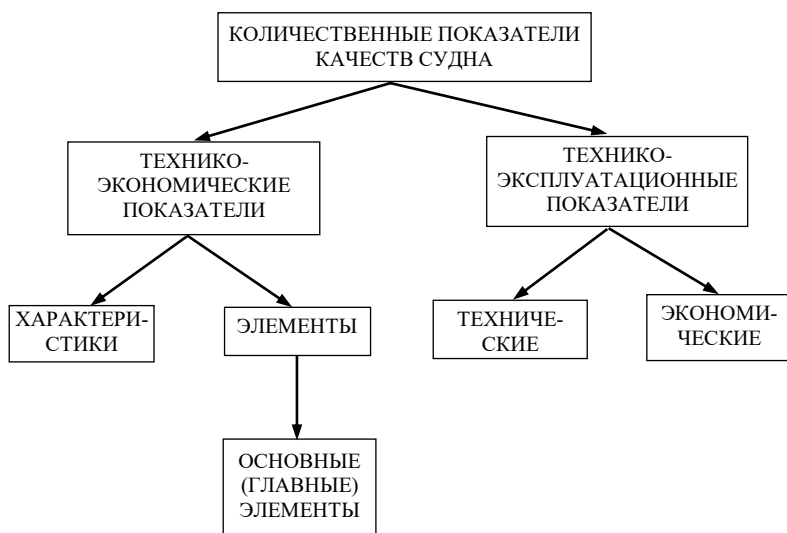


Рис. 1.3 – Структура показателей качеств судна

Следует отметить, что на практике термин *характеристики* применяют иногда в более широком смысле. При описании конкретных судов, их «паспортных» данных, используют словосочетания «основные характеристики», «основные элементы и характеристики судна». При этом в их перечень кроме технико-эксплуатационных показателей включаются и другие, такие как водоизмещение, главные размерения, скорость хода, автономность, класс Регистра, характеристика грузового устройства, численность экипажа и т. д.

Технико-эксплуатационные показатели, в свою очередь, делятся на технические и экономические. К последним могут быть отнесены, например, стоимость постройки судна, стоимость содержания в эксплуатации, месячный фонд зарплаты экипажа, получаемый доход и т. д. К техническим в этом случае относят показатели, используемые в технико-экономических расчетах и характеризующие транспортную работу судна на конкретных перевозках. В качестве примера таких показателей можно назвать время кругового рейса, количество рейсов за навигационный период, расход топлива в сутки и др.

## Глава 2. Определение водоизмещения и главных размерений на начальных стадиях

### 2.1. Уравнение масс

Проектирование нового судна на самых начальных его этапах начинается с определения основных (главных) его элементов. Как отмечалось ранее, из общего перечня неизвестных элементов к основным относят главные размерения судна и коэффициенты формы корпуса (теоретического чертежа), играющие особую роль в синтезе будущего судна и обеспечении его эффективности. Их определение, как и других искомых величин по судну, производится совместным решением системы уравнений. Обязательным в этой системе является уравнение масс и плавучести

$$D = \rho V, \quad (2.1)$$

где  $D$  – масса судна, т;  $V$  – объемное водоизмещение, м<sup>3</sup>;  $\rho$  – плотность воды, т/м<sup>3</sup>.

Уравнение (2.1) является модификацией (делением на  $g$ ) известного уравнения весов и плавучести (равенства сил тяжести и поддержания):

$$D' = \rho g V, \quad (2.2)$$

где  $D'$  – вес судна, кН;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Уравнение (2.2) отражает равенство проекции вертикальных сил в системе уравнений равновесия судна. Представив в уравнении (2.1) объемное водоизмещение

$$V = \delta L B T, \quad (2.3)$$

где  $\delta$  – коэффициент общей полноты водоизмещения;  $L$ ,  $B$ ,  $T$  – расчетные длина, ширина и осадка судна при известной массе судна  $D$ , открывается возможность определять его главные размерения. В связи с этим часто задача нахождения основных элементов судна начинается с определения его массы (массового водоизмещения). Для этого используется так называемое уравнение масс

$$D = \Sigma P_i + \Sigma P_j, \quad (2.4)$$

являющееся аналитическим выражением равенства водоизмещения (массы) судна сумме всех масс, его составляющих.

В уравнении (2.4) выделяют массы  $P_i$ , зависящие от элементов и характеристик проектируемого судна, и массы  $P_j$ , не зависящие от элементов и характеристик судна. Последние рассматриваются как постоянные для любого варианта проектируемого судна, соответствующего одним и тем же исходным данным. Составляющие  $P_j$  представляют собой массу полезного груза, различных запасов, экипажа, т. е. всего того, что может быть снято с судна без нарушения его конструктивной целостности и не

приводит к изменению типа и назначения. Сумму этих масс  $P_j$  также называют чистым дедвейтом.

$$DW^o = P_{гр} + P_{пас} + P_{эк} + P_{в} + P_{пр} + P_{ф}, \quad (2.5)$$

где  $P_{гр}$  – масса перевозимого груза;  $P_{пас}$  – масса пассажиров;  $P_{эк}$  – масса экипажа;  $P_{в}$  – масса запасов воды;  $P_{пр}$  – масса запасов продовольствия;  $P_{ф}$  – масса фекально-сточных вод.

Если к чистому дедвейту  $DW^o$  прибавить величину запаса топлива и смазки  $P_{тс}$ , то получим так называемый дедвейт судна:

$$DW = DW^o + P_{тс}. \quad (2.6)$$

Однако в связи с тем, что величина  $P_{тс}$  при заданной автономности по топливу зависит от мощности энергетической установки, она, так же как и полный дедвейт  $DW$ , должна быть отнесена к массам типа  $P_i$ . Следует отметить, что как чистый, так и полный дедвейт является величиной, изменяемой в течение времени рейса по мере расходования тех или иных запасов. Отсюда вытекает, что и водоизмещение (масса) судна в течение рейса также изменяется. Поэтому, чтобы получить полное представление о технико-эксплуатационных и навигационных качествах судна, его водоизмещение делят на виды. Для транспортного судна наиболее характерными водоизмещениями (случаями нагрузки) являются полное водоизмещение и порожнем, т. е. виды, относящиеся к крайним случаям состояния нагрузки (максимальное и минимальное). Подробнее о видах водоизмещения изложено в третьем разделе.

Конкретный вид уравнения (2.4) зависит от количества включаемых в него слагаемых  $P_i$ , число которых обуславливается уровнем решаемой задачи. На начальных стадиях проектирования, т. е. при определении элементов и характеристик транспортного судна, обычно используют следующий вид этого уравнения:

$$D = P_{к} + P_{м} + P_{тс} + DW^o + \Delta D, \quad (2.7)$$

где  $P_{к}$  – масса корпуса с оборудованием, т;  $P_{м}$  – масса механизмов и оборудования машинного отделения, т;  $P_{тс}$  – масса топлива и смазки, т;  $\Delta D$  – запас водоизмещения, т.

В этом уравнении первые два слагаемые, по сути, представляют собой массу судна порожнем (собственную массу судна). Массу  $P_{к}$  при таком подходе не нужно путать с массой, рассматриваемой в разделе «Корпус» при нормативной разбивке нагрузки масс. В нее условно включают все массы, в том числе и общесудовые системы, устройства, вооружение и т. п., не вошедшие в слагаемое  $P_{м}$ .

Последнее слагаемое в уравнении масс (2.7)  $\Delta D$  называют запасом водоизмещения. Оно представляет собой фиктивную массу, которую прибавляют к сумме масс, составляющих расчетное водоизмещение судна.

Парадокс состоит в том, что на начальных стадиях проектирования определить массу судна  $D$  суммированием ее составляющих согласно уравнению (2.7) нельзя. Это связано с тем, что массы  $P_{к}$ ,  $P_{м}$ ,  $P_{тс}$ , завися-

щие, как было отмечено ранее, от элементов и характеристик судна, могут быть найдены только после определения последних. Тогда как, чтобы их определить, необходимо, в свою очередь, знать массу судна. В связи с этим в теории проектирования судов разработаны различные способы, позволяющие косвенным образом, решая уравнение (2.7), находить водоизмещение судна. Данные способы и будут рассмотрены ниже.

В заключение отметим, что уравнения масс могут быть записаны и используются в ряде модификаций. Все эти модификации подразделяются на алгебраические и дифференциальные. Уравнения масс в алгебраической форме, как мы отметили выше, пригодны для определения искомым элементов судна, как при наличии, так и при отсутствии близкого прототипа. Уравнения масс в дифференциальной форме возможны только при наличии подходящего судна-прототипа, в элементы которого вносятся исправления, обусловленные различием характеристик прототипа и проектируемого судна – грузоподъемности, скорости хода, автономности по запасам и т. д.

## 2.2. Решение уравнения масс в функции от водоизмещения

Идея данного подхода определения водоизмещения состоит в том, чтобы все члены уравнения (2.4), зависящие от элементов и характеристик судна, выразить через его водоизмещение:

$$D = \sum f_i(D) + \sum P_j.$$

В итоге можно получить алгебраическое уравнение с одним неизвестным, при решении которого находится искомая величина  $D$ . Рассмотрим реализацию такого подхода на примере представления уравнения масс (2.7).

Масса корпуса может быть представлена пропорциональной водоизмещению судна  $P_k = a D$ , где  $a$  – доля массы корпуса в полном водоизмещении судна (измеритель массы корпуса).

Масса механизмов и оборудования машинного отделения зависит от типа и мощности энергетической установки  $P_M = \bar{P}_M N$ , где  $N$  – мощность главных двигателей, кВт;  $\bar{P}_M$  – масса механизмов и оборудования, приходящаяся на единицу мощности главных двигателей, т/кВт.

Величина запаса топлива и смазки зависит от расхода топлива и мощности главных двигателей  $P_{тс} = q N$ , где  $q$  – удельный расход топлива, приходящийся на единицу мощности главных двигателей за все время между бункеровками топливом, т/кВт.

Удельный расход топлива может быть определен  $q = k_t q_1 t_a 24 \cdot 10^{-3}$ , т/кВт, где  $k_t$  – коэффициент запаса топлива;  $t_a$  – автономность по запасам топлива, сут;  $q_1$  – удельный расход топлива, приходящийся на единицу мощности главного двигателя, кг/кВт-ч.

Коэффициент запаса  $k_t$  учитывает так называемый штормовой запас топлива, потребление топлива другими судовыми механизмами (например, вспомогательными дизель-генераторами), а также массу запаса масла. Значение этого коэффициента в среднем составляет  $k_t = 1,25 \dots 1,4$ . При этом большие его значения принимают для пассажирских судов.

Удельный расход топлива главным двигателем  $q_1$  является его паспортной характеристикой и может быть принят из соответствующих справочных источников.

Подставив полученные выражения в (2.7), получим

$$D = aD + \bar{p}_M N + qN + DW^\circ + \Delta D,$$

и, решив его относительно водоизмещения, будем иметь

$$D = \frac{1}{1 - a - \Delta} \left[ (\bar{p}_M + q) N + DW^\circ \right]. \quad (2.8)$$

Выражением (2.8) можно воспользоваться для определения водоизмещения первого приближения, когда известна мощность главных двигателей. Если в задании на проектирование указана скорость хода судна  $v$ , мощность энергетической установки с использованием формул адмиралтейского коэффициента можно представить

$$N = \frac{D^m v^n}{Ca}, \quad (2.9)$$

где  $m, n$  – показатели степени;  $Ca$  – адмиралтейский коэффициент. Тогда будем иметь

$$D = \frac{1}{1 - a - \Delta} \left[ (\bar{p}_M + q) \frac{D^m v^n}{Ca} + DW^\circ \right]. \quad (2.10)$$

В данное выражение мощность энергетической установки не входит, и поэтому им можно пользоваться при проектировании судна на заданную скорость хода. Для нахождения величины водоизмещения уравнение (2.10) надо привести к уравнению  $m$ -й степени.

$$D^m - A D + B = 0, \quad (2.11)$$

$$\text{где } A = \frac{1 - a - \Delta}{\bar{p}_M + q} \cdot \frac{Ca}{v^n}, \quad B = \frac{Ca DW^\circ}{v^n (\bar{p}_M + q)},$$

решением которого и определяется значение  $D$ .

При практическом решении задачи определения водоизмещения мощность главных двигателей может быть представлена по выражению (2.9) при других значениях показателей степени. Например, при  $m = 3$ , а  $n = 2$ . В этом случае уравнение (2.11) становится кубическим:

$$D^3 - A D + B = 0,$$

$$A = \frac{1 - a - \Delta}{(\bar{p}_M + q)} \cdot \frac{Ca}{v^2}, \quad B = \frac{Ca DW^\circ}{v^2 (\bar{p}_M + q)}. \quad (2.12)$$

При проектировании грузовых и пассажирских судов уже на этапе определения их главных элементов необходимо обеспечить выполнение условий грузо- и пассажировместимости. В связи с этим при решении уравнения (2.7) в него надо ввести характеристики вместимости. Для этого представим массу корпуса в функции от кубического модуля:

$$P_k = \psi_k LBH,$$

где  $LBH$  – кубический модуль,  $m^3$ ;  $\psi_k$  – измеритель массы корпуса,  $t/m^3$ , полагая, что величина  $LBH$  предварительно находится решением уравнения грузо- или пассажировместимости. Тогда вместо (2.8) получим

$$D = \frac{1}{1-\Delta} \left[ \psi_k LBH + (\bar{p}_m + q) \frac{D^m v^n}{Ca} + DW^\circ \right]. \quad (2.13)$$

Принимая применительно к судам внутреннего плавания наиболее характерные значения  $m = \frac{2}{3}$ ,  $n = 3$ , выражение (2.13) можно привести к виду

$$D = A_1 D^{2/3} + B_1,$$

$$A_1 = \frac{\bar{p}_m + q}{1-\Delta} \cdot \frac{v^3}{Ca}; B_1 = \frac{\psi_k LBH + DW^\circ}{1-\Delta}.$$

Делая подстановку  $x = D^{1/3}$ , получим неполное кубическое уравнение:

$$x^3 - A_1 x^2 - B_1 = 0,$$

решая которое находят положительный корень  $x$ . Тогда водоизмещение судна будет  $D = x^3$ .

### 2.3. Решение уравнения масс в функции от главных размерений

Входящие в уравнение (2.7) слагаемые можно выразить в зависимости от главных размерений судна, что позволяет, решив это уравнение, непосредственно определять размерения как искомые величины. При этом можно рассматривать следующие три частных случая.

1. В исходных данных на проектирование задана мощность главных двигателей.

С учетом уравнения масс и плавучести и используемых выше подстановок уравнение (2.7) запишем следующим образом:

$$LBT\rho\delta = \psi_k LBH + (\bar{p}_m + g) N + DW^\circ + \Delta LBT\rho\delta,$$

или после преобразования:

$$(1-\Delta) \rho\delta LBT = \psi_k LBH + (\bar{p}_m + g) N + DW^\circ. \quad (2.14)$$

Введем следующие обозначения соотношений главных размерений:

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)