

В.Н. ТРЯСКИН

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург

## МЕТОДОЛОГИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ КОРПУСА СУДНА

Дается краткий исторический обзор развития методов проектирования конструкций корпуса судна. Утверждается, что к началу XXI века сложились научные основы методов проектирования судовых конструкций и соответствующей учебной дисциплины, которые базируются на определенной методологии проектирования конструкций корпуса судна. Обсуждаются общие методологические принципы проектирования применительно к проблеме автоматизированного параметрического проектирования конструкций корпуса судов и других морских инженерных сооружений.

**Ключевые слова:** конструкция корпуса судна, параметрическое проектирование корпусных конструкций, методология автоматизированного параметрического проектирования конструкций.

Автор заявляет об отсутствии возможных конфликтов интересов.

Для цитирования: Тряскин В.Н. Методология параметрического проектирования конструкций корпуса судна. Труды Крыловского государственного научного центра. 2018; Специальный выпуск 2: 9–14.

УДК 629.5.023.001.63

DOI: 10.24937/2542-2324-2018-2-S-I-9-14

V.N. TRYASKIN

St. Petersburg State Marine Technical University, Lotsmanskaya str., 3, St. Petersburg, Russia

## METHODOLOGY OF PARAMETRIC DESIGNING OF SHIP'S HULL STRUCTURES

A brief historical review of the development of methods for ship's hull structures designing is given. It is asserted that by the beginning of the 21st century the scientific foundations the methods of ship's structures designing and corresponding and learning discipline have been formed, which are based on a certain methodology for hull structures designing. General methodological principles of designing are discussed in application to the problem of computer aided parametric design of the ship's hull and other marine engineering structures.

**Key words:** ship's hull structures, parametric designing of ship's hull structures, methodology of computer aided parametric design of structures.

Author declares lack of the possible conflicts of interest.

For citations: Tryaskin V.N. Methodology of parametric designing of ship's hull structures. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2018; Special issue 2: 9–14 (in Russian).

UDC 629.5.023.001.63

DOI: 10.24937/2542-2324-2018-2-S-I-9-14

В развитии методов проектирования конструкций корпуса судна можно выделить несколько этапов<sup>1</sup> [1, 2].

**1. Период эмпирических знаний.** На этом этапе происходило нечто вроде естественного отбора – «плохие» конструкции «погибали», а «хорошие» «выживали» с большей вероятностью. Происходило накопление опыта, неудачных и положительных решений. Человечество еще не располагало возможностями теоретического осмысления (анализа) своей практической деятельности. Опыт оставался единственным источником знаний.

Естественно, накапливаемый опыт как-то фиксировался: сначала, по-видимому, в устной форме, а затем в виде письменных рекомендаций (схем, описаний) – это и явилось рождением метода, но о методе проектирования конструкций говорить еще рано. Родился метод создания конструкций, основанный на эмпирическом знании, накопленном поколениями судостроителей, на подражании, на повторении конструктивных решений хорошо зарекомендовавших себя в эксплуатации образцов – ранее построенных и успешно плавающих судов.

<sup>1</sup> История развития методов проектирования судовых корпусных конструкций в виде ряда ключевых этапов была представлена в 1978 г. профессором кафедры конструкции судов СПбГМТУ (тогда еще ЛКИ) Васильевым А.Л. в статье «Теоретические основы проектирования судового корпуса» [1].



**2. Появление Правил классификационных организаций** – начало теоретического осмысления накопленных знаний о конструкции корпуса судна.

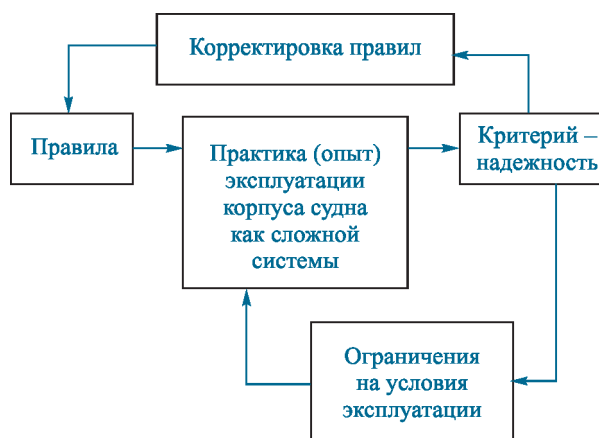
Идея классификации возникла в XVII веке и отражала стремление частных страховых компаний, бравших на себя риск по страхованию судов, перевозимых грузов и людей. Классификация судов ставила своей целью обеспечение безопасной эксплуатации судов путем контроля технического состояния корпуса и его оборудования. Класс давался при условии удовлетворения определенным требованиям, в том числе требованиям к размерам элементов конструкций, применяемым материалам, способам изготовления и т.п.

Первое Классификационное общество – Регистр Ллойда – было создано в 1760 г. Вслед за ним в XIX – начале XX века классификационные организации появились во всех странах с развитым мореплаванием. Русский Регистр был создан в 1913 г. Первые Правила классификации и постройки судов – Правила Регистра Ллойда – появились в 1854 г.

Первая унификация требований западных классификационных обществ произошла в 1959 г. В 1961 г. было заключено Соглашение о сотрудничестве пяти классификационных обществ стран СЭВ<sup>2</sup>, и в 1969–1970 гг. появились Согласованные Правила их классификационных обществ. В 1969 г. создана Международная организация классификационных обществ (МАКО – IACS), цель которой состоит в координации деятельности классификационных обществ.

Длительное время в Правилах фиксировались эмпирические знания, накопленные судостроителями. Даже в начале XX века все размеры элементов конструкций до мельчайших подробностей задавались в зависимости от двух величин: длины судна и полупериметра мидель-шпангоута<sup>3</sup>. Такой метод создания конструкции недостаточно отражал физическую сторону работы конструкций.

Правила постоянно совершенствовались. Схема совершенствования Правил (рис. 1) на протяжении длительного периода их существования по своей логике напоминает схему «черного ящика» – понятия, введенного кибернетиками для изучения очень сложных систем, не поддающихся детальному описанию. На входе системы – Правила, определяющие параметры системы. Результаты функционирования



**Рис. 1.** Схема совершенствования Правил

системы, скрытой в «черном ящике», многократно наблюдаются на выходе и корректируются в нужном направлении путем многократных изменений параметров системы. Роль «черного ящика» выполняет практика эксплуатации системы (корпуса судна). На выходе – критерий «надежность»<sup>4</sup>, позволяющий судить о правильности «входа». Если надежность не обеспечивается, то необходимо изменить либо условия эксплуатации – накладывать ограничения, или условия на «входе» системы – корректировать требования Правил.

**3. Формирование основ новой науки** – проектирования конструкций корпуса судна. 50–80-е гг. XX века характеризуются интенсивным увеличением размеров судов, широким внедрением в судостроении новых материалов (низколегированных сталей повышенной прочности), новых технологий. Появляются суда новых архитектурно-конструктивных типов. Проектирование таких судов на основе близкого прототипа не представлялось возможным, поскольку прототипов не существовало. Простая экстраполяция размеров элементов конструкций пропорционально длине судна, водоизмещению или другим параметрам уже не могла служить гарантией надежности.

Все это стимулировало научные и экспериментальные исследования в области оценки внешних сил, анализа работы конструкций, нормирования прочности. Как известно, это три проблемы, которые изучаются в строительной механике корабля.

<sup>2</sup> СЭВ – Совет экономической взаимопомощи.

<sup>3</sup> См., например, Правила Российского морского регистра 1932 г.

<sup>4</sup> Надежность – свойство конструкции выполнять свои функции в течение заданного промежутка времени при определенных условиях эксплуатации.

Таким образом, в практику проектирования корпусных конструкций активно входит наука:

- 50–60-е гг. – активное и широкое изучение проблемы внешних сил; переход на вероятностные методы, позволяющие более обоснованно экстраполировать проверенные практикой эксплуатации требования на суда больших размеров, новых архитектурно-конструктивных типов;
- 70–80-е гг. – развитие и внедрение в процесс проектирования численных методов анализа работы конструкций, основанных на широком использовании ЭВМ; появление обстоятельных исследований в области нормирования прочности конструкций. Начинает формироваться философия проектирования конструкций корпуса судна<sup>5</sup>.

Результаты исследований привели к появлению современных Правил классификационных обществ. Следует отметить новые по структуре и содержанию, прогрессивные для того времени Правила Российского морского регистра 1990–1995 гг., а также действующие Правила Регистра, сохраняющиеся практически в неизменном виде с 1999 г.

Все классификационные общества мира в той или иной степени, быстрее или медленнее, постоянно корректируют свои Правила в соответствии с развитием новых знаний о природе конструкции. В Правилах постепенно находят отражение практически все изменения, связанные с изменением или возникновением архитектурно-конструктивных типов судов, появляются специальные разделы Правил, где рассматриваются проектирование и постройка тех типов судов, для которых ранее таких требований не существовало. По существу, Правила концентрируют и отражают теорию и практику проектирования конструкций. На их основе строятся алгоритмы проектирования конструкций.

В 2006 г. начинается новый этап развития Правил: появляются Общие правила МАКО, которые определяют требования к экологически опасным судам – танкерам длиной  $L \geq 150$  м и навалочникам длиной  $L \geq 90$  м. В 2015 г. вводятся Гармонизированные Правила МАКО, общие для танкеров и навалочников. Использование этих Правил без специализированного программного обеспечения невозможно [3].

**4. Развитие информационных технологий,** компьютерной техники обусловило начало следующего этапа развития методов проектирования конструкций – автоматизированного проектирования конструкций, основанного на методах моделирования и оптимизационно-поисковых процедурах (1990–2000 гг.) [4]. Можно считать, что на этом этапе сложились научные основы проектирования конструкций корпуса судна и соответствующей учебной дисциплины<sup>6</sup>, которые в настоящее время быстро развиваются [5]. Проблема проектирования конструкций представляется в виде задачи математического программирования. Модель принятия решения – это формализованное представление задачи проектирования в общем (стандартном) виде:

$$f(\mathbf{X}) \rightarrow \text{Ext}r; \quad (1)$$

ограничения:

$$h_j(\mathbf{X}) = 0, j = 1, \dots, m; \quad (2)$$

$$g_j(\mathbf{X}) \geq 0, j = m+1, \dots, p; \quad (3)$$

граничные условия:

$$(x_i)_{\min} \leq x_i \leq (x_i)_{\max}, i = 1, \dots, k; \quad (4)$$

где  $\mathbf{X}=[x_1, \dots, x_k]^T$  – вектор-столбец независимых переменных – конструктивных параметров;  $f(\mathbf{X})$  – функция цели;  $h_j(\mathbf{X})$  – ограничения в виде равенств;  $g_j(\mathbf{X})$  – ограничения-неравенства.

Целевая функция – характеристика массы, трудоемкости изготовления или стоимости конструкции. Ограничения задачи формируются на основе требований Правил. Решения задач проектирования судовых конструкций получаются в процессе оптимизационно-поисковых процедур с использованием специализированного или универсального программного обеспечения.

Часто под проектированием конструкций понимают разработку конструкции корпуса с использованием универсального программного обеспечения современных компьютерных графических систем типа AutoCAD и КОМПАС или соответствующих блоков «тяжелых» CAD/CAM-систем (FORAN, AVEVA и т.д.). Фактически упомянутые системы обеспечивают главным образом реализацию процессов автоматизированного конструирования. При этом экран компьютера выполняет функции «электронного

<sup>5</sup> Симпозиум «Современная философия проектирования судовых конструкций». Дельфт, март 1972.

<sup>6</sup> Дисциплина «Проектирование судовых конструкций» изучается студентами факультета Кораблестроения и океанотехники СПбГМТУ, проходящими подготовку по направлению «Кораблестроение».



кульмана», поскольку в графических системах автоматизированы в основном рутинные графические процедуры. Автоматизированное конструирование может быть реализовано только при наличии информации о параметрах формы конструкции и размерах ее элементов.

В связи с этим проектирование конструкций можно представить как совокупность двух взаимосвязанных процессов – автоматизированного конструирования и параметрического проектирования.

Автоматизированное конструирование предназначено для формирования визуальной, параметризованной информации о структурном составе конструкции, ее геометрическом и конструктивном облике. Одна из задач автоматизированного конструирования – чертежи конструкций, разрабатываемые с применением современной автоматизированной оргтехники, и спецификации к ним.

Параметрическое проектирование предназначается для определения размеров конструктивных элементов, удовлетворяющих требованиям нормативных документов (Правил классификационных организаций / Норм прочности).

Во всех существующих судостроительных САД-САМ-системах проблема параметрического проектирования конструкций корпуса судна практически не затрагивается. В какой-то степени для параметрического проектирования конструкций корпуса судна могут использоваться (в режиме проверочного расчета) автоматизированные системы классификационных организаций: Mars, VeryStar – BV; NauticusHull, Poseidon – DnV-GL; SafeHull – ABS; ATLAS – Российский морской Регистр и другие, предназначенные для проверки соответствия корпуса судна требованиям правил классификационной организации. Для автоматизации параметрического проектирования необходимо специализированное программное обеспечение.

Очень распространено мнение, что проектирование конструкций – это расчет конструкций с использованием программного обеспечения, реализующего метод конечных элементов. Ни для кого не секрет, что для выполнения конечноэлементного расчета нужно также располагать полной (даже детальной) информацией о конструкции.

Проблемы параметрического проектирования конструкций (в том числе автоматизированного) длительное время разрабатываются на кафедре конструкции и технической эксплуатации судов СПбГМТУ. Первые работы кафедры, посвященные

решению отдельных задач автоматизированного проектирования конструкций, появились в начале 70-х гг. прошлого века (Э.Н. Гарин). В период с 70-х гг. до настоящего времени выполнен большой цикл исследований в рамках разработки систем автоматизированного проектирования конструкций плавучих доков, надводных кораблей, морских судов. Результаты этих исследований представлены в ряде кандидатских диссертаций [6, 7] и обобщены в докторской диссертации [4], подготовленных на кафедре конструкции судов.

Научные основы методов проектирования судовых конструкций, сложившиеся к началу XXI века, соответствуют определенной методологии проектирования конструкций корпуса судна (в том числе и автоматизированного). Методологию автоматизированного проектирования конструкций корпуса судна можно определить как совокупность принципов структурной и логической организации процесса проектирования, методов и технических средств реализации процедур проектирования. Ниже кратко обсуждаются общие методологические принципы проектирования применительно к проблеме автоматизированного параметрического проектирования конструкций корпуса судов и других морских инженерных сооружений.

Следует выделить наиболее характерные методологические принципы параметрического проектирования конструкций [4]:

- системный подход;
- моделирование (в том числе компьютерное) как один из основных методов решения задач проектирования;
- рациональная (эффективная) стратегия проектирования, основанная на итерационных поисковых процедурах, учитывающая накопленный опыт и особенности эволюции методов проектирования.

Системный подход предполагает декомпозицию сложных объектов (систем) на отдельные подсистемы с учетом структурных и функциональных отношений между подсистемами различных иерархических уровней и элементами подсистемы данного уровня. Так, корпус судна условно делится (декомпозируется) на районы: средняя часть, носовой район, включая носовую оконечность, кормовой район, включая МКО и кормовую оконечность. Такое подразделение обусловлено особенностью внешних воздействий. В пределах района выделяются конструктивные отсеки – части корпуса, ограниченные смежными пере-

борками, обычно имеющие характерную топологию. Следующий уровень декомпозиции – перекрытия; затем – структурные составляющие перекрытий (листовые конструкции с подкрепляющим их основным набором, рамные балки / системы рамных балок). Нижний уровень конструктивной декомпозиции – листовые и балочные элементы.

Каждому иерархическому уровню соответствует свой класс проектных задач. Таким образом, декомпозиция объекта проектирования приводит к декомпозиции процесса проектирования – представлению его в виде совокупности более простых проектировочных процедур различного иерархического уровня. Это определяет иерархическую структуру процесса проектирования и вытекающую из нее многоэтапность проектирования.

Моделирование в автоматизированном проектировании конструкций корпуса судна. Понятие «моделирование» широко используется при проектировании технических систем и конструкций корпуса в частности. Это:

- геометрическое моделирование – например, описание формы корпуса и его конструкций;
- конструктивное моделирование – компоновка конструктивной схемы проектируемой конструкции;
- математическое моделирование – представление задачи проектирования конструкции в виде совокупности математических зависимостей. В этом случае систему (моделирующих) зависимостей называют математической моделью процесса проектирования.

Рациональная стратегия проектирования и итерационные решения задач автоматизированного проектирования конструкций. Для процесса проектирования (создания новой конструкции) характерен недостаток исходной информации на начальных этапах. В традиционном проектировании морской техники предусматриваются последовательные этапы проектирования: предэскизный и эскизный, технический и рабочий проекты. Каждый последующий этап проектирования «дополняет» предыдущий, используя полученные на предыдущем этапе результаты в качестве исходной информации.

Дефицит начальной исходной информации – объективный фактор, влияющий также на особенности проектирования корпусных конструкций. Для преодоления сложностей, определяемых этим фактором, процесс параметрического проектирования целесообразно «выстраивать» как итеративную последовательность действий, осуществляемую по принципу

«от простой модели проектирования к сложной». Начальная модель должна быть самой простой, требующей минимальной исходной информации. Наиболее сложной может быть конечная модель (например, в проверочном анализе состояния конструкции с использованием конечноэлементных моделей частей корпуса, корпуса в целом).

Методологический принцип «от простой модели к сложной» в автоматизированном параметрическом проектировании – это следующая последовательность проектирования: от проектирования конструктивных элементов (листовых, балочных) до проектирования структурных составляющих перекрытий и продольных связей эквивалентного бруса. Значения конструктивных параметров, полученных в результате действия модели нижнего уровня, используются в математической модели задачи проектирования следующего уровня в качестве ограничений «снизу». Возможное изменение таких параметров – (поисковое) увеличение значения в случае доминирования проектировочного условия на рассматриваемом уровне проектирования.

В качестве завершающей итерации автоматизированного проектирования предусматривается процедура «перехода» от расчетных значений конструктивных параметров к фактическим (принятым в конструкции). Последующий проверочный расчет конструкций может рассматриваться как заключительная итерация в последовательности расчетных действий автоматизированного проектирования корпусной конструкции.

Предложенный принцип организации процесса параметрического проектирования можно рассматривать в качестве модели автоматизированного параметрического проектирования (рис. 2), реализующая наиболее рациональную стратегию проектирования, учитывающая накопленный опыт и особенности эволюции методов проектирования. Впервые этот методологический принцип предложен специалистами кафедры Конструкции судов СПбГМТУ (ЛКИ). Эффективность такого подхода подтверждена многолетними работами кафедры по проблеме автоматизированного проектирования конструкций.

На всех уровнях проектирования конструкции принятие решения базируется на оптимизационно-поисковых процедурах. Модель принятия решения – это формализованное представление задачи проектирования в виде (1)–(4). Примеры постановки задач параметрического проектирования различных иерархических уровней представлены в работах [5–7].



**Рис. 2.** Модель автоматизированного параметрического проектирования

## Библиографический список

1. Васильев А.Л. Теоретические основы проектирования судового корпуса // Итоги науки и техники. Серия Судостроение. 1978. Т. 8. С. 8–83.
2. Васильев А.Л. Введение в проектирование конструкций корпуса судов. Учебное пособие. Л.: ЛКИ, 1984.
3. Common Structural Rules for Bulk Carriers and Oil Tankers. IACS, 2017.
4. Тряскин В.Н. Методология автоматизированного проектирования конструкций корпуса судна. Дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2007, 339 с.
5. Тряскин В.Н. Автоматизированное параметрическое проектирование конструкций корпуса судна. Учебное пособие. СПб.: СПбГМТУ, 2010.
6. Мьинт Кхайн. Методики и алгоритмы автоматизированного параметрического проектирования судовых конструкций. Дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2009, 183 с.
7. Ле Минь Тху. Методики и алгоритмы автоматизированного проектирования и предремонтной оценки технического состояния конструкций стальных плавучих доков. Дис. ... канд. техн. наук. Астрахань, 2012, 173 с.

## Сведения об авторе

Тряскин Владимир Николаевич, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой конструкции и технической эксплуатации судов СПбГМТУ. Адрес: 190121, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 3. Телефон: +7 (812) 714-09-54. E-mail: tryaskin.vn@yandex.ru.

Поступила / Received: 01.03.18  
Принята в печать / Accepted: 03.05.18  
© Тряскин В.Н., 2018