

## МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАШИВКИ ПОМЕЩЕНИЙ ДЛЯ НЕСАМОХОДНЫХ ПЛАВУЧИХ СООРУЖЕНИЙ

*Терлыч С.В.,*

*Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова,  
Херсонский филиал*

*В статье разработаны методические принципы компоновки задач автоматизированного параметрического проектирования (АПП) элементов зашивки помещений несамоходных судов, разработаны методики и алгоритмы АПП конструкций зашивки различного иерархического уровня.*

*Показана эффективность применения методов моделирования и оптимизационно-поисковых процедур для решения практических задач проектирования конструкций модульной зашивки несамоходных судов на основе требований Правил классификации и постройки морских судов.*

*Ключевые слова: автоматизированное параметрическое проектирование (АПП), несамоходные плавучие сооружения, модульные системы зашивки помещений.*

**Актуальность исследования.** Современное состояние достроечного производства в судостроении Украины и стран СНГ характеризуется интенсивным внедрением информационных технологий в проектно-конструкторские работы и процессы обеспечения постройки судов. **Автоматизированное проектирование** (АП) с использованием информационных технологий – единственная альтернатива, чтобы соответствовать требованиям сегодняшнего дня. На ведущих судостроительных верфях Украины и Российской Федерации закуплена и осваивается тяжелая CAD/CAM система «TRIBON». Однако работы по проблемам АП практически не затрагивают вопросов **параметрического проектирования** (ПП), требующего от инженера-конструктора (технолога) универсальных знаний в предметной области. ПП – процесс определения размеров конструктивных элементов, удовлетворяющих требованиям нормативных документов (конвенция SOLAS, требования ИМО, Санитарные нормы и правила для морских судов, технологические особенности верфей-строителей). Судостроительные верфи Украины и стран СНГ, которые специализируются на постройке несамоходных плавсредств, в основном ориентируются на закупку готовых проектов за рубежом. Проектно-конструкторские работы, связанные с ПП, находятся на стадии развития и требуют подготовки соответствующих специалистов, создания необходимой методической базы и специализированного прикладного программного обеспечения.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В СССР (позже в странах СНГ и Балтии) работы по проблемам АП в судостроении начались еще в 60-70-х годах прошлого века. основополагающие исследования по автоматизации проектно-конструкторских работ были выполнены Р.А. Алликом, В.С. Дориным, В.Н. Волковым, В.А. Марковым, В.М. Москаленко, Н.И. Петровым, В.Е. Солдатовым, М.А. Радушинским,

М.Н. Рейновым, Ю.М. Фишкисом (СпБГУВТ, кафедра проектирования судов). Методологические и методические принципы системы автоматизированного исследовательского проектирования корабля сформулированы и развиты в работах И.Г. Захарова, Н.В. Никитина, В.В. Родионова, О.В. Третьякова, В.Б. Фирсова, Л.Ю. Худякова, П.А. Шауба (СПБГМТУ, кафедра технологии судостроения). Важную роль для методологического обеспечения автоматизированного решения задач проектирования судна сыграли работы В.М. Пашина, Ю.Н. Полякова, А.И. Гайковича (ЦНИИМФ). Проблемы автоматизации задач общего проектирования судна и его интерьера также исследовали А.Н. Суслов, Б.А. Царев.

Значителен вклад в АП на этапе рабочего проектирования элементов достройки А.Н. Ситникова, В.И. Спирина, А.М. Плотникова – создателей САД/САМ системы «Ритм-КОРПУС». Большое значение имеют работы зарубежных специалистов, создавших такие системы, как графический редактор AutoCAD, системы автоматизированного проектирования «TRIBON», «FORAN», «САТІУА» и некоторые другие. Методы автоматизированного решения задач проверочного расчета или проектирования отдельных конструкций элементов кают представлены программными разработками коллективов, возглавляемых Е.М. Апполоновым, Г.В. Егоровым, В.А. Кулешом, А.А. Оснячом, А.А. Родионовым, Г.П. Шемендюком [5, 6].

Проблемы ПП элементов конструкций модульных кают длительное время разрабатываются на кафедре Технологии судостроения СПБГМТУ: в период с 70-х до начала 90-х годов под руководством Э.Н. Гарина, с середины 90-х годов – под руководством В.Н. Тряскина.

Математические методы оптимального проектирования, которые являются основой ПП любых судовых помещений в системах 3D, систематизированы и развиты в работах А.А. Родионова.

Методологические принципы автоматизированного параметрического проектирования (АПП) конструкций элементов морских сооружений различного назначения и требования к соответствующим подсистемам АП сформулированы в работах В.Н. Тряскина.

**Объектом исследования** являются конструкции элементов модульных кают и служебных помещений несамоходных плавучих сооружений (плавучих доков, мастерских, общежитий, технических средств освоения шельфа).

**Предметом исследования являются** задачи автоматизированного ПП конструкций зашивки, базирующиеся на предлагаемых научно-методических принципах, алгоритмах автоматизированных процедур, реализуемых с использованием аппарата математического программирования.

**Цель исследования** – совершенствование методических принципов АПП конструкций зашивки помещений несамоходных судов и разработка на этой основе алгоритмов и программного обеспечения ПП конструкций различного иерархического уровня.

**Изложение основного материала.** К основным принципам АП конструкций модульных систем зашивки помещений можно отнести: системный подход, применение методов моделирования в различных аспектах проблемы АП, использование методов математического программирования в качестве аппарата принятия решения.

Системный подход в АП предполагает декомпозицию сложных объектов (систем) на отдельные подсистемы с учетом существенных структурно-функциональных отношений между различными иерархическими уровнями системы и элементами каждого иерархического уровня [1, 2]. Декомпозиция объекта проектирования приводит к декомпозиции процесса проектирования – представлению его в виде совокупности более простых проектировочных процедур различного иерархического уровня.

Прием декомпозиции используется для представления процесса проектирования элементов зашивки помещений судна в виде двух взаимосвязанных этапов: автоматизированного конструирования (АК) и автоматизированного параметрического проектирования (АПП). АК предназначено для формирования визуальной информации об «устройстве» конструкции: ее конструктивном «облике», структурном составе. АПП предназначается для определения размеров конструктивных элементов оборудования помещений, удовлетворяющих особенностям плавсредств. При АП понятие «моделирование» используется в различных аспектах. На ранних стадиях проектирования может быть применена общая характеристика моделей, предлагаемых для решения задач АПП. Это: моделирование формы и компоновочной схемы проектируемой конструкции (геометрическое и конструктивное моделирование); определение условной расчетной схемы – компоновка системы зависимостей, представляющих математическую модель конструкции, соответствующую принятой условной расчетной схеме; моделирование «поведения» конструкции – выбор совокупности математических зависимостей, устанавливающих связь между некоторыми характеристиками и параметрами конструкции [3, 4].

Принятие решения при АПП базируется на оптимизационно-поисковых процедурах. Модель принятия решения – это формализованное представление проблемы проектирования в виде задачи математического программирования с ограничениями в виде равенств  $H_j(\mathbf{X})$ , неравенств  $G_j(\mathbf{X})$  и ограничений, связанных с технологическими особенностями изготовления элементов зашивки и из монтажа, т.е.:

$$\begin{aligned} F(\mathbf{X}) &\rightarrow \text{Extr} \\ H_j(\mathbf{X}) &= 0, j = 1, \dots, m; G_j(\mathbf{X}) \geq 0, j = m + 1, \dots, p; \\ (x_i)_{\min} &\leq x_i \leq (x_i)_{\max}, i = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\mathbf{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}^T$  – вектор искомых  $n$  варьируемых конструктивных параметров (типоряд элементов зашивки);  $F(\mathbf{X})$  – функция цели в задаче поиска, которая может характеризовать массу материалов [7], трудоёмкость технологических процессов при изготовлении конструкции или ее стоимость.

Минимальная масса зашивки – основная цель поискового проектирования кают несамоходных плавсредств различного назначения. В исследовании при решении задач проектирования элементов в качестве целевой функции принимается характеристика массы конструкции. В достаточно общем случае функция, характеризующая массу материала панелей, обшитой металлопластом, имеет вид:

$$F = \rho_{II} \cdot m \cdot l \cdot s + \rho_M \cdot f_0 \cdot l + \rho_C \cdot S_o \cdot \Delta h \cdot l \quad (2)$$

где  $\rho_{II}$  – плотность изолирующего материала;  $m$  – модуль системы,  $l$  – длина панели;  $\rho_M$  – плотность металлопласта,  $s$  – толщина изоляционного слоя;  $f_0$  – площадь поперечного сечения металлопластовых оболочек;  $\rho_C$  – плотность материала элементов крепления панелей,  $S_o$  и  $\Delta h$  – толщина и добавка к высоте балочного элемента (при проектировании балочного элемента из составного профиля) крепления.

Процесс проектирования листовых элементов зашивки при заданной структурной компоновке (модуль системы, размерно-конструктивные особенности помещения) и выбранных материалов сводится к поиску значения его толщины, удовлетворяющего, в общем случае, требованиям к местной прочности  $s_l$ , технологичности конструкции  $s_b$ , минимальным толщинам  $s_{min}$ . Очевидно, что требуемая толщина листов металлопласта должна отвечать условию:

$$s \geq \max \{s_l, s_b, s_{min}\} \quad (3)$$

Ближайшее большее сортаментное значение толщины листового элемента, определяемое методом прямого перебора, и будет решением задачи.

Более сложные автоматизированные процедуры проектирования листовых элементов могут использоваться при обосновании компоновочной схемы конструкции (совокупности выбора тощин металлопластовых оболочек, толщины изоляционного слоя с учётом модуля системы, способа крепления зашивки и массо-габаритных характеристик изделий). В исследовании подробно рассмотрены задачи проектирования листовых композитных элементов зашивки жилых помещений, широко используемых на несамоходных плавучих сооружениях [8, 9]. Они представлены в стандартной форме задачи нелинейного программирования (1). Независимо варьируемыми конструктивными параметрами принимаются при проектировании листовых элементов: толщина металлопласта  $s$ , меньшая сторона листового элемента  $a$  и предел текучести материала листовой конструкции  $R_{eH}$ ; при проектировании крепёжных элементов – дополнительно: площадь сечения изолированного балочного элемента  $f_0$  и добавка к высоте стенки балочного элемента  $\Delta h$ , вводимая при компоновке составного профиля. В состав ограничений включены зависимости, полученные по требованиям к местной прочности, устойчивости и минимальным толщинам, описанным в [9-11].

При компоновке задач проектирования элементов крепления принципиально важным является введение в состав задачи зависимостей

$h_0(f_0)$ ,  $s_0(f_0)$ , отражающих «сортаментную» связь между параметрами листов металлопласта и независимо варьируемой площадью сечения листов изоляции  $f_0$  ( $s_0$  – толщины стенки,  $h_0$  – высоты стенки). Характеристики  $W$  (момент сопротивления),  $I$  (момент инерции) и  $f_w$  (площадь сечения стенки) балочного элемента крепления, входящие в зависимости – ограничения задачи (условия местной прочности, устойчивости), необходимо выразить через значения варьируемых конструктивных параметров  $s$  и  $f_0$ . Для этого предложено использовать зависимости коэффициентов утилизации  $c_w = c_w(P\_Type, s_1, b_1, f_0)$  и  $c_I = c_I(P\_Type, s_1, b_1, f_0)$  [7, 8] от типа профиля ( $P\_Type$ ), площади поперечного сечения профиля ( $f_0$ ), и размеров конкретного элемента : толщину –  $S_{attached-plate}$  и ширину –  $b_{attached-plate}$ , а также функции  $s_0(f_0)$ ,  $h_0(f_0)$ ,  $i_0(f_0)$  и  $y_0(f_0)$ , которые получены на основании обработки информации соответствующих типорядов панелей и креплений, представленных в каталогах [9]. Они используются для вычисления значений коэффициентов  $c_w$  и  $c_I$  в итерационных циклах поисковых процедур. Такой подход вносит некоторую степень нелинейности и дискретности в задачу проектирования.

Для решения этой задачи может эффективно применяться аппарат математического программирования. Задача проектирования зашивки поперечной переборки в простейшей постановке – при заданной компоновочной схеме (заданном расстоянии между креплениями  $a$ , когда в качестве независимо варьируемых параметров принимаются толщина композитной составной панели  $s = x_1$  и характеристика прочности металлопластовой оболочки  $R_{eH} = x_2$ , имеет следующий вид: минимизировать характеристику массы зашивки  $F(\mathbf{X}) = a x_1$  при ограничениях задачи, полученных из условий местной прочности в элементе крепления  $\sigma_1 \leq k_{\sigma_1} R_{eH}$  и на опорном контуре  $\sigma_2 \leq k_{\sigma_2} R_{eH}$ , с учетом ограничений области возможных значений искомым параметров

$$(x_i)_{\min} \leq x_i \leq (x_i)_{\max} : \tag{4}$$

$$g_1(\mathbf{X}) = k_{\sigma_1} x_2 - \sigma_1(x_1) \geq 0; \quad g_2(\mathbf{X}) = k_{\sigma_2} x_2 - \sigma_2(x_1) \geq 0;$$

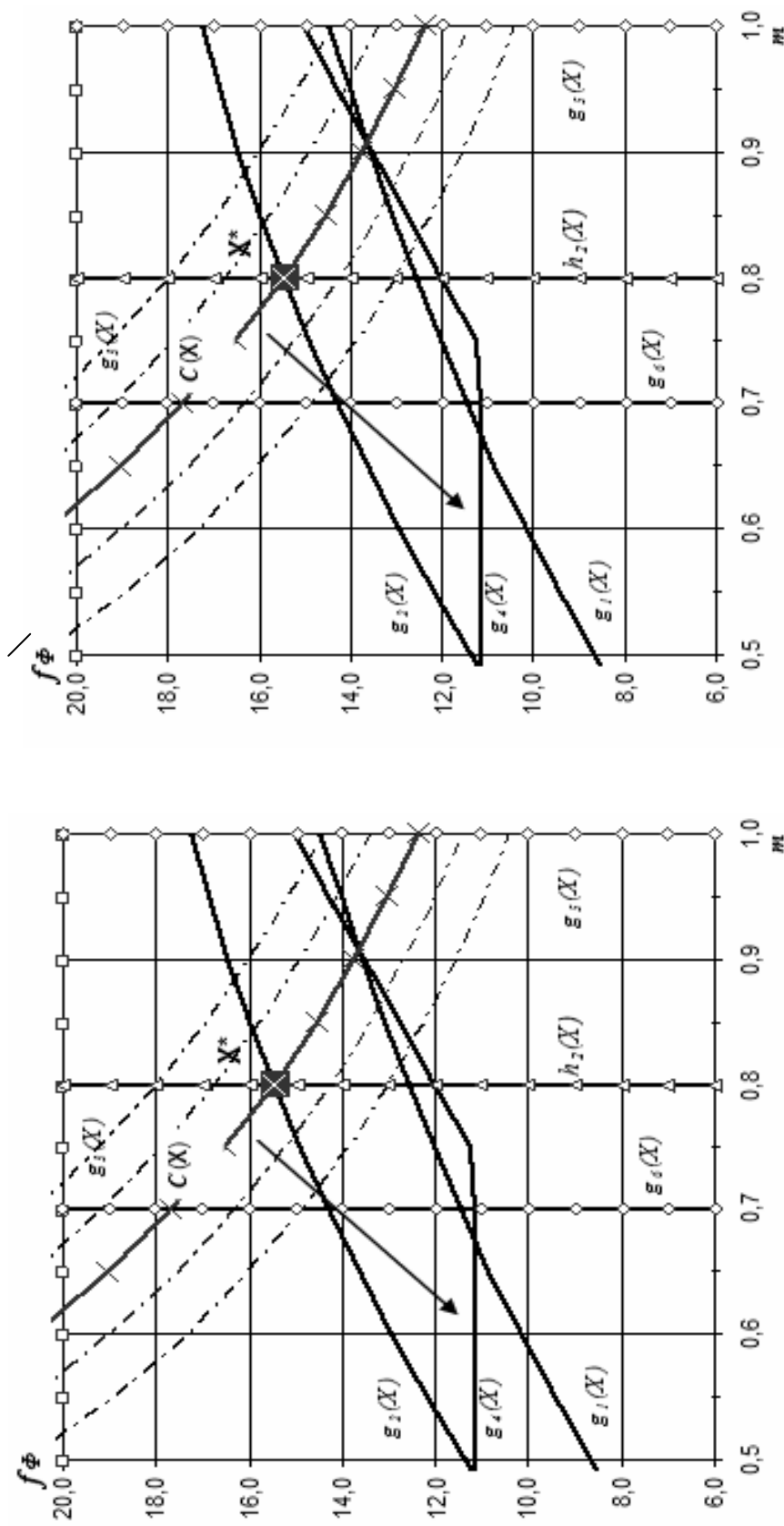
$$g_{2+i}(\mathbf{X}) = (x_i)_{\max} - x_i \geq 0; \quad i = 1, 2; \quad g_{4+i}(\mathbf{X}) = x_i - (x_i)_{\min} \geq 0; \quad i = 1, 2$$

где  $\sigma_1(x_1) = q + 0.25p \left( \frac{a}{x_1} \right)^2 \chi_1(u);$

$$\sigma_2(x_1) = q + 0.5p \left( \frac{a}{x_1} \right)^2 \chi_2(u);$$

$$q(x_1) = \frac{E}{1-\mu^2} \frac{u^2}{3} \left( \frac{x_1}{a} \right)^2; \quad u = \left( \frac{3(1-\mu^2)}{E} \left( \frac{a}{x_1} \right)^2 q \right)^{0.5};$$

$$u =^{0.5} \chi_1(u), \chi_2(u)$$



а)

б)

Рисунок 1. Результаты решения задач проектирования листовых элементов зашивочных панелей

а) – переборок, б) – подволок.

$m$  – модуль (линейный размер) зашивочной панели;  $f$  и  $f'$  – соответственно площадь сечения соединительного профиля и фланца панели, рассчитанная по разработанной методике

Вышеуказанные табулированные функции параметра  $u$ , представленные средствами *Microsoft Excel* в виде аппроксимирующих полиномов;  $p$  – удельный вес зашивки;  $q(x_1)$  – интенсивность нагрузки. В этой задаче линейная целевая функция, два нелинейных и четыре линейных ограничения. Для решения задачи использован инструмента *Microsoft Excel* – «Поиск решения». Результаты решения представлены на рисунке 1.

Для компоновки задачи необходимо задаться формой поперечного сечения проектируемой конструкции (типом профиля). Разработанные методика, алгоритм и программное обеспечение позволяют выполнять проектирование этих конструкций для нескольких типов составных профилей. На рисунке 1 представлено сопоставление результатов ручного проектирования соединительных элементов и фланцев панелей (площадь сечения –  $f_\phi$  и  $f_\phi^*$  соответственно) [9] и результатов, полученных с использованием предлагаемого методического подхода и инструмента «Поиск решения» *Microsoft Excel ver. 2007* (площадь сечения –  $f$  и  $f^*$  соответственно).

#### **Выводы и их новизна.**

1. Разработаны методические принципы компоновки задач автоматизированного ПП элементов зашивки помещений несамостоятельных судов.

2. Разработаны методики и алгоритмы АПП конструкций зашивки различного иерархического уровня.

3. Исследованы задачи АПП конструкций зашивочных панелей и деталей их крепления, реализующие требования различного иерархического уровня, с использованием методов моделирования и оптимизационно-поисковых процедур.

4. Показана возможность применения аппарата метода планирования эксперимента для задач автоматизированного проектирования конструкций зашивки помещений.

**Перспективы внедрения результатов исследования.** Показана эффективность применения методов моделирования и оптимизационно-поисковых процедур для решения практических задач проектирования конструкций модульной зашивки несамостоятельных судов на основе требований Правил классификации и постройки морских судов. Предлагаемый методический подход обеспечит сокращение сроков, повышение эффективности и качества проектно-конструкторских и технологических работ.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Апалько Т.А., Демидов Н.А., Царев Б.А. Особенности эволюционного совершенствования проектных характеристик сложной морской техники : доклады секции №1 на «Круглом столе» по проблеме

конкурентоспособности судостроительной промышленности. – СПб.: НТО судостроителей им. А.Н. Крылова, 2008. – С. 21-23.

2. Макеев Г.А. Особенности алгоритма проектирования флота судов, обслуживающих морские буровые установки : сборник аннотаций докладов 8-й Международной конференции и выставки по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа стран СНГ (RAO/CIS Offshore 2007). – СПб., 2007. – С. 19.

3. Терлич С.В. Розмірний та конструктивний аналіз приміщень на плавдоках // Вісник СевНТУ. Механіка. Енергетика. Екологія. – № 88. – С. 52-55.

4. Шагиданов В.И. Этапы совершенствования теории проектирования кораблей : сборник тезисов докладов межвузовской конференции. – СПб.: ВМИИ, 2002. – С. 34-36.

5. Chung T.J. Computational fluid dynamics. – Cambridge: Cambridge university press, 2002. – 1022 p.

6. Interios by inеха. Craftsmen to the worlds finest ship. – Oslo: Norac ind., 2005. – 323 p.

7. Терлич С.В., Слущкий М.Г. Використання модульної оббудови приміщень на композитних плавучих доках // Зб. наук. праць УДМУ. – 2008. – № 2 (419). – С. 45-48.

8. Wesseling P. Principles computational fluid dynamics. – Heidelberg: Springer, 2001. – 652 p.

9. Мьинт Кхайн. Основные принципы параметрического проектирования судовых конструкций при использовании методов математического программирования // Естественные и технические науки (Кораблестроение). – 2009. – № 1(39). – С. 221-222.

10. Шагиданов В.И. Модульное формирование помещений судов для охраны экономических зон и их оборудования // Морской вестник. – 2007. – № 1. – С. 26-31.

11. Мьинт Кхайн. Постановка и решение некоторых задач параметрического проектирования конструкций корпуса судна // Научно-технический и информационно-аналитический журнал «Морской вестник», СПб. – 2009. – № 1 (29). – С. 102-104.

**Терлич С.В. МЕТОДИКА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПАРАМЕТРИЧНОГО ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАШИВКИ ПРИМІЩЕНЬ ДЛЯ НЕСАМОХІДНИХ ПЛАВУЧИХ СПОРУД**

*У статті розроблено методичні принципи компоновки завдань автоматизованого параметричного проектування (АПП) елементів зашивки приміщень несамохідних суден, розроблено методики та алгоритми АПП конструкцій зашивки різного ієрархічного рівня. Показано ефективність застосування методів моделювання і оптимізаційно-пошукових процедур для вирішення практичних завдань проектування конструкцій модульної зашивки несамохідних суден на основі вимог Правил класифікації та побудови морських суден.*

*Ключові слова: автоматизоване параметричне проектування (АПП), несамохідні плавучі споруди, модульні системи зашивки приміщень.*



**Terlich S.V.** A METHOD OF AUTOMATED PARAMETRIC DESIGN OF CONSTRUCTIONS OF ELEMENTS TO JOIN SPACES FOR NON-SELF-PROPELLED FLOATING STRUCTURES

*Methodical principles of laying-out the tasks of automated parametric designing (APD) of elements for a joint of spaces of non-self-propelled vessels as well as methods and algorithms of APD constructions for joints of different hierarchic level are worked out in the paper. Effectiveness of applying methods of modeling and optimization-and-search procedures is shown to solve practical tasks of designing constructions for a module joining of non-self-propelled vessels on the basis of requirements of Regulations for classification and building of sea vessels.*

*Key words: automated parametric design (APD), non-propelled floating constructions, module systems of sealing spaces.*