

<http://dx.doi.org/10.15589/jnn20140502>

УДК 629.5.01

Д 83

## ANALYSIS OF CURRENT STATE AND WAYS OF IMPROVEMENT OF THE DEFINING METHOD FOR CHARACTERISTICS OF LNG GAS CARRIER VESSELS

### АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СУДОВ-ГАЗОВОЗОВ LNG

Dong Xinshuo

[michael3123@yandex.ru](mailto:michael3123@yandex.ru)

ORCID : 0000-0002-7248-2294



Дун Синьшо,

асп.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев

**Abstract.** Currently the tendency of narrow focus of vessels according to their types is obvious which makes the maximum economic effect. An LNG gas carrier vessel is of such kind. The article represents the analysis of the current state, prospects of development and construction of the fleet of LNG gas carriers. The latest scientific publications devoted to the issue of designing of such vessel type are analyzed. The up-to-date method is formed to define the primary elements of these vessels which provides improvement of the process of their designing: defining of general and individual parameters of performance efficiency of an LNG gas carrier, development of the mathematical model to determine the optimal elements and characteristics of LNG gas carriers at the initial stages of their designing by means of non-linear programming.

**Keywords:** LNG gas carriers; construction features; liquefied natural gas; improvement of designing process.

**Аннотация.** Выполнен анализ современного состояния, перспектив развития и проблем проектирования судов-газовозов LNG. Представлены пути совершенствования метода определения главных размерений и характеристик этих судов на начальных стадиях их проектирования.

**Ключевые слова:** суда-газовозы LNG; конструктивные особенности; сжиженный природный газ; совершенствование процесса проектирования.

**Анотація.** Виконано аналіз сучасного стану, перспектив розвитку та проблем проектування суден-газовозів LNG. Наведено шляхи вдосконалення методу визначення головних розмірів і характеристик цих суден на початкових стадіях їх проектування.

**Ключові слова:** судна-газовози LNG; конструктивні особливості; зріджений природний газ; удосконалення процесу проектування.

#### REFERENCES

- [1] Gorynin I.V., Legostaev Yu.L., Osokin Ye.P. Problemy morskoy transportirovki szhizhennogo prirodnogo gaza. Materialy dlya tankov sudov-gazovozov [Problems of transport of liquefied natural gas by the sea. Materials for the tanks of the gas carriers]. *Sudostroenie - Shipbuilding*, 2009, no. 5, pp. 32–40.
- [2] Zaytsev V.V., Korobanov Yu.N. *Suda-gazovozy* [Gas carriers]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1990. 304 p.
- [3] Zaytsev V.V. *Teoreticheskie osnovy proektirovaniya sistemy morskoy transportirovki gazov* Dokt. Diss. [Theoretical bases of designing marine gas transportation systems. Doct. Diss.]. Mykolaiv, 2001.
- [4] Kachanovskiy K.V., Larkin Yu.M. *Proektirovanie gazovozov* [The design of gas carriers]. Moscow, Morflot Publ., 1981. 28 p.
- [5] Logatchev S.I., Chugunov V.V., Gorin E.A. *Mirovye sudostroenie: sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya* [World shipbuilding: modern condition and prospects of development]. Saint-Petersburg, Mor Vest Publ., 2009. 544 p.
- [6] Logatchev S.I., Nikolaev M.M. *Suda dlya perevozki szhizhennykh gazov* [Carriers for transportation of liquefied gas]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1966. 260 p.
- [7] Makarov V.G. *Spetsialnye sistemy sudov-gazovozov* [Special systems of gas carriers]. Saint-Petersburg, GMTU Publ., 1997. 472 p.

- [8] Mikhailov B.N. *Analiz osnovnykh parametrov i razrabotka matematicheskoy modeli morskikh metanovozov so sfericheskimi gruzovymi tsisternami* Kand. Diss. [Analysis of the main parameters and development of the mathematical model of methane carriers with spherical trucks. Cand. Diss.]. Mykolaiv, 1982.
- [9] Ngo T.H. Model funktsionirovaniya nakatnogo sudna [Functioning model of the ro-ro ship]. *Zbirnyk naukovykh prats NUK* [Collection of Scientific Publications NUS], 2012, no. 1, pp. 28–30.
- [10] Nekrasov V.A., Mikosha N.N. Zadacha proektirovaniya sudna dlya usloviy rynochnoy ekspluatatsii [The problem of designing the vessel for the condition of market operation]. *Zbirnyk naukovykh prats NUK* [Collection of Scientific Publications NUS], 2006, no. 2, pp. 3–10.
- [11] Nekrasov V.A., Nguyen G.N. Opredelenie optimalnykh kharakteristik bystrokhodnogo passazhirskogo sudna [Determination of optimal characteristics of the high-speed passenger vessel]. *Vestnik NUK* [NUS Journal. Electronic Edition], 2012, no. 2, pp. 23–29.
- [12] Han Chunqiang, Wang Qingfeng, Lu Shikui The elementary analysis of a few difficult issues of LNG carriers construction. *JIANGSU SHIP*, 2012, no. 4.
- [13] Xie Yinghao The analysis and inspiration on the world LNG shipping market. *China Water Transport*, 2013, no. 8, pp. 42–43.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Природный газ по сравнению с другими видами топлива обладает рядом преимуществ. Он является одним из самых значительных источников энергии. Страны, интенсивно использующие природный газ, отделены от больших газовых месторождений морями. Поэтому доставка природного газа потребителю морем является единственным способом его транспортировки. Природный газ транспортируется судами-газовозами LNG, как правило, в сжиженном состоянии (СПГ, англ. LNG – liquefied natural gas). Суда-газовозы LNG выделены в особенный класс судов, при проектировании которых необходимо учитывать многие характерные особенности их постройки и эксплуатации [2].

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Вопросам проектирования судов-газовозов LNG посвящены монографии, учебные пособия и научные публикации [2–6, 8].

В монографии С.И. Логачева и М.М. Николаева [6] впервые были описаны особенности судов-газовозов LNG.

В учебном пособии К.В. Кахановского и Ю.М. Ларкина [4] приведен ряд алгоритмов расчета и формул для выбора характеристик судов-газовозов LNG, полученных на основе статистических данных.

В диссертационной работе Б.Н. Михайлова [8] изложен метод выбора оптимальных параметров судов-метановозов. В качестве критерия эффективности выбран критерий приведенных затрат, но задачи функционирования этих судов детально не рассмотрены.

Монография В.В. Зайцева и Ю.Н. Коробанова [2] посвящена рассмотрению методов определения главных элементов судов-газовозов LNG, которые применялись при проектировании этих судов в прошлом столетии.

В диссертационной работе В.В. Зайцева [3] приведен детерминистический метод определения оптимальных параметров флота судов-газовозов. В этой работе также применен критерий приведенных затрат. Вероятностная формулировка проблемы не использована, соответствующие задачи функционирования этих судов не рассмотрены.

В настоящее время в научной литературе отсутствуют публикации, которые на основе современных достижений теории проектирования судов формулируют задачи выбора главных элементов судов-газовозов LNG на начальных стадиях их проектирования.

**ЦЕЛЬ СТАТЬИ** – на основе анализа основных характеристик, конструктивных особенностей и научных публикаций по проектированию судов-газовозов LNG формирование предложений по совершенствованию метода определения их главных размеров и характеристик на начальных стадиях проектирования.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

В настоящее время наблюдается тенденция узкой специализации судов по их типам, которая приносит наибольший экономический эффект. К таким судам нужно отнести суда-газовозы LNG [7].

На 30 апреля 2013 г. в мировом флоте насчитывалось 389 судов-газовозов LNG суммарной вместимостью 57,88 млн м<sup>3</sup>. Самую большую группу по вместимости составляют суда-газовозы LNG вместимостью в диапазоне от 140 до 200 тыс. м<sup>3</sup>. Распределение количества и вместимости флота судов-газовозов LNG показано в табл. 1 [13].

Таблица 1. Распределение флота газозовов LNG по вместимости грузовых танков

Вместимость, тыс. м <sup>3</sup>	Число судов	Суммарная вместимость, млн м <sup>3</sup>
≤ 70	12	0,34
70...120	12	0,94
120...140	138	18,39
140...200	182	27,94
> 200	45	10,27
В итоге	389	57,88

Потребность в СПГ растет быстрыми темпами. Для обеспечения роста морской транспортировки СПГ до 2020 г. требуется ежегодное строительство 20–25 крупных судов-газовозов LNG. На 30 апреля 2013 г. всего 69 газозовов находились в портфеле заказов [13]. Данные табл. 2 показывают, что суда-газовозы LNG вместимостью 150...160 тыс. м<sup>3</sup> занимают максимальную долю рынка.

Таблица 2. Портфель заказов судов-газовозов LNG на 30 апреля 2013 г.

Вместимость, тыс. м <sup>3</sup>	≤ 150	150...160	160...170	> 170	В итоге
Число судов	0	40	11	18	69
Суммарная вместимость, млн м <sup>3</sup>	0	6,29	1,8	3,1	11,2

Таблица 3. Страны, выпускающие суда-газовозы LNG

Страна	Судостроительные заводы	Система	Патент
Франция	Chantiers de l'Atlantique	№ 96/Mark III	Франция (GTT)
		CS-1	
Финляндия	Kvaerner Masa	Moss	Норвегия
Китай	Hudong-Zhonghua Shipbuilding	№ 96	Франция (GTT)
Китай	Dalian Shipbuilding Heavy Industry Co., Ltd	№ 96	Франция (GTT)
Южная Корея	Hyundai Heavy Industries, Ltd	Moss	Норвегия
		№ 96/Mark III	Франция (GTT)
	Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co., Ltd	№ 96	Франция (GTT)
	Hanjin Heavy Industries, Ltd	№ 96/Mark III	Франция (GTT)
	Samsung Heavy Industries, Ltd	Mark III	Франция (GTT)
		SPB	Япония (IHI)
STX Shipbuilding Co., Ltd	№ 96/Mark III	Франция (GTT)	
Япония	Universal Shipbuilding Co., Ltd	№ 96/Mark III	Франция (GTT)
	NKK	№ 96/MarkIII	Франция (GTT)
	Mitsubishi Heavy Industries, Ltd	Moss	Норвегия
		№ 96	Франция (GTT)
	Ishikawajima Harima Heavy Industries	SPB	Япония (IHI)
	Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd	Moss	Норвегия
	Kawasaki Heavy Industries, Ltd	Moss	Норвегия

Вследствие того что точка кипения СПГ достигает –163 °С, для изготовления грузовых танков судов-газовозов требуется применение специфических форм емкостей и материалов, которые должны сохранять в условиях низких температур соответствующие прочностные свойства [1, 5]. В настоящее время для перевозки СПГ на судах-газовозах LNG широко используются два типа емкостей: сферические вкладные емкости «Moss-Rosenberg» и мембранные емкости «Gas Transport – Technigaz» (GTT). В конце 90-х гг. в компаниях «Technigaz» (TGZ) и «Gas Transport» (GT) разработаны мембранные системы Mark III и GT № 96. После слияния компаний «Gas Transport – Technigaz» в новой компании была разработана более совершенная мембранная система GTT CS-1 [5]. Среди судов-газовозов LNG, находившихся в эксплуатации на 30 апреля 2013 г., 25 % оснащены сферическими цистернами Moss, 74 % – мембранными танками GTT и 1 % – танками других систем [13].

Сегодня основными строителями судов-газовозов LNG являются Южная Корея, Китай и Япония (табл. 3) [12].

К главным элементам судов-газовозов LNG относятся водоизмещение  $D$ , дедвейт  $DW$ , скорость  $v$ , грузовместимость  $W$ , длина  $L$ , ширина  $B$ , осадка  $T$ , высота борта  $H$ , коэффициент общей полноты  $\delta$  и т. д. При выборе их главных элементов на начальных стадиях проектирования применение современного метода может значительно снизить трудоемкость проектных работ и привести к хорошим экономическим результатам в процессе эксплуатации таких судов.

Основной целью современной теории проектирования является обеспечение эффективности эксплуатации и безопасности плавания судов. Эта цель достигается на основе анализа основных функциональных операций, осуществляемых судами, и зависимостей полезного эффекта, получаемого в результате выполнения операций, от уровня мореходных качеств судов, прочностных свойств, работы механизмов, систем, оборудования и экипажей.

Анализ операций, осуществляемых судном, выполняется с помощью моделей его технических, навигационных и экономических свойств, а также с помощью моделей функционирования, учитывающих свойства природных и социальных сред обитания судна. Случайный характер явлений, имеющих место при реализации функциональных операций судна в этих средах, обуславливает формирование моделей их функционирования с помощью теории случайных функций. Последующее исследование функциональных операций – решений задач функционирования судна – выполняется с помощью математического или имитационного моделирования процессов его эксплуатации. Уровень технического совершенства судна и полезности продуктивного периода его эксплуатации определяется по критериям технической и экономической эффективности, в составе которых доминируют такие показатели эффективности, как вероятность выполнения судном совокупности основных функциональных операций и вероятностные характеристики стоимости его постройки и эксплуатации [10].

Основной проблемой проектирования судна является выбор его главных размерений и характеристик для рассматриваемого назначения и условий эксплуатации. В настоящее время такая проблема решается с помощью оптимизационных задач проектирования, использующих методы нелинейного программирования для поиска в пространстве главных размерений и характеристик судна экстремумов указанных выше показателей эффективности.

Таким образом, современный подход теории проектирования судов к выбору их главных размерений должен быть распространен и на суда-газовозы LNG с применением всего арсенала средств исследования операций, выполняемых этими судами, и анализа эффективности операций по критериям продуктивности. Это требует формирования соответствующих задач функционирования, выбора критериев эффективности и совместного решения задач функционирования с процессом оптимизации главных размерений судна-газовоза LNG. При этом выполняется следующее:

– в *модели функционирования* описываются процессы эксплуатации судов-газовозов LNG, их основных функциональных операций и отказов в работе. В этой модели для определения вероятности успеш-

ного выполнения основных функциональных операций данным судном в заданном районе обслуживания применяется показатель функциональной эффективности судна  $I_E$ . Для решения задачи нужно учитывать прием грузов на судно в портах, транспортировку их между портами, выгрузку в портах. Необходимо обращать особое внимание на вероятности различных аварийных ситуаций (например, столкновения с другими судами, пожары и т. д.) [9];

– в *экономической модели* для определения прибыли от эксплуатации судна-газовоза LNG за его продуктивный период и жизненный цикл используется показатель экономической эффективности  $\Pi_{ж.ц}$ . Прибыль представляет собой разность между доходами и расходами, эта зависимость выражается формулой  $\Pi_{ж.ц} = D_{ж.ц} - P_{ж.ц}$ . В расходы входят стоимость проектирования судна, его постройки, эксплуатационные расходы в течение жизненного периода и т. д.;

– для определения главных элементов судна и параметров формы корпуса создается *математическая модель*. В этой модели с использованием зависимостей теории корабля и других наук вычисляются главные размерения, мощность энергетической установки, нагрузка масс и координаты центра тяжести, вместимость, остойчивость, непотопляемость, допустимый надводный борт и прочность судна-газовоза LNG;

– наконец, на основе указанного выше анализа предлагается современный *метод выбора оптимальных главных элементов* судов-газовозов LNG. Для решения оптимизационной задачи в качестве критерия оптимизации используется критерий типа «затраты–эффективность». Оптимизация главных элементов судна сводится к нахождению максимума целевой функции

$$F(X, U) = \Pi_E = [\Pi_{ж.ц}] I_E = [D_{ж.ц} - P_{ж.ц}] I_E \rightarrow \text{максимум,}$$

где  $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$  – вектор независимых переменных;  $U(u_1, u_2, \dots, u_m)$  – вектор параметров задания на проектирование судна, то есть нужно определять такое значение неизвестного вектора  $X$ , которое при заданном  $U$  максимизирует функцию  $F(X, U)$ . Необходимо учитывать то, что для вектора  $X$  существуют тривиальные и функциональные ограничения, обусловленные его инженерными и мореходными качествами. Нахождение максимума целевой функции реализуется с помощью метода нелинейного программирования [11].

## ВЫВОДЫ

1. Рассмотрено современное состояние флота судов-газовозов LNG и методы определения главных элементов таких судов на начальных стадиях их проектирования.

2. На основе научных публикаций по проблемам проектирования судов, включая суда-газовозы LNG, сформирован современный метод определения главных элементов этих судов, обеспечивающий совершенствование процесса их проектирования.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Горынин, И. В.** Проблемы морской транспортировки сжиженного природного газа. Материалы для танков судов-газовозов [Текст] / И. В. Горынин, Ю. Л. Легостаев, Е. П. Осокин. – СПб. : Судостроение, 2009. – № 5. – С. 32–40.
- [2] **Зайцев, В. В.** Суда-газовозы [Текст] / В. В. Зайцев, Ю. Н. Коробанов. – Л. : Судостроение, 1990. – 304 с.
- [3] **Зайцев, В. В.** Теоретические основы проектирования системы морской транспортировки газов [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук : 05.03.08 / Зайцев Владимир Васильевич. – Николаев, 2001.
- [4] **Кахановский, К. В.** Проектирование газозовов [Текст] : учебное пособие / К. В. Кахановский, Ю. М. Ларкин. – М. : ЦРИА «Морфлот», 1981. – 28 с.
- [5] **Логачев, С. И.** Мировое судостроение: современное состояние и перспективы развития [Текст] / С. И. Логачев, В. В. Чугунов, Е. А. Горин. – СПб. : Мор Вест, 2009. – 544 с.
- [6] **Логачев, С. И.** Суда для перевозки сжиженных газов [Текст] / С. И. Логачев, М. М. Николаев. – Л. : Судостроение, 1966. – 260 с.
- [7] **Макаров, В. Г.** Специальные системы судов-газовозов [Текст] / В. Г. Макаров. – СПб. : СПбГМТУ, 1997. – 472 с.
- [8] **Михайлов, Б. Н.** Анализ основных параметров и разработка математической модели морских метановозов со сферическими грузовыми цистернами [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.08 / Михайлов Борис Николаевич. – Николаев, 1982.
- [9] **Нго, Т. Х.** Модель функционирования накатного судна [Текст] / Т. Х. Нго // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2012. – № 1. – С. 28–30.
- [10] **Некрасов, В. А.** Задача проектирования судна для условий рыночной эксплуатации [Текст] / В. А. Некрасов, Н. Н. Микоша // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2006. – № 2. – С. 3–10.
- [11] **Некрасов, В. А.** Определение оптимальных характеристик быстроходного пассажирского судна [Электронный ресурс] / В. А. Некрасов, Г. Х. Нгуен // Вісник НУК. – Миколаїв : НУК, 2012. – № 2. – Режим доступу: <http://ev.nuos.edu.ua>.
- [13] **Han, Chunqiang.** The elementary analysis of a few difficult issues of LNG carriers construction [Text] / Han Chunqiang, Wang Qingfeng, Lu Shikui // JIANGSU SHIP. – China, 2012. – № 4.
- [13] **Xie, Yinghao.** The analysis and inspiration on the world LNG shipping market [Text] / Xie Yinghao // China Water Transport. – China, 2013. – № 8. – P. 42–43.

© Дун Синьшо

Надійшла до редколегії 04.07.2014

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК  
д-р техн. наук, проф. *В. О. Некрасов*