

DOI 10.15589/jnn20150410
 УДК 629.5.01
 С36

**THE DEPENDENCIES FOR DETERMINING
 THE CARGO CAPACITY OF LNG CARRIERS WITH SPHERICAL TANKS
 AND MEMBRANE TANKS AT THE INITIAL STAGES OF DESIGN**

**ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРУЗОВМЕСТИМОСТИ
 СУДОВ-ГАЗОВОЗОВ LNG СО СФЕРИЧЕСКИМИ ВКЛАДНЫМИ
 И МЕМБРАННЫМИ ТАНКАМИ НА НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Dong Xinshuo

michael3123@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-7248-2294

Дун Синьшо

аспирант кафедры ТПС

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, г. Николаєв

Abstract. The boiling point of liquefied natural gas (LNG) reaches -163°C , it means that it is necessary to use the special cargo tanks for the LNG carriers to ensure the safety of transport. In this article, the general classification of the cargo system in the LNG carriers at the first time of their operation is demonstrated. And the author summarizes the process of development of the two most common type of cargo tanks: the spherical Moss types and the membrane types. Moreover, the cargo capacity as one of the most important characteristics for the LNG carriers, the question of its definition is relevant today. In this article, on the base of the data of 95 LNG carriers with different dimensions, with the help of regression method the dependencies for determining the cargo capacity of this type of carriers at the initial stages of design is obtained. The coefficient of determination R^2 is more than 0.98, it means the results have high accuracy.

Keywords: LNG carriers; statistical data; dependencies.

Аннотация. Выполнен анализ статистических данных по грузоподъемности судов-газовозов LNG со сферическими вкладными и мембранными танками. Получены зависимости для определения грузоподъемности данного типа судов на начальных стадиях проектирования.

Ключевые слова: суда-газовозы LNG; статистические данные; зависимости.

Анотація. Зроблено аналіз статистичних даних по вантажопіднятості судів-газовозів LNG зі сферичними вкладними і мембранными танками. Отримано залежності для визначення вантажопіднятості даного типу суден на початкових стадіях проектування.

Ключові слова: суда-газовозы LNG; статистичні дані; залежності.

REFERENCES

- [1] Zaytsev V. V., Korobanov Yu. N. *Suda-gazovozy* [Gas carriers]. Leningrad, Shipbuilding Publ., 1990. 304 p.
- [2] Kakhanovskiy K. V., Larkin Yu. M. *Proektirovanie gazovozov* [The design of gas carriers]. Moscow, Marine fleet Publ., 1981. 28 p.
- [3] Logatchev S. I., Chugunov V. V., Gorin E. A. *Mirovoe sudostroenie: sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya* [World shipbuilding: modern condition and prospects of development]. Saint-Petersburg, Maritime Bulletin, 2009. 544 p.
- [4] Logachev S. I., Nikolaev M. M. *Suda dlya perevozki szhizhennykh gazov* [Carriers for transportation of liquefied gas]. Leningrad, Shipbuilding Publ., 1966. 260 p.
- [5] 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.]. Nikolaev, 1982.
- [6] Hirohiko (aut.). Meigumi. Huang Sheng, Ma Jianen, Liu Yinggui, Zhou Fengzhi, Lei Dian, Liu Guoying (trans.). *Practical manual of the gas carriers*. Harbin Shipbuilding Engineering Institute, 1992. 830 p.
- [7] Fan Siqi. *Gas carriers*. Dalian Maritime College, China, 1993. 158 p.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Одной из важнейших характеристик для судов-газовозов LNG является грузоподъемность. Формулы для определения грузоподъемности на начальных стадиях проектирования таких судов могут быть получены путём обработки статистических данных. Это направление является актуальным на сегодняшний день.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Вопрос определения грузоподъемности судов-газовозов LNG ранее исследовался в относительно небольшом числе монографий, учебных пособий и научных публикаций.

В монографии С. И. Логачева и М. М. Николаева (1966) [4] установлена зависимость между кубическим модулем LBH и грузоподъемностью судов-газовозов LNG, построенных и эксплуатировавшихся в то время.

В работах (1981, 2009) [2, 3] выполнен анализ зависимостей главных размерений и коэффициентов полноты судов-газовозов LNG от их грузоподъемности, получены соответствующие графики, но данные о судах-газовозах LNG приведены без выделения типа грузовых танков.

В диссертационной работе Б. Н. Михайлова (1982) [5] предложены зависимости главных размерений судов-газовозов LNG со сферическими вкладными танками от грузоподъемности и числа грузовых танков.

В монографии В. В. Зайцева и Ю. Н. Коробанова (1990) [1] приведены формулы для вычисления расчетной грузоподъемности судов-газовозов LNG с различными типами танков с учетом наполнения грузовых танков, усадки от охлаждения грузовых танков и телесности набора связей, по статистическим данным составлены зависимости главных размерений судов-газовозов LNG с вкладными танками типа А от их грузоподъемности.

Ввиду того, что в последние годы (особенно после 2002 года) возрастает мировой рынок сжиженного природного газа, в верфях начали массово строить суда-газовозы LNG больших размеров. Поэтому на

сегодняшний день возникает необходимость построить зависимости для определения грузоподъемности данного типа судов по добавленным статистическим данным.

ЦЕЛЬ СТАТЬИ — построение зависимостей для определения грузоподъемности судов-газовозов LNG со сферическими вкладными и мембранными танками на начальных стадиях их проектирования с помощью обработки добавленных статистических данных.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

В 1964 году ввод в эксплуатацию судов-газовозов LNG «Methane Progress» и «Methane Princess» ознаменовал рождение специализированных судов для транспортировки природных газов. Температура их кипения достигает -163°C , что обусловило применение на таких судах специальных танков для обеспечения безопасности транспортировки груза.

В начале появления судов-газовозов LNG было предложено более 15 видов таких танков (табл. 1) [5], однако через полвека на современных судах-газовозах LNG больших размеров широко используются только 2 их вида: сферические вкладные танки (Moss Rosenberg) и мембранные танки (Gas Transport-Technigaz, GTT). Сегодня более 95% судов-газовозов LNG больших размеров оснащены этими двумя типами танков.

В 1973 году на норвежских верфях были построены первые два судна-газовоза LNG со сферическими вкладными танками — «Norman Lady» и «Venator» грузоподъемностью 87600 и 29400 м³. После этого множество судов такого типа было построено в Норвегии, США, Японии, Южной Кореи, Германии и т.д. Грузоподъемность их составляла, в основном, от 125000 до 150000 м³ [6]. В последние 15 лет суда-газовозы LNG со сферическими вкладными танками преимущественно строятся в Японии. Теперь грузоподъемность самых больших судов данного типа уже достигла 177700 м³.

Суда-газовозы LNG с мембранными танками поступили в эксплуатацию в конце 60-х годов прошлого века. Грузоподъемности первых судов-газовозов LNG, строившихся в Швеции и Франции, составляли

Таблица 1. Типы грузовых танков, используемые в первое время появления судов газозовов LNG

Вкладные танки			Мембранные танки	
Призматические	Сферические	Цилиндрические	Мембранные	Полумембранные
Conch	Moss Rosenberg	Linde A.G.	Gaz Transport	IHi
Esso	Technigaz	Zellentank	Technigaz	Bridgestone
Esso/Hitachi	Sener	Gaz de France		
McMullen	Gaz Transport/PDM			
A.G.Weser	Chicago Bridge&Iron			

примерно от 40 000 до 80 000 м³. С 1975 года начали строить суда-газовозы LNG с мембранными танками грузоместимостью более 120 000 м³ [5]. Сегодня основными строителями судов-газовозов LNG такого типа являются Южная Корея, Китай и Япония. В 2008 году в Южной Корее были построены гигантские суда-газовозы LNG «Al Ghuwairiya» и «Mozah», которые за 1 рейс могут перевозить более 260 000 м³ LNG.

В данной работе на основе данных по 95 судам разных размерений, построенным начиная с 60-х годов прошлого века и заканчивая началом 2015 года (табл. 2), получены зависимости для определения грузоместимости судов-газовозов LNG со сферическими вкладными и мембранными танками. В основу регрессионного анализа определения таких зависимостей положен традиционный модуль, образованный произведением длины между перпендикулярами, ширины и высоты борта судна.

Суда-газовозы LNG со сферическими вкладными танками:

$$W = 0,108 (LBH)^{1,105},$$

где LBH — кубический модуль, м³; L — длина судна между перпендикулярами, м; B — ширина судна, м; H — высота борта судна, м. Величина достоверности аппроксимации R^2 характеризует степень соответствия трендовой линии исходным данным, R^2 может лежать от 0 до 1, чем ближе эта величина к 1,

тем точнее трендовая линия описывает исходные данные. При этом $R^2 = 0,986$, график этой зависимости показан на рис. 1. Из рисунка видно, что характеристики одного судна (LBH — 230 169 м³, W — 125 858 м³) сильно отклоняется от других судов. Это объясняется тем, что данное судно было построено в 1977 году, в то время ещё не было понятия «стандартные размерения судна-газовоза LNG». Получилось, что высота борта данного судна составляет 19,3 м, а высота борта других судов-газовозов LNG грузоместимостью 125 000 м³ находится в диапазоне от 24 до 26,5 м.

Суда-газовозы LNG с мембранными танками:

$$W = 0,044(LBH)^{1,188}.$$

При этом величина достоверности аппроксимации $R^2 = 0,991$, график этой зависимости показан на рис. 2.

ВЫВОДЫ. Полученные на основе обработки современных данных по судам-газовозам LNG со сферическими вкладными и мембранными танками регрессионные зависимости для определения грузоместимости этих судов предназначены для использования на начальных стадиях их проектирования при выполнении соответствующих расчетов и в математических моделях таких судов при решении оптимизационных задач определения их главных размерений.

Таблица 2. Статистические данные судов-газовозов LNG по годам постройки

Год постройки судов	1966–1970 годы	1971–1980 годы	1981–1990 годы	1991–2000 годы	2001–2010 годы	2011–2015 годы
Судно-газовоз LNG со сферическими вкладными танками	0	11	5	4	13	2
Судно-газовоз LNG с мембранными танками	1	6	1	4	42	6

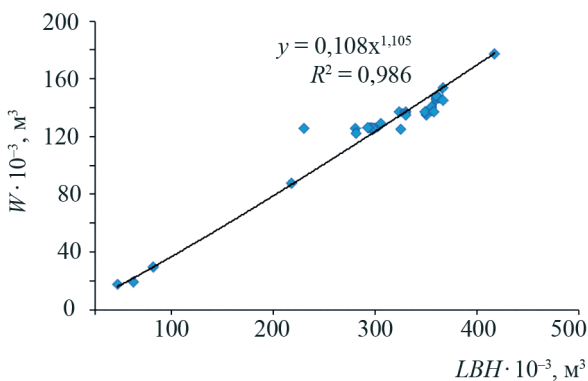


Рис. 1. График зависимости грузоместимости судов-газовозов LNG со сферическими вкладными танками W от модуля LBH

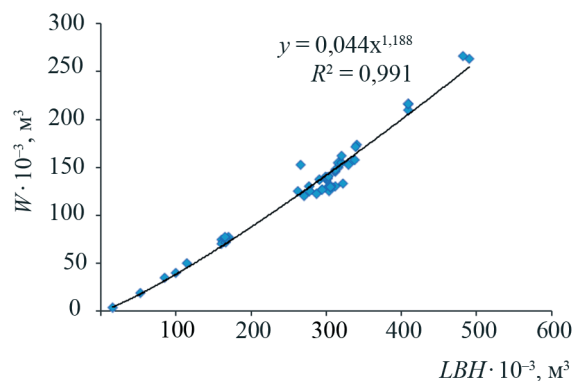


Рис. 2. График зависимости грузоместимости судов-газовозов LNG с мембранными танками W от модуля LBH

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Зайцев, В. В.** Суда-газовозы [Текст] / В. В. Зайцев, Ю. Н. Коробанов. — Л. : Судостроение, 1990. — 304 с.
- [2] **Кахановский, К. В.** Проектирование газовозов : Учебное пособие [Текст] / К. В. Кахановский, Ю. М. Ларкин. — М. : ЦРИА «Морфлот», 1981. — 28 с.
- [3] **Логачев, С. И.** Мировое судостроение: современное состояние и перспективы развития. — Изд. 2-е, доп. и перераб. [Текст] / С. И. Логачев, В. В. Чугунов, Е. А. Горин. — СПб. : Мор Вест, 2009. — 544 с.
- [4] **Логачев, С. И.** Суда для перевозки сжиженных газов [Текст] / С. И. Логачев, М. М. Николаев. — Л. : Судостроение, 1966. — 260 с.
- [5] **Михайлов, Б. Н.** Анализ основных параметров и разработка математической модели морских метановозов со сферическими грузовыми цистернами : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.03.08 / Михайлов Борис Николаевич ; НКИ. — Николаев, 1982.
- [6] 惠美洋彦. 液化气运输船实用手册/惠美洋彦(编著),黄胜,马鉴恩,刘英贵,周凤智,雷电,刘国英(编译) // — 中国哈尔滨.: 哈尔滨船舶工程学院出版社, 1992. — 830 页.
- [7] 范思奇. 液化气体船./范思奇 // — 中国大连.: 大连海运大学出版社, 1993. — 158页.

© Дун Синьшо

Надійшла до редколегії 22.07.2015

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