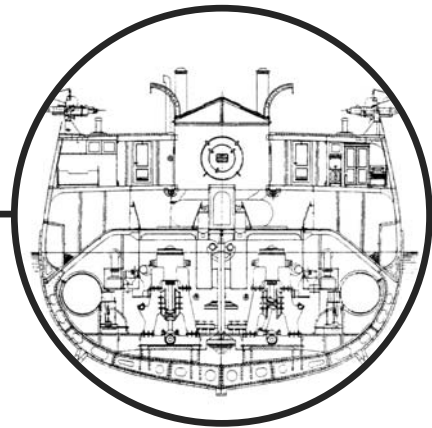




DOI 10.15589/jnn20160101

УДК 629.5.01

Д83

DETERMINATION OF THE LNG CARRIERS OPTIMAL MAIN DIMENSIONS

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ГЛАВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СУДОВ-ГАЗОВОЗОВ LNG

Dong Xinshuo
michael3123@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-7248-2294

Дун Синьшо
асп.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев

Abstract. The article aim is to improve the method for determining the main dimensions of LNG carriers in the initial stages of design. The method is reduced to solving the nonlinear optimization problem. To meet the requirements for safe navigation and operating conditions, a system of restrictions is formed. A ship design mathematical model is created to calculate the value of the optimality criterion with the help of the simulation modeling method. On the basis of the developed method the software «LNG Carriers» in Delphi is created. As an example, a problem of determining the optimal main dimensions of ships which carry cargo between Dampier (Australia) and Dapeng (China) is considered.

Keywords: LNG carriers; main dimensions of ships; optimization problem; system of restrictions; optimality criterion; simulation modeling method.

Аннотация. Усовершенствован метод определения главных элементов судов-газовозов LNG на начальных стадиях проектирования на основе формулировки оптимизационной задачи. Составлена система ограничений задачи. Разработана математическая модель проектирования судов, в которой с использованием метода имитационного моделирования вычисляется значение критерия оптимальности. В качестве примера рассмотрена задача определения оптимальных главных элементов судов, перевозящих грузы между Дампиром (Австралия) и Дапэнгом (Китай).

Ключевые слова: суда-газовозы LNG; главные элементы судов; оптимизационная задача; система ограничений; критерий оптимальности; метод имитационного моделирования.

Анотація. Удосконалено метод визначення головних елементів суден-газовозів LNG на початкових стадіях проектування на основі формулювання оптимізаційної задачі. Складена система обмежень задачі. Розроблена математична модель проектування судів, в якій з використанням методу імітаційного моделювання обчислюється значення критерію оптимальності. Як приклад розглянута задача визначення оптимальних головних елементів суден, що перевозять вантажі між Дампіром (Австралія) і Дапэнгом (Китай).

Ключові слова: судна-газовози LNG; головні елементи судів; оптимізаційна задача; система обмежень; критерій оптимальності; метод імітаційного моделювання.

REFERENCES

- [1] Artsykova A. A. *Algoritm i programma opredeleniya osnovnykh kharakteristik gazovozov* [The algorithm and program for calculating the general characteristics of gas carriers]. Leningrad, *Trudy TSNIIMF* [Transactions of the CNIIMF], 1974, no. 258, pp. 82–89.
- [2] Vashedchenko A. N. *Avtomatizirovannoe proektirovanie sudov* [Automated ship design]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1985. 164 p.
- [3] Vashedchenko A. N., Mikhaylov B. N. *Opredelenie osnovnykh elementov i kharakteristik gazovozov na rannikh stadiyakh proektirovaniya* [The determination of main dimensions and characteristics of gas carriers at the initial stages of design]. *Sudostroenie — Shipbuilding*, 1980, no. 2, pp. 6–9.
- [4] Gaykovich A. I. *Primenenie sovremennykh matematicheskikh metodov v proektirovanii sudov* [The use of modern mathematical methods in ship design]. Leningrad, LSI Publ., 1982. 89 p.
- [5] Dong Xinshuo. *Analiz sovremennogo sostoyaniya i puti sovershenstvovaniya metoda opredeleniya kharakteristik sudov-gazovozov LNG* [Analysis of current state and ways of improvement of the defining method for characteristics of LNG carriers]. *Zbirnyk naukovykh prats NUK* [Collection of Scientific Publications NUS], 2014, no. 5, pp. 12–16.
- [6] Dong Xinshuo. *Model funktsionirovaniya sudna-gazovoza LNG* [The functioning model of LNG carriers]. *Zbirnyk naukovykh prats NUK* [Collection of Scientific Publications NUS], 2015, no. 1, pp. 18–20.
- [7] Dong Xinshuo. *Opredelenie nagruzki mass sudov-gazovozov LNG na nachalnykh stadiyakh proektirovanii* [The estimation of mass of LNG carriers at the initial stages of design]. Astrakhan, *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya* [Vestnik of astrakhan state technical university. Series: marine engineering and technologies], 2015, no. 4, pp. 16–22.
- [8] Dong Xinshuo. *Opredelenie ploshchadi i plecha parusnosti sudna-gazovoza LNG* [Determination of the wind area and lever arm of LNG carriers]. Nizhny Novgorod, *Trudy Nizhegorodskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. R.E. Alekseeva* [Transactions of Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R. E. Alekseev], 2015, no. 4, pp. 218–221.
- [9] 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.
- [10] Krotov A. I., Bondarenko A. V. *Primenenie metoda statisticheskogo modelirovaniya pri issledovatel'skom proektirovanii sudov* [The application of the statistical modeling in ship design]. *Zbirnyk naukovykh prats UDMTU* [Collection of Scientific Publications USMTU], 1998, no. 6, pp. 25–29.
- [11] Lukovnikov A. A., Sutulo V. V., Kharchenko V. G. *Trebovaniya k sudam dlya perevozki szhizhennykh gazov* [Requirements for ships for transportation of liquefied gas]. *Sudostroenie — Shipbuilding*, 1974, no. 4, pp. 13–15.
- [12] Zaytsev V. V., *Teoreticheskie osnovy proektirovaniya sistemy morskoy transportirovki gazov* Dokt. Diss. [Theoretical bases of designing marine gas transportation systems. Doct. Diss.]. Mykolaiv, 2001.
- [13] Mikhaylov B. N. *Vybor glavnykh elementov krupnotonnazhnykh metanovozov so sfericheskimi tsisternami* [The selection of main dimensions of large-capacity gas carriers with spherical tanks]. Mykolaiv, *Sbornik nauchnykh trudov NKI* [Collection of Scientific Publications NSI], 1978, no. 40, pp. 109–116.
- [14] Pashin V. M. *Optimizatsiya sudov* [Ship Optimization]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1983. 296 p.
- [15] Fiakko A., Mak-Kormik G. *Nelineynoe programmirovaniye. Metody posledovatel'noy bezuslovnoy minimizatsii* [Nonlinear programming. Sequential unconstrained minimization techniques]. Moscow, Mir Publ., 1971. 240 p.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Мировое судостроение развивается по пути постройки узкоспециализированных типов судов, дающих наибольший экономический эффект и обеспечивающих конкурентоспособность на мировом рынке. Одним из таких типов, получивших развитие в последние годы, стали суда-газовозы LNG [11].

На начальных стадиях проектирования судов-газовозов LNG основной проблемой является опре-

деление количества судов и их главных элементов для рассматриваемого объема поставок и условий эксплуатации. Принятое проектное решение должно обеспечить экономическую эффективность и безопасность эксплуатации судов. В настоящее время такая проблема решается с помощью специализированных оптимизационных задач проектирования, в которых процесс поиска оптимизационного решения чередуется с моделированием основных функциональных

операций жизненного периода судна, связанных с его проектированием, постройкой, эксплуатацией и утилизацией. Моделирование операций осуществляется с помощью методов теории случайных функций. Оно реализуется в виртуальных пространствах транспортировки грузов, финансового, портового и сервисного обслуживания судна. Для поиска оптимального проектного решения судна на множестве вероятностных характеристик его эффективности и надежности используются методы нелинейного программирования [5]. Это направление является актуальным и представляет как научный, так и практический интерес.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

На сегодня опубликовано относительно небольшое количество научных работ, посвященных оптимальному проектированию судов-газовозов LNG.

Арцыкова А. А. [1] разработала алгоритм определения основных характеристик и экономических показателей судов-газовозов LNG. В этом алгоритме в качестве исходных данных приняты грузоместность и мощность ГД судна.

Вашедченко А. Н. и Михайлов Б. Н. [3,13] разработали методику определения основных элементов и характеристик судов-газовозов LNG со сферическими вкладными танками (типа Moss), в основу которого положена зависимость главных элементов судна от числа и размеров грузовых танков.

В диссертационной работе Михайлова Б. Н. [12] изложен метод определения оптимальных главных характеристик судов-газовозов LNG типа Moss. В основу задач функционирования и оптимизации судов положен детерминистический подход, в качестве критерия эффективности выбран критерий приведенных затрат.

В диссертационной работе Зайцева В. В. [9] приведен детерминированный метод определения оптимальных параметров флота судов-газовозов LNG. В этой работе также применен критерий приведенных затрат.

Судя по публикациям, следует отметить, что в настоящее время:

- отсутствуют исследования влияния случайных факторов на показатели экономической эффективности судов-газовозов LNG, что может привести к искаженному представлению о реальной экономической эффективности проектируемого судна;

- отсутствуют исследования, посвященные определению оптимальных главных элементов судна-газовоза LNG на основе детального рассмотрения основных задач его функционирования;

- основной особенностью полученных решений является их ориентация на критерии затратной экономики, тогда как эксплуатация этих судов в условиях

рыночных отношений требует выполнения оптимизации по критериям продуктивного использования.

ЦЕЛЬ СТАТЬИ — совершенствование метода определения главных элементов судов-газовозов LNG для начальных стадий проектирования на основе использования обновленных моделей инженерных и навигационных свойств этих судов, новых моделей их функционирования в виртуальных пространствах обитания и поиска результатов функционирования по критериям максимума продуктивности и надежности.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Оптимизационная задача — одна из наиболее подходящих областей применения математических методов и вычислительной техники. Чтобы сформулировать оптимизационную задачу необходимо [14]:

- определить независимые переменные и входные данные;
- определить ограничения задачи оптимизации;
- выбрать критерий оптимальности;
- разработать математическую модель;
- выбрать метод поиска оптимума.

Пусть $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$ — вектор независимых переменных (вектор оптимизируемых переменных); n — количество компонентов, образующих вектор X . В качестве компонентов X принимаются следующие параметры: $x_1 = L$ — длина судна; $x_2 = B$ — ширина судна; $x_3 = H$ — высота борта судна; $x_4 = T$ — осадка судна; $x_5 = C_B$ — коэффициент общей полноты; $x_6 = v_s$ — скорость хода; $x_7 = n_{LNG}$ — количество судов во флоте.

Пусть $U(u_1, u_2, \dots, u_m)$ — вектор входных данных; m — количество компонентов, образующих вектор U . В число компонентов U включаются: объем поставок грузов по контракту, плотность LNG, характеристики района плавания, дальность плавания, автономность, экономические данные, желаемые характеристики судов и т. д.

На компоненты вектора X накладываются двухсторонние ограничения, которые могут быть представлены в виде:

$$(x_i)_{\min} \leq x_i \leq (x_i)_{\max}, (i = 1, \dots, 7),$$

где $(x_i)_{\min}$, $(x_i)_{\max}$ — нижнее и верхнее допустимые значения i -ой независимой переменной.

Эти двухсторонние ограничения также называются тривиальными ограничениями — это ограничения, непосредственно накладываемые на главные элементы проектируемых судов по условиям эксплуатации, постройки на верфи и требованиям заказчиков [2]. Для данной работы диапазоны изменения тривиальных ограничений представлены в табл. 1.

На компоненты вектора X также накладываются функциональные ограничения — это ограничения, которые накладываются на искомые переменные не

Таблица 1. Допустимые значения независимых переменных

Независимая переменная	Обозначение	Нижнее значение $(x_i)_{\min}$	Верхнее значение $(x_i)_{\max}$
Длина судна, м	x_1	200	335
Ширина судна, м	x_2	34	56
Высота борта судна, м	x_3	21	28
Осадка судна, м	x_4	9,5	12,1
Коэффициент общей полноты	x_5	0,67	0,78
Скорость хода, уз	x_6	17,5	20,5
Количество судов во флоте, шт.	x_7	1	5

непосредственно, а через соотношения, связывающие искомые переменные с качествами судов [2], которые могут быть представлены выражением:

$$G_j(X, U) \geq 0, (j = 1, \dots, k),$$

где $G_j(X, U)$ — функционал, характеризующий j -ое качество судов и соответствующее требование; k — количество рассматриваемых качеств.

В данной работе рассматриваются следующие функциональные ограничения.

1) По плавучести

$$\left| \frac{\Delta - \Sigma P_i}{\Delta} \right| \leq 0,01; \Delta = \rho C_B L B T,$$

где Δ — водоизмещение судна, т; ΣP_i — все составляющие нагрузки проектируемого судна, т; ρ — плотность морской воды, т/м³.

2) По ходкости

$$Ne \geq P_s = \frac{P_E}{\eta_D \eta_{\Pi}} = \frac{R_{Total} v_s}{\eta_H \eta_0 \eta_R \eta_{\Pi}},$$

где Ne — фактическая мощность ГД (главных двигателей); P_s — необходимая мощность ГД; P_E — буксировочная мощность ГД; η_D — пропульсивный коэффициент; η_{Π} — КПД передачи мощности от двигателя к движителю; η_H — коэффициент влияния корпуса; η_0 — КПД гребного винта в свободной воде; η_R — коэффициент неравномерности потока; R_{Total} — общее сопротивление движению судна; v_s — скорость хода судна.

3) По грузоподъемности

$$\left| \frac{Q - n_{LNG} n_T k_0 \rho_L W}{Q} \right| \leq 0,01,$$

где Q — общий объем поставок газа за жизненный цикл судов; n_{LNG} — количество судов-газовозов LNG во флоте; n_T — количество рейсов одного судна за его жизненный цикл; $k_0 = 0,98$ — коэффициент заполнения грузовых танков; ρ_L — плотность LNG; W — грузоподъемность судна.

4) По удифферентовке и остойчивости — по удифферентовке

$$\Psi^{\circ}_{\text{доп}} \leq \Psi^{\circ} \leq 0,$$

где $\Psi^{\circ}_{\text{доп}} = -0,5^{\circ}$ — допустимый угол дифферента судна, град; Ψ° — фактический угол дифферента судна, град.

— по начальной остойчивости

$$h_0 \geq 0,15,$$

где h_0 — начальная метacentрическая высота, м.

— по диаграмме статистической остойчивости

Площадь положительной части диаграммы статистической остойчивости должна быть не менее: 0,055 м · рад до угла крена 30°; 0,09 м · рад до угла крена 40° (либо до угла заливания θ_f , если $\theta_f < 40^{\circ}$); 0,03 м · рад между углами крена 30° и 40° (либо θ_f , если $\theta_f < 40^{\circ}$).

Максимальное плечо диаграммы статистической остойчивости $l_{\max}$ должно быть не менее: 0,25м (если $L \leq 80$ м); 0,41 – 0,002L, м (если $80 < L < 105$ м); 0,20м (если $L \geq 105$ м); при этом угол крена θ должен не менее 30°.

— по критерию погоды

Остойчивость судна по критерию погоды $K = b/a$ считается достаточной, если площадь b равна или больше площади a , то есть

$$K = b/a \geq 1.$$

5) По минимальной высоте надводного борта

$$F_{\min} \leq H - T,$$

где $F_{\min}$ — минимальная допустимая высота надводного борта.

6) По обитаемости

$$\tau_{\min} \leq \tau,$$

где $\tau_{\min} = 12$ с — минимальный допустимый период качки; τ — фактический период качки.

Очевидно, что все проектные варианты, которые удовлетворяют системе тривиальных и функциональных ограничений, являются допустимыми. С целью выбора из них оптимального варианта необходимо ввести критерий оптимальности для решаемой задачи. В связи с тем, что задача проектирования транспортных судов в условиях рыночных отношений ориентирована на достижение максимальной прибыли в течение всего срока эксплуатации, в качестве критерия оптимальности используется критерий максимизации прибыли.

Таким образом, оптимизационная задача сводится к нахождению максимума критерия оптимальности:

$$F(X, U) = P - I - C \rightarrow \text{максимум},$$

где P, I, C — прибыль, доходы и расходы от эксплуатации судов в течение всего срока эксплуатации без учета дисконтирования.

Следовательно, оптимизационная задача определения главных элементов судов-газовозов LNG мо-

жет быть сформулирована следующим образом: при заданном векторе U определить такой вектор X , чтобы при выполнении тривиальных и функциональных ограничений критерий оптимальности $F(X, U)$ достигал максимума.

Критерий оптимальности вычисляется в математической модели проектирования судов — система алгебраических и дифференциальных уравнений, включающая также вычислительную процедуру, позволяющую определить значение критерия оптимальности [4]. В данной работе математическая модель проектирования судов может быть разделена на три взаимосвязанных модели [5–8]:

- модель инженерных и мореходных качеств судов;
- модель функционирования судов;
- экономическая модель судов.

В модели инженерных и мореходных качеств судов с использованием регрессионных зависимостей, приближенных формул и близких прототипов вычисляются основные инженерные и мореходные качества судов. В модели функционирования рассматриваются основные функциональные операции судов и возможные аварийные ситуации. В экономической модели на основе полученных результатов в первых двух моделях вычисляется критерий оптимальности. Блок-схема математической модели проектирования судов представлена на рис. 1.

Особенности функционирования транспортных судов в современных условиях (цена на топливо, на сталь, возможные аварийные ситуации, гидрометеорологические условия в районе плавания и т. д.) не позволяют использовать при их проектировании детерминированные модели. Поэтому при разработке метода определения оптимальных главных элементов судов необходимо учитывать стохастический характер исходной информации [10]. Эта задача может решаться с помощью метода имитационного моделирования.

Метод имитационного моделирования состоит в создании программных алгоритмов, имитирующих поведение сложной системы на ЭВМ (электронной вычислительной машине) с достаточной точностью. Имитационное моделирование основано на методе статистического моделирования, сущность которого заключается в моделировании случайного поведения исследуемой системы многократными испытаниями. При достаточно большом количестве испытаний результаты расчета могут идеально описывать вероятностные характеристики (в данной работе — математическое ожидание) задаваемой задачи. Таким образом, в математической модели проектирования судов с использованием метода имитационного моделирования вычисляется $M[P]$ — математическое ожидание прибыли от эксплуатации судов в течение всего срока эксплуатации в качестве критерия оптимальности.

В данной работе для поиска экстремума целевой функции (критерия оптимальности) используются метод сопряженных направлений и метод внешней точки. Метод сопряженных направлений также называется метод Пауэлла, являющийся одним из прямых методов безусловной оптимизации, метод внешней точки позволяет преобразовать задачу с ограничениями (задачу условной оптимизации) в последовательность задач без ограничений (задачу безусловной оптимизации) с помощью вспомогательной штрафной функции [15].

Таким образом, разработан новый метод определения оптимальных главных элементов судов-газовозов LNG, позволяющий обеспечить экономическую эффективность и безопасность эксплуатации судов для рассматриваемого объема поставок и условий эксплуатации. Укрупненная блок-схема алгоритма представлена на рис. 2. Она состоит из трех блоков: блок входных данных; блок математической модели проектирования судов; блок оптимизации.

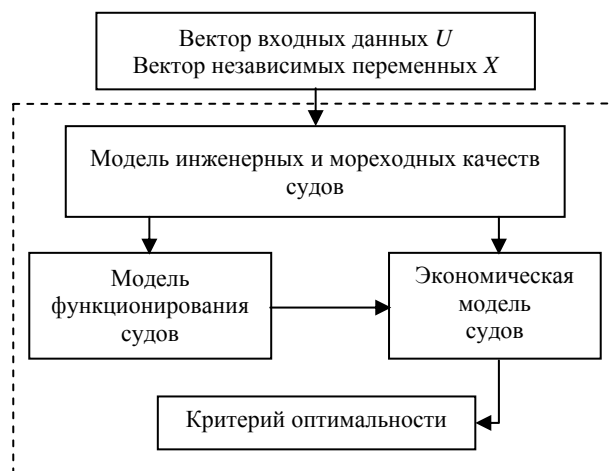


Рис. 1. Блок-схема математической модели проектирования судов

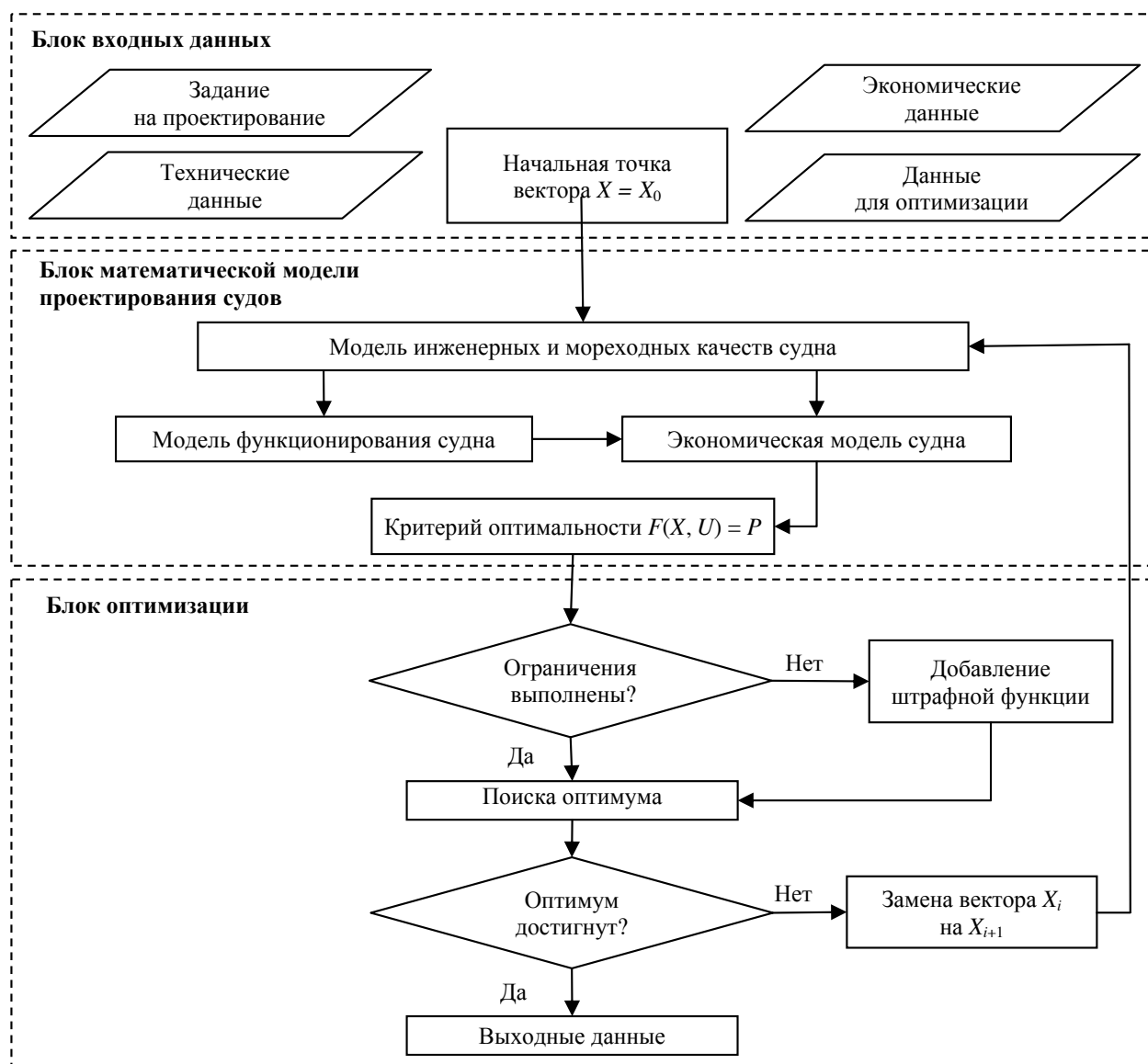


Рис. 2. Укрупненная блок-схема алгоритма определения оптимальных главных элементов судов-газовозов LNG

В первом блоке формируется начальная точка вектора независимых данных (исходное состояние для оптимизации) и задаются следующие входные данные: задание на проектирование; технические данные; экономические данные; данные для оптимизации.

Во втором блоке на основе разработанных модели инженерных и мореходных качеств судов, модели функционирования и экономической модели судов с использованием метода имитационного моделирования вычисляется критерий оптимальности.

Третий блок является блоком оптимизации. Поиск максимума критерия оптимальности осуществляется с помощью метода сопряженных направлений и метода внешней точки.

На основе созданного метода определения оптимальных главных элементов судов-газовозов LNG разработан пакет программ «LNG Carrier», реализованный в среде программирования Delphi. В качестве примера рассматривался маршрут: Дампир (Австралия) — Дапэн (Китай) (рис. 3). Задача решалась при следующем задании на проектирование и параметрах: автономность плавания — 30 сут; дальность плавания — 13000 миль; количество членов экипажа — 38 чел.; срок службы судна — 30 лет; тип системы грузовых танков — мембранный тип; длина линии — 2745 миль; плотность перевозимого груза — 0,46 т/м³; объем поставок LNG в год — 6 млн т. Результаты расчетов приведены в табл. 2.



Рис. 3. Маршрут судов-газовозов LNG

Таблица 2. Результаты решения задачи оптимизации

Наименование показателя	Оптимальный вариант предложенной задачи оптимизации	Характеристики судна, эксплуатирующегося на линии в настоящее время
Длина судна, м	292,76	274,1
Ширина судна, м	49,96	43,35
Высота борта судна, м	26,40	26,25
Осадка судна, м	11,86	11,45
Коэффициент общей полноты	0,726	0,750
Скорость хода, уз.	18,69	19,5
Количество судов во флоте, ед.	3	3
Дедвейт, т	93257	73050
Грузовместимость, м ³	189156	147237
Водоизмещение, т	129086	104789
Мощность главного двигателя, кВт	29400	27300
Средняя продолжительность рейса, сут.	14,56	14,12
Строительная стоимость судна, млн долл.	237,29	213,5
Общая прибыль от эксплуатации судов, млн долл.	1697,92	1019*

* Определена при тех же фрахтовых ставках, что и оптимальный вариант.

ВЫВОДЫ. 1. Предложенный метод определения главных элементов судов-газовозов LNG на основе формулировки и решения новой задачи оптимизации, характерными признаками которой является усовершенствованная модель инженерных и навигационных свойств этих судов, моделирование их основных функциональных операций на всех этапах жизненного периода и поиск на этом множестве функциональных операций с помощью критериев продуктивного использования максимальных значений показателей

эффективности и надежности, обеспечивает большую экономическую эффективность и безопасность эксплуатации этих судов.

2. Пакет прикладных программ, разработанный на основе предложенного метода оптимизации, может найти применение в проектных организациях и на судостроительных заводах при выборе на начальных стадиях проектирования для обозначенных маршрутов их эксплуатации и объемов транспортируемых грузов лучших вариантов этих судов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Арцыкова, А. А.** Алгоритм и программа определения основных характеристик газозовозов [Текст] / А. А. Арцыкова // Труды ЦНИИМФ. — 1980. — Вып. 258. — С. 82–89.
- [2] **Вашедченко, А. Н.** Автоматизированное проектирование судов [Текст] / А. Н. Вашедченко. — Л. : Судостроение, 1985. — 164 с.
- [3] **Вашедченко, А. Н.** Определение основных элементов и характеристик газозовозов на ранних стадиях проектирования [Текст] / А. Н. Вашедченко, Б. Н. Михайлов // Судостроение. — 1980. — № 2. — С. 6–9.
- [4] **Гайкович, А. И.** Применение современных математических методов в проектировании судов [Текст] / А. И. Гайкович. — Л. : Изд. ЛКИ, 1982. — 89 с.
- [5] **Дун Синьшо.** Анализ современного состояния и пути совершенствования метода определения характеристик судов-газовозов LNG [Текст] / Дун Синьшо // Зб. наук. праць НУК. — Миколаїв : НУК, 2014. — № 5. — С. 12–16.
- [6] **Дун Синьшо.** Модель функционирования судна-газовоза LNG [Текст] / Дун Синьшо // Зб. наук. праць НУК. — Миколаїв : НУК, 2015. — № 1. — С. 18–20.
- [7] **Дун Синьшо.** Определение нагрузки масс судов-газовозов LNG на начальных стадиях проектировании [Текст] / Дун Синьшо // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. — Астрахань: АГТУ, 2015. — № 4. — С. 16–22.
- [8] **Дун Синьшо.** Определение площади и плеча парусности судна-газовоза LNG [Текст] / Дун Синьшо // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. — Нижний Новгород: НГТУ, 2015. — № 4. — С. 218–221.
- [9] **Зайцев, В. В.** Теоретические основы проектирования системы морской транспортировки газов: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.03.08 / Зайцев Владимир Васильевич ; УГМТУ. Николаев, 2001.
- [10] **Кротов, А. И.** Применение метода статистического моделирования при исследовательском проектировании судов [Текст] / А. И. Кротов, А. В. Бондаренко // Зб. наук. праць УДМТУ. — Миколаїв : УДМТУ, 1998. — № 6. — С. 25–29.
- [11] **Луковников, А. А.** Требования к судам для перевозки сжиженных газов [Текст] / А. А. Луковников, В. В. Сутоло, В. Г. Харченко // Судостроение. — 1974. — № 4. — С. 13–15.
- [12] **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.
- [13] **Михайлов, Б. Н.** Выбор главных элементов крупнотоннажных метановозов со сферическими цистернами [Текст] / Б. Н. Михайлов // Сб. науч. трудов НКИ. — Николаев : НКИ, 1978 — Вып. 40. — С. 109–116.
- [14] **Пашин, В. М.** Оптимизация судов [Текст] / В. М. Пашин. — Л. : Судостроение, 1983. — 296 с.
- [15] **Фиакко, А.** Нелинейное программирование. Методы последовательной безусловной минимизации [Текст] / А. Фиакко, Г. Мак-Кормик. — М. : Мир, 1971. — 240 с.

© Дун Синьшо

Надійшла до редколегії 22.01.2016

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