

ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БАЛКЕРА

Панкова О.В.

Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, г. Николаев

Рассмотрены особенности математической модели технических свойств судна, а также представлен перечень зависимостей, которые используются при построении математической модели балкера на начальных стадиях проектирования. Данные результаты также входят в уравнения эффективности грузовых судов как результат выполнения условия оптимальности.

Ключевые слова: математическая модель, грузовое судно, условие оптимальности, технические свойства судна.

Постановка проблемы. Основными признаками оптимизационной задачи являются: критерий оптимизации, независимые переменные и математическая модель проектируемого объекта, которая также включает в себя систему ограничений.

Оптимизационная задача проектирования грузового судна выполняется в такой последовательности:

1. Определяется цель создания оптимизируемого объекта. В данном случае – балкера. Другими словами – происходит формулировка сути поставленной оптимизационной задачи.

2. Составляется перечень независимых переменных.

3. Происходит выбор и обоснование критерия оптимизации – целевой функции.

4. Создается математическая модель судна.

5. Формируется система ограничений задачи.

6. Строится алгоритм оптимизации судна.

Поиск оптимума и проверка чувствительности критерия к изменениям независимых переменных задачи [4].

Связь работы с научными программами, планами и темами. Статья содержит результаты исследования, выполненные в рамках общего плана научных исследований Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова и госбюджетной научно-исследовательской работы «Разработка методики определения параметрической надежности судна на начальных этапах его проектирования».

Анализ последних исследований и публикаций. Математические модели технических свойств различных типов судов отражены в большом количестве публикаций [1-4]. В данной статье представлен перечень зависимостей, которые используются в математической модели балкера.

Цель статьи – рассмотреть особенности математической модели судна, а также показать перечень зависимостей, которые используются при построении математической модели технических свойств балкера.

Изложение материала исследования и анализ полученных результатов. В математической модели должен быть указан возможный диапазон изменения независимых переменных; ограничения для значений вспомогательных параметров расчёта (ограничения в виде формул – «функциональные ограничения», или в виде чисел – «тривиальные ограничения») [4].

Система ограничений представляет собой совокупность уравнений и неравенств, которые связывают показатели свойств балкера с его основными элементами.

Такая совокупность алгебраических выражений и является математической моделью балкера.

Математическая модель судна состоит из математической модели технических свойств и модели его функционирования.

Математическая модель технических свойств судна является совокупностью уравнений и неравенств, связывающих показатели свойств объекта со значениями его главных элементов и характеристик.

Модель функционирования связывает характеристики судна, такие как, скорость хода, водоизмещение, вместимость, производительность, грузооборот и т.д., с условиями его эксплуатации [4].

В данной статье остановимся на рассмотрении особенностей математической модели технических свойств судна. Она состоит из следующих основополагающих уравнений: уравнения масс, уравнения для определения мощности главного двигателя, уравнения вместимости и уравнения удифферентовки судна [5, 6].

Также представлены в виде алгебраических выражений нормативные показатели качеств судна – остойчивость, качка, непотопляемость, обитаемость и т.д.

Большинство уравнений представляют собой одно- или двусторонние неравенства.

Только уравнение плавучести отражает строгую физическую зависимость – соответствие массы судна массе вытесненной воды. Все остальные уравнения решаются в определенных допусках с целью удовлетворения требованиям живучести судна и технико-эксплуатационным требованиям.

Задание на проектирование включает в себя: тип судна, назначение судна, дедвейт, максимальная осадка, грузоместимость, эксплуатационная скорость, автономность плавания, грузовое оборудование, количество экипажа.

Главные размерения судна могут быть найдены с помощью соотношений и коэффициентов, которые используются как независимые переменные:

$$D = \left(\frac{1}{k}\right) \cdot DW,$$

где D – водоизмещение судна, т; k – коэффициент дедвейта; DW – дедвейт судна, т.

Осадка судна в морской воде, м:

$$T = \sqrt[3]{\frac{D}{\left(\frac{L}{B}\right) \cdot \left(\frac{B}{T}\right)^2 \cdot Cb \cdot 1,025}},$$

где Cb – коэффициент общей полноты судна; L – длина судна, м; B – ширина судна, м; T – осадка судна, м.

Зависимость для нахождения ширины и длины судна, м:

$$B = T \cdot \left(\frac{B}{T}\right), \quad L = B \cdot \left(\frac{L}{B}\right), \quad L = \sqrt[3]{\frac{DW \cdot \left(\frac{L}{B}\right)^2 \cdot \left(\frac{B}{T}\right)}{1,025 \cdot Cb \cdot k}}.$$

Коэффициент дедвейта k находится с помощью статистических данных по формуле:

$$k = \frac{DW}{D},$$

Коэффициент дедвейта k для разных типов судов представлен в табл. 1.

Таблица 1 – Значение коэффициента дедвейта k для разных типов судов

Тип судна	Коэффициент дедвейта k
Рудовоз	0,820
Универсальное сухогрузное судно	0,700
Контейнеровоз	0,600
Пассажирское судно	0,35 - 0,40
Судно типа Ro-Ro	0,300

Водоизмещение судна (в частности для морской воды) находится по формуле [7]:

$$D = 1,025 \cdot L \cdot B \cdot T \cdot Cb,$$

Мощность энергетической установки определяется по формуле [5]:

$$Ne = D^{2/3} \cdot v^3 / (a + b \cdot Fr),$$

где Ne – мощность энергетической установки судна, л.с.; v – эксплуатационная скорость хода, уз; Fr – число Фруда; a , b – квадратичные функции; Cb – коэффициент общей полноты судна.

Формулы для определения полиномов a , b [5]:

$$a = 4977,06Cb^2 - 8105,61Cb + 4456,51; \quad b = -10847,2Cb^2 + 12817Cb - 6960,32.$$

Водоизмещение судна порожнем включает в себя массу металлического корпуса, массу оборудования и массу механизмов, т:

$$D_{light} = W_{steel} + W_{outfit} + W_{machinery}, \quad DW = D - D_{light}.$$

Соответственно, масса металлического корпуса, масса оборудования и масса механизмов, т, находятся по статистическим зависимостям от главных элементов судна:

$$W_{steel} = 0,034 \cdot L^{1,7} \cdot B^{0,7} \cdot H^{0,4} \cdot Cb^{0,5},$$

где H – высота борта, м.

$$W_{outfit} = 1,0 \cdot L^{0,8} \cdot B^{0,6} \cdot H^{0,3} \cdot Cb^{0,1}, \quad W_{machinery} = 0,17 \cdot Ne^{0,9}.$$

Апplikата центра величины z_c , м, и апplikата центра тяжести z_g , м, находятся по статистическим формулам в зависимости от главных размеров судна:

$$z_c = 0,53 \cdot T, \quad z_g = 1,0 + 0,52 \cdot H.$$

Определение коэффициента общей полноты судна:

$$Cb = 0,8217 \cdot f \cdot L^{0,42} \cdot B^{-0,3072} \cdot T^{0,1721} \cdot v^{-0,6135},$$

где f – коэффициент, который зависит от типа судна, в частности $f = 1,04$ – для балкера.

Коэффициент полноты мидель-шпангоута:

$$Cm = 1,006 - 0,0056 \cdot Cb^{-3,56},$$

Коэффициент полноты ватерлинии:

$$Cwl = \frac{Cb}{0,471 + 0,551 \cdot Cb},$$

Регрессионные зависимости для определения величины надводного борта F , мм, для судов типа А (1) и судов типа В (2):

$$F = -0,027415 \cdot L_f^2 + 21,007881 \cdot L_f - 562,067149, \quad (1)$$

$$F = -0,016944 \cdot L_f^2 + 22,803499 \cdot L_f - 691,269920, \quad (2)$$

где L_f – длина судна в соответствии с Правилами Регистра, м.

Валовая вместимость балкера GT , м³, определяется по формуле:

$$GT = 0,28 \cdot L \cdot B \cdot H.$$

Чистая вместимость балкера NT , м³, находится по статистической зависимости:

$$NT = 0,6 \cdot GT.$$

Определение параметров остойчивости балкера. Метацентрическая высота h , м, определяется по формуле:

$$h = B \cdot \left(\frac{0,08}{\sqrt{Cm}} \cdot \frac{B}{T} + \frac{0,9 - 0,3 \cdot Cm - 0,1 \cdot Cb}{B/T} \right).$$

Период качки балкера T_{roll} , сек, находится по формуле:

$$T_{roll} = \frac{0,43 \cdot B}{\sqrt{h}}$$

Выводы. В статье рассмотрены особенности математической модели технических свойств судна, а также представлен перечень зависимостей, которые используются при построении математической модели балкера на начальных стадиях проектирования. Данные результаты также входят в уравнения эффективности грузовых судов как результат выполнения условия оптимальности. Перспективами дальнейших исследований является детальное рассмотрение таких нормативных показателей качества судна, как качка, непотопляемость, обитаемость, а также добавление их в математическую модель технических свойств судна. Это предоставит возможность осуществлять более качественную связь между математической моделью технических свойств и моделью функционирования балкера.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азарова Н. М. Выбор функции цели при проектировании судов в условиях рыночной экономики / Н. М. Азарова, А. И. Раков // Збірник наукових праць УДМТУ. – Миколаїв : УДМТУ, 1998. – № 1 (349). – С. 58-60.
2. Бронников А. В. Морские транспортные суда. Основы проектирования / А. В. Бронников. – Л. : Судостроение, 1984. – 352 с.
3. Войткунский Я. И. Справочник по теории корабля. / Я. И. Войткунский. – Л. : Судостроение, 1985. – 539 с.
4. Методи оптимального проектування суден : навчальний посібник. У 3 ч. Ч. 1. Основи теорії і методології / [А. М. Вашедченко, О. І. Кротов, О. В. Бондаренко, О. В. Панкова]. – Миколаїв : Видавництво НУК, 2011. – 111 с.
5. Панкова О. В. Зависимости для определения мощности энергетической установки в оптимизационной модели проектирования балкера / О. В. Панкова // Науковий вісник Херсонської державної морської академії : Науковий журнал. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2012. – № 1 (6). – С. 111-116.
6. Панкова О. В. Регрессионные уравнения массовой нагрузки, вместимости и ходкости судна в оптимизационной задаче его проектирования / О. В. Панкова // Совершенствование проектирования и эксплуатации морских судов и сооружений : Материалы II студенческой научн.-техн. конф. факультета МТС (4-7 декабря 2007 г., Севастополь). – Севастополь : Издательство СевНТУ, 2008. – С. 106-109.
7. Фукельман В. Л. Теория корабля с основами гидромеханики / В. Л. Фукельман – Л. : Судостроение, 1964. – 350 с.

Панкова О.В. ОСОБЛИВОСТІ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТЕХНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БАЛКЕРА

Розглянуті особливості математичної моделі технічних властивостей судна, а також представлений перелік залежностей, які використовуються при побудові математичної моделі балкера на початкових стадіях проектування. Дані результати також входять в рівняння ефективності вантажних суден як результат виконання умови оптимальності.

Ключові слова: математична модель, вантажне судно, умова оптимальності, технічні властивості судна.

Pankova O.V. THE FEATURES OF BULKER TECHNICAL PROPERTIES MATHEMATICAL MODEL

The features of ship technical properties mathematical model are considered, and also the list of dependences which are used for the construction of bulker mathematical model on the initial stages of designing is presented. These results are also included in equalizations of efficiency of freight ships as a result of optimality condition implementation.

Keywords: mathematical model, freight ship, optimality condition, ship technical properties.