

УДК 629.122

Е.В. Купальцева
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА МАССЫ ПО РАЗДЕЛУ
«МЕХАНИЗМЫ» МАЛОГО ПАССАЖИРСКОГО СУДНА

Волжский государственный университет водного транспорта

Разработана методика определения массы составляющих раздела «Механизмы» на стадии исследовательского проектирования. При разработке исследовались данные по судам внутригородских и пригородных линий со скоростью хода от 12 до 24 км/ч, суммарной мощностью силовой установки до 450 кВт. При расчете массы главных двигателей и вспомогательных механизмов использована база данных по современному судовому оборудованию отечественного и импортного производства. Определение массы прочих составляющих раздела основано на принципе пересчета с использованием соответствующих модулей и измерителей масс. Поиск вида модуля производится по принципу обеспечения оптимального вида аргумента функции зависимости соответствующего измерителя массы. В данном подходе применяются методы регрессионно-корреляционного анализа.

Выводы по адекватности разработанной методики сделаны на основе сравнения рассчитанных величин с данными по построенным судам.

Ключевые слова: нагрузка масс, судовая силовая установка, «малое» пассажирское судно

На стадии предпроектной проработки оценку массы судна производят суммированием укрупненных, обычно до уровня разделов, составляющих нагрузки масс. Эти составляющие в целом определяют по общеизвестным методикам пересчета с использованием соответствующих модулей и измерителей масс, полученных по статистическим данным в зависимости от главных элементов судов рассматриваемого типа. Подобные зависимости были получены для «малых» пассажирских судов [1]. Однако, такой подход не всегда позволяет учесть конструктивные особенности судна и применяемое современное оборудование и оценить и с необходимой точностью массу того или иного раздела нагрузки. В этом случае укрупненная методика расчета массы всего рассматриваемого раздела в целом требует более точного подхода – как суммы масс его составляющих групп. Такая необходимость часто возникает при расчете массы раздела «Механизмы», в состав которого входит многочисленное оборудование, масса которого зависит от его номенклатуры.

В построечной массе судна масса механизмов и оборудования машинного помещения составляет до 13%. На стадии, когда номенклатура, тип и марки оборудования силовой энергетической установки еще не известны, поэтапный расчет составляющих масс машинного помещения можно представить в следующем виде

$$P_m = P_{ГД} + P_{ДГ} + P_{ОБ} + P_{ДВ}, \quad (1)$$

где $P_{ГД}$ – масса главных механизмов;

$P_{ДГ}$ – масса вспомогательных дизель-генераторов;

$P_{ОБ}$ – масса вспомогательного оборудования и вспомогательные механизмы судовых энергетических установок;

$P_{ДВ}$ – масса движителей и валопровода.

Котлы и мастерские на судах рассматриваемого типа, как правило, отсутствуют.

Основной составляющей рассматриваемого раздела нагрузки является масса главных двигателей (достигает 55% от массы всего раздела). Внутригородские и пригородные пассажирские суда имеют скорость от 12 до 24 км/ч, что, как правило, обеспечивается средне- и высокооборотными дизелями мощностью до 250 кВт. На начальной стадии массу главных двигателей для «малых» пассажирских судов возможно определить в зависимости от их мощности по графикам рис. 1.

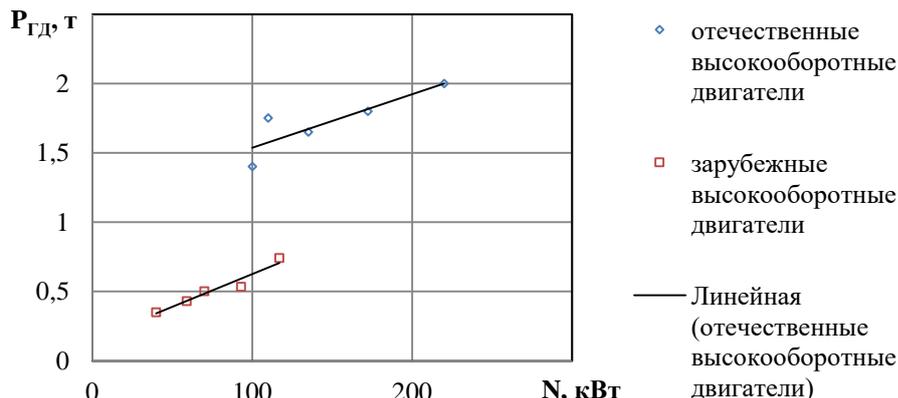


Рис. 1. Зависимость массы судовых двигателей от их мощности

В отечественных двигателях рассматриваются современные дизель-редукторные агрегаты, применяемые на вновь строящихся судах. Масса высокооборотных агрегатов зарубежного производства принималась для применяемых в судостроении двигателей с числом оборотов более двух тысяч.

В аналитической форме зависимости, приведенные на рис. 1, имеют вид

$$P_{ГД}^O = 0,003 \cdot N + 1,153 \tag{2}$$

$$P_{ГД}^3 = 0,004 \cdot N + 0,151 \tag{3}$$

Для расчета массы дизель-генераторов можно использовать графики рис. 2, построенным по статистическим данным агрегатов отечественного и зарубежного производства.

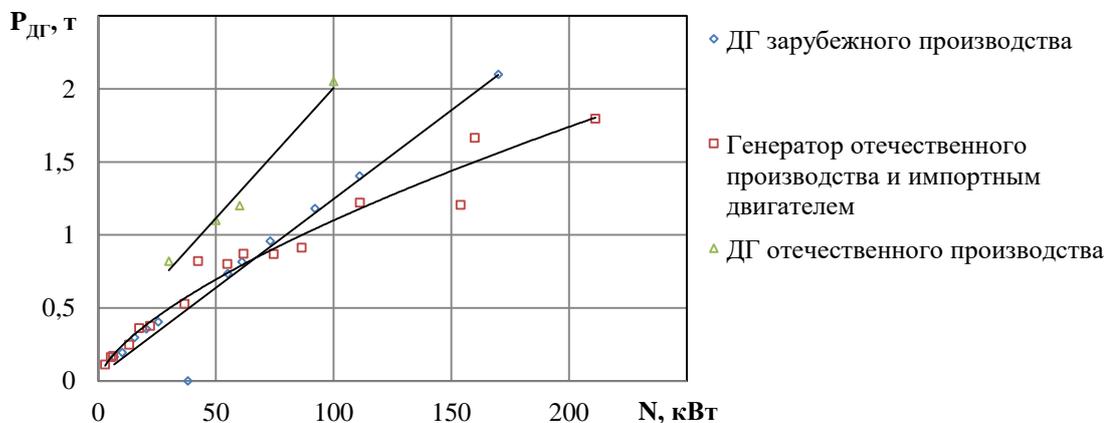


Рис. 2. Зависимость массы судовых дизель-генераторов от их мощности

В аналитическом виде зависимости имеют следующий вид

$$P_{ДГ}^{ИМ} = 11,77 \cdot N_{ДГ} + 96,74 \tag{4}$$

$$P_{ДГ}^{отч/им} = 52,2 \cdot N_{ДГ}^{0,661} \tag{5}$$

$$P_{ДГ}^{отч} = 17,84 \cdot N_{ДГ} + 221,7 \tag{6}$$

Номенклатура и состав вспомогательного оборудования и механизмов систем СЭУ разрабатываются на более поздних стадиях проектирования. Оценить массу данного раздела на начальной стадии представляет определенную сложность и в общем случае ее можно представить в виде зависимости

$$P_{\text{ОБ}} = \Psi_{\text{ОБ}} \cdot M_{\text{ОБ}}, \quad (7)$$

где $\Psi_{\text{ОБ}}$ – измеритель массы;

$$M_{\text{ОБ}} = \left(\frac{N^q}{D_{\text{гр}} v^k} \right) - \text{модуль пересчета массы};$$

N , кВт – полная мощность СЭУ;

$D_{\text{гр}}$, т – водоизмещение судна в грузу;

v – скорость хода судна, км/ч;

q, k – показатели степеней при значениях мощности и скорости. Определяются на основе статистического анализа: $q = k = 1$ – для судов с суммарной мощностью основных и вспомогательных механизмов до 220 кВт; $q = 2,5, k = 3$ – для судов с суммарной мощностью более 220кВт.

При выборе вида модуля для пересчета рассматриваемой статьи раздела необходимо учитывать полную мощность силовой установки (включая дизель-генераторы).

Закономерность изменения измерителя $\Psi_{\text{ОБ}}$ связана с затратами мощности и получена в виде $\left(\frac{N}{D_{\text{гр}} v} \right)$. Данный вид модуля получен на основе принципа обеспечения оптимального вида аргумента зависимости $\Psi_{\text{ОБ}} = f(M_{\text{ОБ}})$, установленному на основе статистического анализа системы различных модулей по максимальному значению коэффициента корреляции и допустимому значению критерия Фишера [1].

Зависимость измерителя массы $\Psi_{\text{ОБ}}$ в зависимости от соответствующего модуля приведена на графике рис. 3, либо может быть рассчитана по формулам:

$$\Psi_{\text{ОБ}} = -31,14 \cdot M_{\text{ОБ}} + 7,608 - \text{для судов с } N < 220 \text{ кВт} \quad (8)$$

$$\Psi_{\text{ОБ}} = 1,316 \cdot M_{\text{ОБ}} + 1,16 - \text{для судов с } N \geq 220 \text{ кВт} \quad (9)$$

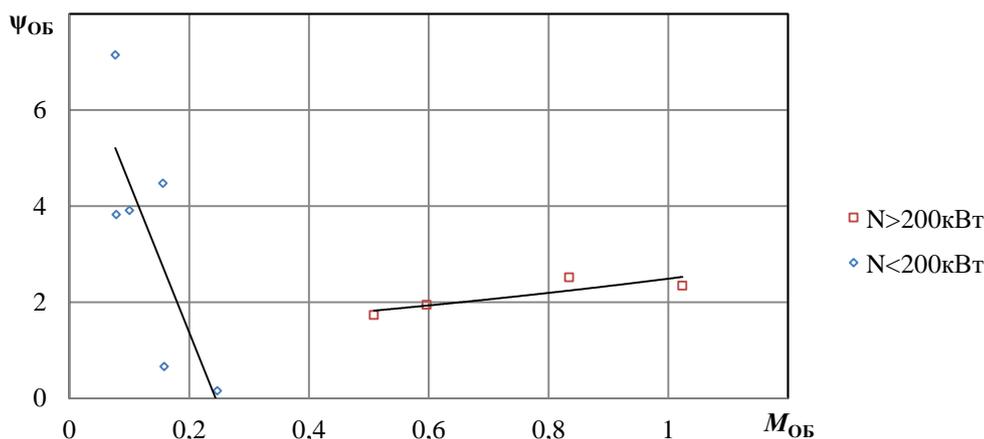


Рис. 3. Зависимость измерителя массы вспомогательного оборудования

Изменение показателей степеней при составляющих модуля масс оборудования связано, прежде всего, с тем, что при высоких мощностях используется двухвальная силовая установка, чем обусловлены более высокие показатели массы вспомогательного оборудования.

При определении геометрических параметров валопровода, от которых зависит их масса, используются отражающие, в том числе, зависимость отношения требуемой мощности двигателя к частоте вращения вала [2]. Исходя из этого, модуль для пересчета массы валопровода и движителя определен на основе принципа, изложенного выше, в виде $\left(\frac{N}{n}\right)^{0,75}$.

Тогда массу этой составляющей нагрузки можно рассчитать следующим образом

$$P_{\text{дв}} = \Psi_{\text{дв}} \cdot \left(\frac{N}{n}\right)^{0,75}, \quad (10)$$

где N – мощность главного двигателя, кВт;

n – частота вращения вала, с^{-1} ;

Измеритель массы $\Psi_{\text{дв}}$ определяется по графику рис. 4, либо в аналитическом виде по формуле

$$\Psi_{\text{дв}} = 0,006 \cdot M_{\text{дв}} + 0,011. \quad (11)$$

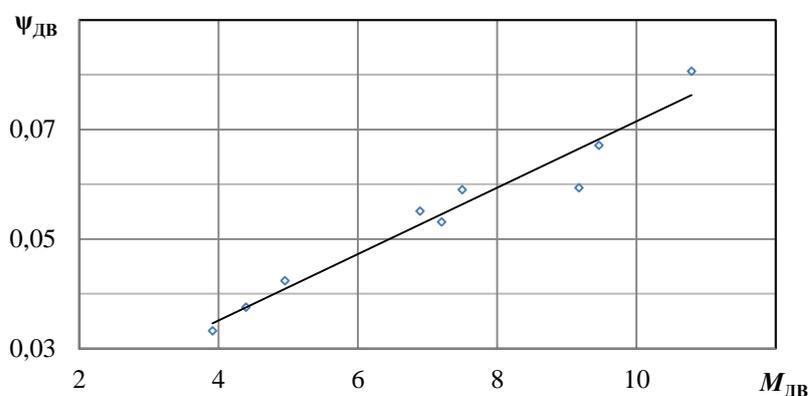


Рис. 4. Зависимость измерителя массы движителей и валопровода

Формула (11) и график (рис. 4) получены для машинного помещения, расположенного в кормовой части судна, в нос от ахтерпика. При расположении в средней части массу валопровода следует увеличивать соразмерно длине дополнительных отсеков, а при расположении сразу за ахтерпиком – уменьшать.

Для проверки адекватности разработанной модели расчета статей, составляющих массу механизмов и оборудования машинного помещения, в табл. 1 приведены результаты расчета для «малых» пассажирских судов различных архитектурно-конструктивных типов. В таблице не приведен сравнительный анализ по собственно главным двигателям и вспомогательным механизмам. Это связано с тем, что в базу данных судов рассматриваемого типа вошли, в основном, суда старой постройки, в то время как применяемые современные главные механизмы имеют меньшие массово-габаритные характеристики.

Таблица 1
Относительная погрешность расчета статей нагрузки
масс силовой энергетической установки

| Номер проекта / АКТ | Модуль относительной погрешности, $ \epsilon $, % | |
|---------------------|--|------------------------------|
| | Наименование статьи | |
| | Двигатели и валопровод | Вспомогательное оборудование |
| 780 (I) | 0,6 | 5,03 |
| 23020 (II) | 0,17 | 7,7 |
| 1411 (III) | 6,9 | 7,3 |

Полученные результаты позволяют сделать вывод о применимости разработанной методики – максимальная погрешность не превышает 8%, что считается приемлемым для проведения расчетов.

Библиографический список

1. Купальцева, Е.В. Определение составляющих нагрузки масс «малых» пассажирских судов на начальном этапе проектирования [Текст] / Е.В. Купальцева // Вестник волжской государственной академии водного транспорта. 2015. № 45. С. 181-188.
2. Правила классификации и постройки судов (ПКПС). Т. 3 – М., 2015. – 385 с.
3. Купальцева, Е.В. Определение пассажировместимости «малого» пассажирского судна на начальной стадии проектирования [Текст] // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2016. № 4 (38). С. 113-121.