

15,4% и тяжелее на 2,5%. Коэффициенты запаса для эксплуатационной нагрузки составили: 7,38 – в пролете и 4,21 – на опоре. Приняв в обоих сечениях одинаковый коэффициент запаса 4,21 и просчитав элемент по алгоритму с исходными данными: $M_1=7,50$ кНм, $M_2=-4,62$ кНм, $a_p=1,0$ см, $a_c=0,5$ см, $b=100$ см, $q=10$ см, получили элемент с характеристиками: $d_c=0,6$ см, $d_p=0,8$ см, $R_{сн}=392$ МПа, $R_{np}=23,5$ МПа, $h=5,62$ см, имеющий стоимость 308 руб/пог.м и массу 142 кг/пог.м, что дешевле первоначального элемента на 23,6% и тяжелее на 29,3%.

Для наглядности результаты всех примеров сведены в таблице 2.

В ходе выполнения алгоритма имеется возможность результаты каждой итерации заносить в отчет, выводимый в виде таблицы. Из рассмотренных примеров видно, что в некоторых случаях пересчета элементов по данному алгоритму удешевление их приводит к существенному возрастанию массы (первый и третий примеры), поэтому встает задача нахождения компромисса между стоимостью и массой элемента, решение которой зависит от многих факторов. В случае, если элемент с минимальной массой или стоимостью не полностью устраивает проектировщика, то по данной таблице он может подобрать элемент с необходимым ему соотношением стоимости к массе из ряда приведенных итераций.

Наилучшим образом эффективность данного метода отражает второй и четвертый примеры, демонстрирующие возможность как облегчения, так и удешевления некоторых элементов.

DEFINITION OF OPTIMAL CHARACTERISTICS OF TRANSVERSE SECTION OF REINFORCED CONCRETE BENDING RECTANGULAR ELEMENT, FORCED BY ROUND REINFORCEMENT

I. V. Volkov

Algorithm of optimal design of reinforced concrete hull plates at variation of basic construction elements is being shown. At the example of real projects it is shown that minimization of cost does not always lead to minimization of weight.

УДК 629.12.001

Е. П. Роннов, д. т. н., профессор.

С. В. Давыдова, к. т. н., доцент, ВГАВТ.

603950, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5а.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НА МИНИМАЛЬНУЮ ВЫСОТУ НАДВОДНОГО БОРТА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОРПУСА СУДНА

Рассматриваются вопросы обоснования минимальной высоты надводного борта. Принят ряд характеристик, влияние которых на минимальный надводный борт наиболее существенно. Произведена оценка зависимости минимального надводного борта от выбранных геометрических характеристик судна.

В настоящее время, ввиду отсутствия теоретических исследований по вопросу обоснования регламентируемой минимальной высоты надводного борта, требуется

провести более полный анализ степени влияния геометрических характеристик корпуса и района плавания судна на величину надводного борта.

При назначении надводного борта в соответствии с Правилами Российского Речного Регистра для судов внутреннего плавания учитывается ряд признаков и характеристик судна. А именно, величина надводного борта определяется в зависимости от типа судна (открытое, закрытое), его класса и длины. Воздействие других геометрических характеристик на величину надводного борта не оценивается.

Проанализируем, каким образом высота надводного борта для судов, у которых отсутствует седловатость, зависит от выбранных варьируемых характеристик судна.

Осадка на носовом перпендикуляре определяется:

$$T_n = T_{но} + \Delta T + (L / 2 - X_f) \psi,$$

где $T_{но}$ – осадка носом до затопления отсека,

ΔT – приращение средней осадки,

L – длина судна,

X_f – абсцисса центра тяжести площади ватерлинии,

ψ – угол дифферента.

Минимально необходимый надводный борт без учета влияния стандартной седловатости:

$$H_{нб} = V_3 / \rho S + (L / 2 - X_f) \psi,$$

где V_3 – объем затопленного отсека,

S – площадь действующей ватерлинии,

ρ – плотность воды.

Обозначим $d = L/B$, $k = B/T$, и примем $\alpha = \delta^{1/2}$. Тогда параметры, определяющие величину необходимого надводного борта, можно представить как функцию от следующих аргументов:

$$V_3 = f(\delta, L^3, 1/k, 1/d^3),$$

$$S = f(L^2, 1/d, \delta^{1/2}).$$

Величину угла дифферента может быть найдена:

$$\psi = [\gamma V_3 (x - x_f) (1 + S_3 / (S - S_3))] / DH,$$

где x – абсцисса центра тяжести объема затопленного отсека,

S_3 – потерянная площадь ватерлинии,

D – водоизмещение судна

H – большая метацентрическая высота.

На основании данного выражения угол дифферента можно представить функцией следующих аргументов: $\psi = (V_3, L, 1/S, 1/D, 1/H)$.

Принимая $D = f(\delta, L, B, T)$, $H = f(L^2, 1/T)$ угол дифферента соответствует функции следующего вида:

$$\psi = f(1/L^2, 1/k, 1/d, 1/\delta^{1/2}).$$

В результате, величина надводного борта есть функция:

$$H_{нб} = f(L+1/L, 1/k, 1/d^2 + 1/d, \delta^{1/2} + 1/\delta^{1/2}).$$

На основании проведенного теоретического анализа был выбран ряд геометрических факторов оказывающих наибольшее влияние на величину необходимого надводного борта по условию обеспечения плавучести. Надводный борт может быть представлен, как функция вида $H_{нб} = f(L, L/B, B/T, \delta)$.

В случае, когда стандартная седловатость отсутствует, надводный борт из-за дифферента, приобретаемого при затоплении форпика, должен обеспечивать необходимый запас плавучести через достаточную высоту борта в носу.

Таким образом, высота надводного борта при затоплении отсеков для судов класса Л будет определяться аварийной осадкой в носу.

Рассмотрим случай варьирования L/B при фиксировании остальных характеристик. При постоянных L , V/T и δ теоретическая зависимость минимального надводного борта от L/B имеет вид:

$$H_{нб} = f(1/d^2 + 1/d) \text{ или } H_{нб} = f(1/(L/B)^2 + 1/(L/B)).$$

Таким образом, график зависимости минимальной высоты надводного борта от L/B – гипербола.

Для подтверждения теоретических расчетов был проведен численный эксперимент. На рисунке 1 зависимость $H_{нб} = f(L/B)$, построенная на основании данных эксперимента для класса Л, соответствует полученному теоретическому анализу. Поэтому, в соответствии с характером гиперболы, при значениях $5 < L/B < 8$ абсолютная величина надводного борта изменяется не значительно. На участке $3 < L/B < 5$ наблюдается существенное возрастание значений надводного борта в соответствии с теоретической закономерностью.

На рисунке 1 также показана зависимость надводного борта от L/B для судов разных классов. Выбранный диапазон характеристик применен как наиболее полно отражающий влияние данного фактора на надводный борт. В отличие от класса Л для судов классов Р, О, М понижающую роль в значении надводного борта играет запас плавучести обеспеченный седловатостью. При этом на участке $5 < L/B < 8$ надводный борт определяется положением аварийной ватерлинии на миделе, и, следовательно, только геометрией корпуса, поэтому на нем не сказывается влияние класса судна. Чем больше запас плавучести (из-за увеличения ординаты седловатости), тем меньше величина необходимого надводного борта. Поэтому в данном диапазоне надводный борт для судов класса М меньше чем для остальных классов.

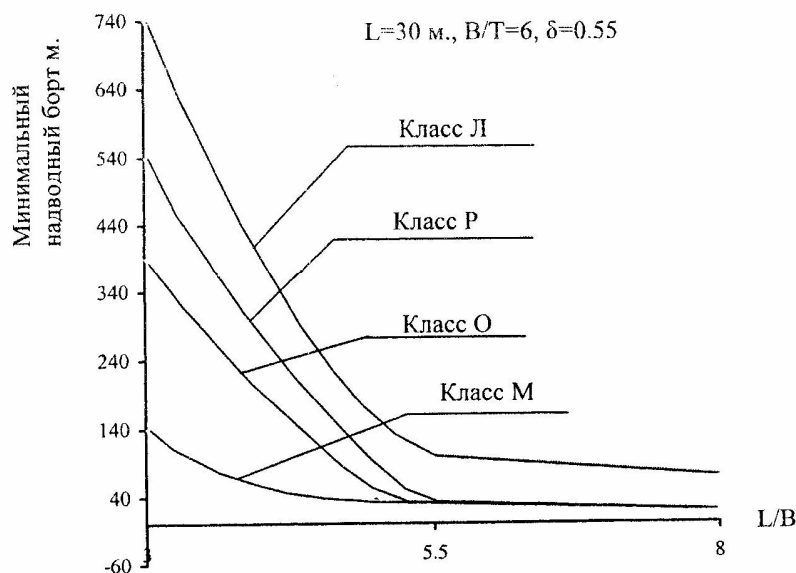


Рис. 1.

На рисунке 2 показан пример зависимости надводного борта от L/B для значений $L=70$ м., $B/T=6$, $\delta=0.55$. Отношение L/B в этом случае может изменяться от 5.5 до 8. Как видно из рисунка на участке $5.5 < L/B < 8$ характер зависимости аналогичен приведенному на рисунке 1.

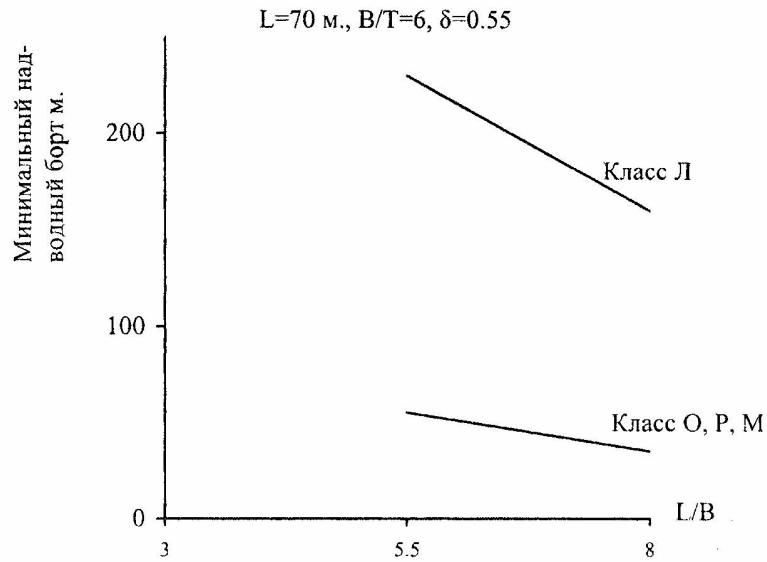


Рис. 2.

В относительном выражении высота надводного борта определяемая как: $H'_{нб} = H_{нб} / H_{рег}$ (где $H_{рег}$ — нормируемый надводный борт), показана для ранее рассмотренных случаев на рис. 3 и 4.

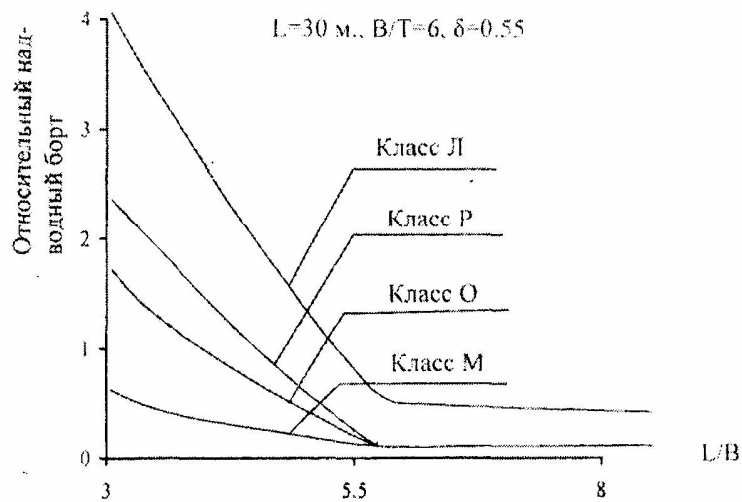


Рис. 3.

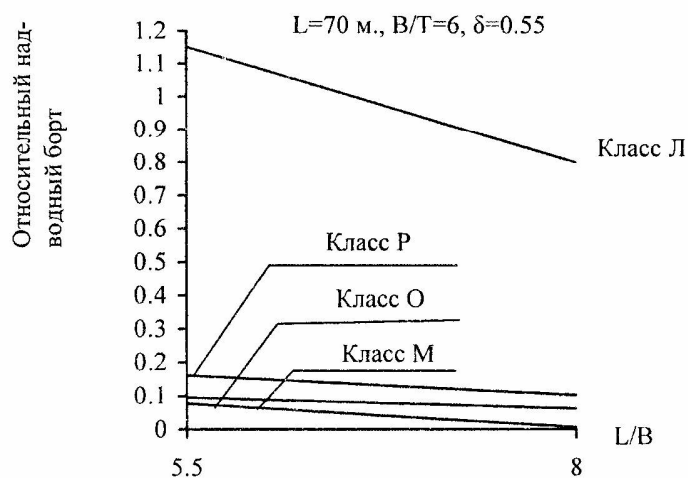


Рис. 4

Таким образом, для судов со стандартной седловатостью при изменении L/B от 3 до 5.5 разница между нормируемым и необходимым надводным бортом имеет обширный диапазон от 10% до 400%, что необходимо учесть при нормировании надводного борта. На участке $5.5 < L/B < 8$ аналогичное отличие составляет 10%–20%.

Теоретическая зависимость минимального надводного борта от B/T без учета седловатости $H_{нб} = f(L+1/L, 1/k, 1/d^2 + 1/d, \delta^{1/2} + 1/\delta^{1/2})$ при постоянных L , d и δ принимает вид: $H_{нб} = f(1/k)$ или $H_{нб} = f(1/(B/T))$. Таким образом, график зависимости минимальной высоты надводного борта от B/T – гипербола.

Рассмотрим наиболее характерные зависимости, позволяющие оценить влияние данного параметра на всем исследуемом диапазоне. На рис. 5 приведена зависимость минимального надводного борта от B/T при постоянных $L/B=8$, $\delta=0.55$. Для судов длиной 30 м. класса Л зависимость соответствует теоретической закономерности.

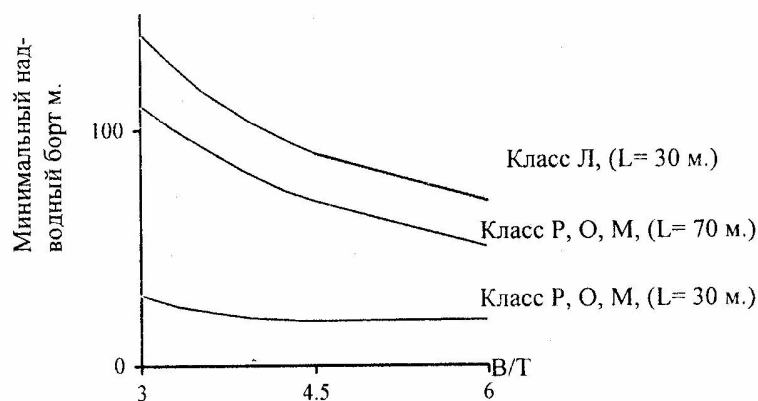


Рис. 5.

Для судов классов «Р», «О», «М» длиной более 30 рассматриваемая зависимость аналогична приведенной выше. Для небольших судов эта зависимость становится менее выраженной, что объясняется влиянием избыточного запаса плавучести, вызванного стандартной седловатостью.

В относительном выражении рассмотренные закономерности приведены на рисунке 6. Таким образом, для судов со стандартной седловатостью при изменении V/T от 3 до 4,5 разница между нормируемым и необходимым надводным бортом составляет от 10% до 30%, что необходимо учесть при нормировании надводного борта. На участке $4.5 < V/T < 6$ аналогичное отличие составляет менее 10% и может быть игнорировано.

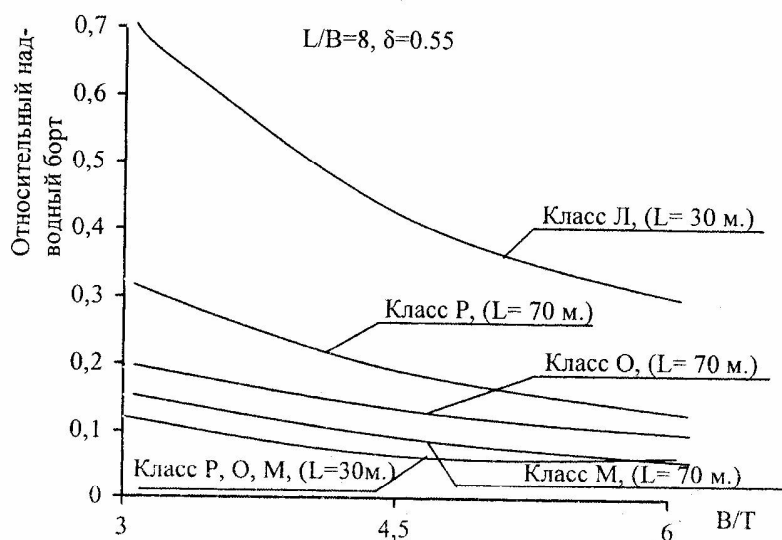


Рис. 6.

Теоретическая зависимость минимального надводного борта судна $H_{нб} = f(L+1/L, 1/k, 1/d^2 + 1/d, \delta^{1/2} + 1/\delta^{1/2})$ от δ при постоянных L , d и k без учета седловатости принимает вид: $H_{нб} = f(\delta^{1/2} + 1/\delta^{1/2})$.

График данной кривой на участке $0.55 \leq \delta \leq 0.96$ близок к параболе. В значительной степени его характер зависит от параметров формы корпуса, и уточнить график можно с помощью результатов численного эксперимента.

На рис. 7 приведена зависимость минимального надводного борта от δ при постоянных L/B и V/T , характер соответствует теоретической зависимости на рассматриваемом участке изменения δ . Для относительно коротких судов вследствие избыточного запаса плавучести, обеспеченного стандартной седловатостью, минимальный надводный борт не зависит от класса судна. Пример такой зависимости изображен на рисунке 7 для длины 30 м., для классов О, Р, М. При длинах более 70 м. для δ более 0,75 начинает оказывать влияние класс судна на минимальный надводный борт, так как наличие седловатости избыточно увеличивает запас плавучести для обеспечения необходимой высоты в носу.

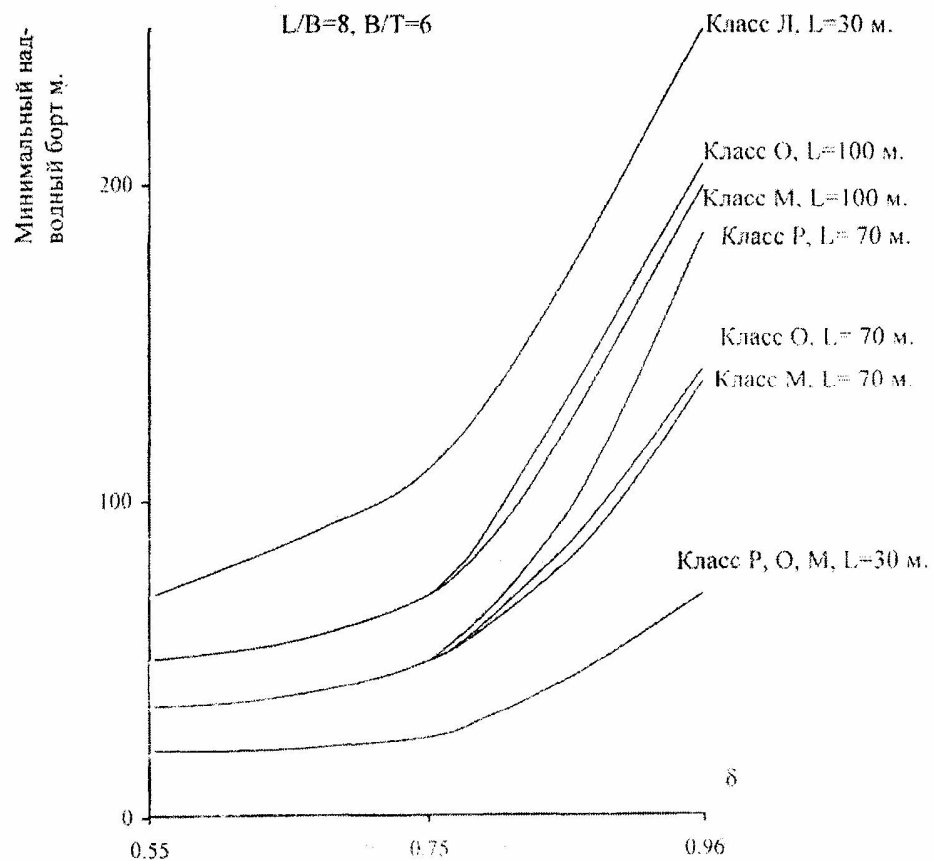


Рис. 7.

В относительном выражении рассмотренные закономерности приведены на рисунке 8. Таким образом, при варьировании δ от 0.55 до 0.75 изменения надводного борта составляют менее 5%, а на участке $0.75 < \delta < 0.96$ до 50% от нормируемого, что необходимо учесть при нормировании надводного борта для судов с δ из последнего участка.

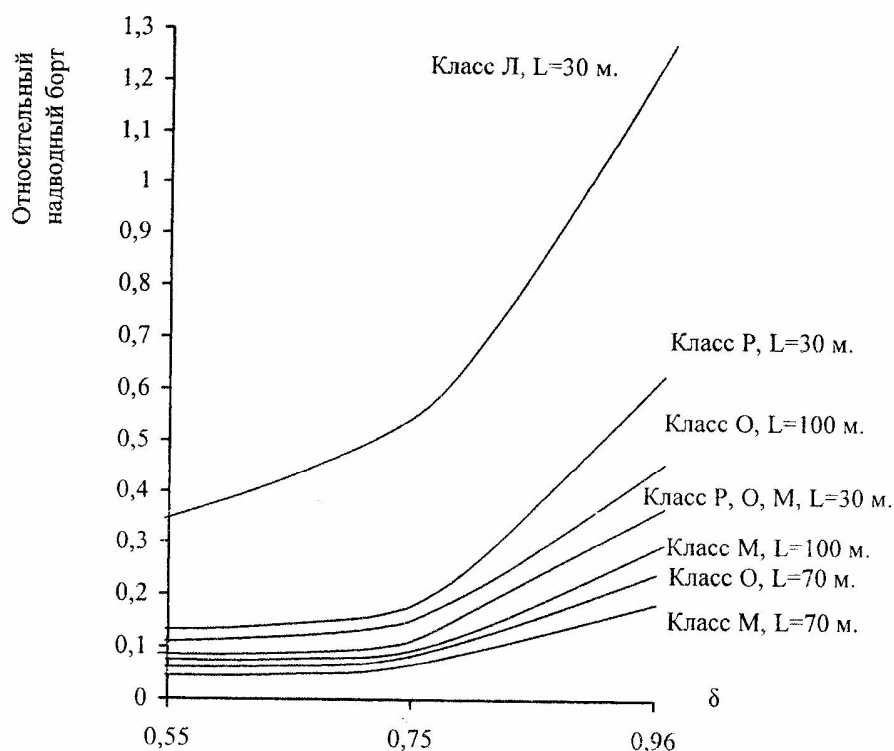


Рис. 8.

Список литературы

- [1] Российский Речной Регистр. Правила классификации и постройки судов внутреннего плавания, т.1. – М.: Марин Инжиниринг сервис, 2003. – 329 с.
- [2] Российский Морской Регистр Судоходства. Правила классификации и постройки морских судов, 2003. – 471 с.

THE ANALYSIS OF INFLUENCE ON THE MINIMUM FREEBOARD HEIGHT GEOMETRICAL CHARACTERISTICS OF THE VESSEL HULL

E. P. Ronnov, S. V. Davydova

Questions of a substantiation of the minimum freeboard height are considered in the article. A number of the characteristics, which influence on the minimum freeboard, are the most essential is given. The estimation of the dependence of the minimum freeboard from the chosen geometrical characteristics of a vessel is made.