

УДК 629.12:629.1.07

DOI: 10.37890/jwt.vi83.608

Исследование влияния заострения оконечностей на погрешность определения водоизмещения методом драфт-сюрвея при общих продольных деформациях корпуса судна

П.А. Бимбереков

ORCID: 0000-0003-4303-8570,

М.Д. Васильев

Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск, Россия

Аннотация. В работе исследуется на 3D-моделях объектов с упрощенными обводами на базе параллелепипеда влияние заострения батоксов и ватерлиний на погрешность определения величины водоизмещения методом драфт-сюрвея при получении корпусом судна общих продольных деформаций относительно миделя в виде прогиба, перегиба и кручения, при исходной посадке прямо и на ровный киль и отсутствии строительного дифферента. В качестве объекта исследования был выбран понтон с размерениями: длина наибольшая / длина между перпендикулярами / ширина / высота борта / осадка (в полном грузу) в метрах составляют $L_H/L_{\square\square}/B/H/T=85/83/16,5/3,3/2,5$. Обводы оконечностей изменялись подъемом батокса и/или остроты ватерлинии с изменением коэффициентом общей полноты оконечностей (длиной по $0,15L_H \approx 0,154L_{\square\square}$) $\delta^* \in [1,0 \dots 0,33]$. Стрелки изгиба корпусов судов выбирались в пределах существующего реального относительного диапазона от 0 до 0,005 в долях от длины корпусов по конструктивной ватерлинии. Подбиралась посадка судов таким образом, чтобы среднее значения шкал осадок у деформированных корпусов совпадало со значениями при отсутствии общих продольных деформаций. В результате получены графические зависимости связи коэффициентов полноты корпуса и относительной погрешности определения водоизмещения методом драфт-сюрвея при общих продольных деформациях корпуса. В частности, получена зависимость влияния остроты ватерлинии и батоксов в оконечностях по отдельности и их совместного влияния. Получено, что при общей продольной деформации корпуса погрешность водоизмещения от изменения заострения батокса зависит существенно меньше, чем от заострения ватерлиний при использовании метода драфт-сюрвея.

Ключевые слова: общие продольные деформации корпуса, метод драфт-сюрвея, погрешность определения водоизмещения, шкалы осадок, заострение батокса и/или ватерлинии.

Investigation of the effect of pointed extremities on the error in determining displacement by the draft survey method for general longitudinal deformations of the ship's hull

Pavel A. Bimberekov

ORCID: 0000-0003-4303-8570

Mihail D. Vasilev

Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russia

Abstract The work investigates on 3D models of objects with simplified contours based on a parallelepiped the effect of the sharpening of the buttocks and waterlines on the error in determining the displacement by the draft study method is investigated when the hull experiences general longitudinal deformations relative to the middle part of the vessel in the form of deflection, bending and torsion during the initial landing of the vessel straight, as well as on a even keel and the absence of a construction pitch. A pontoon with the following

dimensions was chosen as the object of study: the maximum length / length between the perpendiculars / width / height of the side / draft (in full load) in meters are $L_N/L_{\square\square}/B/H/T=85/83/16,5/3,3/2,5$. The contours of the extremities were changed by the rise of the buttock lines and/or the sharpness of the waterline with by changing the coefficient of total completeness of the extremities (with a length of $0,15L_N \approx 0,154L_{\square\square}$) $\delta^* \in [1,0...0,33]$. The bending arrows of the ships' hulls were selected within the existing real relative range from 0 to 0.005 in fractions of the length of the hulls along the structural waterline. The ships were fitted in such a way that the average values of the draft scales for deformation hulls coincided with the values in the absence of general longitudinal deformations. As a result, graphical dependences of the relationship between the coefficients of hull completeness and the relative error in determining displacement by the draft survey method for general longitudinal deformations of the hull are obtained. In particular, the dependence of the influence of the sharpness of the waterline and the buttock lines at the extremities separately and their combined influence was obtained. It is found that with the general longitudinal deformation of the hull, the displacement error depends significantly less on the change in the sharpness of the buttocks than on the sharpness of the waterlines when using the draft survey method.

Keywords: general longitudinal deformations of the hull, draft survey method, error in determining displacement (carrying capacity), draft scales, buttock lines and/or waterline sharpening.

Введение

Полнота обводов оконечностей влияет на значения величины водоизмещения судна при его общем продольном изгибе, оцениваемого методом драфт-сюрвея по шкалам осадок. Для установления зависимости влияния формы оконечности, которую можно учитывать и при проектировании судов, на значения погрешности величины водоизмещения методом драфт-сюрвея необходимо исследовать её зависимость от различных коэффициентов полноты корпуса.

В качестве объекта исследования был выбран понтон с главными размерениями как у баржи площадки проекта 16801. Её размерения: длина наибольшая / длина между перпендикулярами / ширина / высота борта / осадка (в полном грузу) в метрах составляют $L_N/L_{\square\square}/B/H/T=85/83/16,5/3,3/2,5$ с исходными упрощенными обводами в виде параллелепипеда при последующем изменении полноты оконечностей. Форма оконечностей (по $0,154L_{\square\square}$ примерно соответствующее [1]) менялась двумя вариантами:

- подъемом батокса от основной плоскости;
- заострением ватерлинии.

Изменение обводов производилось таким образом, что коэффициент общей полноты оконечностей менялся в диапазоне значений $1,0...0,33$.

Значения предельных величин общего изгиба корпуса, состоящего из упругой и остаточной составляющих, взяты на основании работ [2...11] диапазоном до относительного значения (стрелки прогиба к длине) $f/L_{\square\square} \approx 0,005$.

Отдельно рассматривались заострения батоксов и ватерлиний, а также несколько случаев их одновременного заострения. Заострения ватерлиний было принято на расстоянии 8 и 12,75 м от носового и кормового перпендикуляров. Часть ватерлинии на перпендикулярах начиналось на следующих расстояниях от диаметральной плоскости (ДП): 0; 2,25; 4,25; 6,25 и 8,25 м (последнем случае ватерлиния представляет собой прямоугольник со сторонами $L_{\square\square}/B=83/16,5$).

Цель работы: выявление зависимостей погрешности определения водоизмещения методом драфт-сюрвея при заострении оконечностей, приводящему к разной полноте обводов самих оконечностей и корпусов судов в целом.

Визуализация изменения обводов построенных 3D-моделей понтона в программе SolidWorks от исходного состояния параллелепипеда приведена на рис.1.

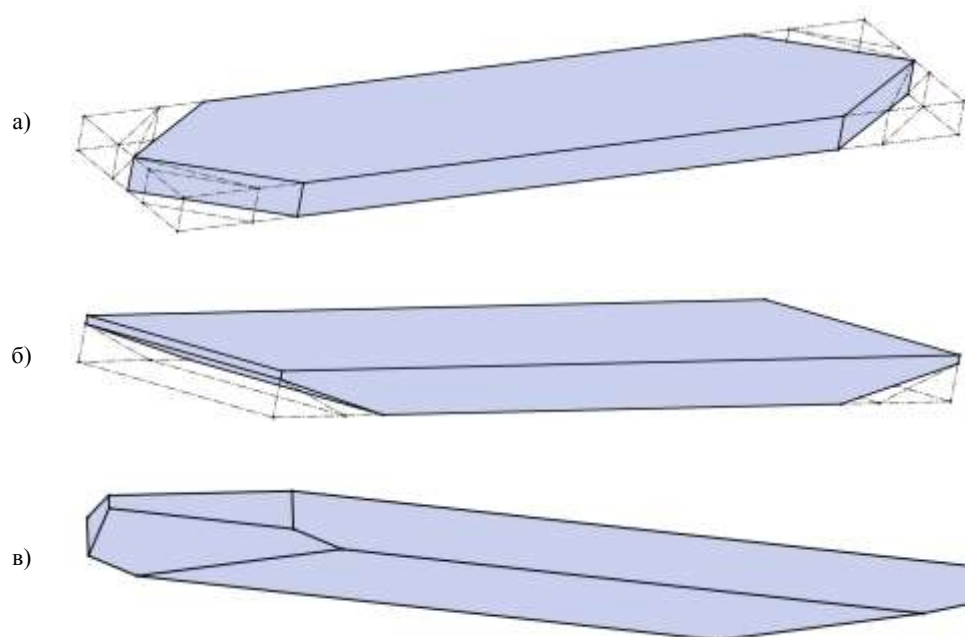


Рис. 1. Варианты изменения обводов корпуса при:
а) заострение ватерлинии; б) заострение (подъем) батокса; в) двойное заострение батокса и ватерлинии

Методика исследования

Задаемся величиной стрелки общего изгиба, изгибаем 3D-модель в программе Solid Works относительно принятого положения нейтральной оси эквивалентного бруса корпуса понтона. Далее подбираем среднее значение по шкалам осадок равным исходному (не деформированному) состоянию корпуса понтона. Затем находим величину объемного водоизмещения при найденном положении ватерлинии. Разница между объемными водоизмещениями деформированного ($V_{\text{деф}}$) и не деформированного (V) корпусов являет собой искомую погрешность водоизмещения (ΔV) по фиксируемым значениям шкал осадок.

Варианты деформации корпусов понтонов представлены на рис.2. Значение стрелки прогиба при кручении определялось в точках на расстоянии полуширины от ДП с учетом наклона ватерлиний в крайних точках носа и кормы.

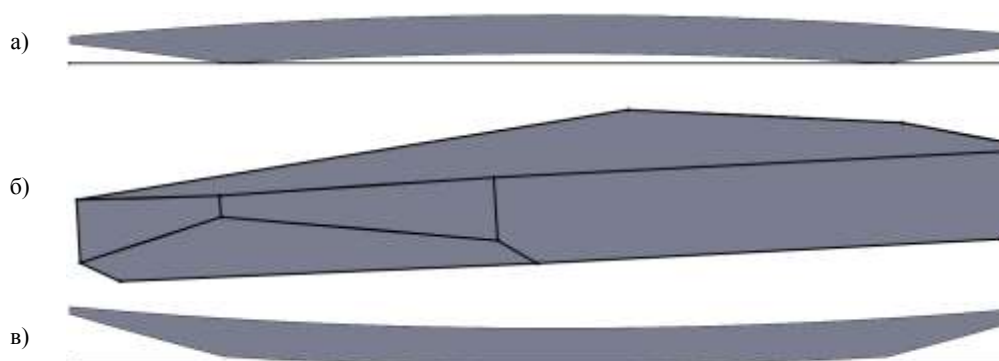


Рис. 2. Варианты деформации 3D-модели понтона: а) перегиб; б) прогиб; в) кручение

Результаты исследования

Результаты расчётно-графической оценки водоизмещения при общих продольных деформациях корпуса в зависимости от коэффициентов полноты k_z , различных заострениях ватерлинии и батокса относительной деформации $f/L_{\square\square} \approx 0,005$ представлены на рис.3.

На основании графических зависимостей рис.3 получаем, что более удачными являются зависимости погрешности водоизмещения при всех видах рассмотренных деформаций от коэффициентов: δ , χ^* и φ^* .

Расчеты по выбранным коэффициентам полноты корпуса понтонов с перебором относительных стрелок продольной деформации до 0,005 с шагом в 0,001, при положении нейтральной оси 2/3 высоты борта от основной плоскости представлены в виде графических зависимостей на рис. 4..6. Такое положение нейтральной оси характерно для судов площадок, при этом расчеты показывают, что изменение положения нейтральной оси на 1/3 от высоты борта, как правило не дает превышения погрешности водоизмещения более чем 0,1%. Отметим, что на рис.3 значения коэффициентов χ^* и φ^* полностью совпадают. Графики зависимостей погрешности водоизмещения от коэффициентов δ , χ^* и φ^* , для заострения ватерлиний и батоксов по отдельности, а также совместных заострений (двойные заострения), при деформациях 0,001...0,005 приведены на рис. 4...6.

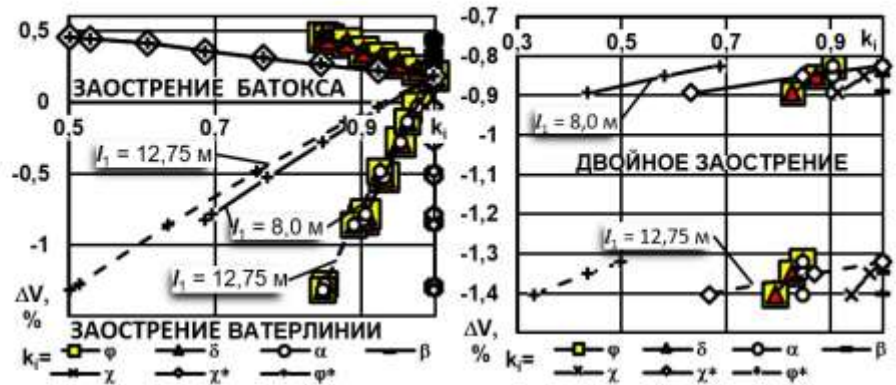
Обсуждение

Для выбранной в исследовании формы корпуса понтона с разной величиной заострения батоксов, ватерлиний, двойного заострения при общих продольных деформациях получено, что погрешность водоизмещения в случае использования метода драфт-сюрвея может достигать 1,5% от водоизмещения не деформированного корпуса. Это на наш взгляд вполне существенная величина. Не сложно оценить, что погрешность определения массы грузов будет иметь большее значение чем погрешность водоизмещения на величину прямо пропорциональную отношению водоизмещения судна к грузоподъемности при данной осадке.

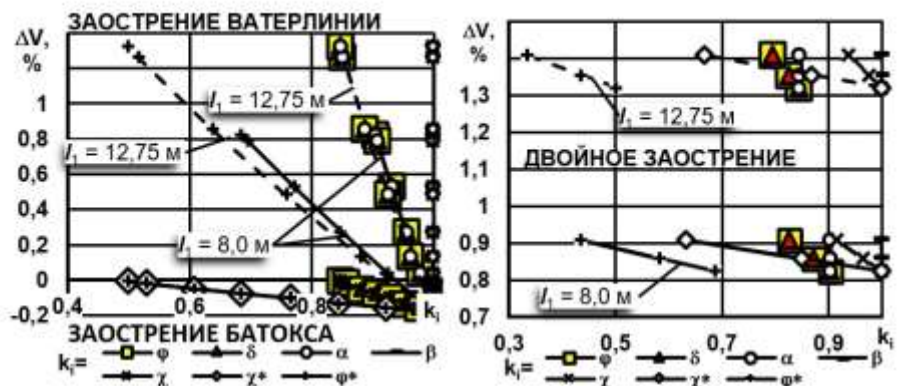
В ходе исследования выявлено, что наиболее удачными коэффициентами для фиксации зависимости погрешности водоизмещения при использовании метода драфт-сюрвея и общих продольных деформациях корпуса являются: коэффициент общей полноты δ , коэффициенты продольной и вертикальной полноты оконечностей, соответственно φ^* и χ^* .

Получено, что при общей продольной деформации корпуса погрешность водоизмещения от изменения заострения батокса зависит существенно меньше, чем от заострения ватерлиний при использовании метода драфт-сюрвея.

а)



б)



в)

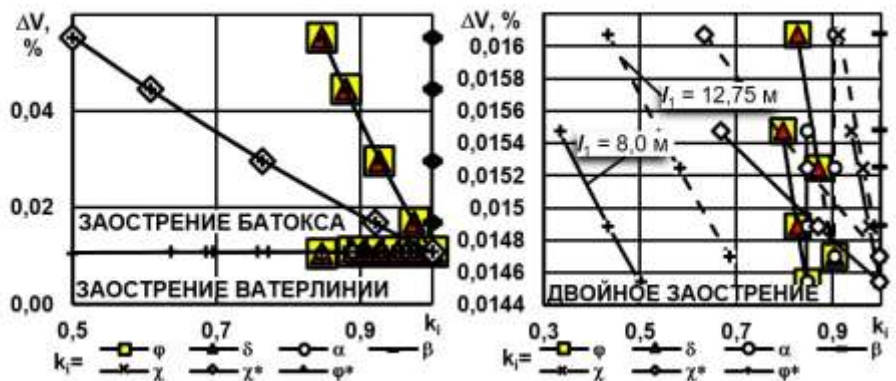


Рис. 3. Графики зависимостей погрешности водоизмещения от вида общей продольной деформаций корпуса при положении нейтральной оси 2/3 от высоты борта от основной плоскости при коэффициентах полноты k_i :
а) перегиб; б) прогиб; в) кручение

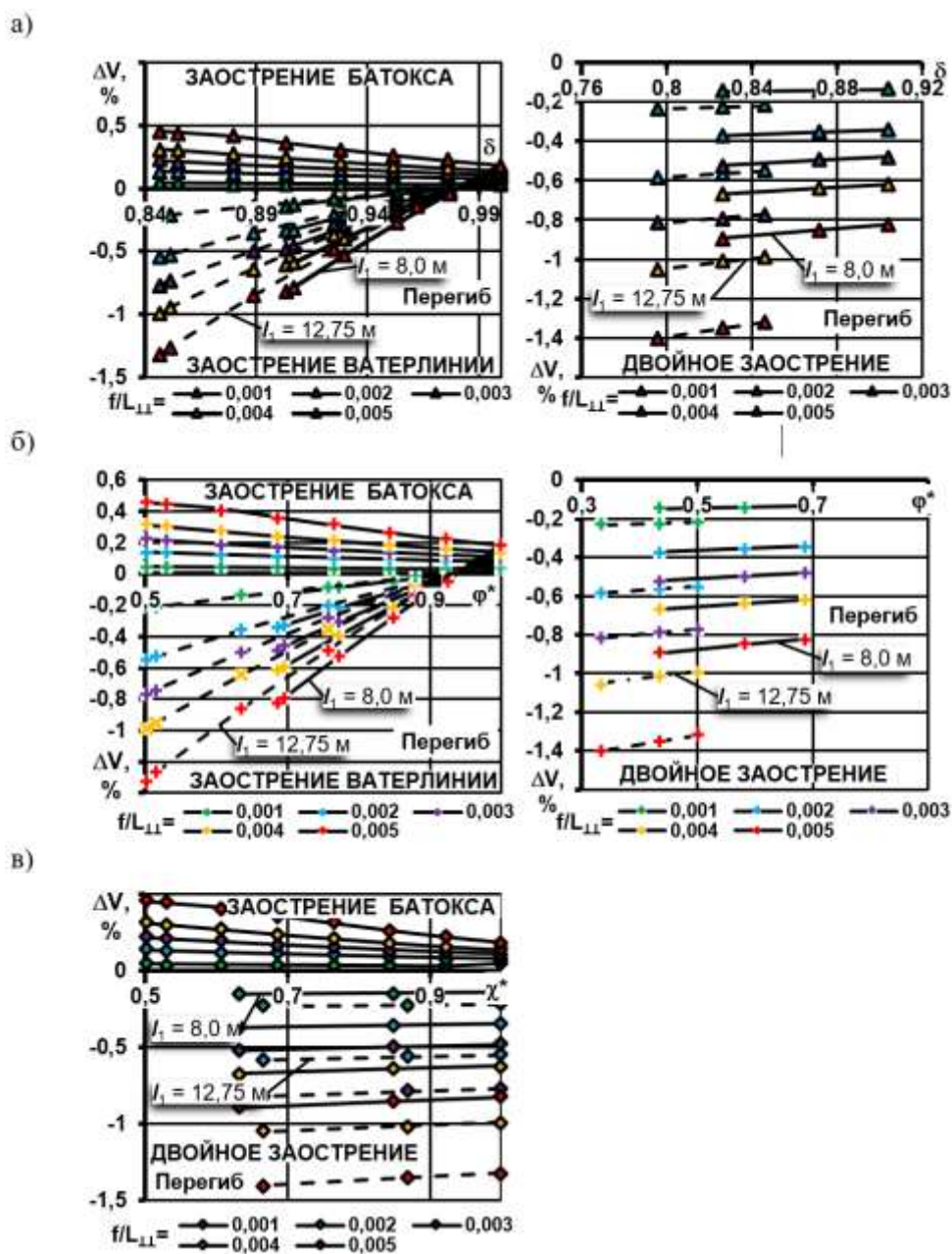


Рис. 4. Графики зависимостей погрешности водоизмещения от относительной величины перегиба корпуса f/L_{11} при положении нейтральной оси 2/3 от высоты борта от основной плоскости при коэффициентах полноты:

а) δ (перегиб: заострение ватерлиний и батоксов, двойное заострение); б) χ^* (перегиб: заострение ватерлиний и батоксов, двойное заострение); в) φ^* (перегиб: заострение батоксов и двойное заострение)

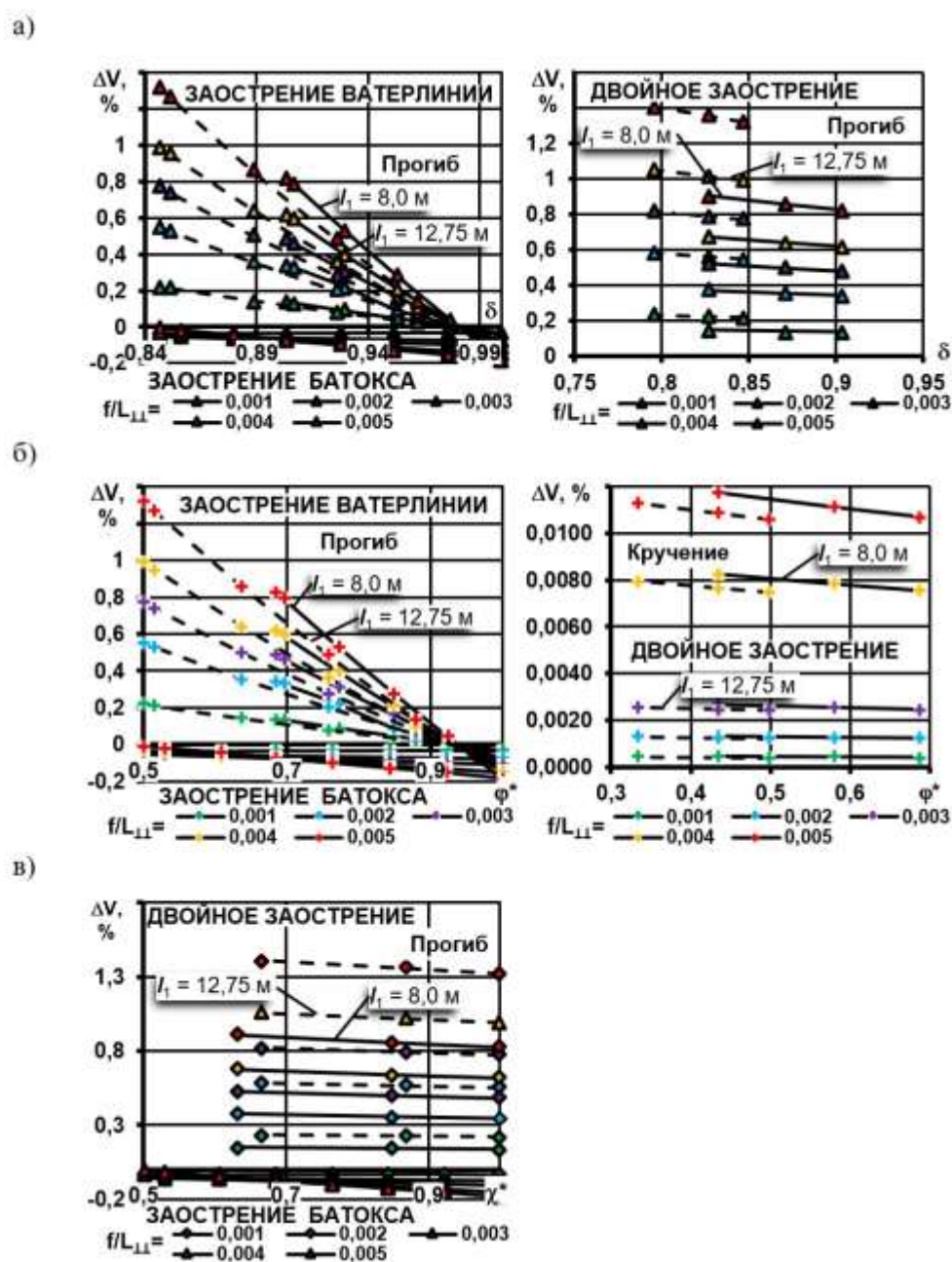
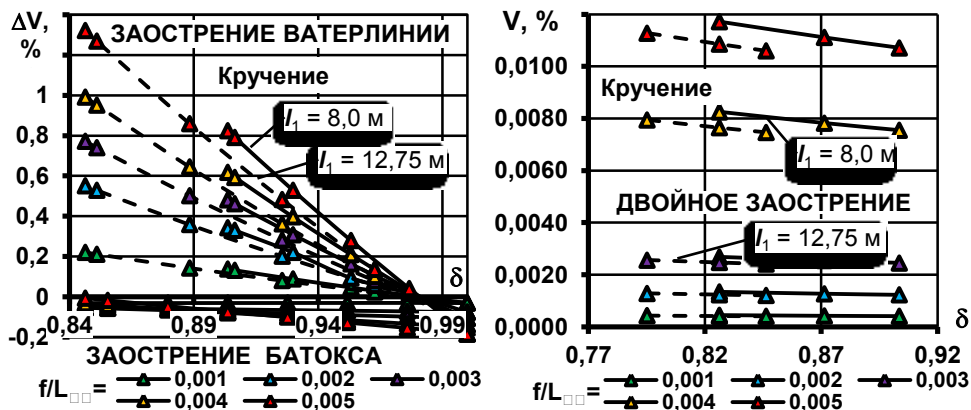


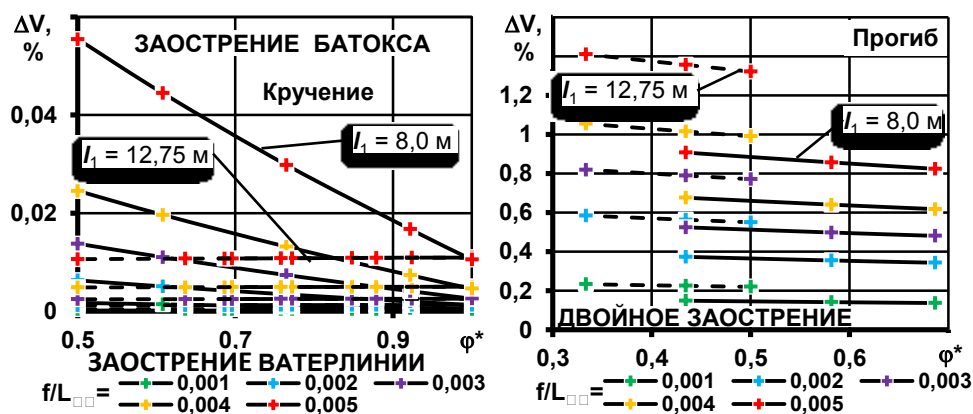
Рис. 5. Графики зависимостей погрешности водоизмещения от относительной величины прогиба корпуса f/L_{11} при положении нейтральной оси $2/3$ от высоты борта от основной плоскости при коэффициентах полноты:

- а) δ (прогиб: заострение ватерлиний и батоксов, двойное заострение); б) χ^* (прогиб: заострение ватерлиний и батоксов, двойное заострение); в) ϕ^* (прогиб: заострение батоксов и двойное заострение)

а)



б)



в)

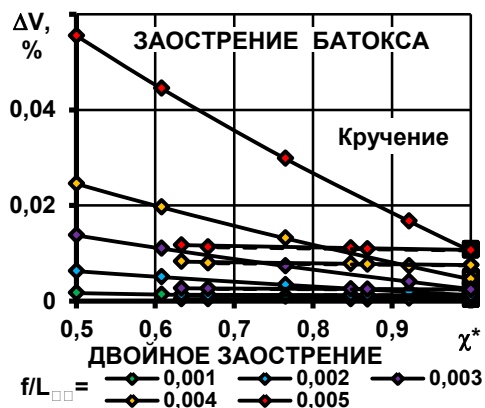


Рис. 6. Графики зависимостей погрешности водоизмещения от относительной величины кручения корпуса $f/L_{\square\square}$ при положении нейтральной оси 2/3 от высоты борта от основной плоскости при коэффициентах полноты:

- а) δ (кручение: заострение ватерлиний и батоксов, двойное заострение);
- б) χ^* (кручение: заострение ватерлиний и батоксов, двойное заострение);
- в) φ^* (кручение: заострение батоксов и двойное заострение)

Заключение

В результате настоящего исследования выявлена роль заострения батоксов и ватерлиний по отдельности на величину погрешности водоизмещения при использовании метода драфт-сюрвея [12, 13] корпусов объектов водного транспорта, имеющих общие продольные деформации в виде пологих прогиба, перегиба и кручения. Полученные графические зависимости выражены в относительных величинах и могут послужить ориентировочной оценкой для разных проектов судов, имеющих коэффициенты полноты в диапазоне представленных в статье графиков.

При выявлении целесообразности для представленных выше графических зависимостей могут быть получены аналитические аппроксимационные выражения.

Список литературы

1. ФАУ «Российское Классификационное Общество». Правила классификации и постройки судов. URL: <https://rfclass.ru/izdaniya-rko/pravila-klassifikatsii-postroyki-i-osvidetelstvovaniya-sudov-vvp-sudov-smeshannogo-reka-more-plavaniya-plavuchikh-obektov/pravila-klassifikatsii-i-postroyki-sudov/> (дата обращения 18.05.25).
2. Гунин, И. А. Влияние остаточных и температурных прогибов корпуса судна на изгибающий момент от внешних сил / И. А. Гунин // Труды ЛИВТа. Л.: Речной транспорт, 1960, выпуск VI. – С. 24-32.
3. Гунин, И. А. Обобщение данных по натурным замерам остаточного прогиба корпуса и установление его влияния на общую прочность судов / И. А. Гунин // Труды ЛИВТа. Л.: Транспорт, 1972, выпуск 135. – С. 45-49.
4. Карклина, Т. О. Технологический подход к проблеме стабилизации метрологических характеристик танкеров / Т. О. Карклина // Ремонт речных судов: сборник научных трудов ЛИВТа, Л.: ЛИВТ, 1990. – С. 32-37.
5. Бимбереков, П.А. Исследование повреждаемости, методики освидетельствования и дефектации корпусных конструкций судов внутреннего и смешанного плавания / П.А. Бимбереков. – Новосибирск: НГАВТ, 2007. – 420 с.
6. Барышников, С.О. Измерение остаточных отклонений оси корпуса судно от исходного положения / С.О. Барышников // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова, 2024, Т. 16, № 5. – С. 749-761.
7. Пат. №2298162 Способ определения общих остаточных деформаций корпусов транспортных и/или 350 стояночных средств: Российская Федерация, МПК G01 M 5/00 / Бимбереков П.А.; заявитель и патентообладатель Бимбереков П.А. – №2006107268/28; заяв. 09.03.2006; опубл. 27.04.2007, бюл. №12.
8. Пат. №2293957 Способ контроля общих остаточных деформаций корпусов транспортных и/или стояночных средств: Российская Федерация, МПК G01 M 5/00, G01 L 1/06 / Бимбереков П.А.; заявитель и патентообладатель Бимбереков П.А. – №2006105924/28; заяв. 26.02.2006; опубл. 20.02.2007, бюл. №5.
9. Пат. №2435149 Способ определения остаточного продольного изгиба корпуса судна: Российская Федерация, МПК G 63 M 5/00 / Барышников С.О., Карклина Т.О., Чистов В.Б.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций – №22010106960/28; заяв. 24.02.2010; опубл. 27.04.2011, бюл. №33.
10. Барышников, С. О. Устранение остаточного перегиба корпусов судов: монография / С. О. Барышников. – СПб.: СПГУВК, 2011. – 200 с.
11. Бимбереков, П.А. Использование теоретических и эмпирических методов при построении моделей в задачах водного транспорта: учебное пособие для вузов водного транспорта / П.А. Бимбереков. – Новосибирск: СГУВТ, 2023. – 55 с.
12. Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации. Федеральный закон №24-ФЗ от 7 марта 2001 г. (ред. от 08.06.2020) / [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://base.consultant.ru> 18.05.2025.
13. Правила перевозок груза (речного транспорта), ч. I, Н. Новгород: ТОО "Фора", 1994. – 285 с.

References

1. FAU «Rossijskoe Klassifikacionnoe Obshchestvo». Pravila klassifikacii i postrojki sudov. URL: <https://rfclass.ru/izdaniya-rko/pravila-klassifikatsii-postroyki-i-osvidetelstvovaniya-sudov-vvp->

- sudov-smeshannogo-reka-more-plavaniya-plavuchikh-obektov/pravila-klassifikatsii-i-postroyki-sudov/ (data obrashcheniya 18.05.25).
2. Gunin, I. A. Vliyanie ostatochnykh i temperaturnykh progibov korpusa sudna na izgibayushchij moment ot vneshnih sil / I. A. Gunin // Trudy LIVTa. L.: Rechnoj transport, 1960, vypusk VI. – S. 24-32.
 3. Gunin, I. A. Obobshchenie dannyh po naturnym zameram ostatochnogo progiba korpusa i ustanovlenie ego vliyaniya na obshchuyu prochnost' sudov / I. A. Gunin // Trudy LIVTa. L.: Transport, 1972, vypusk 135. – S. 45-49.
 4. Karklina, T. O. Tekhnologicheskij podhod k probleme stabilizatsii metrologicheskikh harakteristik tankerov / T. O. Karklina // Remont rechnykh sudov: sbornik nauchnykh trudov LIVTa, L.: LIVT, 1990. – S. 32-37.
 5. Bimberekov, P.A. Issledovanie povrezhdaemosti, metodiki osvidetel'stvovaniya i defektatsii korpusnykh konstrukcij sudov vnutrennego i smeshannogo plavaniya / P.A. Bimberekov. – Novosibirsk: NGAVT, 2007. – 420 s.
 6. Baryshnikov, S.O. Izmerenie ostatochnykh otklonenij osi korpusa sudno ot iskhodnogo polozheniya / S.O. Baryshnikov // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova, 2024, T. 16, № 5. – S. 749-761. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-5-749-761
 7. Pat. №2298162 Sposob opredeleniya obshchih ostatochnykh deformacij korpusov transportnyh i/ili stoyanochnykh sredstv: Rossijskaya Federaciya, MPK G01 M 5/00 / Bimberekov P.A.; zayavitel' i patentoobladatel' Bimberekov P.A. – №2006107268/28; zayav. 09.03.2006; opubl. 27.04.2007, byul. №12.
 8. Pat. №2293957 Sposob kontrolya obshchih ostatochnykh deformacij korpusov transportnyh i/ili stoyanochnykh sredstv: Rossijskaya Federaciya, MPK G01 M 5/00, G01 L 1/06 / Bimberekov P.A.; zayavitel' i patentoobladatel' Bimberekov P.A. – №2006105924/28; zayav. 26.02.2006; opubl. 20.02.2007, byul. №5.
 9. Pat. №2435149 Sposob opredeleniya ostatochnogo prodol'nogo izgiba korpusa sudna: Rossijskaya Federaciya, MPK G 63 M 5/00 / Baryshnikov S.O., Karklina T.O., Chistov V.B.; zayavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj universitet vodnyh kommunikacij – №22010106960/28; zayav. 24.02.2010; opubl. 27.04.2011, byul. №33.
 10. Baryshnikov, S. O. Ustranenie ostatochnogo peregiba korpusov sudov: monografiya / S. O. Baryshnikov. – SPb.: SPGUVK, 2011. – 200 s.
 11. Bimberekov, P.A. Ispol'zovanie teoreticheskikh i empiricheskikh metodov pri postroenii modelej v zadachah vodnogo transporta: uchebnoe posobie dlya vuzov vodnogo transporta / P.A. Bimberekov. – Novosibirsk: SGUVT, 2023. – 55 s.
 12. Kodeks vnutrennego vodnogo transporta Rossijskoj Federacii. Federal'nyj zakon №24-FZ ot 7 marta 2001 g. (red. ot 08.06.2020) / [Elektronnyj resurs] Rezhim dostupa: <http://base.consultant.ru> 18.05.2025.
 13. Pravila perevozok gruzov (rechnogo transporta), ch. I, N. Novgorod: TOO "Fora", 1994. – 285 s.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Бимбереков Павел Александрович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры теории корабля, судостроения и технологии материалов, Сибирский государственный университет водного транспорта, 630099, Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: bimberekov@yandex.ru

Васильев Михаил Дьмустанович, учебный мастер кафедры теории корабля, судостроения и технологии материалов, Сибирский государственный университет водного транспорта, 630099, Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: mihail.miha.vasilev@mail.ru

Pavel A. Bimberekov, Dr. Sci. (Eng), Assistant professor, Professor of the Department Ship Theory, Shipbuilding and Materials Technology, Siberian State University of Water Transport, 630099, Novosibirsk, Shchetinkina str., 33, e-mail: bimberekov@yandex.ru

Mihail D. Vasilev, the training master of the Department Ship Theory, Shipbuilding and Materials Technology, Siberian State University of Water Transport, 630099, Novosibirsk, Shchetinkina str., 33, e-mail: mihail.miha.vasilev@mail.ru

Статья поступила в редакцию 28.04.2025; опубликована онлайн 20.06.2025.
Received 28.04.2025; published online 20.06.2025.