

УДК 629.124

**РАЗРАБОТКА 3D-МОДЕЛЕЙ НЕСАМОХОДНОЙ БАРЖИ  
ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 2300 ТОНН И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ  
ЕЕ КОРПУСА**

**Ленкевич Сергей Александрович**<sup>1</sup>, старший преподаватель

*e-mail:* [hidrokaf@bntu.by](mailto:hidrokaf@bntu.by)

**Власов Вячеслав Владимирович**<sup>1</sup>, старший преподаватель

*e-mail:* [hidrokaf@bntu.by](mailto:hidrokaf@bntu.by)

**Афанасьева Евгения Викторовна**<sup>1</sup>, магистрант

*e-mail:* [hidrokaf@bntu.by](mailto:hidrokaf@bntu.by)

<sup>1</sup> Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** В статье представлены результаты экспериментальных гидродинамических исследований 3D-моделей корпусов несамоходного судна (баржи) грузоподъемностью 2300 т. с переменной геометрией обводов в носовой и кормовой частях и различными соотношениями  $L/B$ . По результатам проведенных экспериментальных исследований установлен оптимальное отношение  $L/B$  с учетом минимальной осадки судна.

**Ключевые слова:** баржа, обводы, носовая часть, кормовая часть, угол наклона, прототип, главные размерения.

**DEVELOPMENT OF 3D MODELS OF A NON-SELF-PROPELLED BARGE WITH A  
LOADING CAPACITY OF 2300 TONS AND THE MAIN RESULTS OF  
EXPERIMENTAL STUDIES OF RESISTANCE TO THE MOTION OF ITS HULL**

**Lenkevich Sergey Aleksandrovich**<sup>1</sup>, Senior Lecturer

*e-mail:* [hidrokaf@bntu.by](mailto:hidrokaf@bntu.by)

**Vlasov Vyacheslav Vladimirovich**<sup>1</sup>, Senior Lecturer

*e-mail:* [hidrokaf@bntu.by](mailto:hidrokaf@bntu.by)

**Afanasyeva Evgenia Viktorovna**<sup>1</sup>, Master's Degree student

*e-mail:* [hidrokaf@bntu.by](mailto:hidrokaf@bntu.by)

<sup>1</sup>Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** The article presents the results of experimental hydrodynamic studies of 3D models of the hulls of a non-self-propelled vessel (barge) with a lifting capacity of 2300 tons with variable contour geometry in the bow and stern parts and different  $L/B$  ratios. Based on the results of experimental studies, the optimal  $L/B$  ratio was established taking into account the minimum draft of the vessel.

**Keywords:** barge, contours, bow, stern, tilt angle, prototype, main dimensions.

Для эффективной работы речного флота в любом направлении необходимо создание речных судов, обладающих минимальным сопротивлением движению, что связано в свою очередь с оптимизацией конструктивных параметров корпуса судна, которая зависит от большого количества факторов, к основным из которых относятся геометрия обводов носовой и кормовой частей судна и соотношения основных размерений судна  $L/B$  (где  $L$  – длина судна;  $B$  – ширина судна).

Оптимизация обводов корпуса для снижения сопротивления движению является одной из наиболее актуальных проблем гидродинамики судна. Величина сопротивления движению прямо связана с затратами энергии и топлива, от которых существенно зависят технико-эксплуатационные и экономические показатели судов.

Достоверные оценки влияния формы корпуса на сопротивление движению могут быть получены путем проведения модельного эксперимента. В последние годы аналогичные оценки все чаще выполняются и с помощью численного моделирования. Судя по материалам международного семинара по проблемам численного моделирования обтекания корпуса вязким потоком, при сетках с числом неизвестных порядка нескольких миллионов точность численного расчета несколько уступает модельному эксперименту, но уже сопоставима с ним [1, 2].

Особенностью как модельного эксперимента, так и численного моделирования в задаче оптимизации является недоступность решения обратной задачи. Доступно лишь определение сопротивления заданной формы корпуса, то есть решение прямой задачи. Получить оптимальные обводы можно на базе некоторого числа решений прямых задач, в которых рассматриваются начальная форма и ряд ее модификаций [3 – 13].

Окончательное решение о форме обводов корпуса следует принимать после сопоставления показателей сопротивления движению, полученных для нескольких вариантов проектируемого несамходного судна, путем гидродинамических испытаний моделей этого судна, т.к. статистические данные по построенным ранее однотипным судам не всегда позволяют получить обоснованное представление об элементах и обводах корпуса, обеспечивающих оптимальные пропульсивные качества. Таким образом, при проектировании несамходного судна приходится учитывать рекомендации, которые можно использовать лишь для оценки допустимых пределов изменения тех или иных параметров формы корпуса, не являющихся в общем случае наиболее выгодными.

Особенности обтекания корпуса несамходных судов внутреннего плавания являются причиной того, что параметры, определяющие форму его обводов, обычно существенно отличаются от оптимальных, в частности, чтобы обеспечить достаточную «заостренность» корпуса и тем самым снизить остаточное сопротивление, во многих случаях приходится увеличивать относительную длину (или отношение  $L/B$ ). Однако это увеличивает смоченную поверхность судна, а, следовательно, и сопротивление трения. В связи с указанным характером обтекания корпуса несамходных судов внутреннего плавания при разработке моделей особое внимание следует уделять выбору формы носовых и кормовых обводов.

Учитывая перечисленные выше факторы, разработка 3D-моделей осуществлялась путем разбивки корпуса баржи на три основных составляющих элемента: базовый носовой элемент, базовый кормовой элемент и цилиндрическую вставку. Соответственно к базовым основным элементам разрабатывались 3D-модели съемных носовых и кормовых частей.

Анализ результатов расчета основных размерений несамходных судов, представленных заказчиком НИР – ОАО «Белсудопроект», в рамках научно-технического договора № 3751/21, позволил выбрать три основных судна-прототипа по грузоподъемности, размерениями, геометрии обводов носовой и кормовой частей.



Используя численные параметры основных размерений несамоходных судов, были созданы цифровые 3D-модели в масштабе 1:150 (в соответствии с геометрическими размерами гидравлического лотка) трёх судов-прототипов (в дальнейшем прототип №1, прототип №2, прототип №3) с различной геометрией обводов носовой и кормовой частей, а также различным отношением  $L/B$  основных размерений несамоходного судна:

- прототип №1: длина судна  $L = 78,8$  м, ширина  $B = 15$ , осадка  $T = 2,8$  м,  $L/B = 5,25$ ;
- прототип №2: длина судна  $L = 85$  м, ширина  $B = 17$ , осадка  $T = 2,51$  м,  $L/B = 5$ ;
- прототип №3: длина судна  $L = 80$  м, ширина  $B = 17$ , осадка  $T = 2,63$  м,  $L/B = 4,7$ .

На цифровых 3D-моделях корпусов самоходного судна были предусмотрены различные типоразмеры геометрии обводов носовой и кормовой частей:

– прототип №1 был оцифрован с плоской носовой частью и переменным углом наклона  $\alpha = 15^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ , причем угол наклона кормовой части варьировался в пределах  $\beta = 11^\circ, 14^\circ$  и  $20^\circ$ . Отношение основных размерений составило  $L/B = 5,25$  (рисунок 1);

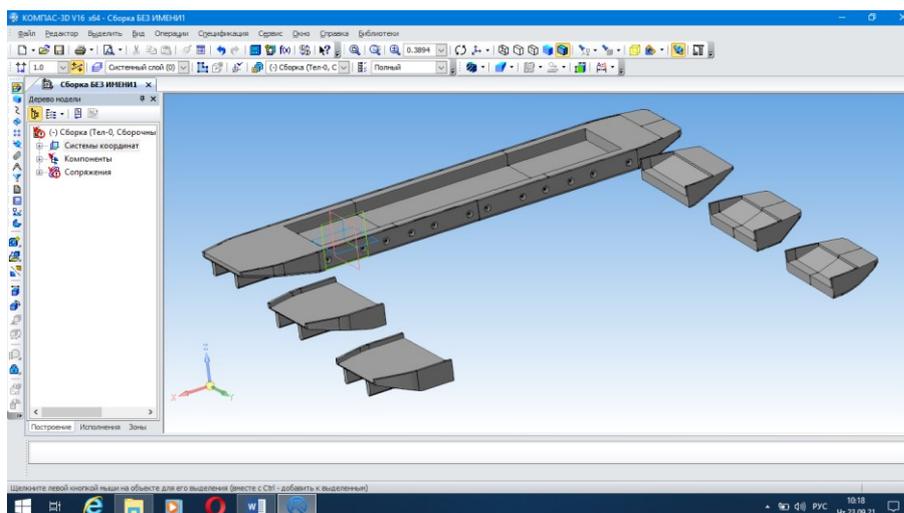


Рисунок 1 – Внешний вид 3D-модели прототипа №1 в сборе и сменные части оконечностей (нос и корма)

– прототип №2 был оцифрован с плоской носовой частью с  $\alpha = 25^\circ$  (угол выбран после анализа проведенных экспериментов с прототипом №1), с формой обводов с двойным углом подъема  $\alpha_1 = 5^\circ, \alpha_2 = 25^\circ$  в носовой части (углы выбраны в соответствии с данными мировой практики эксплуатации речных судов), с формой обводов носовой части с боковыми подрезами под углом к диаметральной плоскости  $\gamma = 40^\circ$  (угол выбран с учетом мирового многолетнего опыта эксплуатации речных судов), с ложкообразной формой обводов в носовой части с углом наклона хорды  $\alpha_2 = 20^\circ$  и радиусом кривизны  $R = 0,1$  м, а также с лекальной формой обводов. Отношение основных размерений составляло  $L/B = 5$  (рисунок 2);

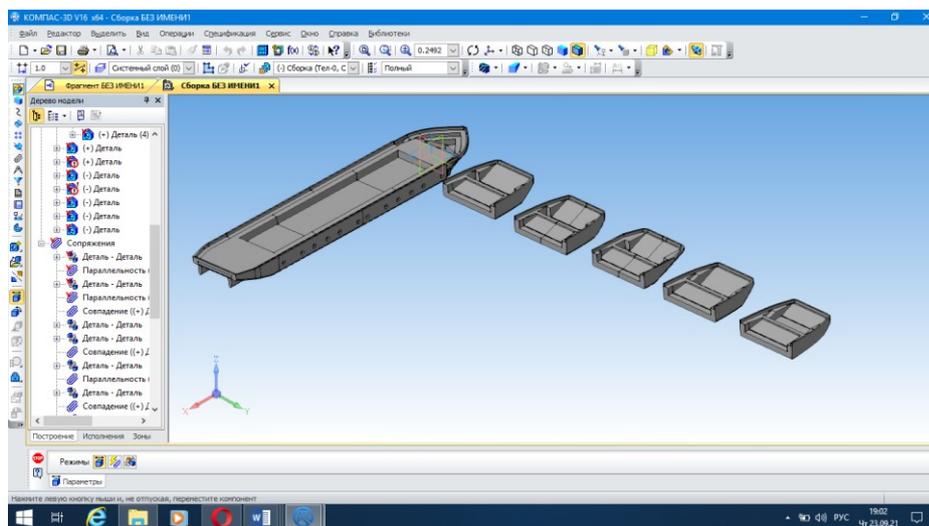


Рисунок 2 – Внешний вид 3D-модели прототипа №2 в сборе и сменные части носовых оконечностей

– прототип №3 был оцифрован с той же формой обводов носовой части, что и прототип №2, при этом отношение основных размерений составляло  $L/B = 4,7$ . Модели прототипов №2 и №3 имели корму с углом наклона к основной плоскости  $\beta = 14^\circ$  (рисунок 3).

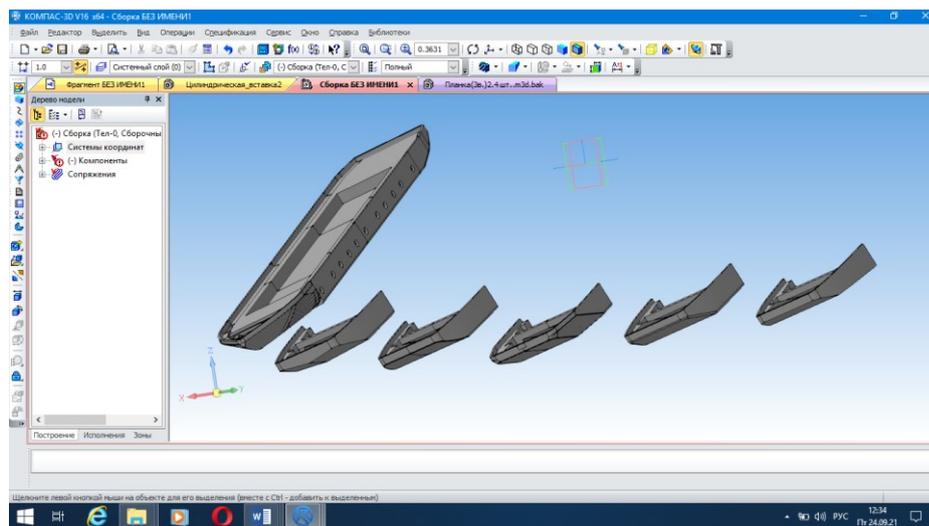


Рисунок 3 – Внешний вид 3D-модели прототипа №3 в сборе и сменные части носовых оконечностей

Экспериментальные гидродинамические исследования 3D-моделей корпусов несамоходного судна грузоподъемностью 2300 т. с переменной геометрией обводов в носовой и кормовой частях и различными соотношениями  $L/B$ , проведенные в гидравлическом лотке кафедры ГЭСВТГ БНТУ в режиме обращенного движения, позволили сделать следующие выводы и выбрать оптимальные параметры корпуса несамоходного судна (баржи):

- испытания 3D-моделей прототипа №1 показали, что наименьшим сопротивлением движения в диапазоне скоростей  $v = 0,13 - 0,23$  м/с обладает несамоходное судно с плоским носом с углами наклона  $\alpha$  к основной плоскости в диапазоне  $\alpha = 20 - 30^\circ$  при угле наклона кормовой части  $\beta = 14^\circ$ , причем осадка такого несамоходного судна составит  $T = 2,8$  м;
- испытания 3D-моделей прототипа №2 показали, что оптимальной формой носовой части в диапазоне скоростей  $v = 0,13 - 0,23$  м/с является плоский нос с углом наклона  $\alpha =$

25° к основной плоскости; форма обводов с двойным углом подъема ( $\alpha_1 = 5^\circ$ ,  $\alpha_2 = 25^\circ$ ) в носовой части в заданном диапазоне скоростей обеспечивает достаточно низкое сопротивление движению, однако возникающий значительный дифферент на корму создает предпосылки для заливания палубы; при движении на максимальных скоростях минимальное сопротивление движению обеспечивает форма обводов с боковыми подрезами под углом к диаметральной плоскости  $\gamma = 40^\circ$ . При этом осадка составляет  $T = 2,51$  м;

– испытания 3D-моделей прототипа №3 показали, что оптимальной формой носовой части в диапазоне скоростей  $v = 0,13 - 0,23$  м/с является форма обводов с двойным углом подъема ( $\alpha_1 = 5^\circ$ ,  $\alpha_2 = 25^\circ$ ) в носовой части, однако возникающий значительный дифферент на корму (как и на прототипе №2) создает предпосылки для заливания палубы; ложкаобразная и лекальные формы обводов в носовой части в заданном диапазоне скоростей обеспечивают достаточно низкое сопротивление движению, причем лекальная форма обеспечивает плавное возрастание сопротивления движению, что говорит о большей устойчивости на курсе данной модели по сравнению с ложкаобразной формой; при движении на максимальных скоростях 0,23 м/с и выше носовые части с плоской носовой частью с углом  $\alpha = 25^\circ$  и носовая часть с боковыми подрезами под углом к диаметральной плоскости  $\gamma = 40^\circ$  выравниваются по сопротивлению движению со всеми остальными носовыми оконечностями кроме лекальной, которая сохраняет более низкие показатели сопротивления движению. При этом осадка составляет  $T = 2,63$  м;

– при эксплуатации несамоходных судов на водных путях Республики Беларусь с большим количеством мелководных участков предпочтительным являются корпуса с минимальной осадкой. Это позволяет сделать вывод, что наиболее оптимальной формой обводов в носовой части являются обводы с углом подъема батоксов к грузовой ватерлинии  $\alpha = 25^\circ$ , а также обводы с тем же углом подъема батоксов  $\alpha$  с боковыми подрезами относительно диаметральной плоскости под углом  $\gamma = 40^\circ$ ; наиболее оптимальной формой обводов в кормовой части являются обводы с углом подъема батокса  $\beta = 14^\circ$ ,

– анализ результатов проведенных экспериментов по выбору оптимального отношения основных размерений судна  $L/B$  показал, что оптимальное отношение  $L/B$  с учетом минимальной осадки судна необходимо принимать равным 5.

Полученные результаты экспериментальных исследований 3D-моделей корпуса несамоходной баржи грузоподъемностью 2300 т. были далее представлены заказчику (ОАО «Белсудопроект») в качестве рекомендаций для дальнейшего использования в проектно-конструкторской документации при модернизации несамоходных судов подобного типа.

### Список литературы:

1. Larsson I. Benchmarking of computational fluid dynamics for ship flow: the Gothenburg 2000 Workshop / I. Larsson, F. Stern, V. J. Bertram – Ship Res, 2003. – Vol. 47. – P. 63-81.
2. Larsson L. CFD in ship hydrodynamics – results of the Gothenburg 2010 workshop / L. Larsson, F. Stern, M. Visonneau. – Proc. of the IV International Conference on Computational.
3. Павленко Г.Е. Сопротивление воды движению судов / Г.Е. Павленко. – М.: Морской транспорт, 1956. – 507 с.
4. Справочник по теории корабля: в 3 т. Т. 1. Гидромеханика. Сопротивление движению судов. Судовые движители / Под ред. Я. И. Войткунского. – Л.: Судостроение, 1985.
5. Протопопов В. Б. Конструкция корпуса судов внутреннего и смешанного плавания: учебник / В.Б. Протопопов, О.И. Свечников, Н.М. Егоров. – Л.: Судостроение, 1984. – 376 с.



6. Горбачев Ю.Н. Перспективный способ совершенствования конструктивных судов внутреннего и смешанного река-море плавания / Ю. Н. Горбачев, А. С. Буянов, А.В. Сверчков. Ручной транспорт (XXI век), 2014. – №6. – С. 28 – 34.
7. Экспериментальное исследование улучшенных обводов для тихоходного судна большой полноты: программа и материалы III междунар. науч.-технич. конф. «Экспериментальные методы теории корабля»: Н.Ф. Давыдов [и др.]. – Николаев: НУК, 2014.
8. Сизов В.Г. Об одном способе улучшения формы судна / В.Г. Сизов. – Вестник ОНМУ. – Вып. 19. – Одесса: ОНМУ, 2006. – С. 14 – 19.
9. Крейн М.Г. О форме судна наименьшего мичеллевского сопротивления / М. Г. Крейн. – Аннотации докл. АН СССР на Всесоюзном съезде по теоретической и прикладной механике. – М., 1960. – С. 111 – 115.
10. Печенюк, А.В. Эталонное тестирование ПК FlowVision в задаче моделирования обтекания судового корпуса / А.В. Печенюк. – Компьютерные исследования и моделирование, 2014. – Т. 6. – С. 889 – 899.
11. Вишневский, Л.И. Проектирование пропульсивного комплекса судна ограниченного района плавания на базе современных методов вычислительной гидродинамики / Л.И. Вишневский, Г.В. Егоров, Б.И. Станков, А.В. Печенюк. – Судостроение, 2006. – № 2.
12. Шишаева, А.С. Оптимизация положения элементов механизированного крыла с использованием программных комплексов FlowVision-НПС и IOSO / А.С. Шишаева, И.В. Москалев, С.В. Жлуктов и др. – САПР и графика, 2010. – №9.
13. Аксенов, А.А. Программный комплекс FlowVision как современный инструмент проектирования судовых обводов / А.А. Аксенов, С.В. Жлуктов, А.С. Петров и др. – Судостроение, 2013. – №4.

