

3. Волков, А.В. Способ повышения эффективности пропеллерной турбины в напорном водоводе / А. В.Волков, А. Г.Парыгин, А. А. Дружинин // HydroTurbo'2016: материалы 23 Международной Конференции по Гидроэнергетике, Зноймо (Чехия), 25–27 октября 2016 г.

4. Коркодинов, Я. А. Обзор семейства k - ε моделей для моделирования турбулентности / Я. А. Коркодинов // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. –2013. – № 2.

УДК 62-757.73

Разработка 3D моделей несамходной баржи грузоподъемностью 2300 т. и основные результаты экспериментальных исследований сопротивления движению ее корпуса

Качанов И. В.¹, Ключников В. А.¹, Ленкевич С. А.¹, Власов В. В.¹,
Афанасьева Е. В.²

¹Белорусский национальный технический университет

²БелНИИТ «Транстехника»

Минск, Республика Беларусь

В статье представлены результаты экспериментальных гидродинамических исследований 3D-моделей корпусов несамходного судна грузоподъемностью 2300 т. с переменной геометрией обводов в носовой и кормовой частях и различными соотношениями L/B .

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 размеров судна L/B (где L – длина судна; B – ширина судна).

Оптимизация обводов корпуса судна 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 наивыгоднейшими.

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 расчетов основных размерений несамходных судов, представленных заказчику 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 самоходных судов, были созданы цифровые 3D-модели в масштабе 1:150 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 самоходного 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 рассмотрены 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 $\beta = 11^\circ, 14^\circ, 20^\circ$. Отношение основных размерений составило $L/B = 5,25$ (рис. 1);

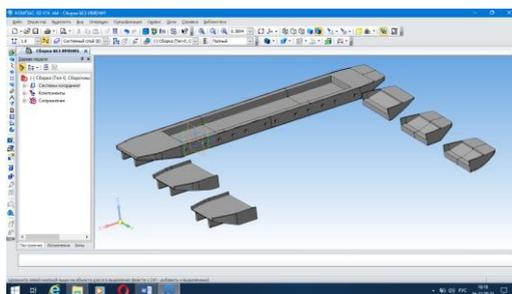


Рис. 1. Внешний вид 3D-модели прототипа № 1 в сборе и сменные части конечностей (нос и корма)

– 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° и радиусом кривизны $R = 0,1$ м, а также с лекальной формой обводов. Отношение основных размерений составляло $L/B = 5$ (рис. 2);

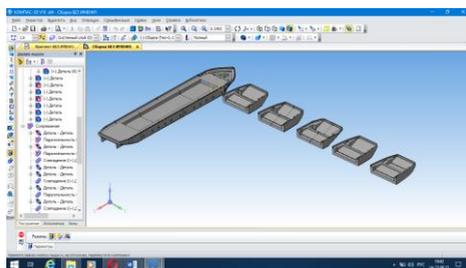


Рис. 2. Внешний вид 3D-модели прототипа № 2 в сборе и сменные части носовых оконечностей

– 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 $\beta = 14^\circ$ (рис. 3).

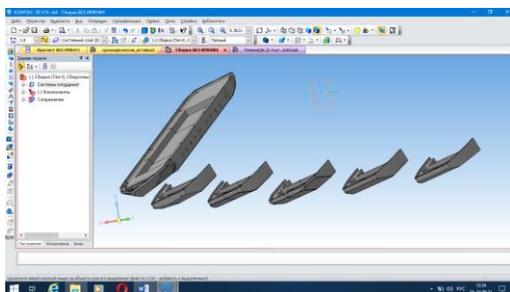


Рис. 3. Внешний вид 3D-модели прототипа № 3 в сборе и сменные части носовых оконечностей

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 длины корпуса судна L к ширине B , проведенные в гидравлическом лотке кафедры ГЭСВТГ БНТУ в режиме обращенного движения, позволили сделать следующие выводы и выбрать оптимальные параметры корпуса несамоходного судна:

– испытания 3D-моделей прототипа №1 показали, что наименьшим сопротивлением движения в диапазоне скоростей $v = 0,13–0,23$ м/с обладает несамohодное судно с плоским носом с углами наклона α к основной плоскости в диапазоне $\alpha = 20–30^\circ$ при угле наклона кормовой части $\beta = 14^\circ$, причем осадка такого несамohодного 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 $\alpha = 25^\circ$ 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; ложкообразная 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 ложкообразной 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 несамohодных судов на водных путях РБ 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 α с боковыми подрезами относительно диаметральной плоскости под углом $\gamma = 40^\circ$; наиболее оптимальной формой обводов в кормовой части являются обводы с углом подъема батоксов $\beta = 14^\circ$,

– 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 самоходной баржи грузоподъемностью 2300 т. были далее представлены заказчику (ОАО «Белсудопроект») в качестве рекомендаций для дальнейшего использования в проектно-конструкторской документации при модернизации самоходных судов подобного типа.

Литература

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 век*). – 2014. – № 6. – С. 28-34.

7. Давыдов, Н. Ф. Экспериментальное исследование улучшенных обводов для тихоходного судна большой полноты / Н. Ф. Давыдов [и др.]: Экспериментальные методы теории корабля: программа и материалы III междуна. науч.-технич. конф. – 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. Печенок // Судостроение, 2006. – № 2.

12. Шишаева, А. С. Оптимизация положения элементов механизированного крыла с использованием программных комплексов FlowVision-НРС 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 // Судостроение. – 2013. – № 4.

УДК 624.131.552

Эффективность демпфирования поверхностных волн в грунте при помощи инерционных плит переменной жесткости

Повколас К. Э.¹, Ali Abdullah Al-Robay², Saadoon Sura²

¹Белорусский национальный технический университет,

Минск, Республика Беларусь

²University of Al-Qadisiyah

Diwaniya, Iraq

Выполнено численное моделирование методом конечных элементов процессов демпфирования колебаний, распространяющихся в верхней толще грунтовой среды за счет размещения на пути их распространения барьеров в виде инерционных плит, выполненных из бетона. Рассмотрено несколько расчетных схем барьеров с различной конфигурацией их поперечных сечений при равном объеме бетона. Выявлены наиболее эффективные конструктивные решения. В качестве критерия эффективности принято относительное снижение вертикальных колебаний поверхности грунта за барьером.

Введение

Целью данной работы является выбор наиболее эффективного способа виброизоляции зданий и сооружений от вибраций, распространяющихся в грунтовой среде, от фундамента под машину, за счет устройства инерционного барьера из бетона на пути распространения колебаний. Для достижения поставленной цели выполнено численное 3D моделирование взаимодействия грунтовых волн с инерционными барьерами при их различных геометрических параметрах, но одинаковом объеме бетона.