

2. Шарий, В. Н. Получение стержневых изделий скоростным горячим выдавливанием с плакированием торцевой части: дисс... канд. техн. наук: 05.16.05 / В. Н. Шарий. – Минск, 2009. – 163 с.

3. Согришин, Ю. П. Штамповка на высокоскоростных молотах / Ю. П. Согришин, Л. Г. Гришин, В. М. Воробьев. – М.: Машиностроение, 1978. – 164 с.

4. Мещанчук, П. А. К вопросу определения истинной степени деформации и характера контактного трения при осадке стали Р18 в условиях высоких скоростей нагружения. / П. А. Мещанчук, Ю. П. Согришин // Высокоскоростная объемная штамповка. – М.: Машиностроение, 1969. – С. 85–92.

5. Грудев, А. П. Теория прессования металлов / А. П. Грудев. – М.: Металлургия, 1975. – 356 с.

6. Непершин, Р. И. Расчет усилия при высокоскоростном прессовании / Р. И. Непершин, В. И. Даценко, В. А. Матяж // Кузнечно-штамповочное производство. – 1972, – № 2. – С. 1–4.

7. Томленов, А. Д. Определение усилий процессов плоского и осесимметричного высокоскоростного прессования / А. Д. Томленов. – М.: Наука, 1970. – 340 с.

8. Костышев, В. А. Высокоскоростная штамповка [Электронный ресурс]: электрон, учеб. пособие / В. А. Костышев; Минобрнауки России, Самар, гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). – Электрон, текстовые и граф. дан. (1,91 Мбайт). – Самара, 2011. – 65 с.

УДК 621.1.016:536.2

**Экспериментальные исследования 3D-моделей составов судов, эксплуатируемых в режимах толкания и буксировки**

Качанов И. В., Ключников В. А., Ленкевич С. А.,  
Шаталов И. М., Щербакова М. К., Власов В. В.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В процессе работы проводились экспериментальные исследования 3D-моделей барже-буксирных составов с выдачей рекомендаций по их эффективной и рациональной эксплуатации на внутренних водных путях Республики Беларусь.*

Гидромеханика в настоящее время не позволяет теоретически предсказать с требуемой для практики точностью геометрию обводов корпуса

судна, кинематические и динамические характеристики потока вблизи поверхности судна и его сопротивление. Для количественных оценок этих характеристик используется модельный эксперимент на созданных 3D-моделях судов.

Для определения гидродинамических характеристик существующих барже-буксирных составов в ОАО «Белсудопроект» были разработаны цифровые модели судов исследуемого барже-буксирного состава (буксир-толкач проекта № 570 и баржа проекта № 775), а также в БНТУ были разработаны модели с оптимизированными обводами корпуса баржи для улучшения технологичности конструкции носовой части корпуса без ухудшения или с повышением показателей по сопротивлению движению судна, которые в последствии были напечатаны в БНТУ на 3D-принтере марки Premier-3D N1.

В первом варианте модернизации разрабатывались носовые части корпуса баржи с сохранением габаритных размеров корпуса и отношения габаритных длины и ширины  $L/B = 7,3$  для последующего сравнения гидродинамических характеристик с прототипом – баржа проекта 775.

Второй вариант модернизации предполагал разработку моделей с повышением грузоподъемности баржи путем увеличения габаритных размеров корпуса судна и отношением  $L/B = 5,43$  (с учетом ограниченной осадки несамоходных судов (барж) внутреннего плавания). Причем, при проектировании учитывалась возможность использования составных частей баржи проекта 775 в качестве донора при формировании корпуса баржи нового проекта.

Далее изготовленные 3D-модели барже-буксирного состава были испытаны на сопротивление их движению в гидродинамическом лотке в гидравлической лаборатории кафедры «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика».

Принимая во внимание габаритные ограничения лотка для проведения испытаний был выбран оптимальный масштаб моделей, равный 1:100. Создание цифровых моделей производилось в выбранном масштабе.

Также, разработка 3D-моделей производилась с учетом плотности материала для последующей 3D-печати с получением правильной развесовки судна, с целью обеспечения на спокойной воде посадку судна в грузу (в соответствии с масштабом) прямо и на ровный киль и исключить дифферент на его оконечности.

Исходные данные, используемые для проектирования первого варианта:

- 1) длина судна  $L = 73,68$  м;
- 2) ширина судна  $B = 10$  м;
- 3) высота борта  $H = 2,3$  м;
- 4) водоизмещение в грузу  $D = 1342,6$  т;

5) осадка судна в грузу  $T = 1,85$  м.

На рис. 1 представлены варианты сборки с заменяемыми носовыми и неизменной кормовой частями для варианта № 1.

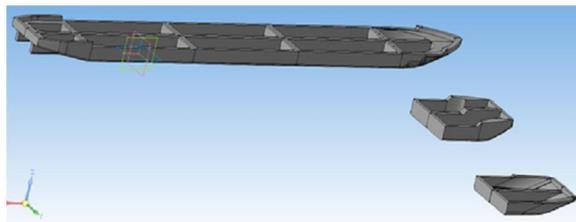


Рис. 1. Внешний вид 3D-модели варианта № 1 в сборе и сменные части носовых оконечностей

Исходные данные для проектирования второго варианта:

- 1) длина судна  $L = 75$  м;
- 2) ширина судна  $B = 13,8$  м;
- 3) высота борта  $H = 2,3$  м;
- 4) водоизмещение в грузу  $D = 1735$  т;
- 5) осадка судна в грузу  $T = 1,88$  м.

На рис. 2 представлены варианты сборки с заменяемыми носовыми и кормовой частями для варианта № 2.

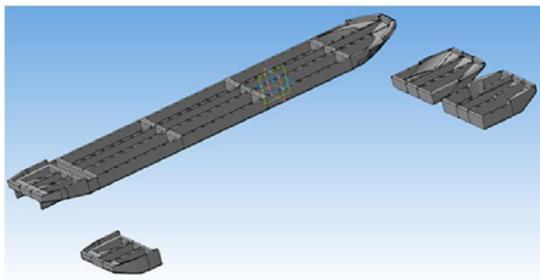


Рис. 2. Внешний вид 3D-модели варианта № 2 в сборе и сменные части носовых и кормовых оконечностей

На рис. 3 схематично представлены варианты размещения баржи в лотке относительно измерительного комплекса [1].

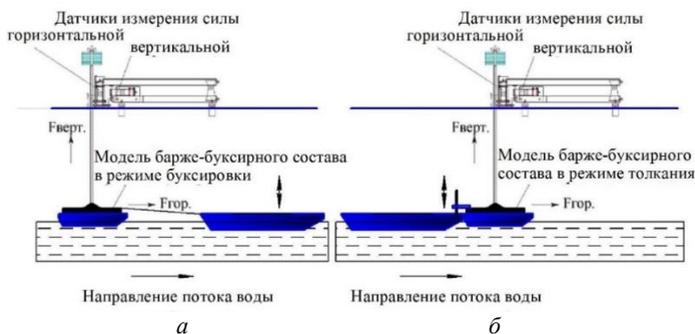


Рис. 3. Схемы измерения силового воздействия потока воды на модели корпуса судна и внешний вид расположения датчиков измерительного комплекса, где модель баржи соединяется с измерительной штангой посредством: *а* – гибкой сцепки (нитки); *б* – полужесткой сцепки в виде пластины, которая жестко закреплена на измерительной штанге

На схеме, представленной на рис. 3, *а* модель баржи соединяется с измерительной штангой посредством гибкой сцепки (нитки), и сама модель свободно колеблется на воде. Данная схема предназначена для экспериментальных исследований влияния изменения геометрии обводов и отношения  $L/B$  корпуса баржи в режиме буксировки.

На схеме, представленной на рис. 3, *б* модель баржи соединяется с измерительной штангой посредством полужесткой сцепки в виде пластины, которая жестко закреплена на измерительной штанге, а с баржей соединяется посредством двух цилиндрических направляющих, установленных на корме баржи и сама модель свободно колеблется на воде в вертикальном направлении. Данная схема предназначена для экспериментальных исследований влияния изменения геометрии обводов и отношения  $L/B$  корпуса баржи в режиме толкания.

Экспериментальные исследования моделей барже-буксирных составов проводились с целью оценки сил сопротивления движению при различных вариантах конструктивных параметров корпуса баржи с дальнейшим выбором его оптимальных параметров (формы обводов носовой части и отношения  $L/B$ ), соответствующих минимальному сопротивлению движения [2; 3].

В исследованиях, в качестве критерия подобия был выбран критерий Фруда. Для оценки изменения сил сопротивления движению были выбраны три скорости состава с шагом относительно расчетной скорости  $v = 2$  км/ч, что позволило для проведения исследований в гидродинамической лотке выбрать следующий диапазон скоростей движения составов в реальных условиях водотока: 6 км/ч, 8 км/ч и 10 км/ч.

Исходя из выше сказанного, число Фруда, для трех выбранных значений скоростей движения состава соответственно составило:  $Fr_6 = 0,062$ ,  $Fr_8 = 0,083$ ,  $Fr_{10} = 0,104$ . Тогда средние скорости обтекания потока жидкости корпуса модели в гидродинамическом лотке при моделировании будут равны:  $v_6 = 0,16$  м/с,  $v_8 = 0,22$  м/с,  $v_{10} = 0,27$  м/с [2; 3].

Обеспечение указанных значений средней скорости потока жидкости в гидродинамическом лотке производилось за счет изменения расхода воды, подаваемой в лоток. Контроль значений средней скорости обтекания потока производился при помощи гидрометрической микровертушки ГМЦМ-1, которая устанавливалась на расстоянии, исключающем ее влияние на обтекание модели [4].

Для сравнительного анализа в режиме толкания использовались результаты экспериментальных исследований для отношения  $L/B = 7,3$  и для отношения  $L/B = 5,43$  с различными типами обводов. По экспериментальным данным были построены графические зависимости, представленные на рис. 4.

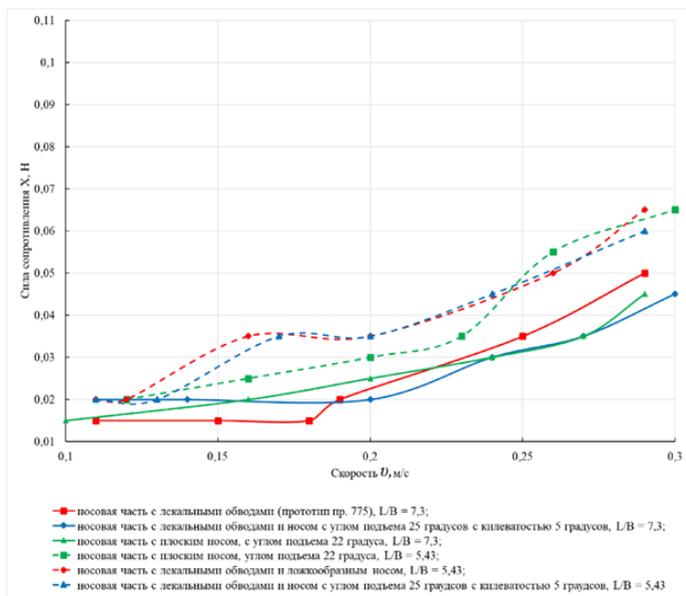


Рис. 4. График изменения силы сопротивления движению модели состава в режиме толкания в зависимости от формы носовой части модели баржи, отношения  $L/B$  и средней скорости набегающего потока

Из анализа графиков видно, что для отношения  $L/B = 5,43$  корпуса модели баржи, сила сопротивления движению  $X$  больше при всех формах носовой части чем для модели баржи при отношении  $L/B = 7,3$ .

При рабочих скоростях набегающего потока до 0,22 м/с (эксплуатационная скорость 8 км/час) оптимальные значения демонстрируют обводы с носовой частью с лекальными обводами и килеватым носом и лекальные обводы прототипа – проект 775 при  $L/B = 7,3$ , а при  $L/B = 5,43$  оптимальные значения демонстрируют обводы с носовой частью с плоским носом с углом подъема  $22^\circ$ .

Для сравнительного анализа в режиме буксировки использовались результаты экспериментальных исследований для отношения  $L/B = 7,3$  и для отношения  $L/B = 5,43$  с различными типами обводов. По экспериментальным данным были построены графические зависимости, представленные на рис. 5.

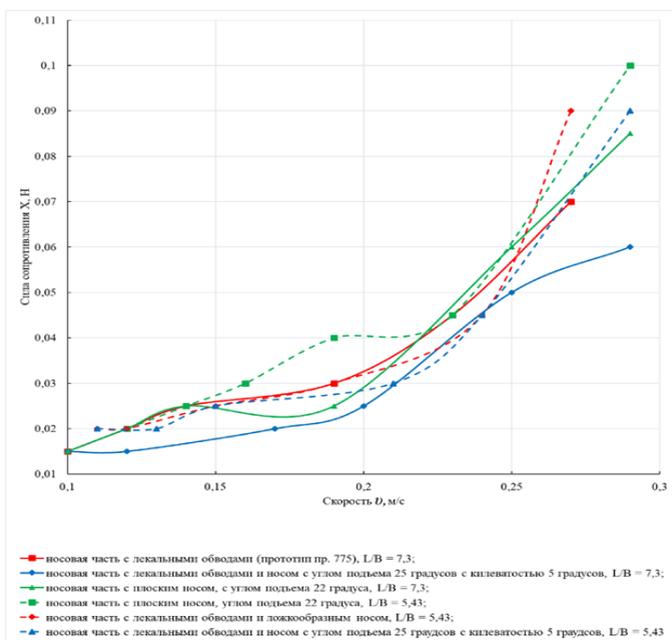


Рис. 5. График изменения силы сопротивления движению модели состава в режиме буксировки в зависимости от формы носовой части модели баржи, отношения  $L/B$  и средней скорости набегающего потока

Из анализа графиков видно, что при рабочих скоростях набегающего потока до 0,22 м/с (эксплуатационная скорость 8 км/час) оптимальные значения демонстрируют обводы с носовой частью с лекальными обводами и килеватым носом и обводы с плоским носом и углом подъема  $22^\circ$  при  $L/B = 7,3$ , а при  $L/B = 5,43$  оптимальные значения демонстрируют обводы с носовой частью с лекальными обводами и килеватым носом и лекальные обводы с ложкообразным носом.

Из анализа представленных зависимостей видно, что при малых скоростях (0,16–0,22 м/с) лекальные обводы повышают эффективность движения состава даже при режиме буксировки. Однако при выходе на рабочие скорости (0,22–0,27 м/с) режим толкания эффективнее для всех типов обводов, а в режиме буксировки сопротивление движению резко возрастает.

Из зависимостей видно, что при выходе на рабочие скорости (0,22–0,27 м/с) режим толкания эффективнее порядка на 25–40 % в сравнении с буксировкой для обоих составов.

### Литература

1. Программно-аппаратный комплекс измерения усилий. Паспорт. Минск: БНТУ, 2008. – 2 с.
2. Войткунский, Я. И. Сопротивление движению судов. 2-е изд., перераб. и доп. / Я. И. Войткунский. – Л.: Судостроение, 1988. – 288 с.
3. Богданов, Б. В. Проектирование толкаемых составов и составных судов / Б. В. Богданов, Г. А. Алчуджан, В. Б. Жинкин. – Л.: Судостроение, 1981. – С. 224.
4. Микровертушка гидрометрическая ГМЦМ-1 (КК 001.00.00.00.000ПС). Руководство по эксплуатации. Свид. об утв. типа РФ RU.C.28.001.A № 34138, 2014. – 10 с.

УДК 626.3:627.86

### **Оценка степени оптимизации параметров мелиоративных каналов (на примере магистральных каналов ирригационных систем Китая)**

Михневич Э. И., Ли Цзэмин  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Предлагается методика оценки степени оптимизации параметров эксплуатируемых каналов на основе коэффициента оптимизации, представляющего отношение скорости течения воды в русле при максимальном расходе к скорости в канале с гидравлически наивыгоднейшим сечением. Эта методика позволяет также установить диапазон оптимальных значений*