

11	Шпилька ГОСТ 22042-76	520	Сталь 3сп	M12-6gx70
12	Шайба ГОСТ 11371-78	520	Сталь 3сп	A.12
13	Гайка ГОСТ 5918-73	520	Сталь 3сп	M12-6H

Также при разработке проекта модернизации следует учесть затраты на изготовление фундаментов и системы электропитания компрессорного оборудования.

УДК 629.1

Е.В. Афанасьева, С.И. Охремчик, М.А. Черник,  
Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Республика Беларусь

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ОБВОДОВ БАРЖИ НА  
СОПРОТИВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЮ БАРЖЕ-БУКСИРНОГО СОСТАВА И  
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ КОРПУСА  
БАРЖИ ПРОЕКТА 775**

*Научный руководитель – Власов В. В., Шаталов И. М., Щербакова М. К.*

Один из основных принципов рациональной эксплуатации составов судов состоит в наиболее эффективном использовании режимов их движения в различных условиях плавания, что становится возможным лишь в том случае, когда достаточно точно определены силы сопротивления окружающей среды движению судов при определенных условиях [1–2].

При разработке практических рекомендаций по выбору наивыгоднейшей формы судовых обводов, обеспечивающей возможность снижения величины сопротивления, обычно возникают следующие затруднения:

- 1) на величину сопротивления воды влияют многочисленные характеристики теоретического чертежа судна, определяющие геометрическую форму его корпуса,
- 2) выбор оптимальной формы обводов корпуса зависит от скоростного режима движения судна и особенностей его эксплуатации,
- 3) обводы корпуса, оптимальные в отношении ходовых качеств судна, не всегда являются приемлемыми с точки зрения обеспечения других его

навигационных качеств или необходимых эксплуатационно-технических и экономических показателей [2].

Особенности судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания обусловлены экономическими требованиями и специфическими условиями эксплуатации. Их размерения жестко ограничиваются глубиной фарватера, габаритами шлюзов и извилистостью судового хода внутренних водных путей.

Поэтому изложенные ниже данные о влиянии геометрических элементов судна на величину сопротивления воды следует рассматривать как общие указания, надлежащее выполнение которых позволяет принять за основу определенный тип обводов корпуса, оптимальный с точки зрения ходовых качеств судна. Выбранные таким образом обводы корпуса проектируемого судна путем сравнительно небольших изменений можно привести в соответствие с другими требованиями, предъявляемыми к судну.

Так как баржи относятся к тихоходным судам, то введение цилиндрической вставки позволяет упростить технологический процесс корпусных работ, снизить стоимость постройки судна и придать более удобную конфигурацию грузовым трюмам, а также несколько заострить оконечности судна при неизменном значении коэффициента продольной полноты. Последнее обстоятельство может привести к более благоприятной интерференции поперечных волн носовой и кормовой групп и к снижению волнового сопротивления тихоходных судов с полными обводами корпуса.

На величину сопротивления воды влияет форма носовой и кормовой ветвей строевой по шпангоутам, определяющая в известной мере характер обводов корпуса судна в оконечностях. Наибольшее сопротивление возникает при использовании клинообразных обводов в оконечностях. Наименьшая величина сопротивления воды движению несамоходных судов при различных условиях плавания получается в случае применения носовых обводов ложкообразной формы и кормовых обводов типа «плоская ложка». Сانهобразная форма оконечностей занимает промежуточное положение.

Для тихоходных судов с полными обводами корпуса рекомендуется применять строевые по шпангоутам, имеющие выпуклую или прямую носовую ветвь, а кормовая ветвь должна иметь вид прямой линии [2].

Выбор формы носовой ветви грузовой ватерлинии должен производиться в зависимости от относительной скорости судна, определяющей характер распределения наибольших гидродинамических давлений в районе расположения первого гребня носовой группы волн, а, следовательно, и величину волнового сопротивления.

Результаты экспериментальных исследований, проведенных в гидродинамическом лотке кафедры ГЭСВТГ БНТУ в рамке договора №2402/20с

от 02.06.2020 г. С ОАО «Белсудпроект» показывают, что при сравнительно малых относительных скоростях движения ( $Fr < 0,22$ ) граница зоны наибольших гидродинамических давлений, обусловленных действием судовых волн, находится от форштевня на расстоянии, не превышающем 10–15 % длины судна. Таким образом, в нашем случае должно выполняться условие, при котором длина носовой оконечности будет находиться в пределах 7,5–11 м.

Для уменьшения заливаемости судна на волнении носовые шпангоуты должны иметь достаточный развал бортов в надводной части, начинающийся не очень близко от грузовой ватерлинии. Повышению мореходных качеств судна также способствует наклон носовой ветви батоксов в сочетании с наклонным форштевнем.

Качество кормовых обводов определяется в гидродинамическом отношении тем, насколько выбранная форма этих обводов обеспечивает плавный, безотрывный сход струй с кормовой оконечности судна.

Этим требованиям в достаточной степени удовлетворяют обводы типа «плоская ложка» или «сани», которые позволяют придать необходимую плавучесть кормовой оконечности и обеспечить плавный сход струй с корпуса. Для обеспечения этих условий прежде всего необходимо, чтобы кормовые ветви батоксов были достаточно пологими с углами притыкания в кормовой оконечности судна (в плане) не более  $12^\circ$ .

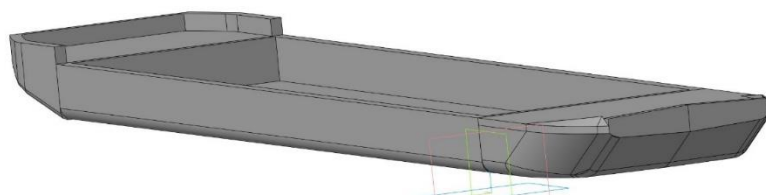
У баржи проекта 775 кормовая оконечность имеет обводы типа «сани» с углами притыкания в кормовой оконечности судна  $11^\circ$ , поэтому можно рекомендовать сохранение кормовой оконечности без изменений.

Первый этап экспериментальных исследований проводился для модели базирующейся на прототипе баржи проекта 775 с изменением носовой оконечности и сохранением остальных размерных величин без изменений.

Модель с носовой частью типа «сани» с плоским носом в режиме буксировки продемонстрировала результат худший в сравнении с прототипом баржи проекта 775, а в режиме толкания при выходе на рабочие скорости показала снижение сопротивления движению порядка 14 %.

Модель с лекальными обводами и носом с углом подъема  $25^\circ$  и малой килеватостью показала наилучший результат как в сравнении с прототипом, так и моделью с плоским носом. Снижение сопротивления движению при буксировке в сравнении с прототипом достигало 13 %, а в режиме толкания – 14 %.

Таким образом, можно рекомендовать форму обводов с лекальными обводами и носом с углом подъема  $25^\circ$  и малой килеватостью для модернизации баржи проекта 775 (рисунок 1).

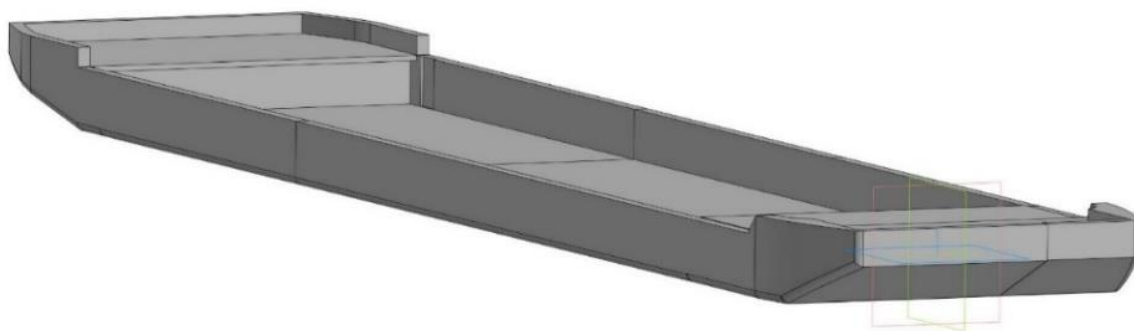


**Рисунок 1 – Рекомендуемая форма обводов при модернизации баржи проекта 775 с заменой носовой части**

Второй этап экспериментальных исследований проводился для модели с возможностью увеличения ее грузоподъемности. Модернизация в данном случае предусматривает увеличение длины баржи до  $L = 75$  м и ширины судна до  $B = 13,8$  м ( $L/B = 5,43$ ), что позволит увеличить грузоподъемность до порядка 1700 т.

С учетом того, что было установлено преимущество режима толкания, следует учитывать при рекомендации формы обводов повышение реальных рабочих скоростей состава. Поэтому при разработке рекомендаций следует рассматривать участок исследований для чисел Фруда в диапазоне  $Fr = 0,22-0,27$  (8–10 км/ч), который отражает преимущественный эксплуатационный режим состава.

Модель с носовой частью типа «сани» с плоским носом и углом подъема  $22^\circ$  в режиме толкания демонстрирует преимущество при числах Фруда до значения  $Fr = 0,25$ , а при дальнейшем увеличении скорости сопротивление движению возрастает на 10 % в сравнении с моделями с лекальными обводами. К тому же, плоская форма обводов подвержена повышенному силовому воздействию на корпус в носовой части при движении на открытой воде, что сужает возможности транспортировки грузов по районам плавания. Тем не менее, данную форму обводов можно рекомендовать для судов эксплуатирующихся на мелководье с низкими скоростями передвижения, либо в качестве второго судна в баржевом кильватерном составе с расширением районов плавания (рисунок 2).

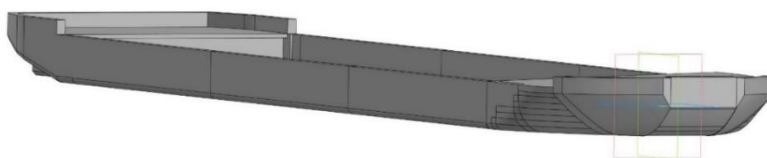


**Рисунок 2 – Рекомендуемая форма обводов баржи для эксплуатации на мелководье (носовая часть с плоским носом и углом подъема  $22^\circ$ )**

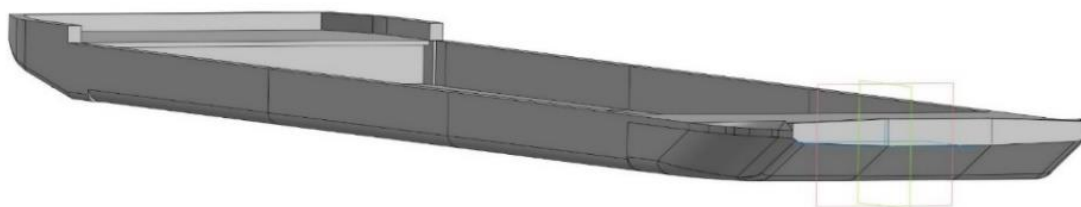
Модели с лекальными обводами при скоростях эксплуатации демонстрируют практически паритет по значениям сопротивления движению (рисунок 3 и 4).

Однако при скоростях движения свыше 10 км/ч модель с лекальными обводами и носом с углом подъема  $25^\circ$  с малой килеватостью показывает снижение сопротивления движению порядка на 8 % в сравнении с моделью с лекальными обводами и ложкообразным носом.

Таким образом, оба варианта лекальной формы обводов можно рекомендовать для изготовления корпуса баржи. Причем, данные типы обводов можно рекомендовать в качестве обводов головной баржи в кильватерном составе с возможностью эксплуатации как на мелководье, так и на крупных водоемах и озерах.



**Рисунок 3 – Рекомендуемая форма обводов головной баржи (ложкообразная носовая часть)**



**Рисунок 4 – Рекомендуемая форма обводов головной баржи (носовая часть с углом подъема  $25^\circ$  и малой килеватостью)**

При разработке проекта следует руководствоваться наибольшей технологичностью изготовления корпуса баржи, а также возможностью использования для постройки части годных материалов и конструкций корпусов судов, подлежащих списанию.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Ваганов, Г.И. Тяга судов (Методика и примеры выполнения судовых тяговых расчетов). Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / Г.И. Ваганов, В.Ф. Воронин, В.К. Шанчурова – М. : Транспорт, 1986. – 199 с.

2. Войкутинский, Я.И. Справочник по теории корабля: в трех томах. Том 1. Гидромеханика. Сопротивление движению судов. Судовые движители / Под ред. Я. И. Войткунского. – Л.: Судостроение, 1985. – 768 с., ил.

УДК 629.1

Е.В. Афанасьева, Р.М. Колпаков, И.Д. Лохан,  
Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Республика Беларусь

**АНАЛИЗ ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
БАРЖЕ-БУКСИРНЫХ СОСТАВОВ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ НА  
ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В  
УСЛОВИЯХ МЕЛКОВОДЬЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО  
ИХ МОДЕРНИЗАЦИИ**

*Научный руководитель – Качанов И. В., д.т.н, профессор, Ленкевич С. А.*

При выполнении научно-технического договора №2402/20с от 02.06.2020 г. с ОАО «Белсудопроект» были проведены следующие виды работ:

- анализ современной научно-технической литературы в области эксплуатации барже-буксирных составов на внутренних водных путях (реки, каналы, озера, водохранилища), в том числе Республики Беларусь;
- теоретические и экспериментальных исследования технико-эксплуатационных характеристик барже-буксирных составов, эксплуатируемых на внутренних водных путях, в том числе на мелководье;
- разработка технических предложений, в том числе рекомендаций, по модернизации барже-буксирных составов с целью определения их оптимальных технико-эксплуатационных характеристик.

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы и дать некоторые рекомендации по модернизации барже-буксирных составов:

1. Расчетным методом установлено, что при эксплуатационной скорости барже-буксирного состава (буксир-толкач проекта 570+баржа проекта 775) 8 км/час сила сопротивления движению в режиме буксировки на 36 % больше чем в режиме толкания.

2. По результатам экспериментальных исследований установлено, что при скорости потока воды  $v = 0,18$  м/с (7 км/ч), сила сопротивления  $X$  движению моделей состава (буксир-толкач проекта 570+баржа проекта 775) в режиме буксировки на 40 % больше, чем при режиме толкания. С ростом скорости эта разница возрастает и при скорости  $v = 0,28$  м/с (10 км/ч) сила сопротивления движению при буксировке, почти в два раза больше, чем при режиме толкания.