

4. Стриганова М.Ю. Об интегрировании дифференциальных уравнений неустановившегося постепенно изменяющегося движения потока в открытом русле в условиях высокогорья при прорыве плотины / М.Ю. Стриганова [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 3. – С. 328–334. – DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-3.328. – EDN: ВВННОВ.

УДК 621.1.016:536.2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ БАРЖЕ- БУКСИРНЫХ СОСТАВОВ НА ВОДОТОКАХ БЕЛАРУСИ

*профессор, д т. н И.В. Качанов, доцент, к. т. н В.А. Ключников научный
сотрудник НИЛ ОМД С.А. Ленкевич., студент Климович В.А., студент Махнач Н.А.
Белорусский национальный технический университет*

Введение

Один из основных принципов рациональной эксплуатации составов судов состоит в наиболее эффективном использовании режимов движения в различных условиях плавания, что становится возможным лишь в том случае, если достаточно точно известны силы сопротивления среды движению судов при определенных условиях [1–3].

Сопротивление состава судов можно определить как по аналитическим выражениям, так и с помощью натуральных и модельных испытаний. Наиболее полную и достоверную картину можно получить с помощью модельных испытаний в опытовых бассейнах или гидродинамических лотках.

Кроме того, развитие техники на данном этапе позволяет изготавливать модели с высокой точностью относительно теоретического чертежа благодаря применению 3D печати.

Гидродинамическое взаимодействие судов в составе оказывает существенное влияние на обтекание каждого судна в зависимости от места расположения его в составе, а также от формы и размеров последнего.

Основная часть

При выполнении научно-технического договора между кафедрой «ГЭСВТГ» БНТУ и ОАО «Белсудопроект» были проведены оценочные расчеты силы сопротивления движению барже-буксирных составов (буксир-толкач проекта 570 и баржа 775). Основные результаты расчета представлена в таблицах 1, 2.

Таблица 1 – Основные результаты расчёта силы сопротивления движению барже-буксирного состава в режиме буксировки

№ п/п	Наименование параметра	Численные значения параметра						
		5,44	5,99	6,53	7,62	8,71	9,80	11,97
1	Скорость судна, км/ч	5,44	5,99	6,53	7,62	8,71	9,80	11,97

2	Полное сопротивление состава при буксировке, X, кН	18	22	26	36	47	62	105
---	--	----	----	----	----	----	----	-----

Таблица 2 – Основные результаты расчёта силы сопротивления движению барже-буксирного состава в режиме толкания

№ п/п	Наименование параметра	Численные значения параметра						
1	Скорость судна, км/ч	5,44	5,99	6,53	7,62	8,71	9,80	11,97
2	Полное сопротивление состава при буксировке, X, кН	13	16	19	25	33	44	79

Для анализа полученных результатов был построен сводный график (рисунок 1).

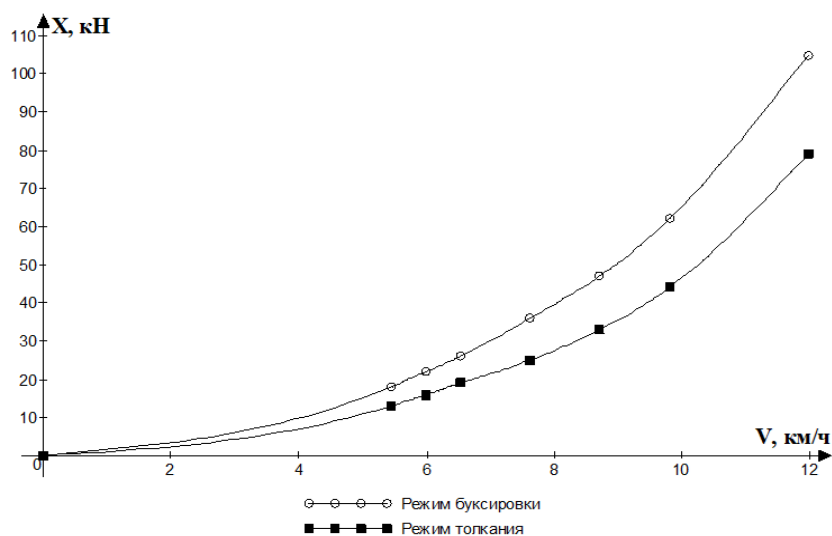


Рисунок 1 – График изменения силы сопротивления движению состава судов в режиме толкания и буксировки в зависимости от скорости движения состава

Из анализа графиков следует, что при эксплуатационной скорости барже-буксирного состава 8 км/час сила сопротивления движению в режиме буксировки на 36% больше чем в режиме толкания.

Далее были проведены экспериментальные исследования в гидродинамическом лотке при обращенном движении 3D-моделей барже-буксирных составов (буксир-толкач проекта 570 и баржа 775) (рисунок 2), которые эксплуатируются на водных путях РБ, в режиме буксировки и толкания.

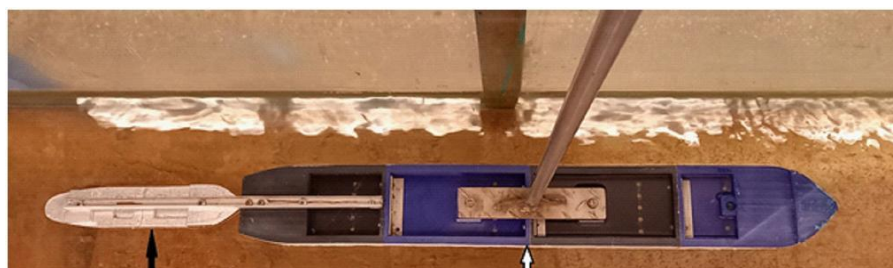


Рисунок 2 – Вид сверху 3D-модели состава судов из баржи проекта №775 и буксира-толкача проекта №570

Для сравнительного анализа были взяты значения силы сопротивления движению (X, H), полученные для режима буксировки при расстоянии между 3D-моделями баржи и буксира $L = 0,38$ м. Такое расстояние между моделями геометрически подобно реальной длине гака.

На рисунке 3 представлены графические зависимости изменения экспериментальной силы сопротивления (X, H) движению 3D-моделей состава в режимах буксировки и толкания в зависимости от средней скорости ($v, м/с$) воды в гидродинамическом лотке.

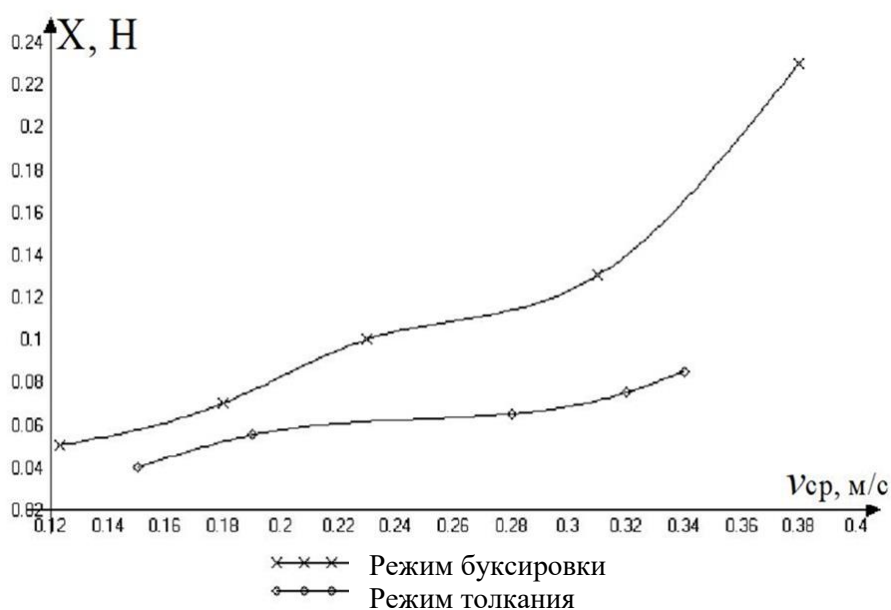


Рисунок 3 – Зависимость силы сопротивления (X, H) движению модели состава в режимах буксировки и толкания от средней скорости потока ($v, м/с$) в режиме обращенного движения

Анализ графиков показывает, что при скорости потока воды $v = 0,18$ м/с, сила сопротивления движению X моделей состава в режиме буксировки на 40% больше, чем при режиме толкания. С ростом скорости эта разница возрастает и при скорости $v = 0,28$ м/с сила сопротивления движению при буксировке, почти в два раза больше, чем при режиме толкания. Скорость $v = 0,18$ м/с обращенного движения соответствует эксплуатационной скорости барже-буксирного состава (порядка 7–8 км/ч). Сравнение результатов расчета (36%) и эксперимента (40%) показывает их достаточно хорошую сходимость (корреляцию).

Также исследовалась сила сопротивления X движению 3D-моделей модернизированных составов судов (барже буксирных составов) на основе оптимизации обводов носовой части и изменения отношения L/B корпуса баржи в режимах толкания и буксировки в гидродинамическом лотке.

На рисунке 4 представлен сравнительный график изменения экспериментальной силы сопротивления движению (X , Н) моделей составов прототипа (буксир пр. 570+баржа пр.775) и состава из буксира пр. 570 и модернизированной носовой части баржи пр. 775 с соотношением $L/B = 7,3$ в режимах толкания и буксировки.

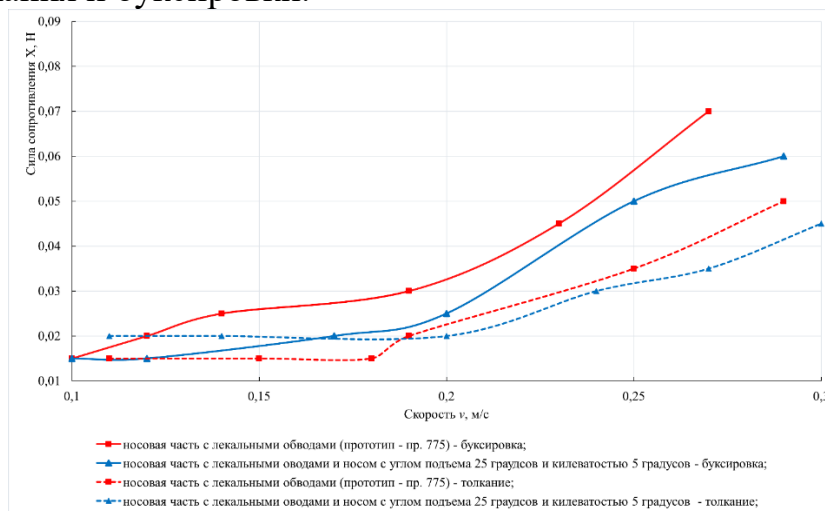


Рисунок 4 – График изменения силы сопротивления движению моделей состава судов в режимах толкания и буксировки при $L/B = 7,3$

Из рисунка 4 видно, что при выходе на рабочие скорости (0,22–0,27 м/с) режим толкания эффективнее порядка на 40% в сравнении с буксировкой для обоих составов.

На рисунке 5 представлен сравнительный график для составов с измененным соотношением $L/B = 5,43$ корпуса баржи и различными обводами носовой части в режимах толкания и буксировки.

Из рисунка 5 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 при режиме буксировки сопротивление движению резко возрастает.

Рассматривая зависимости на рисунке 5 следует учитывать, что в режиме толкания реальный состав будет двигаться в большей степени с повышенными скоростями и видимое на графиках преимущество буксировки при малых скоростях движения не актуально при выполнении реального рейса барже-буксирного состава.

Так, в зависимости от типа обводов режим толкания показывает в среднем на 25–30% снижение сопротивления движению состава с баржей с соотношением $L/B = 5,43$ в сравнении с ее буксировкой.

Также проводились исследования симметричной формы обводов корпуса баржи (плоский нос с углом подъема 22°), в режимах толкания и буксировки в зависимости от средней скорости (v , м/с) набегающего потока в режиме обращенного движения (рисунок 6). Данный тип обводов рассматривался с точки зрения эффективности реверсивного движения баржи.

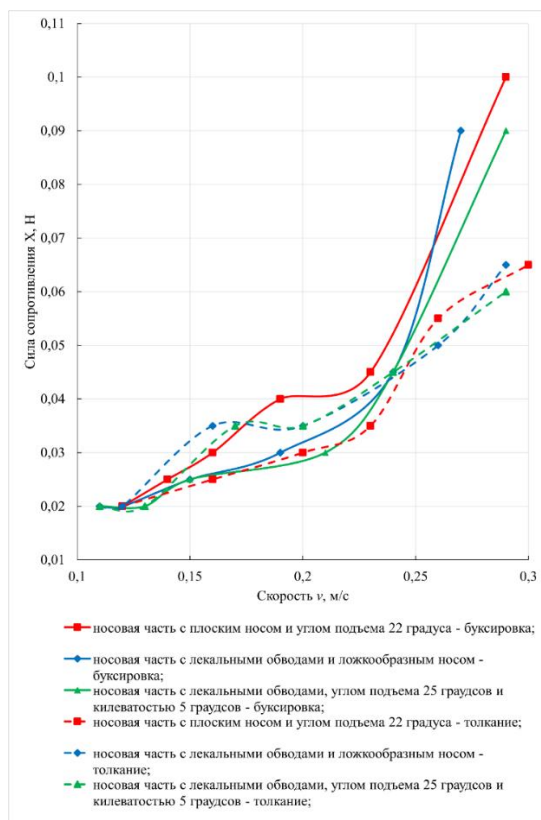


Рисунок 5 – График изменения силы сопротивления движению моделей состава судов в режимах буксировки и толкания при $L/B = 5,43$

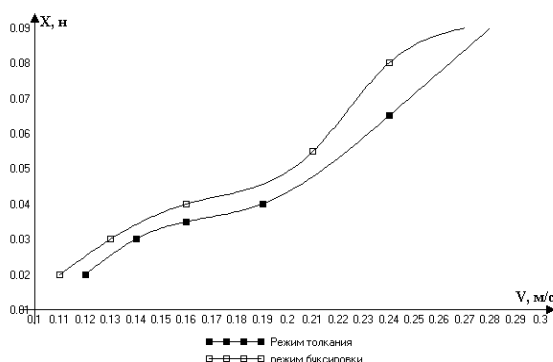


Рисунок 6 – График изменения силы сопротивления (X , Н) движению 3D-моделей состава, для симметричной формы обводов корпуса баржи, в режимах толкания и буксировки в зависимости от средней скорости набегающего потока (v , м/с) в режиме обращенного движения

Анализ графиков (рисунок 6) показывает, что сила сопротивления движению у модели с симметричными обводами корпуса баржи в режиме толкания меньше, чем в режиме буксировки. Однако значения сопротивления движению значительно выше в сравнении с другими типами обводов и для рекомендации симметричных обводов требуются дополнительные исследования с другими типами обводов.

Заключение

Из вышеперечисленного следует, что наличие толкача за составом улучшает обтекание кормовой оконечности концевого (последнего в составе)

судна и тем самым снижает коэффициент счала, т.е. при прочих равных условиях коэффициент счала толкаемых составов всегда меньше, чем буксируемых. Поэтому для толкания состава требуется меньшая мощность, чем для его буксировки на тросе.

Толкаемые составы имеют меньшее сопротивление воды движению, по сравнению с буксируемыми, вследствие отсутствия влияния потока, отбрасываемого движителем, и рыскливости состава относительно толкача, а также из-за того, что толкач находится в зоне попутного потока от состава.

Из анализа полученных графиков следует, что при скорости потока воды $v = 0,22-0,27$ м/с (эксплуатационная скорость прототипа 8–10 км/час), сила сопротивления движению моделей состава в режиме буксировки на 40 % больше, чем при режиме толкания.

Следует отметить, что исследования, проведенные Нижегородским институтом инженеров водного транспорта, показали, что метод толкания по сравнению с обычной буксировкой судов на тросе дает увеличение скорости буксировки на 8–15%, увеличивает упорную силу толкача по сравнению с силой тяги на гаке на 12–29%, буксировочный к.п.д. возрастает на 20–51%, себестоимость перевозки снижается на 10–34%. При толкании судов улучшаются надежность управления и маневровые качества караванов [4].

Выводы, сделанные нижегородским институтом инженеров водного транспорта, полностью коррелируют с данными, полученными кафедрой «ГЭСВТГ» БНТУ при выполнении договора № 2402/20с от 02.06.2020 г. с ОАО «Белсудопроект».

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.
3. Басин, А.М. Гидродинамика судна / А.М. Басин, В.Н. Анфимов. – Л.: Речной транспорт, 1961. – 684 с.
4. Ермолаев, Г.Г. Морское судовождение / Г.Г. Ермолаев [и др.]; под ред. Г.Г. Ермолаева. – 3-е изд. – Москва: издательство «Транспорт», 1970. – 265 с.