

## ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

УДК 630\*378

DOI: 10.15350/2306-2827.2016.4.47

### ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОДЫ РАВНОМЕРНОМУ ДВИЖЕНИЮ ЖЁСТКИХ ПЛАВУЧИХ КОНТЕЙНЕРОВ В УСЛОВИЯХ МЕЛКОВОДЬЯ

*Г. В. Кудрявцев, С. В. Посыпанов*

Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова,  
Российская Федерация, 163002, Архангельск, набережная Северной Двины, 17

E-mail: g.kudryavcev@narfu.ru, s.posypanov@narfu.ru

*Представлены сведения о конструкции плавучих контейнеров для транспортировки лесоматериалов и других грузов по малым и средним рекам. Предложены регрессионные модели для определения коэффициента сопротивления воды равномерному движению контейнера в условиях мелководья. Дана оценка характера и степени влияния определяющих факторов на этот коэффициент. Приведены выражения для вычисления указанного сопротивления.*

**Ключевые слова:** плавучий контейнер; экспериментальные исследования; равномерное движение; сопротивление воды; скорость; транспорт лесоматериалов.

**Введение.** Одним из наиболее дешёвых видов транспорта лесоматериалов являются судовые перевозки, а наиболее распространённым их видом – перевозки в баржах. Использование барж возможно в основном на крупных магистральных реках и в течение непродолжительного времени (в период половодья) на средних реках. Доступность удалённых лесных ресурсов в основных лесных регионах России зачастую могут обеспечить лишь средние и, главным образом, малые реки, благодаря большой разветвлённости их сети. Для обеспечения судовых перевозок по этим рекам следует решить вопрос замены барж на другие устройства для транспортировки лесоматериалов по воде соответствующих габаритов. Для решения указанной задачи нами предложены конструкции жёсткого плавучего

контейнера [1], или баржевого модуля (БМ) и баржевого состава (БС) из них [2]. Габариты БС определяются количеством БМ, установленных по его длине и ширине, и подбираются под условия реки в определённый период времени. БМ позволяет без потерь при минимизации осадки транспортировать лесоматериалы, в том числе ограниченной плавучести, по малым и средним рекам и более полно использовать лесные ресурсы из удалённых лесоизбыточных районов. При этом могут быть использованы буксирные суда КС-110-48 и КС-131М. Применение БМ возможно также и для перемещения других грузов, в том числе при организации так называемого северного завоза. Конструкция и технологические операции, связанные с БМ, подробно описаны в работах [3, 4].

© Кудрявцев Г. В., Посыпанов С. В., 2016.

**Для цитирования:** Кудрявцев Г. В., Посыпанов С. В. Исследование сопротивления воды равномерному движению жёстких плавучих контейнеров в условиях мелководья // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2016. № 4 (32). С. 47–56. DOI: 10.15350/2306-2827.2016.4.47

Для выполнения технологических и транспортных расчётов, связанных с перемещением БМ и составов из них, необходимы сведения о сопротивлении воды, возникающем при их движении. Очевидно, что на начальном этапе данный вопрос следует решить применительно к отдельным БМ, рассматривая их равномерное движение. Учитывая, что данные устройства предназначены в первую очередь для малых и средних рек, при указанном решении обязательно должно быть учтено влияние мелководья.

При изучении состояния вопроса обнаружено немало работ, посвящённых исследованиям движения твёрдых тел в жидкости. Наибольший интерес для нас представляют публикации, связанные с перемещением в воде лесотранспортных единиц. К ним относятся труды В. Н. Худогова [5], А. А. Митрофанова [6], М. М. Овчинникова [7], В. П. Корпачева [8, 9] и других авторов. Приняты к сведению также исследования движения судов. Ими занимались, например, L. Larsson [10], С. Kleinstreuer [11] и многие др. Отметим при этом, что БМ имеют гораздо менее обтекаемую форму даже по сравнению с наиболее простыми корпусами судов. Это обусловлено в основном необходимостью их компактной установки в БС. От лесотранспортных единиц БМ отличаются главным образом местной конфигурацией и материалом обтекаемых поверхностей.

Известна также работа, посвящённая равномерному движению в воде жёстких контейнеров [12], однако в ней не учтено влияние мелководья, которое, по предварительной информации из вышеперечисленных источников, может быть весьма существенным и поэтому не может быть проигнорировано при использовании БМ на малых и средних реках. Кроме того, корректность этого исследования вызывает существенные сомнения. Так, в частности, согласно полученному в его результате уравнению регрессии увеличение

ширины и осадки контейнера при постоянстве их соотношения не приводит к изменению сопротивления воды. Разумеется, это неверно. Таким образом, был сделан вывод о целесообразности дополнительных исследований для получения указанных нами сведений. Настоящая работа базируется на ранее опубликованных трудах и является их развитием применительно к БМ, используемым в условиях мелководья.

**Цель работы** – получение информации о сопротивлении воды равномерному движению БМ в условиях мелководья. Для достижения поставленной цели были определены следующие **задачи**:

1) установить факторы, влияющие на силу сопротивления воды равномерному движению БМ;

2) разработать методику и выполнить экспериментальные исследования на моделях процесса взаимодействия БМ с водным потоком при равномерном прямолинейном движении в условиях мелководья;

3) используя метод множественной регрессии, получить математические модели для коэффициента полного гидродинамического сопротивления воды БМ в рассматриваемых условиях;

4) выполнить анализ уравнений регрессии, в результате которого оценить характер и степень влияния определяющих факторов на величину коэффициента полного гидродинамического сопротивления БМ.

**Методы исследования.** Теоретические и экспериментальные исследования основаны на научных положениях гидромеханики, теории подобия и размерностей (физического моделирования), методах планирования эксперимента, математического анализа и статистики. В гидромеханике силу полного гидродинамического сопротивления равномерному движению твёрдого тела в жидкости принято определять по формуле Ньютона [5, 6]

$$R = c \frac{\rho}{2} \Omega v^2, \quad (1)$$

где  $c$  – коэффициент полного гидродинамического сопротивления;  $\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;  $\Omega$  – характерная площадь, м<sup>2</sup>;  $v$  – скорость движения, м/с.

По аналогии с лесотранспортными единицами при продольном движении:

$$\Omega = BT, \quad (2)$$

где  $B$  и  $T$  – соответственно ширина и осадка БМ, м.

На величину полного гидродинамического сопротивления воды  $R$  равномерно движению БМ оказывают влияние следующие факторы: форма и размеры подводной части БМ, направление движения, скорость буксировки, ограниченность потока, плотность и вязкость жидкости, характеристика поля гравитационных сил. При конструктивно принятой форме БМ форма и размеры его подводной части могут быть охарактеризованы одним её линейным размером, в качестве которого нами принята средняя осадка БМ  $T$ , и безразмерными геометрическими параметрами – относительной шириной  $B/T$  и относительной длиной  $L/T$ , где  $L$  – абсолютная длина модуля. Ограниченность потока на малых и средних реках обусловлена преимущественно лимитированной глубиной  $h$ . При исследовании также целесообразнее оперировать относительной глубиной  $h/T$ . Символьное решение задачи, с учётом изложенного, имеет вид:

$$R = f \left( \rho; \mu; v; g; T; \frac{h}{T}; \frac{B}{T}; \frac{L}{T} \right), \quad (3)$$

где  $\mu$  – динамический коэффициент вязкости, Па·с;  $g$  – характеристика поля гравитационных сил, м/с<sup>2</sup>.

Символьное решение, используя методы теории подобия и размерностей [13], привели к виду:

$$c = \psi \left( Re; Fr; \frac{h}{T}; \frac{B}{T}; \frac{L}{T} \right), \quad (4)$$

где  $Re$  – число Рейнольдса;  $Fr$  – число Фруда, вычисляемые по формулам:

$$Re = \frac{\rho v T}{\mu}, \quad (5)$$

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gT}}. \quad (6)$$

Установлено, что для плохо обтекаемых тел с фиксированными точками отрыва пограничного слоя зависимость от числа  $Re$  очень мала, поэтому обычно при подобных исследованиях ею пренебрегают, тем более, что одновременное моделирование по числам  $Re$  и  $Fr$  невозможно [13]. Таким образом, изменив знак функции, можно записать решение задачи в следующем виде

$$c = \gamma \left( Fr; \frac{h}{T}; \frac{B}{T}; \frac{L}{T} \right). \quad (7)$$

Для получения данной зависимости в явном виде потребовались экспериментальные исследования. Проведены они были на моделях, так как натурные опыты довольно сложны и трудоёмки. Эти исследования проведены нами в лаборатории САФУ.

Безразмерные критерии в правой части уравнения (7) являются определяющими факторами для коэффициента полного гидродинамического сопротивления, они же являются и критериями подобия модельных и натуральных явлений. Для соблюдения этого подобия следовало обеспечить равенство указанных критериев в натуральных и модельных условиях. Геометрический масштаб моделирования был принят 1:20 с учётом размеров бассейна и базовых размеров контейнера, обоснованных в работе [12]. При этом соотношение скоростей буксировок в модельных и натуральных условиях, исходя из равенства  $Fr_m = Fr_n$ , определяется выражением

$$v_m = v_n \sqrt{l_l}, \quad (8)$$

где  $v_m$  – скорость модели, м/с;  $v_n$  – скорость в натуральных условиях, м/с;  $l_l$  – геометрический масштаб модели.

Диапазоны варьирования безразмерных определяющих факторов устанавли-

вались исходя из наиболее вероятных значений соответствующих размерных величин. При этом опирались на базовые размеры контейнера [12]: ширина 4,8 м, длина 7,0–14,0 м. Изменение осадки предполагалось в диапазоне 0,44–1,34 м, глубины – 0,53–6,43 м, скорости – 0,9–1,7 м/с. Отметим, что скоростной диапазон в данном случае является переходно-промежуточным между соответствующими диапазонами обычных лесотранспортных единиц и тихоходных судов. При этом минимальные и максимальные значения безразмерных критериев были по относительной ширине  $B/T$  – 3,6 и 10,9, по относительной длине  $L/T$  – 5,2 и 31,8, по относительной глубине  $h/T$  – 1,2 и 4,8, по числу Фруда  $Fr$  – 0,248 и 0,819.

Всего было проведено 90 серий опытов, в каждой серии по пять дублированных. Таким образом, всего было выполнено 450 опытов. Количество необходимых дублированных опытов определено расчётом по результатам статистической обработки пробной серии при принятой допустимой относительной погрешности 5%. Модели БМ в ходе опытов буксиро-

вали при помощи нитеблочной системы (рис. 1). Силу тяги задавали массами грузов. Для фиксации параметров движения модели использовали тахометрический преобразователь (бесконтактный датчик ВС-401), который обеспечивал формирование импульсов, частота повторения которых пропорциональна частоте прохождения тахометрических светоотражающих меток на вращающемся блоке. Для записи и обработки сигналов, поступающих от преобразователя, использовали программное обеспечение «ZETLAB».

Дальнейшую обработку полученных данных выполняли в «MS Office Excel» с использованием специально написанного макроса. При этом по каждому опыту получали график зависимости скорости модели от времени и соответствующую таблицу. По указанному графику устанавливали скорость равномерного движения. Силу полного гидродинамического сопротивления при равномерном движении  $R$  принимали равной силе тяги. Коэффициент полного гидродинамического сопротивления  $s$  для данного опыта определяли с помощью выражений (1) и (2).

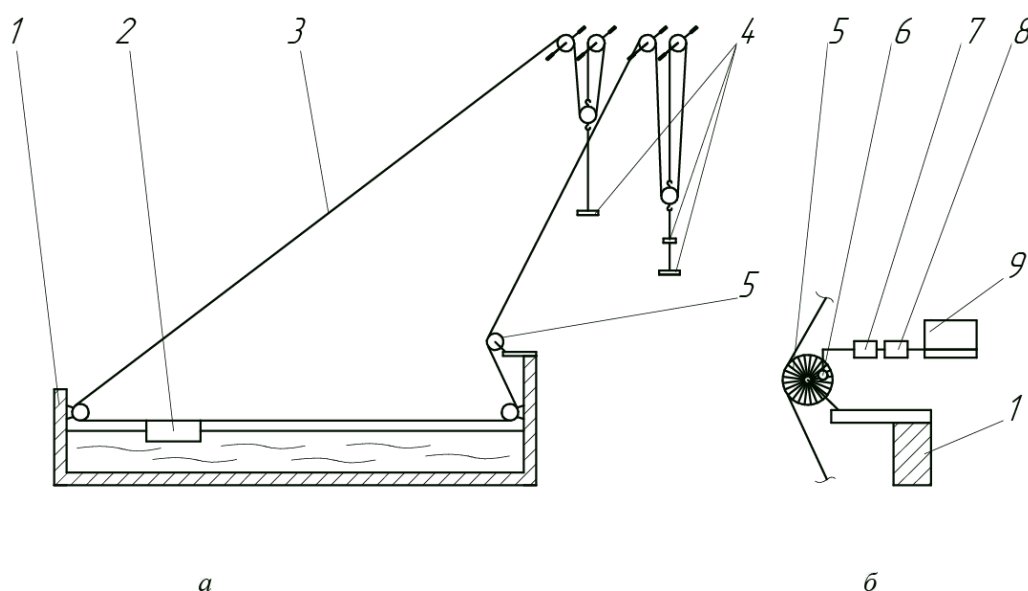


Рис. 1. Схема лабораторной установки: а – бассейн для опытов и буксировочная система; б – система регистрации; 1 – бассейн; 2 – модель БМ; 3 – нитеблочная система; 4 – грузы; 5 – блок с насечками; 6 – бесконтактный датчик оборотов ВС-401; 7 – дифференциальный усилитель ZET-410; 8 – аналого-цифровой преобразователь ZET-220; 9 – ноутбук

Отметим, что в данном случае мы сочли нецелесообразным использование приёма разделения полного сопротивления воды на сопротивления трения и остаточное с пересчётом первой составляющей при переходе от модели к натурному объекту. Это объясняется тем, что у плохо обтекаемых тел с фиксированными точками отрыва пограничного слоя и относительно небольшой площадью трения составляющая трения сравнительно мала [8,5]. Указанный приём имеет смысл при исследованиях движения судов, у которых составляющая сопротивления трения значительна. Копирование его при модельных исследованиях гидродинамических характеристик лесотранспортных единиц не всегда имеет смысл. Это замечание не относится к плотам, которые имеют очень большую площадь трения.

Статистическая обработка экспериментальных данных реализована преимущественно с помощью программы «Statistica». В ходе статистической обработки определили расчётное значение  $G$ -критерия Кохрена  $G_{расч}$ , которое оказалось равным 0,036. Табличное значение этого критерия  $G_{табл}$  составило в данном случае 0,040 [14]. Так как  $G_{расч} < G_{табл}$ , то приняли гипотезу об однородности дисперсий опытов. Дисперсия воспроизводимости для проведённых опытов составила 0,000143.

Принятый тип моделей для коэффициента  $c$  – регрессионное уравнение второго порядка с учётом взаимодействия факторов. Расчёты по получению конкретного вида моделей выполняли, используя метод множественной регрессии с пошаговым включением переменных [15]. Значимость коэффициентов уравнений регрессии определяли с помощью  $t$ -критерия Стьюдента. Слагаемые с незначимыми коэффициентами удалены из уравнений.

**Результаты и их обсуждение.** Расчёты показали, что зависимость коэффициента  $c$  от относительной глубины реки

существенно меняется в пределах принятого для неё диапазона, поэтому для получения достаточно точных моделей его пришлось разбить на две части. Для  $h/T = 3,0-4,8$  получили уравнение регрессии

$$c = 1,024 + 0,786Fr + 0,00875 \frac{L}{T} - 0,0432 \frac{h}{T} - 0,106 \frac{B}{T} - 0,0293Fr \frac{L}{T} + 0,000648Fr \frac{L}{T} \frac{h}{T} \frac{B}{T} - 0,0164Fr \frac{h}{T} \frac{B}{T} - 0,000421 \frac{L}{T} \frac{h}{T} \frac{B}{T} + 0,0171 \frac{L}{T} \frac{B}{T} + 0,0125 \frac{h}{T} \frac{B}{T} - 0,00329 \left( \frac{L}{T} \right)^2 - 0,0154 \left( \frac{B}{T} \right)^2, \quad (9)$$

а для  $h/T = 1,2-3,0$

$$c = 1,124 + 1,688Fr + 0,0238 \frac{L}{T} - 0,147 \frac{h}{T} - 0,0771 \frac{B}{T} - 0,0697Fr \frac{L}{T} + 0,00528Fr \frac{L}{T} \frac{B}{T} + 0,000436Fr \frac{L}{T} \frac{h}{T} \frac{B}{T} - 0,139Fr \frac{h}{T} - 0,113Fr \frac{B}{T} - 0,000349 \frac{L}{T} \frac{h}{T} \frac{B}{T} + 0,0222 \frac{L}{T} \frac{B}{T} + 0,0139 \frac{h}{T} \frac{B}{T} - 0,00484 \left( \frac{L}{T} \right)^2 - 0,0232 \left( \frac{B}{T} \right)^2. \quad (10)$$

Величина коэффициентов детерминации  $R^2$  для первой модели составила 0,986, а для второй – 0,994, что свидетельствует о достаточно высокой достоверности аппроксимации исходных данных. Экспериментальная проверка показала, что при относительной глубине 4,8 и более дно практически не оказывает влияния на рассматриваемый коэффициент. В та-

ких случаях расчёт коэффициента  $c$  может быть выполнен с помощью формулы (9) с подстановкой  $h/T = 4,8$ .

В полученных моделях отражено взаимодействие определяющих факторов, следовательно, степень, а иногда и характер влияния одних зависит от величины других и они могут быть оценены только в результате расчётов, соответствующих определённому сочетанию факторов. Для представления общей картины приведём следующие сведения. Рассматриваемый коэффициент сопротивления  $c$ , согласно полученным уравнениям регрессии, линейно возрастает с увеличением числа Фруда (рис. 2), которое взаимодействует с другими факторами. Так, в частности, на указанном графике видно, что с уменьшением относительной глубины влияние  $F_r$  заметно возрастает. Изменение числа Фруда в диапазоне от 0,250 до 0,470 приводит к увеличению коэффициента сопротивления при  $h/T = 4,8$  примерно на 11 %, а при  $h/T = 1,2$  – на 18 %. Разное превышение между смежными линиями отражает отмеченный выше факт существенного изменения степени влияния относительной глубины в границах принятого диапазона на коэффициент сопротивления, что наглядно демонстрируют графики, приведённые на рис. 3. Уменьшение относительной глуби-

ны от 4,8 до 3,0 (рис. 3, а) приводит к незначительному увеличению рассматриваемого коэффициента. В диапазоне 1,2–3,0 (рис. 3, б) степень влияния указанного фактора существенно возрастает. В целом же в данном случае уменьшение  $h/T$  от 4,8 до 1,2 вызывает увеличение коэффициента  $c$  примерно на 40 %. Отметим, что попытка получить общую регрессионную модель для всего диапазона  $h/T = 1,2–4,8$  с квадратичной зависимостью коэффициента  $c$  от  $h/T$  оказалась нерезультативной из-за ложного минимума, характерного для случаев с асимптотическим приближением кривых к прямым линиям [14]. Замена квадратичной зависимости на линейные с разбивкой диапазона на части позволила получить достаточно точные модели.

Коэффициент сопротивления  $c$ , согласно приведённым данным, возрастает с существенным увеличением относительной длины контейнера в рассматриваемом примере незначительно, однако степень её влияния несколько меняется с изменением других факторов. Характер же её влияния может даже поменяться на противоположный. С увеличением относительной ширины контейнера рассматриваемый коэффициент уменьшается. Этот фактор значительно сильнее влияет на выходную величину, чем относительная длина.

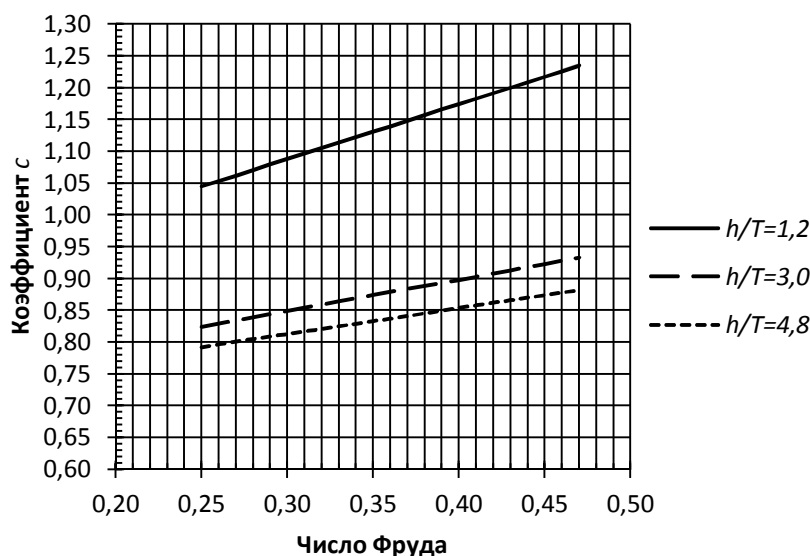


Рис. 2. Характер зависимостей  $c = f(Fr)$  при  $B/T = 3,6$  и  $L/T = 5,2$

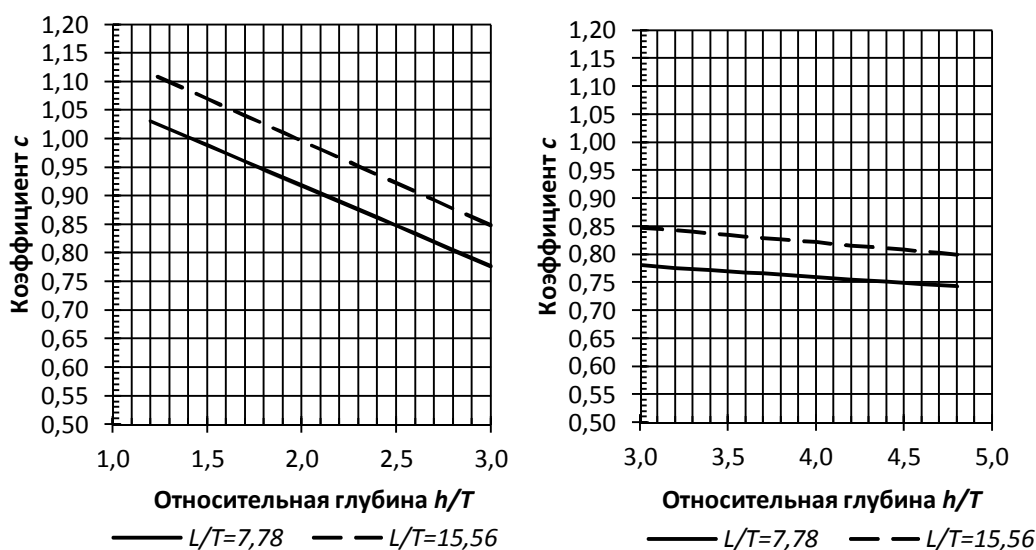


Рис. 3. Графики зависимостей  $c = \varphi(h/T)$  при  $B/T = 5,38, Fr = 0,450$ : а –  $h/T = 3,0-4,8$ ; б –  $h/T = 1,2-3,0$

Заметим, что при заданных размерах контейнера увеличение относительной ширины, так же, как и относительной его длины, происходит в результате уменьшения осадки. При этом абсолютная ширина подводной части контейнера наоборот, как и осадка, уменьшается, а её абсолютная длина остаётся неизменной. В результате подводная часть БМ становится более обтекаемой, соответственно коэффициент  $c$  уменьшается. При изменении осадки от 1,34 до 0,44 м семиметрового контейнера с базовыми размерами его относительная ширина увеличивается с 3,55 до 10,23, относительная длина – от 5,22 до 15,91. В результате этого при скорости 1 м/с и относительной глубине 4,8 рассматриваемый коэффициент уменьшается с 0,743 до 0,529, то есть на 40%. Степень влияния относительной ширины также зависит от значений других факторов. Зависимость коэффициента сопротивления от относительной ширины, как и от относительной длины квадратичная.

**Выводы.** Выявлены факторы, определяющие величину коэффициента полного гидродинамического сопротивления жёсткого плавучего контейнера при равномерном движении в условиях мелководья. К ним относятся глубина водоёма, ширина и длина контейнера, отнесённые к

его осадке, а также число Фруда, определённое по ней. Получены регрессионные модели, соответствующие двум разным диапазонам относительной глубины для указанного коэффициента, знание которого позволяет определить силу сопротивления воды при перемещении контейнера в упомянутых условиях. Существенное увеличение рассматриваемого коэффициента происходит при относительных глубинах меньше 3. При значениях этого фактора 3 и более его влияние значительно снижается. При относительной глубине, превышающей 4,8, она практически не сказывается на результате.

Относительная глубина влияет на значимость других факторов. В частности, при меньших относительных глубинах увеличение числа Фруда вызывает большее увеличение коэффициента сопротивления. Зависимость от числа Фруда линейная.

Из геометрических характеристик самого контейнера более значимой является относительная ширина, её увеличение приводит к значительному уменьшению коэффициента  $c$ . Относительная длина менее значима, характер её влияния может поменяться на противоположный при смене значений других факторов. Зависимость рассматриваемого коэффициента от

относительной ширины и относительной длины квадратичная.

Полученные результаты исследований обеспечивают возможность выполнения технологических и транспортных

расчётов, связанных с перемещением плавучих контейнеров при организации перевозок круглых лесоматериалов и других грузов по малым и средним рекам.

### Список литературы

1. Пат. 147720 U1 Российская Федерация, МПК В65D88/00 Контейнер / Суоров Г.Я., Барабанов В.А., Кудрявцев Г.В., заявитель и патентообладатель САФУ – № 2014125335/12; заявл. 23.06.2014; опубл. 20.11.2014.
2. Пат. 147036 U1 Российская Федерация, МПК В65G69/20 Плотно / Суоров Г.Я., Барабанов В.А., Кудрявцев Г.В., заявитель и патентообладатель САФУ № 2014125331/11; заявл. 23.06.2014; опубл. 27.10.2014.
3. Суоров Г.Я., Барабанов В.А., Кудрявцев Г.В. Новое в доставке лесных грузов по водным путям // Аспирант: сборник трудов конференции. Ростов-на-Дону, 2015. С. 66-71.
4. Кудрявцев Г.В., Посыпанов С.В. Технологические схемы погрузки жестких контейнеров // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. № 8, часть 2 (19-2). С. 258-261.
5. Худогов В.Н. Гидродинамическое взаимодействие плотов и внешней среды: монография / Отв. ред. А. М. Караваев; Сибирский технологический институт. Красноярск: Красноярское кн. изд-во, 1966. 226 с.
6. Митрофанов А.А. Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение: монография. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. 492 с.
7. Овчинников М.М., Родионов П.М. Сопротивление движению хлыстовых плотов // Лесная промышленность. 1979. № 6. С. 28-29.
8. Корпачев В.П., Седрицев Д.Н. Динамическое воздействие возбужденной гидравлической струей потока на лесотранспортные единицы // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2008. № 1. С. 211-215.
9. Корпачев В.П., Злобин А.А., Максимова Е.М. Проведение эксперимента в полевых условиях по определению сопротивления битого льда движению плота // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. Хабаровск, 2013. № 2. С. 288-293.
10. Larsson L., Stern F., Visonneau M. Numerical ship hydrodynamics. Springer Netherlands, 2014. 254 p.
11. Kleinstreuer C. Modern Fluid Dynamics. Springer Netherlands, 2010. 302 p.
12. Самсонов С.В., Барабанов В.А. Обоснование технических параметров плавучих контейнеров для транспортировки лесоматериалов и результаты исследования их гидродинамических характеристик // Изв. вузов. Лесной журнал. 2013. № 6. С. 57-65.
13. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике: монография. М.: Изд-во Наука, 1977. 440 с.
14. Пижурин А.А., Пижурин А.А. Основы научных исследований в деревообработке: монография. М.: МГУЛ, 2005. 304 с.
15. Weisberg S. Applied Linear Regression: Third edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2005. 329 p.

Статья поступила в редакцию 13.04.16.

### Информация об авторах

*КУДРЯВЦЕВ Геннадий Владимирович* – аспирант кафедры технологии лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств, Лесотехнический институт, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова. Область научных интересов – экологически безопасное лесотранспортное использование средних и малых рек. Автор шести публикаций.

*ПОСЫПАНОВ Сергей Валентинович* – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств, Лесотехнический институт, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова. Область научных интересов – экологически безопасное лесотранспортное использование средних и малых рек; информационное обеспечение лесопромышленного производства. Автор 70 публикаций.



UDC 630\*378

DOI: 10.15350/2306-2827.2016.4.47

## RESEARCH INTO HYDRAULIC RESISTANCE TO UNIFORM FLOW OF RIGID FLOATING CONTAINERS IN SHALLOW WATERS

G. V. Kudryavtsev, S. V. Posypanov

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov,  
17, Naberezhnaya Severnoy Dviny, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation  
E-mail: g.kudryavcev@narfu.ru, s.posypanov@narfu.ru

**Key words:** floating container; experimental research; uniform flow; hydraulic resistance; speed; limber movement.

### ABSTRACT

One of the cheapest methods for round wood delivery to customers is floating. The authors developed the structure of the rigid floating container or a barge module (BM) and a barge line, the size of which is defined by the number of interchained barge modules depending on the type of the river. Barge modules can be used for other cargo transportation as well. **Goals and objectives.** The work is aimed at obtaining information on hydraulic resistance to uniform flow of barge modules in shallow waters. **Research method** - experimental and theoretical. **Research results.** As a result of research it has been revealed that the coefficient of flow resistance to the uniform flow of barge modules in shallow waters is defined by the water depth, width and length of containers assigned to its draft and Froude number defined based on this submersion. Regression models obtained for this coefficient are obtained for two adjacent ranges of relative depths, which differ significantly in terms of this factor impact on the result. The coefficient significantly increases in relative depths below 3. If the value of this factor equals or exceeds 3, its impact significantly reduces. In the relative depth of 4.8 it has almost no impact on the result. **Conclusion.** Increase in the relative width of the container along with the decrease in its undebody width results in significant reduction of the resistance factor. The relative value is of lower concern. Should the values of other factors change, the impact of the relative length may change into the opposite. The impact of every factor to different extents depends on the values of others to different extents. The knowledge of this coefficient allows defining the flow resistance when transporting a container in the above mentioned conditions.

### REFERENCES

1. Surov G.Ya., Barabanov V. A., Kudriavtsev G. V. Konteyner [Container]. Patent RF, no 2014125335/12. 2014.
2. Surov G.Ya., Barabanov V. A., Kudriavtsev G. V. Plot [Wooden platform]. Patent RF, no 2014125331/11. 2014.
3. Surov G.Ya., Barabanov V.A., Kudriavtsev G.V. Novoe v dostavke lesnykh gruzov po vodnym putyam [Novelties in the timber delivery on water ways]. *Aspirant: sbornik trudov konferentsii* [Post-graduate: collection of conference proceedings]. Rostov-on-Don, 2015. Pp. 66-71.
4. Kudriavtsev G.V., Posypanov S.V. Tekhnologicheskie skhemy pogruzki zhestkikh konteynerov [Technological schemes of rigid containers shipping]. *Aktualnye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual trends in research in the 21<sup>st</sup> century: theory and practice]. 2015. No 8. Part 2 (19-2). Pp. 258-261.
5. Khudonogov V.N. *Gidrodinamicheskoe vzaimodeystvie plotov i vneshney sredy: monografiya* [Hydrodynamic interaction of wooden platforms with the external environment: monograph]/ Editor-in-Chief. A. M. Karavaev; Sibirskiy tekhnologicheskii institut [Siberian State Technological Institute]. Krasnoyarsk : Krasnoyarsk Publishing house, 1966. 226 p.
6. Mitrofanov A.A. *Lesosplav. Novye tekhnologii, nauchnoe i tekhnicheskoe obespechenie: monografiya* [New technologies, research and technical facilities: monograph]. Arkhangelsk: AGTU Publishing House, 2007. 492 p.
7. Ovchinnikov M.M., Rodionov P.M. Soprotivlenie dvizheniyu khlystovykh plotov [Resistance to motion of log rafts]. *Lesnaya promyshlennost* [Forest industry]. 1979. No 6. Pp. 28–29.
8. Korpachev V.P., Sedrsev D.N. Dinamicheskoe vozdeystvie vozbuzhdenogo gidravlicheskoystroy potoka na lesotransportnye edinitsy [Dynamic impact of hydraulic induced flow on timber hauling apparatus]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Vestnik of Krasnoyarsk State Agrarian university]. 2008. No 1. Pp. 211-215.

9. Korpachev V.P., Zlobin A.A., Maksimova E.M. Provedenie eksperimenta v polevykh usloviyakh po opredeleniyu soprotivleniya bitogo lda dvizheniyu plata [Field experiment on definition of slack ice resistance to wood platform movement]. *Novye idei novogo veka: materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii FAD TOGU* [New ideas of the new century: proceedings of international research conference FAD TOGU]. Khabarovsk, 2013. No 2. Pp. 288-293.
10. Larsson L., Stern F., Visonneau M. Numerical ship hydrodynamics. Springer Netherlands, 2014. 254 p.
11. Kleinstreuer S. Modern Fluid Dynamics. Springer Netherlands, 2010. 302 p.
12. Samsonov S.V., Barabanov V.A. Obosnovanie tekhnicheskikh parametrov plavuchikh konteynerov dlya transportirovki lesomaterialov i rezultaty issledovaniya ikh gidrodinamicheskikh kharakteristik [Feasibility evaluation of technical parameters of floating containers used for timber transportation and research findings of their hydrodynamic characteristics]. *Izv. vuzov. Lesnoy zhurnal* [Izvestiya of Higher Education Institutions. Forest Journal]. 2013. No 6. Pp. 57-65.
13. Sedov L.I. *Metody podobiya i razmernosti v mekhanike: monografiya* [Methods of similarities and dimension in mechanics: monograph]. Moscow: Izdvo Nauka, 1977. 440 p.
14. Pizhurin A.A., Pizhurin A.A. *Osnovy nauchnykh issledovaniy v derevoobrabotke : monografiya* [Basics of research in timber processing]. Moscow : MGUL, 2005. 304 p.
15. Weisberg S. Applied Linear Regression: Third edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2005. 329 p.

The article was received 13.04.16.

**Citation for an article:** Kudryavtsev G. V., Posypanov S. V. Research into Hydraulic Resistance to Uniform Flow of Rigid Floating Containers in Shallow Waters // Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management. 2016. No 4(32). Pp. 47-56. DOI: 10.15350/2306-2827.2016.4.47

#### Information about the authors

*KUDRIAVTSEV Gennadii Vladimirovich* – Postgraduate student at the Department of Logging and Wood Processing Manufactures Technology, Forestry Engineering Institute, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. Research interests – environmentally safe use of transport timber for medium and small rivers. Author of 6 publications.

*POSYPANOV Sergey Valentinovich* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Logging and Wood Processing Manufactures Technology, Forestry Engineering Institute, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. Research interests – environmentally safe use of transport timber for medium and small rivers; information support of timber production. Author of 70 publications.