

О СОПРОТИВЛЕНИИ ВОДЫ ДВИЖЕНИЮ МЯГКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЕМКостей С ТВЕРДЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

А.Н. Комяков, В.И. Запруднов, С.П. Карпачев, М.А. Сорокин

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1
komyakov@mgul.ac.ru

Приведены результаты исследований гидродинамических характеристик одиночной мягкой плавучей цилиндрической емкости с твердым наполнителем. Установлены определяющие факторы и обоснованы условия физического моделирования процесса взаимодействия емкости с водным потоком. Разработаны математические модели для определения сопротивления воды продольному и поперечному перемещению мягких плавучих емкостей в зависимости от их геометрических параметров и скоростного режима в условиях безграничного потока и мелководья.

Ключевые слова: мягкие плавучие контейнеры, мобильное гидротехническое сооружение, плотина, дамба, транспортировка, сопротивление движению

Ссылка для цитирования: Комяков А.Н., Запруднов В.И., Карпачев С.П., Сорокин М.А. О сопротивлении воды движению мягких цилиндрических емкостей с твердым наполнителем // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 2. С. 95–100. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-95-100

На кафедре промышленного транспорта и Строительства МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана (до 2016 — МГУЛ) в последние годы проводятся работы по применению современных синтетических материалов на водном транспорте лесных грузов и обустройстве водных путей. Разработаны конструкции плавучих контейнеров [1–4], контейнерных плотов [5] и технологии водной доставки лесных грузов в этих лесотранспортных единицах. Исследованы гидродинамические характеристики и транспортные качества контейнерных плотов и составов [6–9]. Разработан и испытан на практике ряд конструкций быстровозводимых гидротехнических сооружений (ГТС) наполняемого типа на основе мягких цилиндрических емкостей [10–12].

Отличительной особенностью разработанных конструкций ГТС является их мобильность, т. е. возможность перемещения между местами установки по воде за счет переменной плавучести и изменения осадки сооружения в широких пределах.

Достоинствами мобильных ГТС данного типа являются минимальное время монтажа без предварительной подготовки основания, низкая стоимость и высокая степень заводской готовности. Они могут применяться в виде дамб, плотин, запруд и полузапруд, наносоаккумулирующих сооружений и т. п. на обустройстве лесосплавных путей, в сельском и рыбном хозяйстве, при создании противопожарных водоемов, в сфере туризма и отдыха.

Основным элементом мягких плавучих контейнеров для сыпучих лесных грузов и мягких мобильных гидротехнических сооружений является емкость из синтетического материала, приобретающая в наполненном состоянии фор-

му, близкую к цилиндру с полусферическими окончаниями, горизонтально расположенному на водной поверхности. В зависимости от объема веса груза (или наполнителя ГТС) степень его погружения (осадка) может изменяться в широких пределах от минимальных значений до практически полного погружения в воду.

При транспортировке и выполнении переместительных операций плавучие контейнеры и мобильные ГТС испытывают сопротивление воды своему движению. Зависимость сопротивления воды R их перемещению от скорости V — важнейшая гидродинамическая характеристика, необходимая для транспортных и прочностных расчетов. Влияние сопротивления воды особенно сильно проявляется при транспортировке по мелководью и при поперечном перемещении.

Теоретически описать процесс гидродинамического взаимодействия подобных тел с водным потоком не представляется возможным в связи со сложной формой мягкой наполненной оболочки. Поэтому для решения данной задачи был использован экспериментальный метод. Исследование гидродинамических характеристик мягких емкостей с твердым наполнителем на моделях выполнено в гидравлическом лотке лаборатории водного транспорта кафедры ПТС МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана на буксировочной системе гравитационного типа.

На основании проведенных предварительных экспериментов, анализа работ различных авторов (В.М. Штумпфа, В.С. Шпакова, А.Н. Комякова, И.Л. Шевелева) [2, 5] установлен перечень определяющих факторов процесса.

Проанализировав зависимость сопротивления от основных параметров и применив теорию

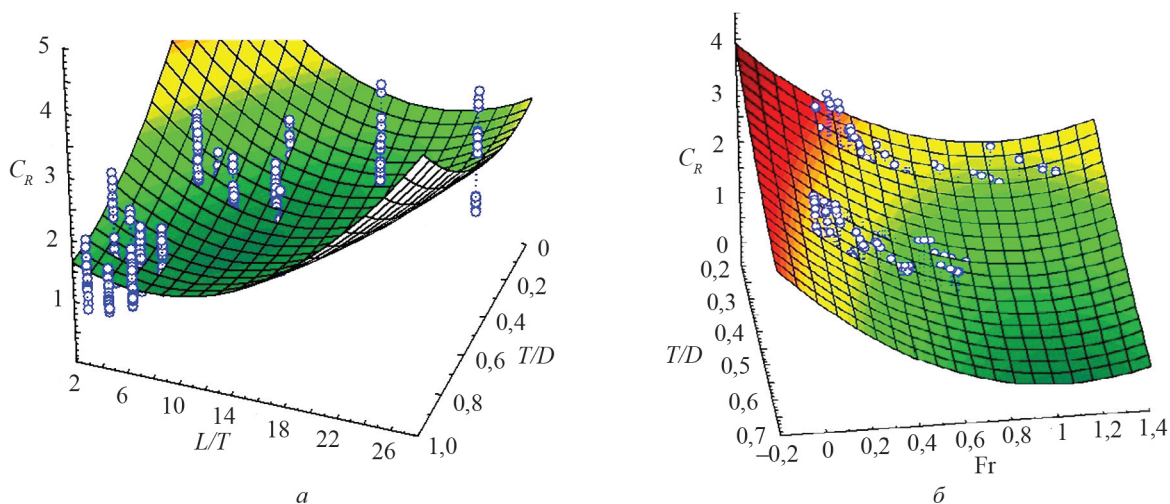


Рис. 1. Зависимость коэффициента остаточного сопротивления $C_{R_{ост}}$: а — от параметров L/T и T/D ; б — от параметра T/D и числа Фруда
 Fig. 1. The dependence of the coefficient of $C_{R_{ост}}$ residual resistance: а — on the L/T and T/D parameters; б — on the T/D parameter and the Froude number

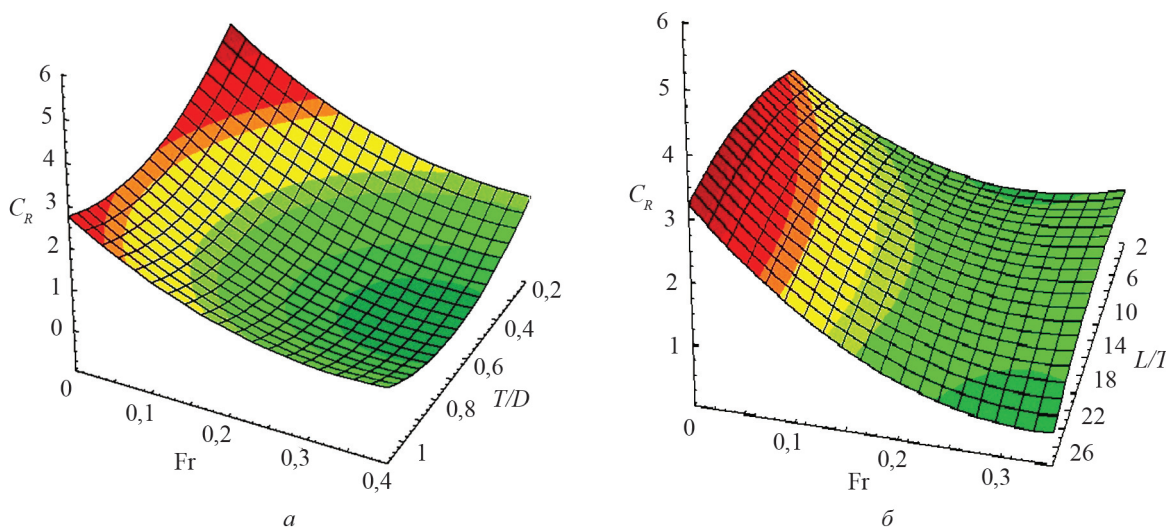


Рис. 2. Зависимость поверхности отклика коэффициента полного сопротивления C_R : а — от числа Фруда и параметра T/D ; б — от числа Фруда и параметра L/T
 Fig. 2. The response surface of the C_R impedance: а) on the Froude number and the T/D parameter; б) on the Froude number and the L/T parameter

размерностей, искомую зависимость в критериальной форме можно представить в следующем виде

$$C_R = \varphi\left(\frac{L}{T}, \frac{T}{D}, \frac{\Delta}{D}, C_a, Re, Fr\right), \quad (1)$$

где L , T и D — соответственно длина, средняя осадка и диаметр заполненной оболочки; Δ — шероховатость материала оболочки; C_a — число Коши; Re — число Рейнольдса; Fr — число Фруда.

Изучение работ по гидродинамике тел похожей формы и предварительные опыты показали,

что к числу определяющих критериев относятся: при продольном перемещении — Δ/T , Re , Fr , а при поперечном — только число Фруда.

При продольном перемещении коэффициент остаточного сопротивления с моделированием по числу Фруда вычисляли по формуле

$$C_{ост} = \frac{R - R_{тр}}{\frac{\rho V^2}{2} \Omega} = \varphi_1\left(\frac{L}{T}, \frac{T}{D}, Fr\right), \quad (2)$$

где $R_{тр}$ — сопротивление трения модели, находят аналитически по общепринятой методике;

Ω — площадь миделевого сечения модели.

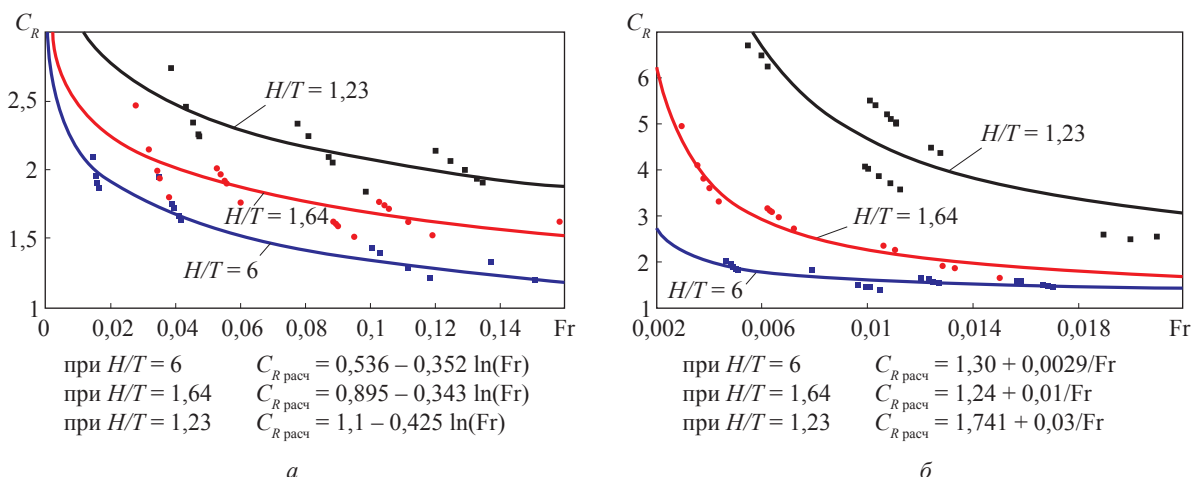


Рис. 3. Зависимость коэффициента полного сопротивления C_R от числа Фруда при разных значениях H/T : а — при продольном перемещении; б — при поперечном перемещении

Fig. 3. The dependence of the coefficient of C_R total resistance on the Froude number for different values of H/T : а) for longitudinal displacement; б) for transverse movement

При поперечном перемещении мобильного ГТС решение задачи имеет вид

$$C_R = \frac{R}{\frac{\rho V^2}{2} \Omega} = \Phi_2 \left(\frac{L}{T}, \frac{T}{D}, Fr \right). \quad (3)$$

Коэффициент остаточного сопротивления воды продольному перемещению моделей ГТС в потоке определяли экспериментально с помощью моделирования по числу Фруда. Для каждого опыта по формуле (2) находили коэффициент остаточного сопротивления $C_{\text{ост}}$. В результате обработки экспериментов получено следующее уравнение регрессии:

$$C_{R \text{ ост}} = 1,987 - 1,343Fr - 0,174L/T + 0,0146/Fr + 0,0051(L/T)^2 - 1,783(L/T)^{-1} + 0,523(T/D)^{-1}. \quad (4)$$

На рис. 1 показаны зависимости поверхности отклика $C_{R \text{ ост}}$ от параметров L/T и T/D и числа Фруда.

По результатам опытов установлено, что коэффициент остаточного сопротивления уменьшается с увеличением скорости движения и числа Фруда.

Для каждого опыта при определении полного сопротивления поперечному перемещению емкости по формуле (3) вычисляли коэффициент полного сопротивления C_R . В результате получено следующее уравнение регрессии

$$C_R = 16,64 - 7,45Fr + 0,031L/T + 8,19Fr^2 + 0,0049/Fr - 27,38T/D + 14,78(T/D)^2 - 2,31(T/D)^{-1}. \quad (5)$$

Анализ бета-коэффициентов итоговых значений регрессии позволил установить, что наибольшее влияние на коэффициент сопротив-

ления оказывают число Фруда и параметр T/D , отражающий степень погружения ГТС в воду.

Особенность проведения лесосплавных работ — в том, что на протяжении значительных участков водного пути лесотранспортные единицы (плоты, сплоточные единицы, плавучие контейнеры) движутся в условиях малых глубин. Исследования в области гидродинамики сортиментных плотов [13–15] и контейнерных составов [16, 17] выявили существенное влияние ограниченных габаритов сплавного хода, особенно мелководья.

Для изучения влияния мелководья при продольном перемещении одиночных мягких цилиндрических емкостей была проведена серия опытов с диапазонами изменения числа Фруда $Fr = 0,011 \dots 0,167$ и относительной глубины потока $H/T = 1,23 \dots 6,0$.

На начальном этапе определен характер зависимости коэффициента сопротивления от числа Фруда при перемещении на разных глубинах. Характер зависимости C_R от числа Фруда один и тот же при изменении относительной глубины H/T от своего минимального значения (минимально возможный донный запас) до максимального $H/T = 6,0$ (рис. 3, а), соответствующего условию безграничного по глубине потока.

Значение коэффициента мелководья в каждом опыте определяли по формуле

$$K_M = C_R^M / C_R^{00 \text{ расч}},$$

где C_R^M — опытное значение коэффициента сопротивления в условиях мелководья;

$C_R^{00 \text{ расч}}$ — расчетное значение коэффициента сопротивления в условиях безграничного потока при числе Фруда, которое наблюдалось в опыте на мелководье.

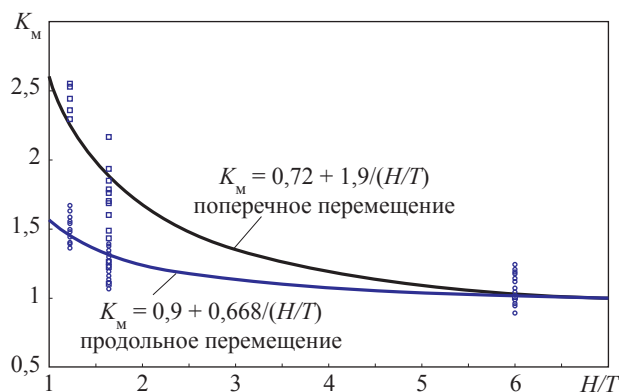


Рис. 4. Зависимости коэффициента мелководья K_M от параметра H/T при продольном и поперечном перемещении емкости

Fig. 4. Dependences of the shallow water coefficient K_M on the parameter H/T for longitudinal and transverse displacement of the container

Анализ результатов экспериментов позволил упростить модель и получить зависимость коэффициента мелководья от параметра H/T при продольном перемещении в потоке

$$K_M = 0,902 + \frac{0,669T}{H}.$$

Для изучения влияния мелководья на сопротивление воды поперечному перемещению емкости была проведена серия опытов с варьированием параметра H/T в пределах 6,0...1, 23; а числа Фруда — 0,0035...0,017.

Для получения коэффициента мелководья при поперечном перемещении были также получены зависимости коэффициента сопротивления от числа Фруда для условий безграничного потока и мелководья (рис. 3, б).

Коэффициент K_M вычисляли как отношение коэффициентов полного сопротивления на мелководье и в безграничном потоке при одних и тех же числах Фруда. Зависимость для определения коэффициента влияния мелководья от относительной глубины потока при поперечном перемещении имеет вид

$$K_M = 0,72 + \frac{1,9T}{H}.)$$

Совмещенные графики зависимости коэффициента мелководья K_M от параметра H/T при продольном и поперечном перемещении мягкой цилиндрической емкости показаны на рис. 4. Наиболее резкий рост сопротивления наблюдается при уменьшении относительной глубины H/T с 3 до 1,0. При минимально безвредных в плане обеспечения донного запаса значениях H/T сопротивление возрастает примерно в 1,5 раза при продольном и почти в 3 раза — при поперечном

перемещении в потоке по сравнению с движением в безграничном потоке.

Для практических расчетов сопротивление воды в условиях ограниченной глубины потока можно определить по формуле

$$R = K_M C_R^{00} \frac{\rho \cdot V^2}{2} \Omega,$$

где C_R^{00} — коэффициент полного сопротивления воды перемещению емкости в условиях безграничного потока.

Значения этого коэффициента для случаев продольного и поперечного перемещения в потоке рассчитывают по полученным уравнениям регрессии (4) и (5).

Выводы

1. В результате проведенных исследований установлены определяющие факторы процесса взаимодействия мягкой цилиндрической емкости с водным потоком.

2. Разработаны математические модели для определения сопротивления воды ее продольному и поперечному перемещению мягких плавучих емкостей в зависимости от их геометрических параметров и скоростного режима в условиях безграничного потока и мелководья.

Список литературы

- [1] Комяков А.Н. Опыт и перспективы применения эластичных плавучих контейнеров на лесосплаве // Научные труды московского лесотехнического института. М.: МЛТИ., 1985. Вып. 172. С. 52–55.
- [2] Карпачев С.П., Комяков А.Н. Сплав щепы по воде в мягких плавучих контейнерах: обзорная информация. М.: ВНИПИЭИлеспром, 1986. 36 с.
- [3] Комяков А.Н., Шевелев И.Л., Лозовецкий В.В., Лукьянов А.А. Новая технология доставки измельченных древесных материалов в мягких большегрузных плавучих контейнерах // Транспорт: наука, техника, управление: сб. обзорной информации. М.: ВИНТИ, 2000. № 10. С. 39–41.
- [4] Комяков А.Н., Сорокин М.А., Шевелев И.Л. О применении мягких контейнеров для перевозки и хранения лесных грузов // Промышленный транспорт. XXI век. Промтранспроект, 2012. № 2. С. 27–29.
- [5] Комяков А.Н. Оптимизация процесса доставки лесных грузов в плавучих контейнерах и на однорейсовых судах // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2011. № 5. С. 62–65.
- [6] Комяков А.Н. Экспериментальные исследования сопротивления воды движению контейнерных плотов для сплава измельченной древесины // Научные труды московского лесотехнического института. М.: МЛТИ, 1986. Вып. 177. С. 77–86.
- [7] Комяков А.Н., Сорокин М.А. Гидродинамические характеристики плавучих контейнеров и контейнерных составов для доставки измельченных лесных грузов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2010. № 4. С. 102–104.
- [8] Карпачев С.П., Шмырев Д.В. Исследования гидродинамических характеристик транспортных единиц из мягких контейнеров со щепой // Актуальные направ-

- ления научных исследований XXI века: теория и практика: сб. науч. тр. по материалам Междунар. заочной науч.-практ. конф. Воронеж: ВГЛТА, 2014. № 5. Ч. 4. С. 123–129.
- [9] Карпачев С.П., Шмырев Д.В., Щербаков Е.Н. Плавуемость транспортных единиц из мягких контейнеров со щепой // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2015. № 1 (19). С. 102–107.
- [10] Гидротехническое сооружение. Пат. 86601 Российская Федерация, МПК Е 02 В 7/00 / А.Н. Комяков, М.А. Сорокин, С.П. Карпачев, И.Л. Шевелев. № 2009120448/22 заявл. 01.06.2009 опубл. 10.09.2009; бюл. № 28. 2 с.
- [11] Гидротехническое сооружение. Пат. 62615 Российская Федерация, МПК Е 02 В 7/00 / А.Н. Комяков, А.Г. Евсеев, И.Л. Шевелев. № 2006113210/22; заявл. 20.04.2006; опубл. 27.04.2007; бюл. № 12. 2 с.
- [12] Сорокин М.А., Комяков А.Н. Устойчивость на сдвиг мягких гидротехнических сооружений наполняемого типа // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2013. № 1. С. 150–152.
- [13] Мануковский А.Ю., Макаров Д.А., Завершинская О.В., Степанищева М.В. Сущность явлений, возникающих при движении плота на мелководье, и причины посадки плотов на мель // Системы. Методы. Технологии, 2015. № 3 (27). С. 102–107.
- [14] Мануковский А.Ю., Макаров Д.А., Подойницын К.С. Методы снижения гидродинамического сопротивления движению сортиментных плотов при их буксировке // Системы. Методы. Технологии, 2011. № 12. С. 125–127.
- [15] Мануковский А.Ю., Подойницын К.С., Завершинская О.В. Исследование гидродинамического сопротивления движению сортиментных плотов // Лесотехнический журнал, 2011. № 3. С. 83–87.
- [16] Комяков А.Н. Влияние ограниченной глубины и ширины сплавного хода на сопротивление воды движению контейнерного плота // Научные труды московского лесотехнического института. М.: МЛТИ, 1988. С. 79–82.
- [17] Сорокин М.А., Комяков А.Н. Транспортные качества мобильных гидротехнических сооружений наполняемого типа в условиях безграничного потока и мелководья // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2011. № 3. С. 81–84.

Сведения об авторах

Комяков Алексей Николаевич — канд. техн. наук, доцент, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), e-mail: komyakov@mgul.ac.ru

Запруднов Вячеслав Ильич — д-р техн. наук, профессор, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), e-mail: zaprudnov@mgul.ac.ru

Карпачев Сергей Петрович — д-р техн. наук, профессор, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), e-mail: karpachev@mgul.ac.ru

Сорокин Михаил Александрович — старший преподаватель, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), e-mail: sorokin@mgul.ac.ru

Статья поступила в редакцию 06.03.2017 г.

THE RESISTANCE OF WATER MOVEMENT TO SOFT CYLINDRICAL CONTAINERS WITH SOLID FILLER

A.N. Komyakov, V.I. Zaprudnov, S.P. Karpachev, M.A. Sorokin

BMSTU (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

komyakov@mgul.ac.ru

The results of investigation of the hydrodynamic characteristics of a single soft floating cylindrical container with a solid filler (ingredient) are given in the article. There have been found some determinants and reasonable conditions of physical modeling the interaction of a tank with a water flow. The mathematical models to determine the resistance of the water to the longitudinal and transverse displacement of the soft floating vessels, depending on their geometry and speed mode, in an unbounded stream and shallow water.

Keywords: soft floating containers, mobile hydraulic structures, dams, transportation, resistance to movement

Suggested citation: Komyakov A.N., Zaprudnov V.I., Karpachev S.P., Sorokin M.A. *O soprotivlenii vody dvizheniyu myagkikh tsilindricheskikh emkostey s tverdyim napolnitelem* [The resistance of water movement to soft cylindrical containers with solid filler]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 2, pp. 95–100. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-95-100

References

- [1] Komyakov A.N. *Opyt i perspektivy primeneniya elastichnykh plavuchikh konteynerov na lesosplave* [Experience and perspectives of elastic floating Katy 'Meeting on Rafting'] Scientific works MLTI, 1985, v. 172, pp. 52–55. (in Russian)
- [2] Karpachev S.P., Komyakov A.N. *Splav shchepy po vode v myagkikh plavuchikh konteynerakh* [Fusion chips on the water in soft floating containers] Overview. Moscow: VNIPIEllesprom Publ., 1986, 36 p. (in Russian)

- [3] Komyakov A.N., Shevelev I.L., Lozovetskiy V.V., Luk'yanov A.A. *Novaya tekhnologiya dostavki izmel'chennykh drevesnykh materia-lov v myagkikh bol'shegruznykh plavuchikh konteynerakh* [The new delivery technology chopped wood Mother fishing with soft heavy floating container] Transport: Nauka, tekhnika, upravlenie. Sbornik obzornoy informatsii [Transportation: Science, technology, management. Collection overview]. Moscow: VINITI Publ., 2000, no. 10, pp. 39-41. (in Russian)
- [4] Komyakov A.N., Sorokin M.A., Shevelev I.L. *O primeneniі myagkikh konteynerov dlya perevozki i khraneniya lesnykh gruzov* [On the application of flexible containers for the transport and storage timber] Promyshlennyy transport. XXI vek [Industrial Vehicles. XXI Century]. Moscow: Promtransniiproekt Publ., 2012, no. 2, pp. 27-29. (in Russian)
- [5] Komyakov A.N. *Optimizatsiya protsessa dostavki lesnykh gruzov v plavuchikh konteynerakh i na odnoreysovykh sudakh* [Optimization of the process of delivery of timber floating in the con-tainer and odnoreysovykh courts] Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2011, no. 5, pp. 62-65. (in Russian)
- [6] Komyakov A.N. *Eksperimental'nye issledovaniya soprotivleniya vody dvizhe-niyu konteynernykh plotov dlya splava izmel'chennoy drevesiny* [Experimental studies of the motion of water-resistance NIJ container rafts for rafting chopped wood] Scientific works MLTI, v. 177, 1986, pp. 77-86. (in Russian)
- [7] Komyakov A.N., Sorokin M.A. *Gidrodinamicheskie kharakteristiki plavuchikh konteynerov i konteynernykh sostavov dlya dostavki izmel'chennykh lesnykh gruzov* [Hydrodynamic characteristics of floating containers and container structures for delivery of crushed timber] Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2010, no. 4, pp. 102-104. (in Russian)
- [8] Karpachev S.P., Shmyrev D.V. *Issledovaniya gidrodinamicheskikh kharakteristik transportnykh edinits iz myagkikh konteynerov so shchepoy* [Research hydrodynamic characteristics of the transport units of the flexible containers with chips] Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy xxi veka: teoriya i praktika. Sbornik nauchnykh trudov po materialam mezhdunarodnoy zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Current research areas of the xxi century: theory and practice / Collection of scientific works based on international correspondence scientific-practical conference] VGLTA, 2014, no. 5, t. 4. pp. 123-129. (in Russian)
- [9] Karpachev S.P., Shmyrev D.V., Shcherbakov E.N. *Plavuchest' transportnykh edinits iz myagkikh konteynerov so shchepoy* [Buoyancy transport units of flexible containers with chips] Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2015, no. 1(19), pp. 102-107. (in Russian)
- [10] Komyakov A.N., Sorokin M.A., Karpachev S.P., Shevelev I.L. *Gidrotekhnicheskoe sooruzhenie* [The hydraulic structures] Patent RF, no. 86601: MPK E02V 7/00 / 2009120448/22. (in Russian)
- [11] Komyakov A.N., Evseev A.G. *Gidrotekhnicheskoe sooruzhenie* [The hydraulic structures] Patent RF, no. 62615: MPK E02V 7/00. 2006113210/22. (in Russian)
- [12] Sorokin M.A., Komyakov A.N. *Ustoychivost' na sdvig myagkikh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy napolnyaemogo tipa* [Resistance to soft shift hydraulic structures such as fills] Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2013, no. 1, pp. 150-152. (in Russian)
- [13] Manukovskiy A.Yu., Makarov D.A., Zavershinskaya O.V., Stepanishcheva M.V. *Sushchnost' yavleniy, voznikayushchikh pri dvizhenii plota na melkovod'e, i prichiny posadki plotov na mel'* [The essence of the phenomena that occur when moving the raft in shallow water, and causes rafts stranding] Sistemy. Metody. Tekhnologii [Systems. Methods. Technologies], 2015, no. 3(27), pp. 102-107. (in Russian)
- [14] Manukovskiy A.Yu., Makarov D.A., Podoynitsyn K.S. *Metody snizheniya gidrodinamicheskogo soprotivleniya dvizheniyu sortimentnykh plotov pri ikh buksirovke* [Methods to reduce the hydrodynamic resistance movement assortment rafts when towing] Sistemy. Metody. Tekhnologii [Systems. Methods. Technologies], 2011, no. 12, pp. 125-127. (in Russian)
- [15] Manukovskiy A.Yu., Podoynitsyn K.S., Zavershinskaya O.V. *Issledovanie gidrodinamicheskogo soprotivleniya dvizhe-niyu sortimentnykh plotov* [Investigation of hydrodynamic resistance movement assortment rafts] Lesotekhnicheskii zhurnal [Forestry Journal], 2011, no. 3, pp. 83-87. (in Russian)
- [16] Komyakov A.N. *Vliyanie ogranichennykh glubiny i shiriny splavnogo khoda na soprotivlenie vody dvizheniyu konteynernogo plota* [Effect of limited depth and width rafting course on the water resistance of the movement of the container raft] Nauchnye trudy MLTI, 1988, pp. 79-82. (in Russian)
- [17] Sorokin M.A., Komyakov A.N. *Transportnye kachestva mobil'nykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy napolnyaemogo tipa v usloviyakh bezgranichnogo potoka i melkovod'ya* [Transportnye quality mobile hydraulic built-ny type fills in a limitless flow and shallow water] Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2011, no. 3, pp. 81-84. (in Russian)

Author's information

Komyakov Aleksey Nikolaevich — Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof. BMSTU (Mytishchi branch), e-mail: komyakov@mgul.ac.ru

Zaprudnov Vyacheslav Il'ich — Dr. Sci. (Tech.), Prof. BMSTU (Mytishchi branch), e-mail: zaprudnov@mgul.ac.ru

Karpachev Sergey Petrovich — Dr. Sci. (Tech.), Prof. BMSTU (Mytishchi branch), e-mail: karpachev@mgul.ac.ru

Sorokin Mikhail Aleksandrovich — Senior Lecturer BMSTU (Mytishchi branch), e-mail: sorokin@mgul.ac.ru

Received 06.03.2017