

УДК 004.942, 630.387.33

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГИДРОДИНАМИКИ «ТОРМОЗА-СТАБИЛИЗАТОРА»

*А. Ю. Мануковский, Д. А. Макаров*

Воронежская государственная лесотехническая академия,  
Российская Федерация, 394087, Воронеж, ул. Тимирязева, 8  
E-mail: mayu1964@mail.ru

*Рассмотрена проблема осуществления плотового сплава леса в условиях малых габаритов лесосплавного хода. Описаны основные факторы, затрудняющие лесосплав на малых глубинах. Для решения проблемы представлено устройство для осуществления управления плотом в стеснённых условиях плавания. Описаны основные особенности предлагаемого устройства, среди которых возможность работы на участках рек с критически малым донным запасом. Приведены результаты математического моделирования, а также результаты экспериментального исследования процессов гидродинамики при управлении плотом с помощью «тормоза-стабилизатора» в сравнении с расчётными показателями.*

**Ключевые слова:** сплав леса; плавание в стеснённых условиях; контроль донного запаса; тормоз-стабилизатор.

**Введение.** Осуществление сплава леса в стеснённых условиях, а именно на малых, средних реках, по мелководным участкам крупных рек, сталкивается с проблемой обеспечения должного управления сложной динамической системой, которую представляет собой плот или линейка из плоских сплотовых единиц. В данных условиях невозможно применение типовых средств управления в виде цепей-волокуш и якорей без нанесения значительного экологического ущерба водоёму [1–3].

В настоящее время основные исследования ведутся в области совершенствования лесотранспортных единиц при использовании уже существующих средств управления [1, 3, 4, 5], для которых, как сказано, известна проблема их эксплуатации на малых и средних реках. По этой причине вопрос лесосплава в стеснённых условиях требует более детального изучения.

**Целью** работы является исследование гидродинамических процессов, формиру-

ющихся при использовании на плотях средства управления типа «тормоз-стабилизатор».

**Объектом исследования** являются технологии и системы сплава леса в плотях и линейках из плоских сплотовых единиц по рекам с малыми глубинами.

**Методы исследования.** Теоретической базой исследования являются основные законы гидродинамики, методы математического и физического моделирования. Математическое моделирование проводилось с использованием программного комплекса FlowVision 3.0. Экспериментальную основу составили исследования тормозного усилия и турбулентного проседания тормоза-стабилизатора в гидравлическом лотке. Обработка результатов исследования проводилась с помощью пакетов компьютерных программ GnuPlot, MathCad.

**Решение задачи.** Для решения проблемы управления и уменьшения воздействия на дно водоёма нами было предложено средство управления в виде «тормоза-стабилизатора» (рис. 1).

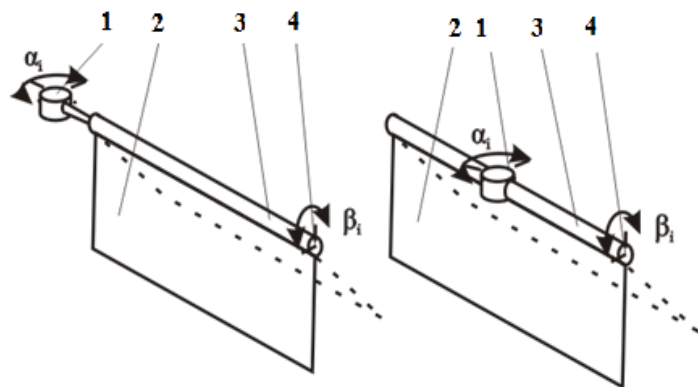


Рис. 1. Средство управления типа «тормоз-стабилизатор»: 1 – ось поворота в горизонтальной плоскости; 2 – тормозной щит; 3 – балка жёсткости (понтон); 4 – ось поворота в вертикальной плоскости

В ходе предварительных исследований [6, 7] была разработана конструкция самотормозящегося плота с кормовым расположением тормозных щитов типа «тормоза-стабилизатора» (рис. 2).

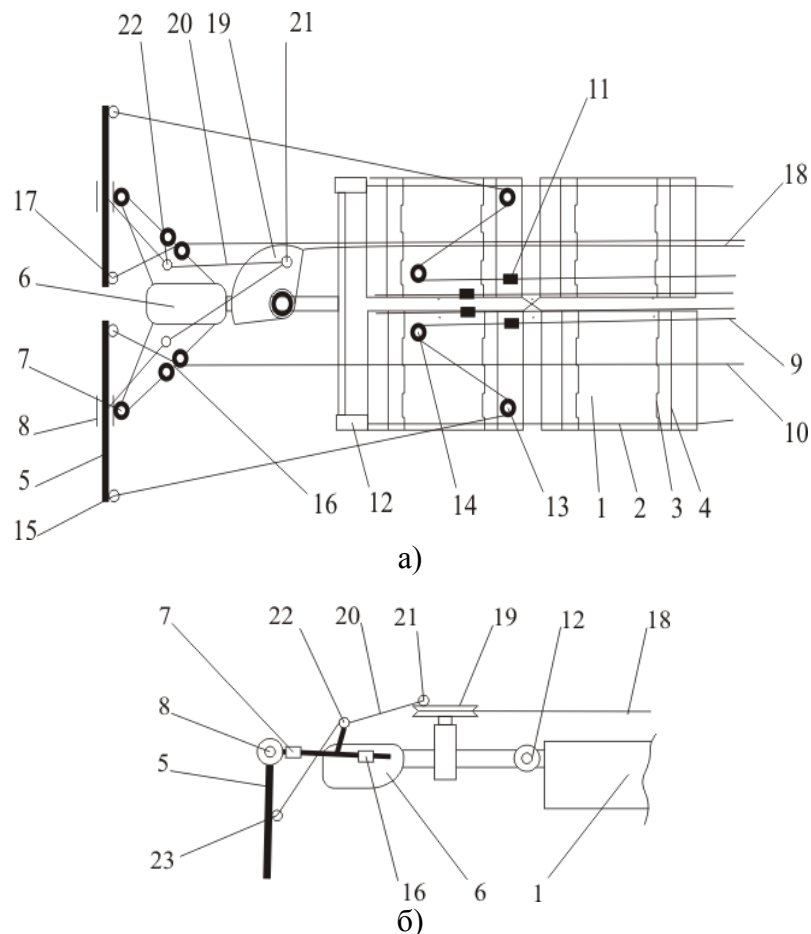


Рис. 2. Самотормозящийся плот: 1 – секция; 2 – лежни; 3 – счалы; 4 – брусстеры; 5 – тормозные щиты; 6 – понтон; 7, 8, 12 – шарнир; 9, 10, 18, 20 – тросовые тяги; 11 – ограничительные муфты; 13, 14, 16 – натяжные ролики; 15, 17, 21, 23 – крепёжные кольца; 19 – рулевой сектор, 22 – направляющие

Малый габарит предлагаемой конструкции самотормозящегося плота (рис. 2) делает возможным её применение на малых и средних реках, что актуально в условиях, когда возможность лесосплава в малых плотах или линейках из плоских сплотовых единиц ограничена параметром донного запаса, определяемым значениями силового проседания от цепей-волокуш и якорей.

При осуществлении плавания в стеснённых условиях на любое тело воздействуют ряд физических явлений, одним из которых является увеличение осадки, которое бывает скоростным, силовым и кавитационным [8].

Опираясь на общеизвестные рекомендации осуществления лесосплава по малым и средним рекам [1, 2, 4], знаем, что для плотового сплава леса параметр критического донного запаса составляет 0,15...0,25 м с поправкой на волнение и габарит лесосплавного хода по ширине, а параметр проседания, включая скоростное и кавитационное (турбулентное), при скоростях буксировки 0,2...1,2 м/с находится в интервале 0,02...0,25 м, т.е. вероятен контакт с дном водоёма, что чревато обрывом такелажных связей. При этом параметр силового проседания от цепей-волокуш колеблется в интервале 0,15...0,4 м, что в случае зацепа за некоторый подвод-

ный объект влечёт за собой обрыв цепей от плота и их затопление. Поэтому в условиях лесосплава в линейках из плоских сплотовых единиц по малым и средним рекам проблема проседания становится практически не решаемой при использовании традиционных средств управления в виде цепей-волокуш и якорей [5]. Данную проблему позволит решить предлагаемое нами средство управления типа «тормоз-стабилизатор» посредством снижения влияния силового проседания.

В процессе предварительных исследований были рассчитаны параметры проседания плота по классической методике Попова и уравнению Бернулли для плавания в стеснённых условиях [6], а также параметры тормозного усилия, создаваемого тормозом-стабилизатором по предложенной нами методике [7, 9]. В результате чего были получены параметры проседания (рис. 3, а) и тормозного усилия (рис. 3, б).

Для проверки результатов, полученных в ходе предварительных исследований, было выполнено математическое моделирование. Исследование гидродинамических характеристик предлагаемой конструкции самотормозящегося плота проводилось в системе автоматического моделирования процессов аэро- и гидродинамики FlowVision.

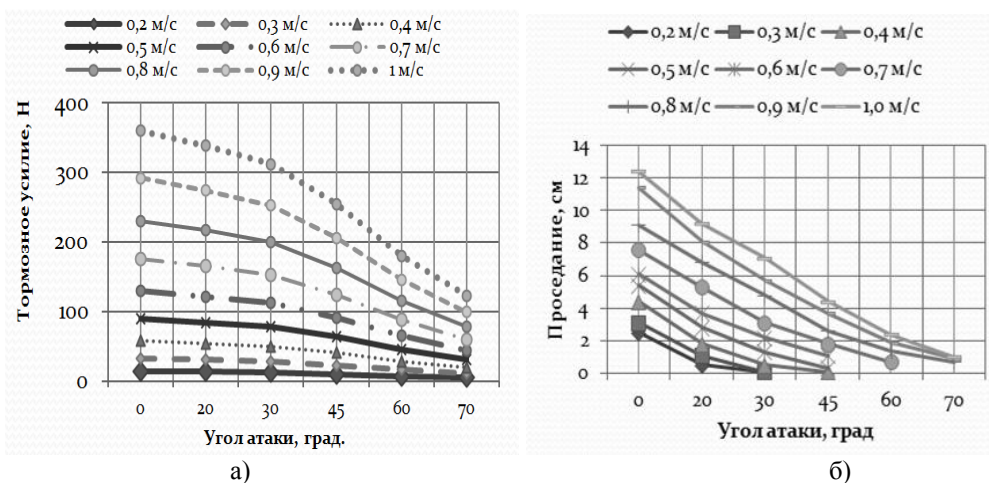


Рис. 3. Результаты предварительных исследований: а – значения тормозного усилия; б – параметры проседания

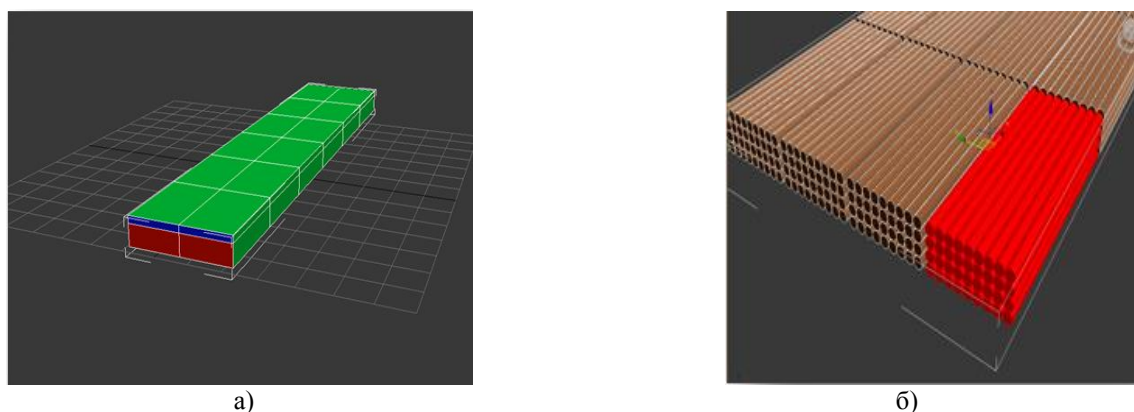


Рис. 4. Трёхмерные модели, полученные в редакторе 3DS Max: а – расчётная область; б – плот

На первом этапе исследований нами в натуральную величину были созданы 3D-модели в редакторе 3DS Max расчётной области (рис. 4, а) и плота (рис 4, б) в соответствии с принятой нами схемой (рис. 2).

При этом параметры 3D-модели плота составили следующие значения: ширина 2,5 м; длина 15 м; осадка 0,8 м; ширина тормозного щита 1 м; высота 1,2 м. Расчётная область имела габарит  $2 \times 10 \times 30$  м, с высотой воздушного слоя 0,3 м.

Для моделирования была принята стандартная k-ε модель турбулентности (рис. 5, а) и заданы начальные параметры моделирования (рис. 5, б). Параметры расчётной сетки при этом были следующими:  $X = 90$  ячеек; координата  $Y = 12$  ячеек; координата  $Z = 5$  ячеек.

Изучение распределения давлений при различных углах атаки «тормоза-стабилизатора» для определения параметров зон кавитации производилось в двухмерной системе координат с параметрами расчётной сетки  $X = 80$  ячеек,  $Z = 32$  ячейки.

По результатам моделирования были получены картины гидродинамического взаимодействия «тормоза-стабилизатора» с водной средой, определяющие тормозное усилие при различных скоростях буксировки и углах атаки в вертикальной плоскости (рис. 6, а), а также составлены зависимости изменения тормозного усилия от угла атаки «тормоза-стабилизатора» и скорости буксировки (рис. 6, б).

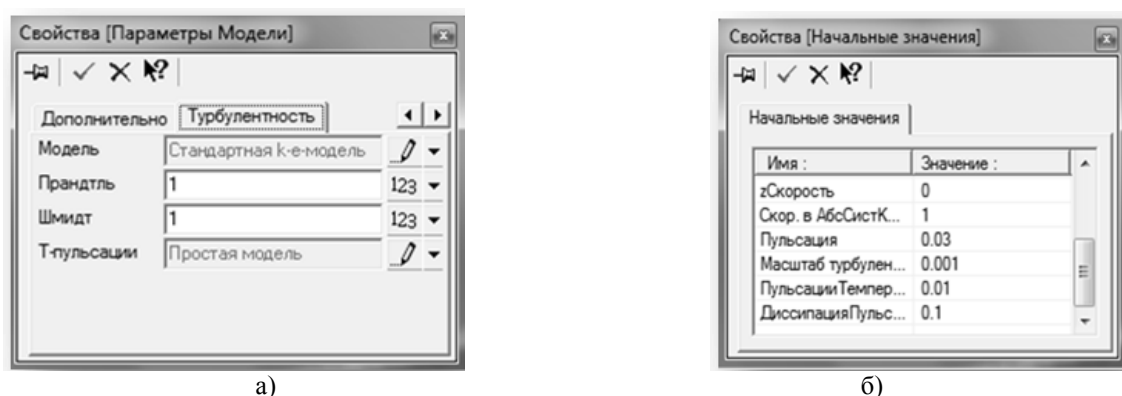


Рис. 5. Свойства модели турбулентности: а – параметры математической модели; б – начальные параметры моделирования

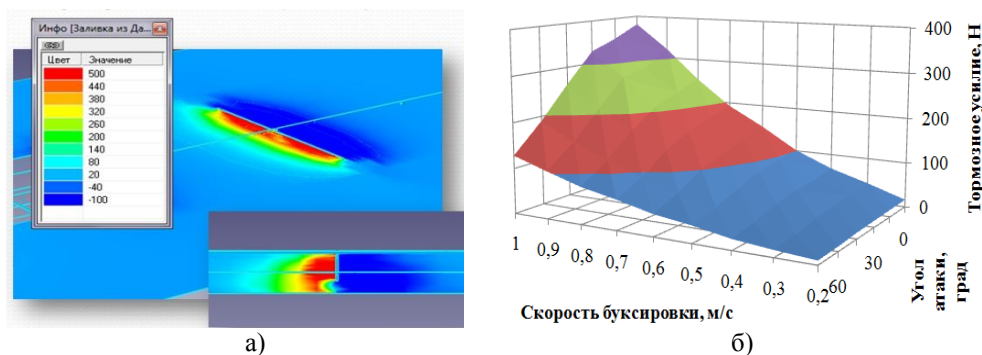


Рис. 6. Картины гидродинамического взаимодействия «тормоза-стабилизатора» с водной средой: а – распределение давлений по площади «тормоза-стабилизатора»; б – графическая зависимость тормозного усилия от углов атаки щита «тормоза-стабилизатора» при различных скоростях буксировки

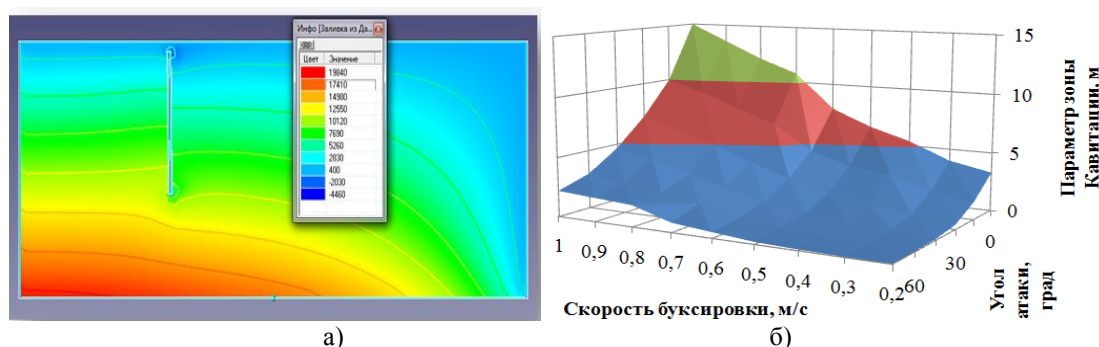


Рис. 7. Параметры проседания, полученные на математической модели: а – карта распределения давлений; б – графическая зависимость показателя проседания от углов атаки щита «тормоза-стабилизатора» при различных значениях скорости буксировки

Важно отметить, что изменение параметра тормозного усилия, создаваемого «тормозом-стабилизатором», имеет нелинейный характер и стремится к минимальным значениям с увеличением угла атаки и уменьшением скорости буксировки [10].

При изучении явления проседания были получены карты распределения давлений, позволяющие определить параметры зоны кавитации, образующейся при буксировке плота на различных скоростях и углах атаки «тормоза-стабилизатора», а также по полученным данным была составлена зависимость изменения вертикального параметра проседания от углов атаки и скорости буксировки самотормозящего плота (рис. 7).

Как видно из графических зависимостей (рис. 6, б; рис. 7, б), при скоростях буксировки менее 0,5 м/с вертикальный параметр зоны кавитации, численно равный проседанию, стремится к своему минимуму, эта же тенденция наблюдается при уве-

личении угла атаки, и при  $45^\circ$  параметр проседания принимает значения менее 5 см, при этом для модели обеспечивается минимальное тормозное усилие в 100 Н.

Анализируя показатели, полученные в среде автоматического моделирования процессов аэро- и гидродинамики FlowVision, было решено проверить их экспериментально, для чего выполнено экспериментальное исследование. Для проведения эксперимента использовался гидравлический лоток, где была размещена лабораторная установка (рис. 8, а). Экспериментальная установка включает в себя штатив 1, тормоз-стабилизатор 2 размером  $1 \times 1,2$  м, трубку Пито 3 (рис. 8, а), а также цифровой амперметр 4, блок-преобразователь 5 на базе микроконтроллера Atmega8 и пьезодатчик 6 (рис. 8, б) для определения давлений по площади модели плота. С целью получения масштабных фотоснимков зон кавитации (рис. 7, в) и определения их пара-

метров по градиенту концентрации пузырьков воздуха применяли высокоскоростную камеру Fastvideo-500M (рис. 8, з) и частицы люминофора.

Эксперимент проводился следующим образом. Тормоз-стабилизатор устанавливался под нужным углом к поверхности воды, после чего включалось измерительное оборудование и циркуляция воды с увеличением скорости потока. Измерение проводилось при углах атаки 0, 20, 30, 45, 60 и 70° и скоростях потока 0,2...1,0 м/с с градацией 0,1 м/с. При достижении необходимой скорости потока изменение скорости потока прекращалось и устанавливалось на текущем значении. После завершения переходного процесса производилось измерение давления с интервалом 30 секунд. Осреднение проводилось по десяти значениям давления. Автоматизация процесса измерения осуществлялась с помощью специализированной компьютерной программы. Затем процесс изме-

рения повторялся при других значениях потока.

Процесс измерения сопровождался фото- и видеофиксацией зон кавитации, образующихся при различных скоростях потока. Для визуализации процесса использовались частицы люминофора.

Результаты проведенных исследований показали, что изменение показателей в случае изменения тормозного усилия и параметра зоны кавитации имеют нелинейный характер. Данный результат позволяет оптимизировать режим работы тормоза-стабилизатора в заданных условиях. Как видно из графических зависимостей (рис. 9), при скоростях буксировки менее 0,5 м/с вертикальный параметр зоны кавитации стремится к своему минимуму, эта же тенденция наблюдается при увеличении угла атаки, и при 45° параметр проседания принимает значения менее 5 см, при этом для модели обеспечивается минимальное тормозное усилие в 100 Н.

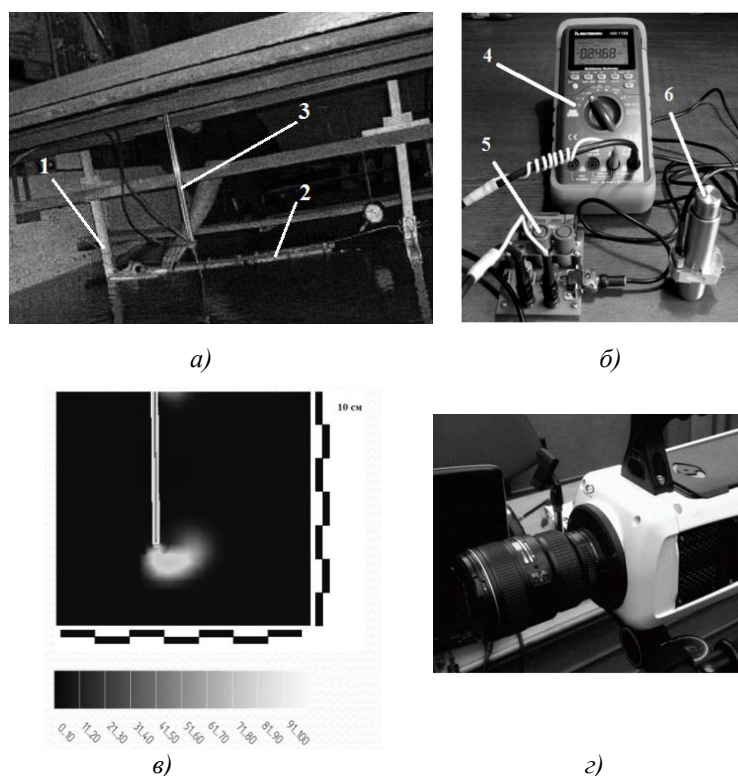


Рис. 8. Экспериментальная установка: а – внешний вид, б – прибор для определения давления; в – фотоснимок зоны кавитации; г – высокоскоростная видеокамера; 1 – штатив; 2 – тормоз-стабилизатор; 3 – трубка Пито; 4 – цифровой амперметр; 5 – блок-преобразователь на базе микроконтроллера Atmega8; 6 – пьезодатчик

Полученные фотоснимки позволяют судить об уменьшении параметров зоны кавитации с увеличением угла атаки, что свидетельствует и об уменьшении параметра проседания, приближённого к вертикальному параметру зоны кавитации.

Оценка полученных данных посредством критериев Фишера и Стьюдента показала, что они не превышают допустимых показателей в 5,05 и 2,26 соответственно.

Результаты экспериментальных исследований согласуются с результатами компьютерного моделирования. Отклонение экспериментального значения тормозного усилия при скоростях более 0,5 м/с не превышает 6 % от теоретической величины (рис. 10).

Параметры зон кавитации, полученные экспериментально и в процессе моделирования в среде FlowVision, также показывают хорошую сходимость (рис. 11).

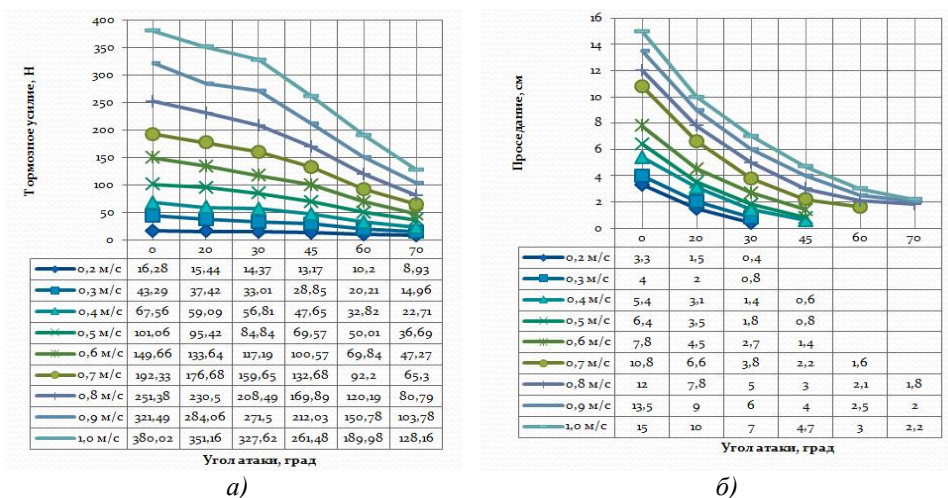


Рис. 9. Графические зависимости, полученные на лабораторной модели при различных углах атаки тормоза-стабилизатора и скоростях потока: а – тормозное усилие; б – параметр зоны кавитации

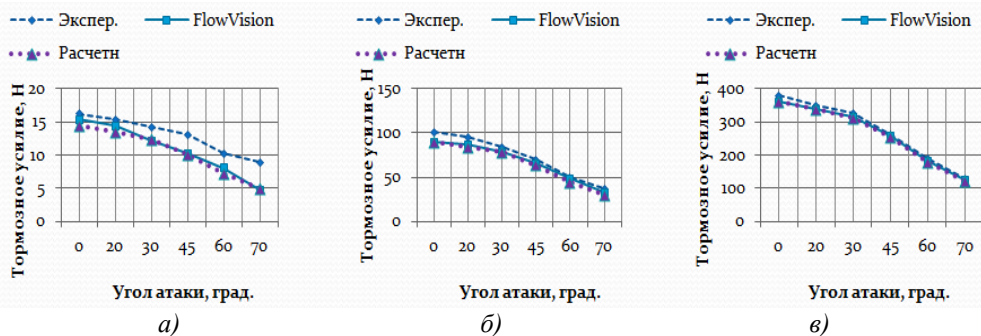


Рис. 10. Изменение тормозного усилия при различных скоростях потока: а – 0,2 м/с; б – 0,5 м/с; в – 1 м/с

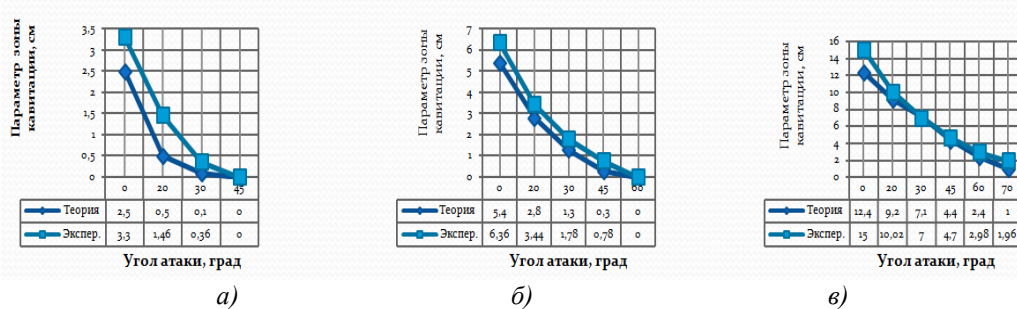


Рис. 11. Изменение проседания при различных скоростях потока: а – 0,2 м/с; б – 0,5 м/с; в – 1 м/с

**Выводы.** Произведённые исследования гидродинамических процессов, формирующихся при использовании на плотках средства управления типа «тормоз-стабилизатор», позволяют судить о перспективности применения предлагаемого устройства на малых и средних реках, а именно в условиях малого донного запаса.

Возможность изменения угла атаки и, как следствие, изменение параметров кавитационной зоны, влияющей на увеличение осадки конструкции плота, позволят избежать столкновения средства управления с дном водоёма, а создаваемого при этом тормозного усилия достаточно для обеспечения должного управления плотом.

#### Список литературы

1. Митрофанов, А.А. Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение/ А.А. Митрофанов. – Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 2007. – 492 с.
2. Поздеев, А.Г. Совершенствование средств инженерно-экологического обустройства водохранилищ ГЭС / А.Г. Поздеев, И.А. Полянин, Е.М. Царев, Ю.А. Кузнецова// Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. –2011. –№ 1. – С. 83-98.
3. Поздеев, А.Г. Обоснование параметров средств регулирования перекатов для обустройства лесосплавных путей// А.Г. Поздеев// Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2011. – Вып. 197. – С. 118-130.
4. Поздеев, А.Г. Совершенствование оценки экологического состояния линейных частей нефтепроводов на территориях с интенсивным карстообразованием/ А.Г. Поздеев, С.Я. Алибеков, С.Ф. Киркин, Ю.А. Кузнецова// Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2011. – № 2. – С. 84-93.
5. Поздеев, А.Г. Обобщение модели экологии популяций Лотки-Вольтерры на основе принципов системной динамики / А.Г. Поздеев, В.П. Сапцин, Ю.А. Кузнецова // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. –2011. –№ 2. – С. 94-101.
6. Мануковский, А.Ю. Эксплуатационные характеристики системы управления типа «тормоз-стабилизатор» для плотового лесосплава/ А.Ю. Мануковский, Д.А. Макаров. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2013. – 70 с.
7. Мануковский, А.Ю. Система управления типа «тормоз-стабилизатор» для плотового лесосплава/ А.Ю. Мануковский, Д.А. Макаров, Ю.А. Макарова. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2013. – 27 с. Деп. в ВИНТИ 29.05.2013, №155-В2013.
8. Снопков, В.И. Управление судном / В.И. Снопков. – СПб: Професионал, 2004. – 536 с.
9. Мануковский, А.Ю. К вопросу о сплаве леса по рекам с малыми глубинами/ А.Ю. Мануковский, Д.А. Макаров// Леса России в XII веке: Материалы девятой международной научно-технической интернет-конференции (сентябрь 2012 г.). – СПб., 2012. – С. 90-93.
10. Мануковский, А.Ю. Моделирование процессов гидродинамики «тормоза-стабилизатора»/ А.Ю. Мануковский, Д.А. Макаров, Ю.А. Макарова// Моделирование систем и процессов. – 2014. – № 1. – С.70 – 74.

Статья поступила в редакция 15.07.14.

**Ссылка на статью:** Мануковский А. Ю., Макаров Д. А. Исследование процессов гидродинамики «тормоза-стабилизатора» // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 3 (23). – С. 57-66.

#### Информация об авторах

**МАНУКОВСКИЙ Андрей Юрьевич** – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры промышленного транспорта, строительства и геодезии, Воронежская государственная лесотехническая академия. Область научных интересов – проблемы водного транспорта и комплексного освоения водных ресурсов, математическое моделирование в гидродинамике и экологии. Автор более 95 научных работ, в т.ч. четырёх монографий, пяти учебных пособий, двух патентов на изобретения, четырёх свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. E-mail: mayu1964@mail.ru

**МАКАРОВ Дмитрий Александрович** – соискатель кафедры промышленного транспорта, строительства и геодезии, программист центра дистанционного образования, Воронежская государственная лесотехническая академия. Область научных интересов – проблемы водного транспорта и комплексного освоения водных ресурсов, математическое моделирование в гидродинамике и экологии. Автор 10 публикаций, в т.ч. одного авторского свидетельства на изобретение, одной монографии, семи свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. E-mail: d.a.makarov@mail.ru



## THE «BRAKE – STABILIZER» HYDRODYNAMIC PROCESSES STUDY

A. Yu. Manukovskiy, D. A. Makarov

Voronezh State Forest Engineering Academy,  
8, Timiryazeva St., Voronezh, 394087, Russian Federation  
E-mail: mayu1964@mail.ru

**Key words:** rafting; constrained conditions of floating; ground stock control; brake-stabilizer.

### ABSTRACT

The problem of the timber rafting in terms of small size floating route was considered in the paper. The main factors hindering timber rafting in the rivers with shallow depths were described. To solve the problem, a device for a float control in the constrained conditions was offered. The main features of the device including the ability to work in the rivers with critically small bottom margin as well as the ability to change the generated braking force were described. The main requirements for timber floating in the rivers with shallow depths and the phenomena which occur in this situation are offered to better understand the problem. On the basis of the described requirements for the proposed construction of the raft with a mounted in it the control device («brake-stabilizer»), a mathematical simulation and experimental study were carried out. Mathematical simulation in the FlowVision medium and a pilot study of flow raft with a mounted in it a «brake-stabilizer» were described in the article step by step. The main parameters under investigation are the parameters of the construction subsidence due to a number of factors as well as the braking force generated by the «brake-stabilizer». The results of mathematical simulation as well as the results of an experimental study of the hydrodynamic processes in raft control by means of «brake-stabilizer» in comparison with the calculated values are offered. In addition to the results of mathematical simulation in FlowVision and some experimental data, design parameters of subsidence made by the usual Popov techniques and Bernoulli's equation to swim in the constrained conditions are offered. Comparison of the obtained results of the study was made.

### REFERENCES

1. Mitrofanov A.A. Lesosplav. *Novye tekhnologii, nauchnoe i tekhnicheskoe obespechenie* [Rafting. New Technologies, Scientific and Engineering Support]. Arkhangelsk: Arkhangelsk State Technical University, 2007. 492 p.
2. Pozdeev A.G., Polyaniin I.A., Tsarev E.M., Kuznetsova Yu.A. Sovershenstvovanie sredstv inzhenerno-ekologicheskogo obustroystva vodokhranilishch GES [Improvement of the Facilities of Engineering and Ecological Arrangement of Hydro-Electric Power Stations]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Mari State Technical University. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2011. № 1. Pp. 83-98.
3. Pozdeev A.G. Obosnovanie parametrov sredstv regulirovaniya perekatov dlya obustroystva lesosplavnykh putey [Grounding of the Parameters of the Means to Control the Riffs for Floating Routes Arrangement]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Izvestiya of Saint-Petersburg Forest Engineering Academy]. 2011. Issue. 197. Pp. 118-130.
4. Pozdeev A.G., Alibekov S.Ya., Kirkin S.F., Kuznetsova Yu.A. Sovershenstvovanie otsenki ekologicheskogo sostoyaniya lineynykh chastey nefteprovodov na territoriyakh s intensivnym karstoobrazovaniem [Improvement of the Assessment of Ecological Condition of the Linear Parts of Pipelines at the Territories with Intensive Karstification]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Mari State Technical University. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2011. № 2. Pp. 84-93.
5. Pozdeev A.G., Sapsin V.P., Kuznetsova Yu.A. Obobshchenie modeli ekologii populyatsiy Lotki-Volterra na osnove printsipov sistemnoy dinamiki [Generalization of the Ecology Model of the Lotka-Volterra Population Based on the Principles of the Systems Dynamics]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Mari State Technical University. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2011. № 2. Pp. 94-101.
6. Manukovskiy A.Yu., Makarov D.A. Ekspluatatsionnye kharakteristiki sistemy upravleniya tipa «tormoz-stabilizator» dlya plotovogo lesosplava [Performance of the Control System «Brake-Stabilizer» for Rafting]. Voronezh: FSBEI HPE «VGLTA», 2013. 70 p.
7. Manukovskiy A.Yu., Makarov D.A., Makarova Yu.A. Sistema upravleniya tipa «tormoz-

stabilizator» dlya plotovogo lesosplava [Control System "Brake-Stabilizer" for Rafting]. Voronezh: FSBEI HPE «VGLTA», 2013. 27 p.

8. Snopkov V.I. *Upravlenie sudnom* [Manoeuvring a Ship]. Saint-Petersburg: Professional, 2004. 536 p.

9. Manukovskiy A.Yu., Makarov D.A. K vo-  
prosu o splave lesa po rekam s malymi glubinami  
[To the Problem of Forest Rafting in the Rivers  
with Shall Depth]. *Lesa Rossii v XII veke: Materialy  
devyatoy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy*

internet-konferentsii (sentyabr 2012 g.) [Russian  
Forest in the XXIth Century: proceedings of the 9<sup>th</sup>  
International Research and Technical Internet-  
Conference (September 2012)]. Saint-Petersburg,  
2012. Pp. 90-93.

10. *Manukovskiy A.Yu., Makarov D.A.,  
Makarova Yu.A.* Modelirovanie protsessov gidro-  
dinamiki «tormoza-stabilizatora» [Simulation of Hy-  
drodynamics Processes "Brake-Stabilizer"]. *Mod-  
elirovanie system i protsessov* [Systems and Processes  
Simulation]. 2014. № 1. Pp.70 – 74.

The article was received 15.07.14.

**Citation for an article:** Manukovskiy A.Yu., Makarov D.A. The «brake – stabilizer» hydrodynamic processes study. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2014. No 3(23). Pp. 57-66.

#### Information about the authors

*MANUKOVSKIY Andrey Yuriyevich* – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor at the Chair of Industrial Transport, Construction and Geodesy, Voronezh State Forest Engineering Academy. Research interests – problems of water transport and complex development of water resources, mathematic simulation in hydrodynamics and ecology. The author of more than 95 scientific papers, including 4 monographs, 5 study guides, 2 patents for invention, 4 certificates of state registration of application software.

E-mail: mayu1964@mail.ru

*MAKAROV Dmitriy Aleksandrovich* – Applicant for a Candidate Degree at the Chair of Industrial Transport, Construction and Geodesy, Programmer at the Centre of Distance Education, Voronezh State Forest Engineering Academy. Research interests – problems of water transport and complex development of water resources, mathematic simulation in hydrodynamics and ecology. The author of 10 publications, including 1 author's certificate for invention, 1 monograph.

E-mail: d.a.makarov@mail.ru