DOI: 10.12737/article_5b97a15c019fc6.85808088
УДК 630*378

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СПЛОТОЧНЫХ ЕДИНИЦ МАЛОЙ ОСАДКИ

кандидат технических наук **П. Н. Перфильев**[1]
кандидат технических наук **Н. О. Задраускайте**[1]
кандидат технических наук **О. В. Мурашова**[1]
А. А. Гуменчук[1]
1 – ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, Российская Федерация

В настоящее время в условиях конкуренции лесопромышленные предприятия для своего развития вынуждены постоянно инвестировать в новую технику и производственное оборудование, а также модернизировать технологические процессы. Растут производственные мощности предприятий лесопромышленного комплекса. Вместе с тем на перерабатывающих предприятиях остро ощущается нехватка древесного сырья. При этом лесосырьевая база используется не оптимально. В настоящее время в Архангельской области объемы лесозаготовок доходят лишь до половины объемов расчетной лесосеки, которая составляет, по различным оценкам, около двадцати млн.м^3. Для вывозки заготовленных круглых лесоматериалов используются различные виды транспорта (автомобильный, железнодорожный, речной). На расстояниях до 300 км самыми оптимальными являются автомобильные перевозки. Данный вид транспорта обладает неоспоримыми преимуществами, основными из которых являются кратчайшие сроки перевозки и доставка по принципу «от двери до двери». Дорожная сеть в условиях огромной территории РФ развита слабо, что является для лесных предприятий основной причиной ограниченных объемов заготовки круглых лесоматериалов. Это приводит к тому, что лесосечный фонд, находящийся вблизи лесных дорог и лесных проездов истощен. Дорожную сеть необходимо развивать, но в современной экономической ситуации лесозаготовительным предприятиям сделать это крайне сложно. Для повышения объемов лесозаготовки необходимо развивать технологии перевозки круглых лесоматериалов по естественным транспортным артериям – рекам. При этом наиболее экономически целесообразным и зарекомендовавшим себя является метод сплава в лесотранспортных единицах. В прошлые годы при расцвете молевого сплава широко использовались малые и средние реки, которые в настоящее время исключены из логистических маршрутов поставок круглых лесоматериалов ввиду недостаточных для проплава габаритов лесосплавного хода. Для их задействования и тем самым расширения транспортной сети необходимо оптимизировать имеющиеся технологии сплотки круглых лесоматериалов. В статье проанализированы разработки современных конструкций сплоточных единиц малой осадки, приведены результаты исследований гидродинамических характеристик единиц плоской сплотки и сплоточных единиц из пучков, проанализированы результаты полного факторного эксперимента для определения гидродинамического сопротивления движению сплоточных единиц.

Ключевые слова: сплоточная единица, опыт, сопротивление, фактор, моделирование

INVESTIGATION OF THE OPTIMAL HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS OF SHALLOW DRAFT FLOAT UNIT

PhD in Engineering **P. N. Perfiliev**[1]
PhD in Engineering **N. O. Zadrauskaite**[1]
PhD in Engineering **O. V. Murashova**[1]
A. A. Gumenchuk[1]
1 – Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov», Arkhangelsk, Russian Federation

Abstract

Currently, in a competitive environment, timber enterprises are forced to constantly invest in new machinery and production equipment, as well as modernize technological processes for their development. The production capacities of enterprises of the timber industry complex are growing. At the same time, there is a sharp shortage of wood raw materials at the processing enterprises. At the same time, the forest raw material base is not used optimally. At present, in the Arkhangelsk region, logging volumes reach only half of the estimated logging area, which, according to various estimates, amounts to about twenty million m^3. For transportation of harvested round timber, various types of transport are used (road, rail, river transport). At distances of up to 300 km, the most optimal are road transport. This type of transport has undeniable advantages, the main of which are the shortest terms of transportation and delivery on a "door-to-door" basis. The road network in the conditions of the vast territory of the Russian Federation is poorly developed, which is the main reason for the forest enterprises in the limited volumes of harvesting round timber. This leads to the fact that logging fund located near the forest roads and forest ways is exhausted. The road network needs to be developed, but logging enterprises make it extremely difficult in the current economic situation. It is necessary to develop technologies for transportation of round timber along natural transport arteries - rivers - to increase the volume of logging. The most economically expedient and proven method is rafting method in forest transport units. In past years, small and medium-sized rivers were widely used during the flourishing of individual floating, which are currently excluded from the logistical routes for the supply of round timber, in view of the insufficient timber surplus for rafting timber. It is necessary to optimize the available technologies of the round timber raft assembly to use them and thereby expand the transport network. The article analyzes the development of modern designs for shallow draft float units, the results of studies of hydrodynamic characteristics of flat rafters and cohesive units from bundles are presented, the results of a full factor experiment to determine the hydrodynamic resistance to the motion of float units is analyzed.

Keywords: float unit, experience, resistance, factor, modeling

Введение

В Российской Федерации водный транспорт широко применяется для доставки круглых лесоматериалов от предприятий, осуществляющих лесозаготовительную деятельность на лесосеках, находящихся в достаточной близости от речных артерий, до предприятий-переработчиков. Основной особенностью такого транспорта в сравнении с другими видами перевозок (автомобильная, железнодорожная) является то, что транспортировка происходит с помощью энергии водного потока на основе естественного природного пути с использованием относительно небольших энергетических ресурсов [1].

В настоящее время круглые лесоматериалы транспортируются по рекам в баржах или лесотранспортных единицах. Основой при составлении лесотранспортной единицы является пучок лесоматериалов. В настоящее время пучки являются самой распространенной сплоточной единицей [5]. В течении длительного времени использования такие сплоточные единицы хорошо себя зарекомендовали. Недостатком пучкового лесосплава является невозможность проплава по рекам с ограниченными габаритами лесосплавного хода, а это практически все малые реки и часть средних рек. Ввиду этого данные водные артерии практически исключены из транспортных цепей поставки сырья на деревоперерабатывающие предприятия. Для того, чтобы задействовать эти реки и повысить объемы заготовки круглых лесоматериалов, необходимо уменьшить осадку лесотранспортных

единиц. Этим вопросом занимались многие ученые. Известны работы А.А. Митрофанова [2], Г.Я. Сурова [8], С.В. Посыпанова [7] и др. Например, в работе В.Я. Харитонова [10] рассмотрены новые конструкции различных сплоточных единиц, в том числе и транспортные единицы регулируемых размеров, проанализированы вопросы движения плохо обтекаемого тела и сделан вывод, что способ транспортировки сплоточной единицы влияет на сопротивление движению. В работе [10] представлены способы уменьшения лобового сопротивления при движении плохообтекаемых тел.

Применение современных технологий сплава позволит расширить сроки навигации, освоить дополнительные лесосеки, получить альтернативные транспортные пути в виде малых и средних рек.

В данной статье рассмотрена методика проведения экспериментальных исследований по определению гидродинамических характеристик современных сплоточных единиц малой осадки для оптимизации технологий лесосплава по рекам с ограниченными габаритами лесосплавного хода. Изучение таких характеристик позволит наиболее оптимально выполнять технологические и транспортные расчеты по внедрению новых технологий лесосплава.

Методы и материалы

При изучении объектов и процессов широко применяются теоретические и экспериментальные исследования. Существуют два основных пути экспериментального изучения какого-либо объекта или процесса - модельные и натурные исследования. Натурные испытания имеют более высокую ценность для науки, но они часто трудноосуществимы по нескольким причинам (труднодоступность, экономическая неэффективность и др.). Моделирование предполагает рассмотрение физически подобных явлений. Когда два физических объекта являются подобными, то по характеристикам одного из объектов можно выявить все характеристики другого объекта – пересчитав при помощи переходных коэффициентов. Для сохранения подобия при моделировании необходимо соблюдать критерии подобия [4].

В соответствии с рекомендациями [2, 4, 9] моделирование выполнено по критерию Рейнольдса и Фруда. Вместе с тем для получения достоверных данных при моделировании необходимо подобрать масштаб моделирования, чтобы избежать масштабного эффекта.

На рис. 1 представлен график, с помощью которого осуществлен подбор масштаба моделирования. В ходе анализа графика определено, что при масштабе сплоточных единиц меньше 1:25 моделирование сложно осуществимо в области чисел Рейнольдса. Чтобы исключить появление масштабного эффекта обычно испытания проводят при масштабах от 1:25 и больше. При проведении исследований с масштабом в интервале 1:25 – 1:50, потребуется проверка на наличие масштабного эффекта моделей с частичной проверкой некоторых точек в натуре. Такой интервал считается зоной неуверенного моделирования, выполнение исследований в ней нецелесообразно. Поэтому при проведении экспериментов выбран масштаб моделирования 1:20. Вместе с тем, выбранный масштаб использован и в других подобных исследованиях [2, 6, 7].

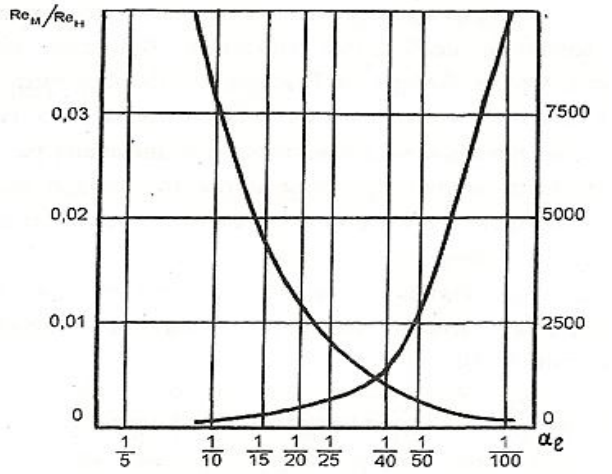

Рис. 1. График зависимости критериев подобия от масштаба моделирования

В ходе исследования проанализировано большое количество сплоточных единиц малой осадки и выбраны две сплоточные единицы:

- плоская сплоточная единица [2], представлена на рис. 2;
- сплоточная единица, состоящая из пучков [3], представлена на рис. 3.

Для проведения испытаний изготовлены 20 моделей сплоточных единиц (рис. 2 и рис. 3), состоящих из отдельных модельных бревен диаметром 1 см, длиной 30 см и 20 см. Ширина моделей сплоточных

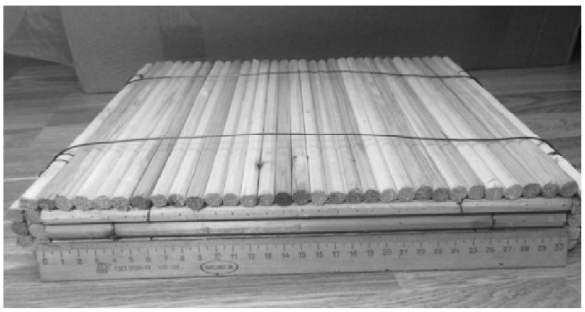

Рис. 2. Модель плоской сплоточной единицы

Рис. 3. Сплоточная единица из пучков

единиц (рис. 2) составила 240 мм и 340 мм. Сплоточные единицы изготовлены из трех, четырех и пяти рядов.

Характеристики сплоточной единицы из пучков [3]:

- длина 0,2-0,3 м,
- ширина 0,24-0,36 м,
- осадка 0,024-0,04 м,
- количество пучков по ширине от 4 до 9 штук.

Экспериментальные исследования проведены в опытовом бассейне гравитационного типа кафедры технологии лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств ФГАОУ ВО «Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова». Характеристики бассейна: длина - 11 м, ширина – 3 м, глубина – 0,35 м. Для исследований использована буксировочная система, состоящая из двух трехкратных полистапастов $i_п$=3. Один из них передает усилие тяги, другой – торможения.

Передвижение сплоточных единиц зафиксировано с помощью специальных датчиков ZET 410, ZET 220, BC-401 (рис. 4). ZET 220 – аналого-цифровой преобразователь предназначен для измерения параметров сигналов. Модуль ZET 410 используется в качестве усилителя сигналов. BC-401 – бесконтактный датчик оборотов. В системе на блоке установлен диск с двумя зонами (рис. 4): прозрачной и непрозрачной, при вращении которого прерывается световой поток от светодиода, излучающего в инфракрасной области спектра. Свет подается на фотодиоды, которые фиксируют импульсы света. Два находящиеся рядом фотодиода позволяют определить направление движения. Далее электрический сигнал поступает в микроконтроллер – счетчик импульсов и в случае готовности ПК для приема данных вызывает аппаратное прерывание работы центрального процессора и отправляет подсчитанное число. Вместе с тем фиксируется и время движения модели.

Рис. 4. Модули ZET 220, ZET 410 и бесконтактный датчик оборотов BC-401

На основании изучения научных источников по состоянию вопроса, в том числе [2, 6, 7] выявлены факторы, которые оказывают наибольшее влияние на гидродинамическое сопротивление: длина L, ширина B и осадка T сплоточной единицы. Для оценки влияния входных факторов на отклик проведено математическое планирование эксперимента, которое необходимо для получения математической функции, описывающей поведение объекта исследования.

До начала экспериментальных исследований определены уровни варьирования факторов в каждом опыте. Верхний уровень входных факторов обозначен +1, нижний -1. Так как число уровней факторов равно двум, то возможно проведение полного факторного эксперимента типа 2^k.

Выполнено математическое планирование трехфакторного эксперимента. Для сплоточной единицы введены обозначения: x_1, x_2, x_3 – параметры сплоточной единицы в условном масштабе, соответствующие L, B, T.

Значения факторов при различных уровнях варьирования представлены в табл. 1.

Таблица 1

Уровни варьирования факторов в условном и нормализованном масштабе

Факторы	Значения факторов			
	Плоская сплоточная единица		Сплоточная единица из пучков	
	+1	-1	+1	-1
x_1	0,30	0,20	0,30	0,20
x_2	0,34	0,24	0,36	0,24
x_3	0,04	0,024	0,04	0,024

Вместе с тем определено общее количество опытов (N=8) и необходимое число повторений эксперимента в каждом опыте. Для определения необходимого числа повторений эксперимента проведена пробная серия опытов с использованием постоянного усилия буксировки. Достаточное число повторений эксперимента определено по зависимости [4]

$$n = \frac{t^2 \cdot \nu^2}{\Delta^2}, \quad (1)$$

где t -коэффициент Стьюдента,

ν – коэффициент вариации,

Δ – относительная допускаемая ошибка.

В результате расчетов достаточное число повторений эксперимента – 5 раз.

Для определения величины гидродинамического сопротивления движению сплоточной единицы использована зависимость [2]

$$R = r \cdot \upsilon^2, \quad (2)$$

где r – приведенное сопротивление, Н;

υ – скорость транспортировки сплоточной единицы, м/с.

После проведения трехфакторного эксперимента, полученные данные (табл. 2) были обработаны стандартными статистическими методами. При обработке использовано современное программное обеспечение: Microsoft Excel и Statistica. Отсутствие ошибок в эксперименте доказано с помощью критерия Кохрена.

Результаты и обсуждение

Уравнение регрессии для определения приведенного сопротивления плоской сплоточной единицы (рис. 2) в условном масштабе приняло вид зависимости

$$\begin{aligned} r = {} & 4{,}15 - 0{,}03x_1 + 0{,}66x_2 + \\ & + 0{,}88x_3 - 0{,}09x_1x_2 - 0{,}09x_1x_3 + \\ & + 0{,}14x_2x_3 - 0{,}12x_1x_2x_3 \end{aligned} \quad (3)$$

С помощью t-критерия Стьюдента доказана значимость всех коэффициентов уравнения регрессии.

По аналогии проведены экспериментальные исследования со сплоточной единицей, состоящей из пучков (рис. 3). Полученные экспериментальные данные представлены в табл. 3. По критерию Кохрена выявлено отсутствие грубых ошибок.

Таблица 2

Рассчитанные значения приведенного коэффициента сопротивления для плоской сплоточной единицы

№ серии опытов	Значение факторов			Значение отклика в серии повторений эксперимента, r, Н					$\bar{r}_i$	S^2
	X_1	X_2	X_3	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5		
1	-1	-1	-1	2,65	2,71	2,68	2,77	2,75	2,71	0,0094
2	+1	-1	-1	2,75	2,82	2,73	2,82	2,73	2,77	0,0097
3	-1	+1	-1	3,71	3,63	3,73	3,73	3,74	3,71	0,0086
4	+1	+1	-1	3,98	3,88	3,91	3,87	3,79	3,89	0,0205
5	-1	-1	+1	4,05	4,17	4,18	4,15	4,09	4,13	0,0130
6	+1	-1	+1	4,39	4,41	4,29	4,26	4,32	4,33	0,0170
7	-1	+1	+1	6,12	6,16	6,24	6,11	6,14	6,15	0,0102
8	+1	+1	+1	5,54	5,46	5,51	5,49	5,51	5,50	0,0033

Таблица 3

Рассчитанные значения приведенного коэффициента сопротивления для сплоточной единицы из пучков

№ серии опытов	Значение факторов			Значение отклика в серии повторений эксперимента, r, Н					$\bar{r}_i$	S^2
	X_1	X_2	X_3	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5		
1	-1	-1	-1	2,62	2,54	2,55	2,61	2,54	2,57	0,0063
2	+1	-1	-1	2,43	2,49	2,40	2,43	2,40	2,43	0,0050
3	-1	+1	-1	3,12	3,06	3,20	3,08	3,06	3,11	0,0134
4	+1	+1	-1	3,18	3,21	3,25	3,33	3,26	3,25	0,0124
5	-1	-1	+1	3,43	3,43	3,53	3,49	3,52	3,48	0,0092
6	+1	-1	+1	3,18	3,21	3,18	3,12	3,22	3,18	0,0063
7	-1	+1	+1	4,32	4,27	4,36	4,32	4,32	4,32	0,0040
8	+1	+1	+1	3,89	4,00	4,08	4,03	3,91	3,98	0,0259

Уравнение регрессии для определения приведенного сопротивления сплоточной единицы из пучков с учетом значимости (для подтверждения выполнена оценка по t-критерию Стьюдента) приняло вид зависимости

$$r = 3{,}29 - 0{,}08x_1 + 0{,}37x_2 + \\ + 0{,}45x_3 + 0{,}03x_1x_2 - 0{,}08x_1x_3 + \\ + 0{,}04x_2x_3 - 0{,}04x_1x_2x_3 \quad (4)$$

Вычисленные коэффициенты детерминации и критерии Фишера доказали применимость математических моделей (3) и (4) для определения приведенного сопротивления.

Выводы

В ходе анализа уравнений регрессии (3) и (4) выяснено, что наименьшее влияние на гидродинамическое сопротивление оказывает длина, наибольшее – осадка сплоточной единицы. Данный факт объясняется тем, что на сопротивление движению оказывает влияние миделево сечение, которое напрямую зависит от осадки и ширины единицы.

Для каждой сплоточной единицы определены такие показатели, как: среднеквадратическое отклонение, показатель точности, ошибка среднеарифметического, коэффициент вариации. Анализ статистических результатов показал, что опыты проведены с достаточно высокой точностью.

Значительное повышение эффективности экспериментальных исследований достигается путем использования математических методов их планирования. В процессе экспериментирования и при обработке полученных данных существенно сокращаются сроки решения, снижаются затраты на исследования и повышается качество полученных результатов [4].

Математическое планирование играет важную роль при проведении опытов, так как позволяет предварительно оценить степень влияния входных факторов на отклик и выявить те факторы, которые не оказывают влияния, тем самым сокращая время проведения экспериментов по классической методике.

Библиографический список

1. Будыка, С. Х. Водный транспорт леса и механизация лесосплавных работ [Текст] / С. Х. Будыка, Г. А. Манухин, А. Н. Пименов. – Минск : Вышэйш. шк., 1970. – 439 с.

2. Митрофанов, А. А. Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение [Текст] : моногр. / А. А. Митрофанов. – Архангельск, 2007. – 492 с.

3. Пат. 115769 Российская Федерация, B45G69/20. Сплоточная единица [Электронный ресурс] / Г. Я. Суров, Я. В. Ватлина, Т. М. Шарова. – Режим доступа: http://www1.fips.ru/wps/portal/IPS_Ru свободный.

4. Перфильев, П. Н. Моделирование и оптимизация технологических процессов лесопромышленных производств [Электронный ресурс] : учеб. пособие / П. Н. Перфильев, Г. Я. Суров, Д. А. Штаборов. – Архангельск, 2015.

5. Перфильев, П. Н. Оптимальные методы сплотки лесоматериалов [Текст] / П. Н. Перфильев,

А. А. Гуменчук / Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика : сб. науч. тр. по матер. междунар. заочной науч.-практ. конференции «Новые подходы в науке и технике». – Воронеж, 2015. – № 9. – Ч. 3. – С. 130-133.

6. Перфильев, П. Н. Исследования гидродинамических характеристик линеек из плоских сплоточных единиц [Текст] / П. Н. Перфильев, А. А. Митрофанов. // Изв. вузов. – Лесной журнал. – 2009. – № 1. – С. 44-51.

7. Посыпанов, С. В. Исследование геометрических характеристик плавающей двухярусной пакетной сплоточной единицы [Текст]:/ С. В. Посыпанов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2016. – Вып. 215. – С. 165-180.

8. Суров, Г. Я. Водный транспорт леса: речные плоты [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г. Я. Суров, Д. А. Штаборов, П. Н. Перфильев. – Архангельск, 2015.

9. Худоногов, В. Н. Гидродинамическое взаимодействие плотов и внешней среды [Текст] / В. Н. Худоногов. – Красноярск, 1966. – 225 с.

10. Харитонов, В. Я. Сборник избранных трудов [Текст] / В. Я. Харитонов. – Архангельск, 2010. – 480 с.

11. Derbin, V. Monitoring of forest certification on the example of the enterprises LLC Solombalales Managing company [Text] / V. Derbin, M. Derbin // 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016 Water resources. Forest, marine and ocean ecosystems, www.sgem.org, sgem2016 conference proceedings, 30 June – 6 July, 2016. – Vol. 2. – P. 571-580.

12. Derbin, V. On the feasibility of voluntary forest certification [Text] / V. Derbin, M. Derbin // 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016 Water resources. Forest, marine and ocean ecosystems, www.sgem.org, sgem2016 conference proceedings, 30 June – 6 July, 2016. – Vol. 2. – P. 589-594.

References

1. Budyka S. Kh., Manukhin G. A., Pimenov A. N. *Vodnyy transport lesa i mekhanizatsiya lesosplavnykh rabot* [Water transport of forest and mechanization of timber rafting works]. Minsk, 1970, 439 p. (In Russian).

2. Mitrofanov A. A. *Lesosplav. Novyye tekhnologii, nauchnoye i tekhnicheskoye obespecheniye* [Timber rafting. New technologies, scientific and technical support monograph]. Arkhangelsk, 2007, 492 p. (In Russian).

3. Surov G. Ya., Vatlina Ya. V., Sharova T. M. *Splotochnaya yedinitsa* [Float unit]. Patent RF, no. 115769, 2012.

4. Perfiliev P. N., Surov G. Ya., Staborov D. A. *Modelirovaniye i optimizatsiya tekhnologicheskikh protsessov lesopromyshlennykh proizvodstv* [Modeling and optimization of technological processes of timber industry]: Arkhangelsk, 2015 (In Russian).

5. Perfiliev P. N., Gumenchuk A. A. *Optimal'nyye metody splotki lesomaterialov* [Optimal methods of joining timber]. *Sbornik nauchnykh trudov po materialam mezhdunarodnoy zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Novyye podkhody v nauke i tekhnike»* [Collection of scientific papers on the materials of the international correspondence scientific-practical conference "New approaches in science and technology"]. Voronezh, 2015, no. 9, pp. 130-133 (In Russian).

6. Perfiliev P. N., Mitrofanov A. A. *Issledovanija gidrodinamicheskih harakteristik lineek iz ploskih splotochnyh edinic* [Investigations of the hydrodynamic characteristics of the rulers from flat float units]. *Lesnoy zhurnal* [Forest journal]. 2009, no. 1, pp. 44-51 (In Russian).

7. Posypanov S. V. *Issledovanie geometricheskih harakteristik plavajushhej dvuhjarusnoj paketnoj splotochnoj edinicy* [Investigation of the geometric characteristics of a floating two-tier packet-based float unit]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy]. 2016, no. 215, pp. 165-180 (In Russian).

8. Surov G. Ya., Staborov D. A., Perfiliev P. N. *Vodnyy transport lesa: rechnyye ploty* [Water transport of the forest: river rafts: training. Allowance]. Arkhangelsk, 2015. (In Russian).

9. Khudonogov V. N. *Gidrodinamicheskoye vzaimodeystviye plotov i vneshney sredy* [Hydrodynamic interaction of rafts and the environment]. Krasnoyarsk, 1966, 225 p. (In Russian).

10. Haritonov V. Ya. *Sbornik izbrannyh trudov* [Collection of Selected Works]. Arhangelsk, 2010, 480 p. (In Russian).

11 Derbin V., Derbin M. Monitoring of forest certification on the example of the enterprises LLC Solombalales Managing company. 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016 Water resources. Forest, marine and ocean ecosystems, www.sgem.org, sgem2016 conference proceedings, 30 June – 6 July, 2016, vol. 2, pp. 571-580.

12. Derbin V., Derbin M. On the feasibility of voluntary forest certification. 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016 Water resources. Forest, marine and ocean ecosystems, www.sgem.org, sgem2016 conference proceedings, 4, 30 June – 6 July, 2016, vol. 2, pp. 589-594.

Сведения об авторах

Перфильев Павел Николаевич – и.о. заведующего кафедрой технологии лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», кандидат технических наук, г. Архангельск, Российская Федерация; e-mail: p.perfilev@narfu.ru.

Задраускайте Наталья Олеговна – доцент кафедры технологии лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», кандидат технических наук, г. Архангельск, Российская Федерация; e-mail: n.zadrauskaite@narfu.ru.

Мурашова Ольга Валерьевна – доцент кафедры технологии лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», кандидат технических наук, г. Архангельск, Российская Федерация; e-mail: o.murashova@narfu.ru.

Гуменчук Александра Анатольевна – магистрант ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, Российская Федерация; e-mail: a.gumenchuk@narfu.ru.

Information about authors

Perfiliev Pavel Nikolaevich – Acting Head of Technology of Logging and Woodworking Production department, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov», Ph.D. in Engineering, Arkhangelsk, Russian Federation; email: p.perfilev@narfu.ru.

Zadrauskaite Natalia Olegovna – Associate Professor of Technology of Logging and Woodworking Production department, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov», Ph.D. in Engineering, Arkhangelsk, Russian Federation; email: n.zadrauskaite@narfu.ru.

Murashova Olga Valeryevna – Associate Professor of Technology of Logging and Woodworking Production department, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov», Ph.D. in Engineering, Arkhangelsk, Russian Federation; email: o.murashova@narfu.ru.

Gumenchuk Alexandra Anatolyevna – master student, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov», Arkhangelsk, Russian Federation; email: a.gumenchuk@narfu.ru.