

УДК 630*37; 630*378.32; 630*378.44

Гидродинамические качества хлыстовых пучков из древесины с ограниченным запасом плавучести

А.Ю. Жук

Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия
zhuk30@yandex.ru

Статья поступила 3.09.2014, принята 16.11.2014

В известных работах приводятся результаты исследований по определению сопротивления при буксировке для сплоченных единиц с достаточным запасом плавучести, т. е. свежесрубленной древесины или после проведения ее подготовки к сплаву, например, атмосферной сушки. Результаты определения указанного сопротивления для сплоченных единиц с ограниченным запасом плавучести, а именно — из аварийной древесины, продолжительное время находившейся в воде, и топляковой, сосредоточенной в прибрежных акваториях водохранилищ, не нашли отражения в литературных источниках. В настоящей работе представлены результаты исследований влияния геометрических параметров сплоченных единиц — хлыстовых пучков из древесины с ограниченным запасом плавучести (длина, ширина, высота) и осадки пучка на сопротивление. Натурные экспериментальные исследования проводились в условиях Братского и Усть-Илимского водохранилищ в период навигации 2010-2013 гг. при благоприятных погодных условиях (штиль, отсутствие волнения). Методика экспериментальных исследований аналогична описанным ранее методикам с внесением некоторых коррективов, учитывающих природно-производственные условия проведения экспериментов. По результатам решения задачи по определению влияния размеров пачки лесоматериалов (длина, ширина, высота) и осадки на сопротивление после реализации четырехфакторного эксперимента по В-плану второго порядка получена квадратичная математическая модель, адекватная экспериментальным данным. В заключение освещается перспектива дальнейших исследований.

Ключевые слова: плавучесть древесины, гидродинамические характеристики лесотранспортных единиц, сплав древесины, аварийная древесина, топляковая древесина, хлыстовые пучки, акватория водохранилищ.

Hydrodynamic qualities of tree-length logs made of wood with a limited buoyancy

A.Yu. Zhuk

Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia
zhuk30@yandex.ru

Received 3.09.2014, accepted 16.11.2014

In some scientific researches there are the results of studies which determine the resistance to towing for the raft-assembling units with sufficient buoyancy, i.e. for fresh wood or for the wood having been prepared to raft by using atmospheric drying, for example. The results of studies which determine the resistance to towing for the raft-assembling units with limited buoyancy such as flotsam and sunken wood from the surface area of reservoirs are not reflected in the scientific literature. The article presents the research results for the influence of geometrical parameters of the raft units, i.e. tree-length logs with limited buoyancy (length, width, height), and the wood settlement of tree-length logs on the resistance. Full-scale experimental studies were carried out in the Bratsk and Ust-Ilimsk reservoirs during the navigation season of 2010-2013 under favorable weather conditions (windless weather, fall of the waves). The technique of experimental studies is similar to those described in other researches but with some adjustments taking the natural and production conditions of the experiments into consideration. According to the results of solving the problem of determining the influence of the size of the bundle of wood (length, width, height) and the wood settlement on the resistance, a quadratic mathematical model adequate to the experimental data has been received after implementing four-factor experiment on the B-plan of the second order. The conclusion of the article highlights the prospect for further research.

Key words: wood buoyancy, hydrodynamic characteristics of timber-hauling units, wood raft, flotsam, sunken wood, tree-length logs, surface area of reservoirs.

Введение. Образование древесной массы на реках и в водохранилищах связано с антропогенными факторами, обуславливающими производственную деятельность человека (несоблюдение сроков проведения лесосплавных работ, перегрузка реки, несоблюдение правил сплотки, формирования и буксировки плотов из-за

недостатка плавучести древесины и др.), а также с воздействием природных и вторичных антропогенных факторов (отпад древесного сырья в результате эрозии берегов, ветровала, непроизводительной деятельности человека). Бесхозная аварийная древесина — это хлысты, деревья и бревна в заламах, сосредоточенные в фиордах водохранилищ, на открытых участках побережья, между полузатопленным стоящим лесом; плавающие бревна короче 5 м, корневища, сучья и другие отходы; обсохшая древесина в виде хлыстов, деревьев и бревен [8]. Нет сомнения, что такую древесину необходимо осваивать. С этой целью проводились серии натурных исследований по изготовлению и транспортировке хлыстовых и сортиментных пучков из аварийной древесины в условиях Братского и Усть-Илимского водохранилищ с целью определения их транспортных характеристик, что в дальнейшем позволяет принять обоснованные решения при разработке технологических процессов освоения данного вида древесного сырья.

Постановка задачи. Важнейшей гидродинамической характеристикой сплочных единиц является зависимость сопротивления буксировке R при равномерном движении [1 – 3]. Значение величины R , а также сведения о влиянии на нее параметров сплочных единиц и условий буксировки необходимы при разработке технологии формирования лесотранспортных единиц и плотов из них, методики тяговых и прочностных расчетов, а также при решении иных задач проектирования технологического процесса освоения запасов древесины.

При движении сплочной единицы с постоянной скоростью по прямому курсу ее сопротивление представляет собой сумму [1]:

$$R = R_0 + \Delta R_m + \Delta R_c + \Delta R_g, \quad (1)$$

где R_0 — основная часть сопротивления буксировки сплочной единицы; ΔR_m — дополнительное сопротивление, обусловленное влиянием дна при малой глубине; ΔR_c — дополнительное сопротивление из-за влияния струй от винтов буксира при коротком буксирном канате; ΔR_g — дополнительное сопротивление от волнения.

Величина основной части сопротивления R_0 зависит от геометрических параметров сплочной единицы (L — длина пучка, B — ширина пучка, H — высота пучка), свойств жидкости, характеристики поля гравитационных сил g , скорости движения пучка относительно воды V , а также осадки пучка T [1].

На данном этапе исследований теоретически вид зависимости (1) определить затруднительно. В известных работах [1 – 3, 10, 13] приводятся результаты исследований по определению сопротивления R для сплочных единиц с достаточным запасом плавучести, т. е. свежесрубленной древесины или после проведения ее подготовки к сплаву, например, атмосферной

сушки. Однако результаты определения указанного сопротивления для сплочных единиц с ограниченным запасом плавучести, а именно из аварийной древесины, продолжительное время находившейся в воде, и топляковой, сосредоточенной в прибрежных акваториях водохранилищ, не нашли отражения в литературных источниках.

В этой связи использовали экспериментальный способ. В настоящей работе представлены результаты исследований влияния геометрических параметров сплочных единиц — хлыстовых пучков из древесины с ограниченным запасом плавучести (длина, ширина, высота) и их осадки на сопротивление.

Решение задачи. Натурные экспериментальные исследования проводились в условиях Братского и Усть-Илимского водохранилищ в период навигации 2010–2013 гг. при благоприятных погодных условиях (штиль, отсутствие волнения).

Методика экспериментальных исследований аналогична описанной в работе [12] (содержащей результаты разведочных опытов) методике с внесением некоторых корректив под природно-производственные условия проведения экспериментов.

В качестве прибора для измерения усилия R использовался промышленный динамометр 9016.ДПУ–100–1 УХЛ 2 ТУ–25–06.2088–83 с предельной нагрузкой 100 кН. Динамометр одной серьгой закрепляли на буксирном гаке катера ЛС–56, к другой серьге крепили стальной канат диаметром 18 мм, длиной 50 м (этой длины достаточно, чтобы избежать влияния струй от движителя катера). В этой связи сопротивлениями ΔR_m , ΔR_c , ΔR_g пренебрегаем как малыми по сравнению с R_0 . Скорость буксировки определялась с помощью видеофиксации, простым вычислением отношения длины пройденной дистанции ко времени ее прохождения. Дистанции фиксировались через 5 метров поплавками с грузами.

Для решения задачи определения влияния размеров пачки лесоматериалов (длина, ширина, высота) и осадки на сопротивление был реализован четырехфакторный эксперимент по B -плану второго порядка для получения математической модели вида:

$$R = a_0 + a_1L + a_2B + a_3H + a_4T + a_5LB + a_6LH + a_7LY + a_8BH + a_9BT + a_{10}HT + a_{11}L^2 + a_{12}B^2 + a_{13}H^2 + a_{14}T^2 \quad (2)$$

В табл. 1 представлены управляемые факторы, их уровни и интервалы варьирования.

В качестве выходной величины при проведении многофакторного эксперимента по B -плану второго порядка была принята величина сопротивления R , кН.

Матрица планирования эксперимента по B -композиционному плану второго порядка в натуральных обозначениях и результаты экспериментов приведены в табл. 2.

Таблица 1

Основные факторы и уровни их варьирования

Наименование фактора	Кодовое обозначение	Нижний уровень	Основной уровень	Верхний уровень	Интервал варьирования
Длина пучка, L	м	16	20	24	4
Ширина пучка, B	м	1,4	2,0	2,6	0,6
Высота пучка, H	м	1,7	2,15	2,6	0,45
Осадка, T	м	1,4	1,75	2,1	0,35

Таблица 2

Матрица планирования эксперимента и результаты экспериментов

№	L	B	H	T	Номер наблюдения									
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	16	1,40	1,70	1,40	8,8	8,8	8,2	9,1	9,0	7,8	8,7	8,1	8,5	8,2
2	24	1,40	1,70	1,40	9,0	9,0	8,2	8,4	8,5	9,4	9,0	9,0	8,2	8,5
3	16	2,60	1,70	1,40	9,4	9,0	9,3	8,5	8,0	8,2	9,4	8,6	9,0	8,2
4	24	2,60	1,70	1,40	9,4	8,6	9,4	10,0	9,8	8,4	8,6	9,3	9,6	8,5
5	16	1,40	2,60	1,40	7,9	9,0	8,1	8,7	9,2	8,7	8,4	7,8	8,4	9,0
6	24	1,40	2,60	1,40	9,3	9,6	9,5	9,2	8,8	8,6	9,5	8,3	9,6	8,5
7	16	2,60	2,60	1,40	8,0	7,7	9,5	9,2	9,2	7,9	9,4	8,9	8,7	8,5
8	24	2,60	2,60	1,40	9,1	8,7	8,6	9,0	8,5	10,1	9,3	10,1	8,5	9,2
9	16	1,40	1,70	2,10	8,3	9,7	9,3	9,4	8,6	9,4	8,0	9,5	8,5	9,5
10	24	1,40	1,70	2,10	8,3	9,9	9,9	8,4	8,4	9,8	9,8	9,3	10,1	9,5
11	16	2,60	1,70	2,10	9,6	8,7	9,8	10,2	10,0	10,3	9,4	10,3	8,9	9,7
12	24	2,60	1,70	2,10	8,8	8,7	10,0	10,5	9,0	9,2	10,2	8,9	10,6	10,5
13	16	1,40	2,60	2,10	8,2	9,0	8,1	9,4	8,3	8,5	8,1	9,0	8,6	8,6
14	24	1,40	2,60	2,10	9,0	10,2	9,5	9,8	9,1	8,6	9,9	9,1	9,7	9,6
15	16	2,60	2,60	2,10	9,5	8,6	8,9	9,4	10,1	9,6	9,1	9,7	8,3	9,8
16	24	2,60	2,60	2,10	9,2	10,0	10,4	9,2	9,5	9,9	9,4	10,5	9,9	10,4
17	16	2,00	2,15	1,75	9,3	9,1	9,4	8,6	9,6	10,2	8,8	8,6	8,8	10,1
18	24	2,00	2,15	1,75	10,4	10,4	10,7	9,4	9,0	10,4	10,9	9,6	9,1	9,8
19	20	1,40	2,15	1,75	9,9	9,6	9,7	8,6	9,8	9,1	9,5	8,6	9,5	9,6
20	20	2,60	2,15	1,75	9,5	9,3	8,1	8,8	9,0	8,3	8,9	9,0	9,1	9,3
21	20	2,00	1,70	1,75	7,8	9,1	8,2	7,7	8,8	7,7	9,0	9,4	8,6	8,2
22	20	2,00	2,60	1,75	7,9	8,0	7,9	8,2	9,6	8,4	8,6	8,7	8,4	7,8
23	20	2,00	2,15	1,40	8,5	8,8	8,9	8,3	9,5	9,1	8,3	9,5	8,8	8,3
24	20	2,00	2,15	2,10	10,2	9,0	8,4	8,5	8,4	9,0	9,4	8,7	9,2	9,3

Статистическая обработка результатов экспериментов заключалась в следующем. Результаты опытов проверяли на наличие anomalно отклоняющихся значений по условию:

$$\frac{k_{ji} - \bar{k}_j}{s_j} \leq [t] = 2,2622, \quad (3)$$

где индекс j соответствует номеру опыта; i — номеру наблюдения; R_{ij} — наблюдаемое значение измеряемой величины; \bar{R}_j — среднее значение измеряемой вели-

чины в опыте; $[t]$ — табличное значение критерия Стьюдента при числе степеней свободы $f = n - 1$.

При нарушении условия (3) результат измерения выбраковывали.

Достаточность числа наблюдений проверяли по формуле:

$$[n_j] = \frac{[t]^2 v_j^2}{p_j^2}, \quad (4)$$

где $[t]$ — табличное значение критерия Стьюдента при $f = n_j' - 1$ (n_j' — число наблюдений после выбраковки anomalных значений); v_j — коэффициент вариации; p_j

— показатель точности. При вычислении v_i и p_i использовали следующие формулы:

$$v_j = \frac{s_j}{\bar{y}_j}, \tag{5}$$

$$p_i = \frac{m_j}{\bar{y}_j}, \tag{6}$$

где m_j — среднее абсолютное отклонение наблюдаемой величины.

Анализ представленных в таблице данных показывает, что во всех случаях число опытов $n = 10$ будет обеспечивать удовлетворительную точность измерения исследуемой величины R .

Проверка воспроизводимости опытов проводилась использованием условия:

$$G_P = \frac{s_{\max}^2}{\sum_{j=1}^N s_j^2} < G_T = 0,1011, \tag{7}$$

где G_T — табличное значение критерия Кохрена при числе степеней свободы выборки $f = 9$ и числе выборок $N = 24$.

Проверка адекватности полученной модели осуществлялась с использованием критерия Фишера:

$$F_P = \frac{s_{ad}^2}{s_{восп}^2} = \frac{N \cdot n \cdot \sum_{j=1}^N (\bar{k}_j - \bar{k}_j)^2}{(N - P) \cdot \sum_{j=1}^N s_j^2} < F_T = 1,9234, \tag{8}$$

где F_T — табличное значение критерия Фишера при числе степеней свободы для меньшей дисперсии (дисперсия воспроизводимости) $f_1 = 216$ и $f_2 = 15$ для большей дисперсии (дисперсия адекватности).

Данные, полученные после статистической обработки результатов экспериментов, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты статистической обработки результатов экспериментов

№	L	B	H	T	\bar{R}	s	m	v	p	$[n]$
1	16	1,40	1,70	1,40	8,520	0,4290	0,3600	0,0504	0,0423	8
2	24	1,40	1,70	1,40	8,720	0,4104	0,3600	0,0471	0,0413	7
3	16	2,60	1,70	1,40	8,760	0,5296	0,4600	0,0605	0,0525	7
4	24	2,60	1,70	1,40	9,160	0,5854	0,5080	0,0639	0,0555	7
5	16	1,40	2,60	1,40	8,520	0,4826	0,4000	0,0566	0,0469	8
6	24	1,40	2,60	1,40	9,090	0,4954	0,4320	0,0545	0,0475	7
7	16	2,60	2,60	1,40	8,700	0,6532	0,5400	0,0751	0,0621	8
8	24	2,60	2,60	1,40	9,110	0,5953	0,4520	0,0653	0,0496	9
9	16	1,40	1,70	2,10	9,020	0,6052	0,5360	0,0671	0,0594	7
10	24	1,40	1,70	2,10	9,340	0,7074	0,5920	0,0757	0,0634	8
11	16	2,60	1,70	2,10	9,690	0,5587	0,4320	0,0577	0,0446	9
12	24	2,60	1,70	2,10	9,640	0,7877	0,7200	0,0817	0,0747	7
13	16	1,40	2,60	2,10	8,580	0,4367	0,3400	0,0509	0,0396	9
14	24	1,40	2,60	2,10	9,450	0,4882	0,4000	0,0517	0,0423	8
15	16	2,60	2,60	2,10	9,300	0,5657	0,4600	0,0608	0,0495	8
16	24	2,60	2,60	2,10	9,840	0,4971	0,4120	0,0505	0,0419	8
17	16	2,00	2,15	1,75	9,250	0,5817	0,4700	0,0629	0,0508	8
18	24	2,00	2,15	1,75	9,970	0,6783	0,5900	0,0680	0,0592	7
19	20	1,40	2,15	1,75	9,390	0,4677	0,3740	0,0498	0,0398	9
20	20	2,60	2,15	1,75	8,930	0,4398	0,3240	0,0492	0,0363	10
21	20	2,00	1,70	1,75	8,450	0,6187	0,5300	0,0732	0,0627	7
22	20	2,00	2,60	1,75	8,350	0,5380	0,3900	0,0644	0,0467	10
23	20	2,00	2,15	1,40	8,800	0,4619	0,3600	0,0525	0,0409	9
24	20	2,00	2,15	2,10	9,010	0,5567	0,4120	0,0618	0,0457	10

Данные табл. 3 подтверждают, что во всех опытах достаточное число наблюдений не превышает 10.

При помощи метода наименьших квадратов получена математическая модель в следующем виде:

$$R = 9,14 - 1,57L - 1,71B + 12,2H + 3,15T - 0,0172LB + 0,0528LH + 0,00446LY - 0,0787BH + 0,357BT - 0,21HT + 0,0384L^2 + 0,458B^2 - 2,94H^2 - 0,735T^2 \tag{9}$$

В табл. 4 представлены данные, необходимые для оценки воспроизводимости опытов и адекватности полученных моделей.

Данные табл. 4 показывают, что для модели (9) условия (7), (8) выполнены. Таким образом, предложенная модель в виде квадратичного уравнения адекватно описывает экспериментальные данные о влиянии длины L , ширины B , высоты H и осадки T хлыстовых пучков на значение сопротивления буксировке R при постоянной скорости V .

Таблица 4

Сводные данные по статистической обработке результатов экспериментов

G	0,0834
$S^2_{\text{в}}$	0,3098
$f_{\text{в}}$	216
$S^2_{\text{ад}}$	0,0491
$f_{\text{ад}}$	9
F	1,5838
R^2	0,8936

Анализ формулы (9) показывает, что минимальное значение сопротивления $R = 7,930$ кН отмечается при $L = 19,000$ м, $B = 1,901$ м, $H = 2,600$ м, $T = 1,4$ м, максимальное — $R = 10,228$ кН при $L = 24,000$ м, $B = 2,600$ м, $H = 2,145$ м, $T = 2,1$ м.

Зависимость (9) для наглядности проиллюстрирована в виде графиков на рис. 1 – 5.

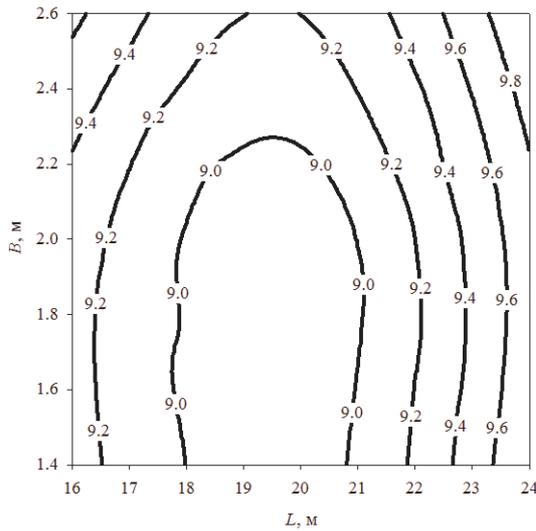


Рис. 1. Зависимость сопротивления буксировке R от длины и ширины пучка при высоте пучка, равной 2,15 м, и осадке, равной 1,75 м

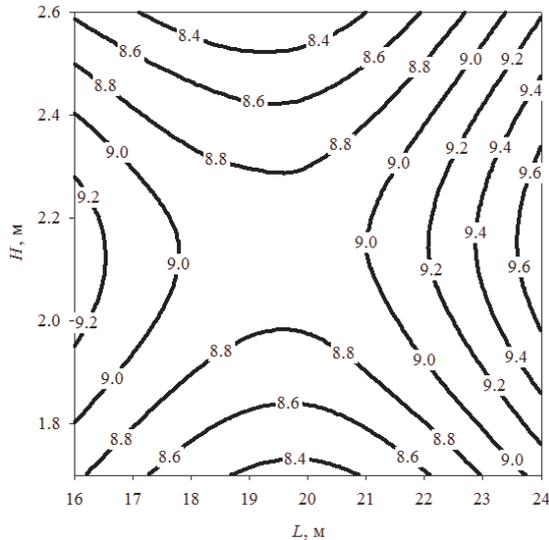


Рис. 2. Зависимость сопротивления буксировке R от длины и высоты пучка при ширине пучка, равной 2,0 м, и осадке, равной 1,75 м

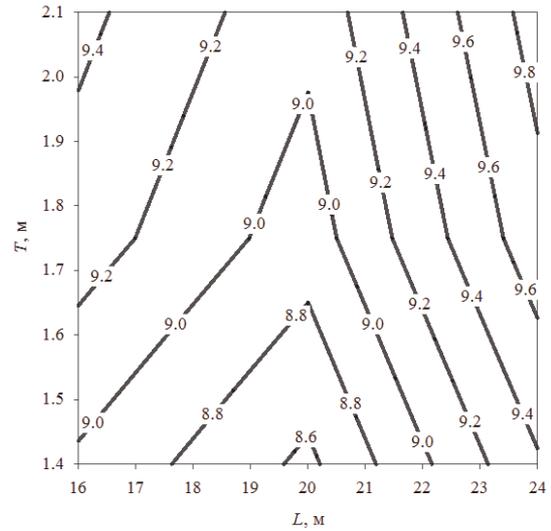


Рис. 3. Зависимость сопротивления буксировке R от длины и осадки пучка при ширине пучка, равной 2,0 м, и высоте, равной 2,15 м

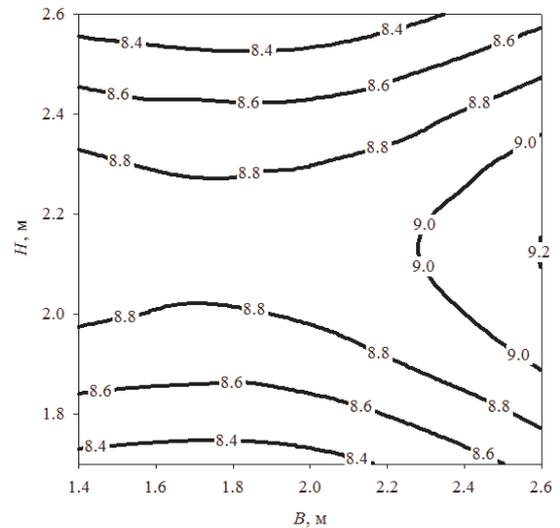


Рис. 4. Зависимость сопротивления буксировке R от ширины и высоты пучка при длине, равной 20 м, и осадке, равной 1,75 м

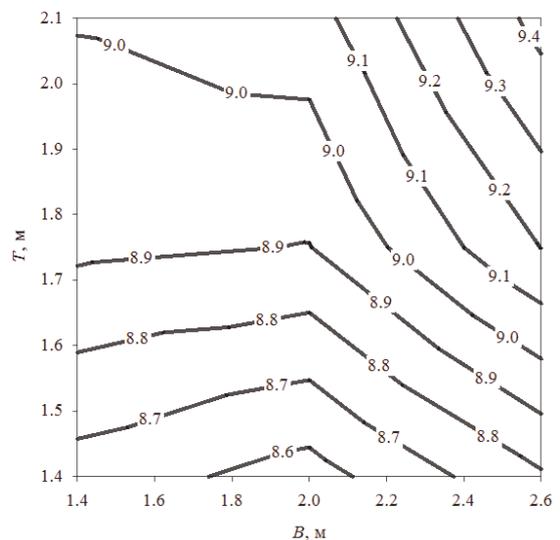


Рис. 5. Зависимость сопротивления буксировке R от ширины и осадки пучка при длине пучка, равной 20 м, и высоте, равной 2,15 м

Выводы

На следующем этапе считаем перспективными дальнейшие исследования в направлении:

1) теоретического обоснования зависимости сопротивления буксировке R пучка древесины от его геометрических параметров;

2) проведение экспериментальных исследований с целью установить доверительные интервалы изменения коэффициентов в математических моделях вида (2), (9);

3) исследования влияния скорости буксировки V на сопротивление R ;

4) исследования зависимости сопротивления R от внешних факторов при переменной скорости буксировки V (что имеет место, например, при разгоне катера).

Литература

1. Солодухин М.М., Овчинников М.М. Водный транспорт хлыстов. М.: Лесная промышленность, 1986. 144 с.
2. Митрофанов А.А. Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение: монография. Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2007. 492 с.
3. Митрофанов А.А. Научное обоснование и разработка экологически безопасного плотового лесосплава. Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 1999. 268 с.
4. Жук А.Ю. Способ изготовления сплочных единиц с искусственным подплавом из топляковой древесины с ограниченным запасом плавучести и не имеющей запаса плавучести и устройство для его осуществления // Труды Братского государственного университета: Сер. Естественные и инженерные науки. 2012. Т. 2. 185 с.
5. Жук А.Ю., Яковлев В.В. Обоснование параметров устройств для механизации процессов освоения аварийной и свежесрубленной древесины в береговой зоне водохранилищ // Вестник КрасГАУ. 2010. 6 (45). С. 124-128.
6. Жук А.Ю. Устройство для сплава древесины с ограниченным запасом плавучести и не имеющей запаса плавучести: 2409021 Рос. Федерация. № 2009119673/12; заявл. 25.05.09; опубл. 20.01.11, Бюл. № 2. 7 с.
7. Жук А.Ю. Сплочная единица для транспортировки древесины: пат. 2409020 Рос. Федерация, № 2009119671/12; заявл. 25.05.09; опубл. 20.01.11, Бюл. № 2. 6 с.
8. Угрюмов Б.И., Новоселов А.В., Жук А.Ю. Лесопользование в прибрежных акваториях водохранилищ: монография. Братск: Изд-во БрГУ, 2012. 160 с.
9. Корпачёв В.П. Рациональное использование водных ресурсов. Водоохранилища ГЭС и лес: монография. Красноярск: СибГТУ, 1998. 153 с.
10. Штаборов Д.А., Барабанов В.А. Математическая модель разгона линеек из плоских сплочных единиц // Фундаментальные исследования. 2013. № 1. С. 173-176.
11. Пижурин А.А., Розенблит М.С. Исследование процессов деревообработки. М.: Лесная промышленность, 1984. 232 с.

12. Жук А.Ю. Результаты натуральных экспериментальных исследований гидродинамических качеств сплочных единиц из древесины с ограниченным запасом плавучести // Системы. Методы. Технологии. 2014. № 2 (22). С.125-131

13. Мурашова О.В. Гидродинамические характеристики лесосплавных плоских сплочных единиц: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Архангельск: АГТУ, 2007. 19 с.

14. Патыкин В.И., Минаев А.Н., Угрюмов Б.И. Взаимодействие потока жидкости с погруженным в нее телом. СПб.: СПбЛТА, 1999. 92 с.

References

1. Solodukhin M.M., Ovchinnikov M.M. Water transport of switches. M.: Lesnaya promyshlennost', 1986. 144 p.
2. Mitrofanov A.A. Lesosplav. Timber rafting. New technologies, scientific and technical providing: monografiya. Arkhangel'sk: Izd-vo Arkhang. gos. tekhn. un-ta, 2007. 492 p.
3. Mitrofanov A.A. Scientific justification and development of ecologically safe timber rafting. Arkhangel'sk: Izd-vo Arkhang. gos. tekhn. un-ta, 1999. 268 p.
4. Zhuk A.Yu. Method and device of rafting unit forming with artificial buoyancy aid out of sunken wood with limited or zero reserve buoyancy // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta: Ser. Estestvennye i inzhenernye nauki – razvitiyu regionov Sibiri. 2012. T. 2. 185 p.
5. Zhuk A.Yu., Yakovlev V.V. Justification of parameters of devices for a mechanization of processes of development of emergency and freshly-cut wood in a coastal zone of reservoirs // Vestnik KrasGAU. 2010. 6 (45). P. 124-128.
6. Zhuk A. Yu. Device to float wood with limited margin of buoyancy and without any: 2409021 Ros. Federatsiya. № 2009119673/12; yayavl. 25.05.09; opubl. 20.01.11, Byul. № 2. 7 p.
7. Zhuk A.Yu. Float unit for wood transportation: pat. 2409020 Ros. Federatsiya, № 2009119671/12; yayavl. 25.05.09; opubl. 20.01.11, Byul. № 2. 6 p.
8. Ugrumov B.I., Novoselov A.V., Zhuk A.Yu. Forest exploitation in coastal water areas: monografiya. Bratsk: Izd-vo BrGU, 2012. 160 p.
9. Korpachev V.P. Rational use of water resources. Reservoirs of hydroelectric power station and wood: monografiya. Krasnoyarsk: SibGTU, 1998. 153 p.
10. Shtaborov D.A., Barabanov V.A. Mathematical model of dispersal of rulers from flat the rafting units // Fundamental'nye issledovaniya. 2013. № 1. P. 173-176.
11. Pizhurin A.A., Rozenblit M.S. Research of processes of a woodworking. M.: Lesnaya promyshlennost', 1984. 232 p.
12. Zhuk A.Yu. The results of natural experimental studies of hydrodynamic qualities rafting-units of wood with limited buoyancy // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2014. № 2 (22). P. 125-131.
13. Murashova O.V. Hydrodynamic characteristics-float flat rafting units: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Arkhangel'sk: AGTU, 2007. 19 p.
14. Patyakin V.I., Minaev A.N., Ugrumov B.I. Interaction of fluid flow with immersed in her body. SPb.: SPbLTA, 1999. 92 p.