

Результаты натуральных экспериментальных исследований гидродинамических качеств сплочных единиц из древесины с ограниченным запасом плавучести

А.Ю. Жук

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

Статья получена 19.03.2014, принята 12.05.2014

Представлены результаты математической обработки натуральных экспериментальных исследований по определению гидродинамических характеристик лесотранспортных единиц – хлыстовых пучков из древесины с ограниченным запасом плавучести (аварийной), длительное время находившейся в акватории Братского и Усть-Илимского водохранилищ. Для оценки влияния переменных факторов исследований на выходной параметр предусматривалась разработка математической модели, обеспечивающей возможность управления варьируемыми параметрами. В качестве выходной величины при проведении многофакторного эксперимента (по В-плану второго порядка) была принята Y_1 – сопротивление R , кН. Проанализированы результаты математической обработки натуральных экспериментальных данных и полученные графические зависимости. Выявлено, что наибольшее влияние на сопротивление R оказывает длина пучка, второй по значению является осадка пучка, третьей по значению – высота пучка, четвертой – ширина пучка. Полученные результаты послужат основой для дальнейших исследований в области освоения и транспортировки древесины, находящейся в прибрежных акваториях водохранилищ, а также разбросанной по берегам.

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

The results of field experimental study of hydrodynamic qualities of raft-assembling units of wood with limited buoyancy

A. Yu. Zhuk

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

Received 19.03.2014, accepted 12.05.2014

Results of mathematical processing of field experimental study on determining hydrodynamic qualities of raft-assembling units such as bunches of long-tailed timber made of the wood with a limited buoyancy (flotsam) and being in the water area of Bratsk and Ust-Ilimsk reservoirs for a long time have been presented in the article. To assess an influence of variable factors of research on output parameter, development of mathematical model providing possibility of management of varied parameters has been provided. As an output variable when carrying out multiple-factor experiment (according to B-plan of the second order), it has been accepted that Y_1 is the resistance of R , kN. Results of mathematical processing of field experimental data have been analyzed and graphic dependences have been received. It has been revealed that length of bunch has the greatest impact on resistance R , bunch draft has the second value, bunch height has the third value, and bunch width has the fourth one. The results received will form a basis for further research in the field of development and transportation of the wood which is in coastal water areas of reservoirs or scattered on coasts.

Keywords: wood buoyancy, hydrodynamic qualities of wood units, wood raft, flotsam, sunken wood, bunches of long-tailed timber, water 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, непродуманной 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 натуральных 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 позволит принять

обоснованные решения при разработке технологических процессов освоения данного вида древесного сырья.

Постановка задачи. Одной из наиболее важных гидродинамических характеристик сплотовочных единиц является зависимость сопротивления при равномерном движении R от скорости буксировки V [1 – 3].

При движении сплотовочной единицы с постоянной скоростью по прямому курсу ее сопротивление представляет собой сумму:

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

где R_0 – основная часть сопротивления сплотовочной 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 сплотовочной единицы, свойств жидкости, характеристики поля гравитационных сил g и скорости движения пучка относительно воды V . Размеры и форму любого тела можно однозначно определить при помощи одного характерного размера и системы безразмерных геометрических параметров. Безразмерные геометрические параметры пучка можно разделить на две группы: габаритные и структурные. К габаритным относятся L/T и B/T , где L – длина пучка, B – ширина пучка; к структурным – осредненный коэффициент полндревесности пучков $K_{пч}$. Для упрощения записи безразмерные структурные параметры в дальнейшем будем обозначать символами δ_i . В соответствии с вышеизложенным выражение для сопротивления R_0 можно записать в виде:

$$R_0 = f\left(T; \frac{L}{T}; \frac{B}{T}; \delta_i; \rho; \mu; g; V\right), \quad (2)$$

где μ – коэффициент вязкости воды; ρ – плотность воды.

Теоретически вид этой зависимости определить проблематично, поэтому использовали экспериментальный способ, базирующийся на методе подобия. В указанных работах [1 – 3, 10] приводятся результаты исследований по определению сопротивления R для сплотовочных единиц с

достаточным запасом плавучести, т. е. свежесрубленной или после проведения подготовки к сплаву, например, атмосферной сушки. Однако результаты определения названного сопротивления для сплотовочных единиц с ограниченным запасом плавучести и не имеющих его, а именно из аварийной древесины, продолжительное время находившейся в воде, и топляковой, сосредоточенной в прибрежных акваториях водохранилищ, не нашли отражения в литературных источниках. Такую древесину можно собирать и транспортировать различными способами [4 – 9]. В настоящей работе представлены результаты исследований влияния геометрических параметров сплотовочных единиц – хлыстовых пучков из древесины с ограниченным запасом плавучести (длина, ширина, высота) – и осадки на сопротивление.

Значение зависимости $R(V)$, а также влияния на нее параметров сплотовочных единиц и условий буксировки необходимо при разработке технологии формирования лесотранспортных единиц и плотов из них, методики тяговых и прочностных расчетов, а также иных целей проектирования.

Решение задачи. Натурные экспериментальные исследования проводились в условиях Братского и Усть-Илимского водохранилищ в июле-августе 2010-2013 гг. при благоприятных погодных условиях (штиль, отсутствие волнения), с достаточными глубинами акватории и длиной буксирного каната. В этой связи сопротивлениями ΔR_m , ΔR_c и ΔR_g пренебрегаем как бесконечно малыми.

Для оценки влияния переменных факторов исследований на выходной параметр предусматривалась разработка математической модели, обеспечивающей возможность управления варьируемыми параметрами [11].

В табл. 1 представлены варьируемые факторы в натуральном и кодовом обозначении, их уровни и интервалы варьирования.

В качестве выходной величины при проведении многофакторного эксперимента (по В-плану второго порядка) была принята Y_1 – сопротивление R , кН.

Полученные результаты экспериментов обрабатывались методом вариационной статистики.

Матрица планирования эксперимента по В – композиционному плану второго порядка в нормализованных и 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	X_1	16	20	24	4
Ширина пучка, B , м	X_2	1,4	2,0	2,6	0,6
Высота пучка, H , м	X_3	1,7	2,15	2,6	0,45
Осадка, T , м	X_4	1,4	1,75	2,1	0,35

Таблица 2

Матрица планирования и результаты экспериментов

№	$X_1, м$		$X_2, м$		$X_3, м$		$X_4, м$		$Y_1, R, кН$
1	-1	16	-1	1,4	-1	1,7	-1	1,4	8,5
2	+1	24	-1	1,4	-1	1,7	-1	1,4	8,9
3	-1	16	+1	2,6	-1	1,7	-1	1,4	8,7
4	+1	24	+1	2,6	-1	1,7	-1	1,4	9,1
5	-1	16	-1	1,4	+1	2,6	-1	1,4	8,4
6	+1	24	-1	1,4	+1	2,6	-1	1,4	8,8
7	-1	16	+1	2,6	+1	2,6	-1	1,4	8,6
8	+1	24	+1	2,6	+1	2,6	-1	1,4	9,3
9	-1	16	-1	1,4	-1	1,7	+1	2,1	8,9
10	+1	24	-1	1,4	-1	1,7	+1	2,1	9,2
11	-1	16	+1	2,6	-1	1,7	+1	2,1	9,4
12	+1	24	+1	2,6	-1	1,7	+1	2,1	9,6
13	-1	16	-1	1,4	+1	2,6	+1	2,1	9,0
14	+1	24	-1	1,4	+1	2,6	+1	2,1	9,4
15	-1	16	+1	2,6	+1	2,6	+1	2,1	9,2
16	+1	24	+1	2,6	+1	2,6	+1	2,1	9,6
17	-1	16	0	2,0	0	2,15	0	1,75	9,5
18	+1	24	0	2,0	0	2,15	0	1,75	9,9
19	0	20	-1	1,4	0	2,15	0	1,75	9,0
20	0	20	+1	2,6	0	2,15	0	1,75	8,7
21	0	20	0	2,0	-1	1,7	0	1,75	8,5
22	0	20	0	2,0	+1	2,6	0	1,75	8,7
23	0	20	0	2,0	0	2,15	-1	1,4	9,1
24	0	20	0	2,0	0	2,15	+1	2,1	9,3

В результате обработки экспериментальных данных после оценки значимости коэффициентов регрессии и проверки на адекватность уравнение функции отклика для описания процесса имеет следующий вид:

– зависимость сопротивления от варьируемых факторов описывается уравнением в нормализованных значениях переменных:

$$Y_1 = 9,25 + 0,2 \cdot X_1 + 0,12 \cdot X_2 + 0,23 \cdot X_4 + 0,35 \cdot X_1^2 - 0,5 \cdot X_2^2 + 0,04 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,04 \cdot X_1 \cdot X_4 + 0,01 \cdot X_2 \cdot X_4 + 0,01 \cdot X_3 \cdot X_4 \quad (2)$$

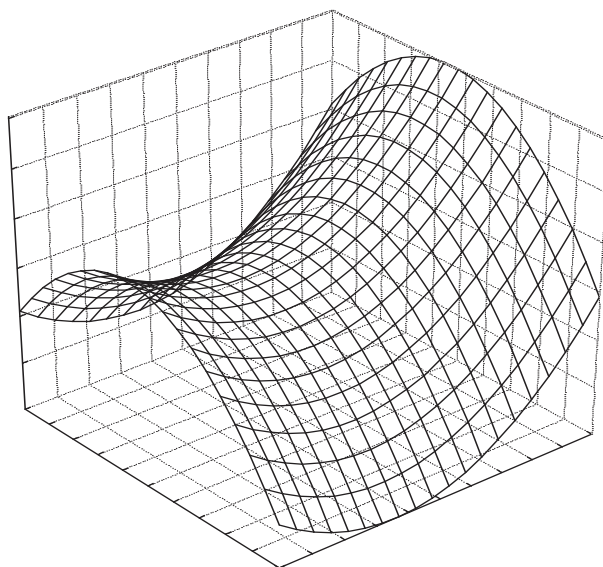


Рис. 1. Зависимость сопротивления от длины и ширины пучка при высоте пучка, равной 2,15 м, и осадке, равной 1,75 м

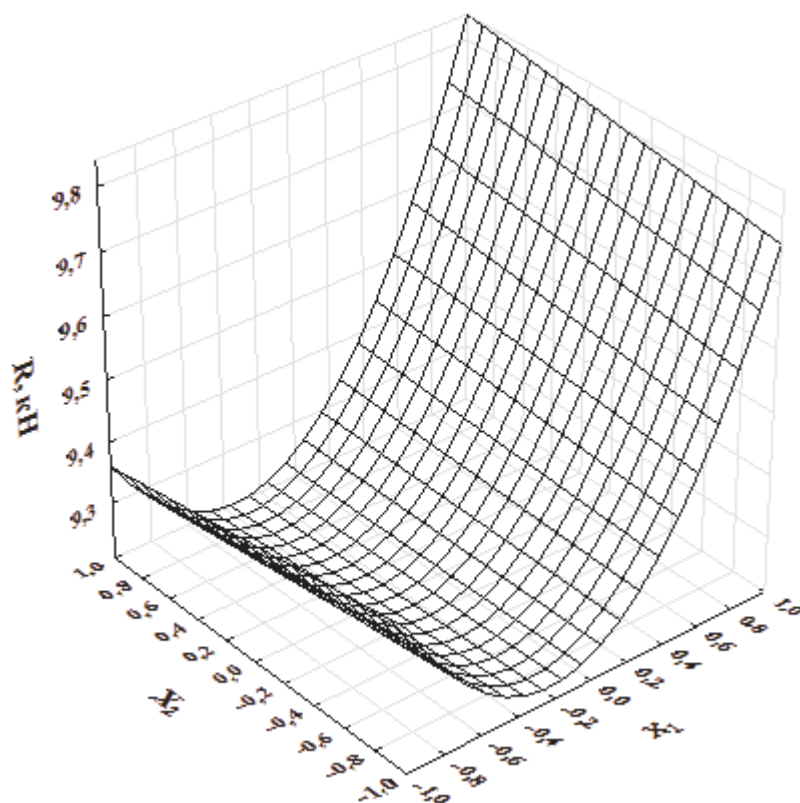


Рис. 2. Зависимость сопротивления от длины и высоты пучка при ширине пучка, равной 2,0 м, и осадке, равной 1,75 м

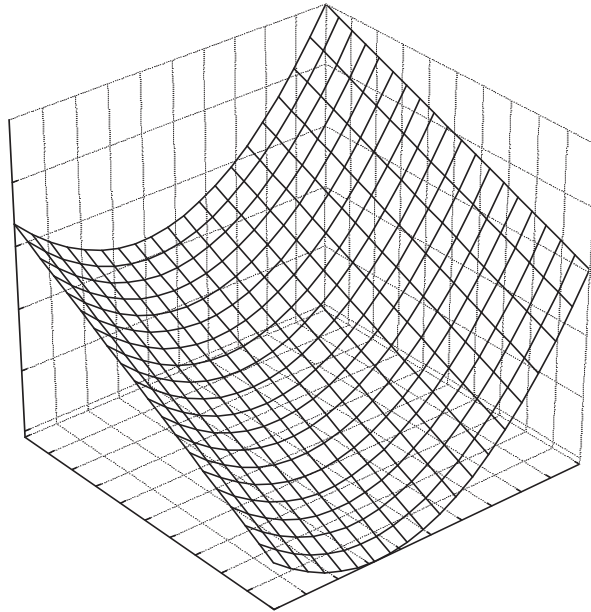


Рис. 3. Зависимость сопротивления от длины и осадки пучка при ширине пучка, равной 2,0 м и высоте пучка, равной 2,15 м

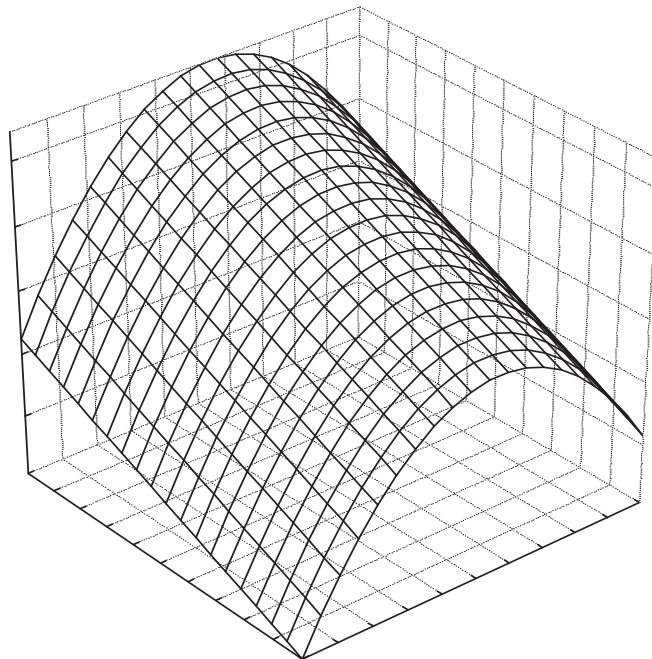


Рис. 4. Зависимость сопротивления от ширины и высоты пучка при длине пучка, равной 20 м, и осадке пучка, равной 1,75 м

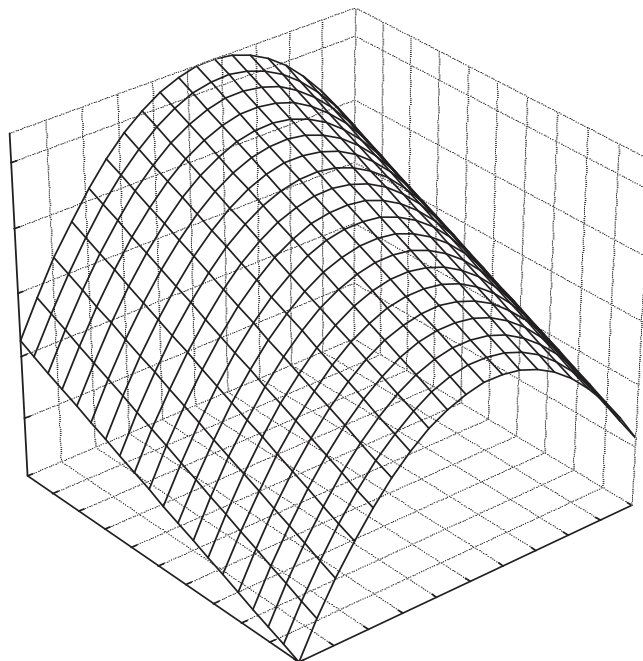


Рис. 5. Зависимость сопротивления от ширины и осадки пучка при длине пучка, равной 20 м, и высоте пучка, равной 2,15 м

Выводы

Проанализировав результаты математической обработки натуральных экспериментальных данных и полученные графические зависимости, можно сделать следующие выводы:

- наибольшее влияние на сопротивление R оказывает длина пучка, при этом с увеличением длины пучка на интервал варьирования, равный 0,4 м, сопротивление увеличивается на 0,55 кН;
- второй по значению является осадка пучка, при этом с ее увеличением на интервал варьирования, равный 0,35 м, сопротивление R увеличивается на 0,23 кН;
- третьей по значению является высота пучка, при этом с ее увеличением на интервал варьирования, равный 0,45 м, сопротивление R увеличивается на 0,23 кН;
- четвертой по значению является ширина пучка, при этом с ее увеличением на интервал варьирования, равный 0,6 м, сопротивление R сначала увеличивается на 0,62 кН, а затем уменьшается на величину, равную 0,38 кН.

Литература

1. Солдухин 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: моногр. Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2007. 492 с. ISBN 5-261-00244-3
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 топликовой древесины с ограниченным запасом плавучести и не имеющей запаса плавучести и устройство для его осуществления. Труды Братского государственного университета: Сер.: Естественные и инженерные науки. В 2 т. Братск: Изд-во БрГУ, 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 / заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Братский государственный университет. Пат. 2409021 Российская федерация МПК А01G 23/00 В65G 69/20 – № 2009119673/12; заявл. 25.05.2009; опубл. 20.01.2011, Бюл. № 2. 7 с.
7. Жук А.Ю. Сплоточная единица для транспортировки древесины. Пат. 2409020 Российская федерация МПК А01G 23/00 В65G 69/20 / заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Братский государственный университет. – № 2009119671/12; заявл. 25.05.2009; опубл. 20.01.2011, Бюл. № 2. 6 с.
8. Угрюмов Б.И., Новоселов А.В., Жук А.Ю. Лесопользование в прибрежных акваториях водохранилищ. Моногр. Братск: Изд-во БрГУ, 2012. 160 с.
9. Корпачев В.П. Рациональное использование водных ресурсов. Водохранилища 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.

References

1. Solodukhin M.M., Ovchinnikov M.M. Water transport of long-tailed timber. M.: Lesnaja promyshlennost, 1986. 144 p.
2. Mitrofanov A.A. Timber rafting. New technologies, scientific and technical support: monogr. Arkhangelsk: Izd-vo Arhang. gos. tehn. un-ta, 2007. 492 p. ISBN 5-261-00244-3.
3. Mitrofanov A.A. Scientific justification and development of ecologically safe timber rafting. Arkhangelsk: Izd-vo Arhang. gos. tehn. un-ta, 1999. 268 p.
4. Zhuk A.Yu. Processing technique of formation of rafting units with artificial buoyancy aid made of sunken wood with limited or zero buoyancy. Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta: Ser.: Estestvennye i inzhenernye nauki. In 2 vol. Bratsk: Izd-vo BrGU, 2012. Vol. 2. 185 p.
5. Zhuk A.Yu., Yakovlev V.V. Justification of parameters of devices for mechanization of processes of development of flotsam and fresh wood

from coastal zones of reservoirs. Vestn. KrasGAU. 2010 . № 6 (45). P. 124-128.

6. Zhuk A.Yu. Machine for rafting the wood with limited or zero buoyancy / applicant and patent holder is SEI of HPE Bratsk State University: pat. 2409021 Rus. Federation MPK A01G 23/00 B65G 69/20 № 2009119673/12 decl. 25.05.2009, publ. 20.01.2011, Bul № 2. 7 p.

7. Zhuk A.Yu. Raft-assembling unit for wood transportation / applicant and patent holder is SEI of HPE Bratsk State University: pat. 2409020 Rus. Federation MPK A01G 23/00 B65G 69/20 № 2009119671/12 decl. 25.05.2009; publ. 20.01.2011, Bul. № 2. 6 p.

8. Ugryumov B.I., Novoselov A.V. Zhuk A.Yu. Forest exploitation in coastal water areas: monogr. Bratsk: Izd-vo BrGU, 2012. 160 p.

9. Korpachyov V.P. Rational use of water resources. Reservoirs of hydroelectric power stations and wood: monogr. Krasnoyarsk: SibGTU, 1998. 153 p.

10. Shtaborov D.A., Barabanov V.A. Mathematical model of speeding up flat rafting units. Fundamentalnye issledovaniya. 2013. № 1. P. 173-176.

11. Pizhurin A.A., Rozenblit M.S. Research of woodworking processes. M.: Lesnaya promyshlennost, 1984. 232 p.