

DOI: 10.15393/j2.art.2023.7103

УДК 630\*378.33

Статья

## Экспериментальное определение коэффициента полндревесности усовершенствованной плоской сплочной единицы

**Васильев Владимир Викторович**

*кандидат технических наук, доцент, Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I (Российская Федерация),  
[vasiliev.vladimir87@mail.ru](mailto:vasiliev.vladimir87@mail.ru)*

*Получена: 4 мая 2023 / Принята: 19 октября 2023 / Опубликовано: 24 октября 2023*

---

**Аннотация:** Эффективное использование пропускной способности сплавного хода зависит от ряда факторов, но основным моментом является организация сплава круглых лесоматериалов в сплочных единицах, имеющих высокие транспортно-эксплуатационные показатели. Разработана плоская сплочная единица, которая характеризуется малой осадкой, высокой жёсткостью и высоким коэффициентом полндревесности. Для оценки степени использования разработанной плоской сплочной единицей пропускной способности сплавного хода необходимо определить её коэффициент полндревесности. Определение коэффициента полндревесности плоской сплочной единицы в зависимости от диаметра в верхнем отрезе круглых лесоматериалов, из которых собираются ряды сплочной единицы, реализовано экспериментальным путём. Для рационального выполнения экспериментальных работ была построена функциональная схема проведения эксперимента, на основании которой сформировали матрицу планирования опытов, учитывающую все факторы, влияющие на эксперимент. Опыты проводились на моделях усовершенствованной плоской сплочной единицы, а в последующем полученные экспериментальные и расчётные данные для моделей переводились пропорционально на плоские сплочные единицы натуральных размеров. На основании полученных расчётных данных в отношении усовершенствованной плоской сплочной единицы натуральных размеров был построен график зависимости её коэффициента полндревесности от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе. Построенный график показывает, что при увеличении диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, из которых собираются ряды усовершенствованной плоской сплочной единицы, коэффициент

полнодревесности уменьшается. В свою очередь, наибольшая интенсивность изменения коэффициента полнодревесности присутствует при изменении диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе от 10 до 30 см. Так как плоские сплоточные единицы изготавливаются из круглых лесоматериалов с диаметром в верхнем отрезе 10—40 см, а при данном диаметре лесоматериалов усовершенствованная плоская сплоточная единица имеет наибольший коэффициент полнодревесности, то выполнение сплава лесоматериалов в данной сплоточной единице будет, безусловно, обеспечивать высокую степень использования пропускной способности сплавного хода и способствовать увеличению объёмов поставки древесины потребителям водным транспортом.

**Ключевые слова:** сплоточная единица плоская; лесоматериалы круглые; поперечные прокладки

---

DOI: 10.15393/j2.art.2023.7103

*Article*

## **Experimental determination of the stacked volume ratio of an improved flat-flow unit**

**Vladimir Vasiliev**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great (Russian Federation),  
vasiliev.vladimir87@mail.ru*

*Received: 4 May 2023 / Accepted: 19 October 2023 / Published: 24 October 2023*

---

**Abstract:** The effective use of the floating stroke carrying capacity depends on a number of factors, but the main one is high transport and operational indicators of round timber floating in floating units. A flat flow unit has been developed, which is characterized by low draft, high rigidity and a high stacked volume ratio. To assess the efficiency of the developed flat-flow unit, it is necessary to determine its stacked volume ratio. The authors determined experimentally the stacked volume ratio of a flat flow unit depending on the diameter in the upper segment of round timber from which the rows of the flat flow unit were assembled. A functional scheme of the experiment was constructed and a matrix of experiment planning was formed, taking into account all factors affecting the experiment. The experiments were carried out on models of an improved flat-flow unit, and subsequently the experimental and calculated data obtained for the models were transferred proportionally to flat-flow units of natural sizes. Based on the calculated data obtained with respect to the improved flat flow unit of natural dimensions a graph of the dependence of its stacked volume ratio on the diameter of round timber in the upper segment was constructed. The constructed graph shows that with an increase in the diameter of round timber in the upper segment, from which the rows of the improved flat flow unit are assembled, the stacked volume ratio decreases. In return, the stacked volume ratio changes dramatically when the diameter of round timber in the upper segment changes from 10 to 30 cm. Since flat flow units are made of round timber with a diameter in the upper segment of 10–40 cm, and with a given diameter of timber, the improved flat flow unit has the highest stacked volume ratio. The performance of timber floating by using this flat flow unit will certainly provide high efficiency of floating stroke

carrying capacity and contribute to increased volume of wood supply to consumers by water transport.

**Keywords:** flat flow unit; round timber; transverse gaskets

---

## 1. Введение

Водный транспорт является наиболее экономически выгодным транспортом лесоматериалов, который использует естественные водные пути [1—11] и кинетическую энергию потока воды. При этом данный вид транспорта имеет ряд недостатков, связанных с сезонностью его применения и ограничением сплава на малых и средних реках. Сезонность применения водного транспорта обуславливается закрытием навигации при ледоставе, поэтому транспортировка лесоматериалов реализуется только при открытии навигации. Ограничение сплава лесоматериалов на малых и средних реках происходит из-за того, что данные реки имеют лимитирующие габариты сплавного хода, не позволяющие выполнять сплав лесоматериалов в сплоточных единицах и плотах, которые имеют большую осадку. При выполнении сплава лесоматериалов на малых и средних реках наиболее целесообразно применять микропучки или плоские сплоточные единицы, но, как показывает практика [1—5], [11—16], сплав лесоматериалов по рекам с лимитирующими габаритами сплавного хода следует осуществлять в плоских сплоточных единицах, которые в большей степени приспособлены к сложным условиям сплава. Известные плоские сплоточные единицы [1—2], [5], [11—16], в т. ч. те, которые прошли полноценные испытания в Северодвинском бассейне [13], [16], показали хорошие результаты при своей эксплуатации, но при этом были выявлены недостатки, не позволяющие массово перейти на сплав лесоматериалов в плоских сплоточных единицах. К данным недостаткам относятся [17]: сложность конструкции, требующей большого количества сплоточного такелажа; сложность изготовления плоских сплоточных единиц, требующих больших временных и трудовых затрат; невысокий среднестатистический коэффициент полндревесности среди типовых конструкций плоских сплоточных единиц. При этом последний недостаток не даёт возможность максимально использовать пропускную способность сплавного хода.

Учитывая выявленные недостатки известных сплоточных единиц, была разработана система плоской сплоточной единицы [18—19] с высоким коэффициентом полндревесности, которая имеет простую конструкцию и изготавливается на грузовой платформе с малыми трудозатратами [20]. Для оценки эффективности разработанной конструкции плоской сплоточной единицы при проведении сплава требуется проведение экспериментального исследования по установлению её коэффициента полндревесности.

Цель работы — экспериментально определить коэффициент полндревесности усовершенствованной плоской сплоточной единицы в зависимости от применяемого диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе.

## 2. Материалы и методы

Разработанная конструкция плоской сплочной единицы с повышенным коэффициентом полндревесности (патент на изобретение РФ № 2777676) [19], которая дополнительно была подвергнута ряду усовершенствований [18], является объектом исследования.

Коэффициент полндревесности усовершенствованной плоской сплочной единицы является одним из основополагающих при расчёте объёма древесины в сплочной единице и её осадки. Данные показатели — это основные аргументы при обосновании степени использования пропускной способности сплавного хода. Следовательно, установление коэффициента полндревесности  $K_{ППСЕ}$  плоской сплочной единицы экспериментальным путём считается важнейшей задачей перед внедрением её в практику сплава лесоматериалов по рекам с малыми глубинами.

Рассматривая подробно процесс проведения экспериментального исследования по обоснованию коэффициента полндревесности плоской сплочной единицы, можно сделать однозначный вывод, что на проведение всей исследовательской работы будут влиять количественные и качественные факторы. С учётом основных правил по планированию эксперимента в технологических исследованиях [21—31] была построена схема проведения эксперимента. Данная схема изображена на рисунке 1.

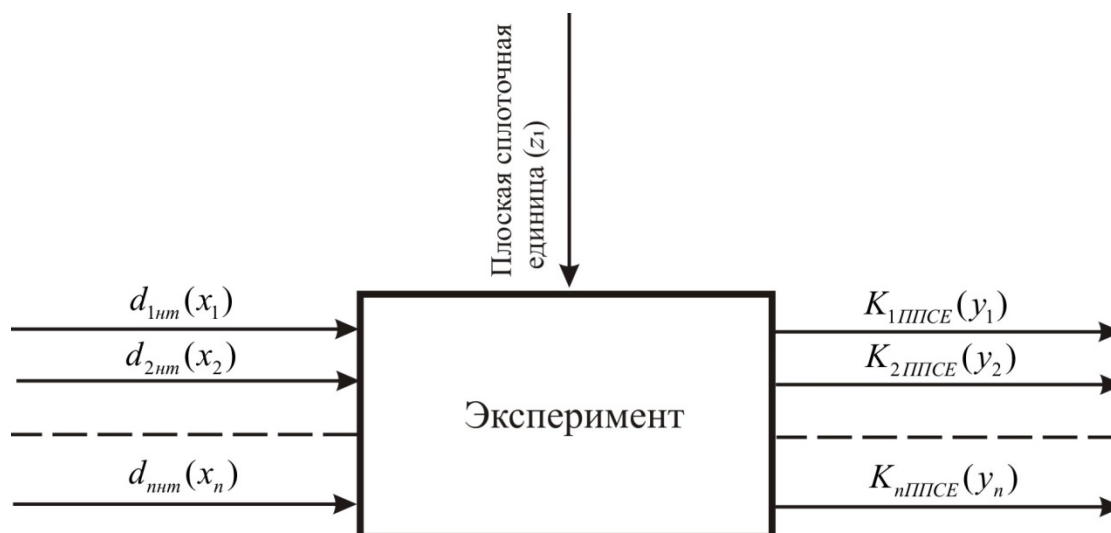


Рисунок 1. Функциональная схема проведения эксперимента

Figure 1. Functional scheme of the experiment

В соответствии с изображённой на рисунке 1 схемой проведения эксперимента присутствует один качественный фактор, именуемый конструкция № 1 ( $z_1$ ), т. е. это конструкция усовершенствованной плоской сплочной единицы (патент на изобретение РФ № 2777676). Также имеются в наличии количественные факторы — это диаметры круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, из которых собираются ряды плоских сплочных единиц.

Они изменяются от  $d_{1nm}$  до  $d_{7nm}$ . Параметром отклика является коэффициент полндревесности плоской сплottedной единицы в зависимости от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, из которых собираются ряды сплottedной единицы.

Для наиболее рационального выполнения экспериментальных исследований строится матрица планирования опытов на основании схемы, изображённой на рисунке 1. При этом построение матрицы планирования опытов реализуется с учётом соблюдения определённых условий. Первое условие — диаметры круглых лесоматериалов в верхнем отрезе являются количественными факторами. Данные диаметры являются нулевыми уровнями, которые изменяются от 10 до 70 см, с шагом 10 см. Второе условие — все диаметры круглых лесоматериалов в верхнем отрезе для каждого количественного фактора при изготовлении моделей должны обязательно соответствовать нулевому уровню. Третье условие — это требование к заготавливаемым круглым лесоматериалам, которые используются при изготовлении плоской сплottedной единицы. Порода древесины заготавливаемых круглых лесоматериалов не регламентируется, их средняя сбежистость должна быть не более 1 см на 1 м при минимально возможном процентном показателе кривизны лесоматериалов. В соответствии с данными условиями в отношении качественного фактора будут выполняться семь опытов. На основании этого была построена матрица планирования опытов, которая представлена в таблице 1.

**Таблица 1.** Матрица планирования опытов

**Table 1.** Experiment planning matrix

Факторы	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$
	$d_{1nm}$	$d_{2nm}$	$d_{3nm}$	$d_{4nm}$	$d_{5nm}$	$d_{6nm}$	$d_{7nm}$
Нулевой уровень	10	20	30	40	50	60	70
Номер опыта:	—	—	—	—	—	—	—
1	+	+	+	+	+	+	+

На основании матрицы планирования опытов, приведённой в таблице 1, выполняются дальнейшие экспериментальные работы по установлению коэффициента полндревесности  $K_{нПДСЕ}$  плоской сплottedной единицы для каждого количественного фактора. При этом выполнение опытов осуществлялось по следующей методике.

Выполнение всех опытов в отношении плоской сплottedной единицы (патент на изобретение РФ № 2777676) предусматривает изготовление семи сплottedных единиц натуральных размеров. При этом изготовление плоских сплottedных единиц требует заготовки круглых лесоматериалов, где особая сложность присутствует при заготовке лесоматериалов, имеющих диаметр в верхнем отрезе 40, 50, 60 и 70 см. Эти факторы несут в себе значительную потребность материальных и трудовых ресурсов, а также большие затраты времени. Отсюда следует, что для уменьшения всех затрат при проведении каждого

опыта и увеличения скорости их реализации наиболее рационально переходить на работу с моделями плоских сплочных единиц. Масштаб моделей плоских сплочных единиц принимается равным 1 : 10. Данный масштаб является наиболее оптимальным, а получаемые экспериментальные данные будут являться объективными и достоверными для дальнейшего использования во всех расчётах.

Например, для второго количественного фактора, согласно принятому масштабу, принимаем длину круглых лесоматериалов в рядах, равную 60 см, а ширину модели следует принимать 40 см. Размеры поперечных прокладок устанавливаются в зависимости от количества круглых лесоматериалов, укладываемых в каждом ряду, и их принятого диаметра. Таким образом, для данного опыта количество круглых лесоматериалов с учётом их сбежистости в первом и третьем рядах составляет  $40 \div 2,3 = 17,39 \approx 17$  шт., а во втором и четвёртом — 16 шт. Тогда длина поперечных прокладок равна 39,1 см, а средний диаметр внутренних и наружных поперечных прокладок  $d_{СрВПП}$  и  $d_{СрНПП}$  в середине их длин рекомендуется определять соответственно по формулам:

$$d_{СрВПП} = k_{КУДВ} d_{Ср}; \quad (1)$$

$$d_{СрНПП} = k_{КУДН} d_{Ср}, \quad (2)$$

где  $k_{КУДВ}$  — коэффициент уменьшения диаметра внутренних поперечных прокладок;  $d_{Ср}$  — средний диаметр в верхнем отрезе круглых лесоматериалов, используемых в рядах плоской сплочной единицы, см;  $k_{КУДН}$  — коэффициент уменьшения диаметра наружных поперечных прокладок.

При расчёте  $d_{СрВПП}$  и  $d_{СрНПП}$  коэффициенты  $k_{КУДВ}$  и  $k_{КУДН}$  будут равными значениям, которые устанавливаются экспериментальным путём.

Для данного эксперимента гибкие связи будут представлять собой вязальную проволоку с диаметром 0,4 см. При этом горизонтальные скобы представляют собой металлические стержни с диаметром 0,6 см, а вместо вертикальных скоб используются деревянные рейки, которые крепятся к поперечным прокладкам гвоздями. Модель плоской сплочной единицы изготавливается, согласно патенту на изобретение РФ № 2777676, в специальной установке (фото 1). Реализовав сплотку плоской сплочной единицы, измеряют её среднюю длину  $L_{МПСЕ}$ , ширину  $B_{МПСЕ}$  и высоту  $H_{МПСЕ}$ , а также рассчитывают объём древесины в сплочной единице  $V_{ДМПСЕ}$  с учётом объёма древесины в поперечных прокладках. Для дальнейшего расчёта коэффициента полндревесности данной модели применяется следующая формула:

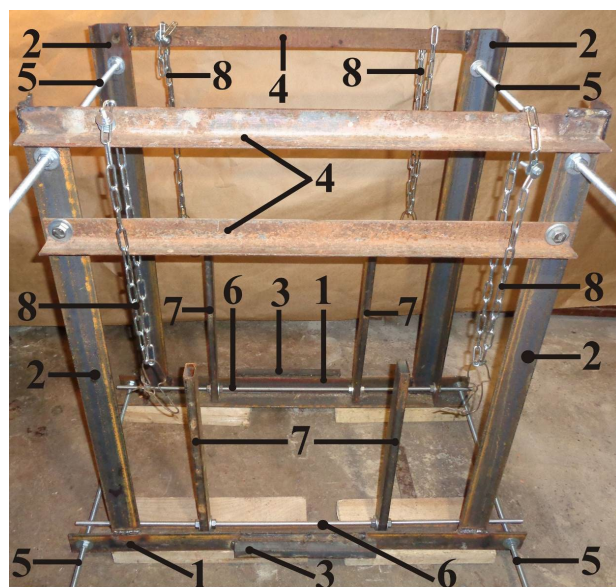
$$K_{2МПСЕ} = \frac{V_{ДМПСЕ}}{L_{МПСЕ} B_{МПСЕ} H_{МПСЕ}}. \quad (3)$$

Рассчитываемый коэффициент полндревесности по формуле (3), относящийся ко второму количественному фактору, заносили в таблицу 2.



Проведение опытов для 1-го и 3—8-х количественных факторов выполняется аналогично второму количественному фактору. Показатели коэффициента полндревесности по каждому количественному фактору заносили в таблицу 2.

При проведении данного эксперимента измерение длины выпиленных заготовок лесоматериалов, а также габаритов моделей усовершенствованной плоской сплочной единицы осуществляли рулеткой измерительной металлической (ГОСТ 7502-98). Замер диаметра круглых лесоматериалов и поперечных прокладок выполняли штангенциркулем (ГОСТ 166-89). Выпиливание всех круглых лесоматериалов и поперечных прокладок осуществляли ручной пилой (ГОСТ 26215-84). Также следует отметить, что замер диаметров круглых лесоматериалов и поперечных прокладок в середине их длины выполняли два раза перпендикулярно друг другу, где в последующем устанавливали рабочий диаметр, который применяли в расчётах. При расчёте объёма древесины в каждой модели усовершенствованной плоской сплочной единицы использовалась таблица объёмов круглых лесоматериалов [32].



**Фото 1.** Общий вид установки для экспериментальных исследований: 1 — основание; 2 — вертикальные стойки; 3 — горизонтальные упоры; 4 — горизонтальные верхние переключатели; 5 — продольные регулировочные шпильки; 6 — поперечные регулирующие шпильки; 7 — вертикальные упоры; 8 — цепи

**Photo 1.** General view of the setup for experimental studies: 1 — base; 2 — vertical racks; 3 — horizontal stops; 4 — horizontal upper crossbars; 5 — longitudinal adjusting studs; 6 — transverse adjusting studs; 7 — vertical stops; 8 — chains

### 3. Результаты

При изготовлении модели усовершенствованной плоской сплочной единицы из круглых лесоматериалов, имеющих диаметр в верхнем отрезе 2 см, в установке, представленной на фото 1, использовалось 66 заготовок круглых лесоматериалов длиной 60 см. Количество используемых внутренних и наружных поперечных прокладок — четыре штуки, длина которых составила 39,1 см. Диаметры внутренних и наружных поперечных прокладок в середине длины рассчитывались соответственно:

$$d_{\text{срвнп}} = k_{\text{кудв}} d_{\text{ср}} = 0,85 \times 2,0 = 1,7 \text{ см};$$

$$d_{\text{срнп}} = k_{\text{кудн}} d_{\text{ср}} = 1,0 \times 2,0 = 2,0 \text{ см}.$$

Следует отметить, что внутренние и наружные поперечные прокладки выпиливались из заготовок, которые имели минимальную сбежистость, т.е. их объём считался как объём цилиндра.

В установке (фото 1) была собрана модель усовершенствованной плоской сплочной единицы, которая представлена на фото 2. Данная модель имела среднюю длину 0,64 м, среднюю ширину 0,391 м, среднюю высоту 0,083 м. Фактический объём древесины в модели сплочной единицы определялся по таблицам объёмов круглых лесоматериалов [32]. На основании данных таблиц был определён объём древесины в модели сплочной единицы, который составил:

$$V_{\text{дмпсе}} = V_{\text{дряд}} + V_{\text{дпр}} = 0,0165 + 0,000423 = 0,016923 \text{ м}^3,$$

где  $V_{\text{дряд}}$  — это объём древесины в рядах,  $\text{м}^3$ ;  $V_{\text{дпр}}$  — объём древесины во внутренних и наружных прокладках,  $\text{м}^3$ .



**Фото 2.** Физическая модель плоской сплочной единицы

**Photo 2.** A physical model of a flat-flow unit

Полученные габаритные размеры модели и фактический объём древесины в ней по формуле (3) позволили определить коэффициент полндревесности:

$$K_{2ПДСЕ} = \frac{V_{ДМДСЕ}}{L_{МДСЕ} B_{МДСЕ} H_{МДСЕ}} = \frac{0,0169}{0,64 \times 0,391 \times 0,083} = \frac{0,0169}{0,0208} = 0,8125 \approx 0,81.$$

Принимая во внимание экспериментальные и расчётные данные, полученные для модели плоской сплочной единицы, изготовленной из круглых лесоматериалов с диаметром в верхнем отрезе 2 см, был произведён расчёт коэффициента полндревесности для плоской сплочной единицы с диаметром круглых лесоматериалов в верхнем отрезе 20 см. При этом все полученные данные для модели сплочной единицы были переведены, согласно масштабу, в требуемый формат. Используя полученные данные, был рассчитан коэффициент полндревесности следующим образом:

$$K_{2ПДСЕ} = \frac{V_{ДПДСЕ}}{L_{ПДСЕ} B_{ПДСЕ} H_{ПДСЕ}} = \frac{16,923}{6,4 \times 3,91 \times 0,83} = \frac{16,923}{20,7699} = 0,8148 \approx 0,81.$$

Все экспериментальные и расчётные данные, которые были установлены для модели и усовершенствованной плоской сплочной единицы натуральных размеров, фиксировались в таблице 2.

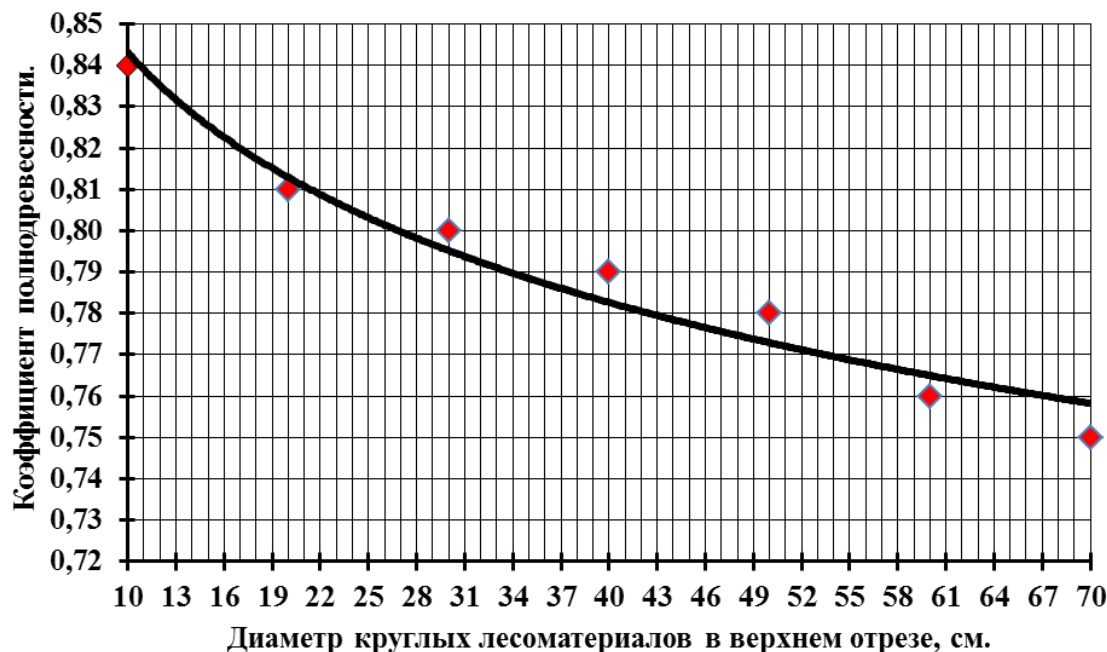
**Таблица 2.** Основные данные экспериментального исследования

**Table 2.** Basic data of the experimental study

Установленный диаметр, см	$\frac{1,0}{10}$	$\frac{2,0}{20}$	$\frac{3,0}{30}$	$\frac{4,0}{40}$	$\frac{5,0}{50}$	$\frac{6,0}{60}$	$\frac{7,0}{70}$
Количество лесоматериалов в рядах, шт.	118	66	46	34	30	22	18
Количество лесоматериалов в первом и третьем рядах, шт.	60	34	24	18	16	12	10
Количество лесоматериалов во втором и четвёртом рядах, шт.	58	32	22	16	14	10	8
Геометрический объём плоской сплочной единицы, м <sup>3</sup>	$\frac{0,0116}{11,575}$	$\frac{0,0208}{20,770}$	$\frac{0,0306}{30,574}$	$\frac{0,0394}{39,440}$	$\frac{0,0539}{53,935}$	$\frac{0,0579}{57,902}$	$\frac{0,0656}{65,613}$
Объём древесины в плоской сплочной единице, м <sup>3</sup>	$\frac{0,0097}{9,694}$	$\frac{0,0169}{16,923}$	$\frac{0,0245}{24,533}$	$\frac{0,0311}{31,106}$	$\frac{0,0421}{42,132}$	$\frac{0,0442}{44,207}$	$\frac{0,0492}{49,151}$
Коэффициент полндревесности плоской сплочной единицы	$\frac{0,84}{0,84}$	$\frac{0,81}{0,81}$	$\frac{0,80}{0,80}$	$\frac{0,79}{0,79}$	$\frac{0,78}{0,78}$	$\frac{0,76}{0,76}$	$\frac{0,75}{0,75}$

*Примечание.* Все показатели в числителе относятся к усовершенствованной плоской сплочной единице, а показатели в знаменателе — к усовершенствованной плоской сплочной единице натуральных размеров.

Воспользовавшись приведёнными данными в таблице 2, которые относятся к усовершенствованной плоской сплочной единице натуральных размеров, построили график зависимости её коэффициента полндревесности от диаметра круглых лесоматериалов, используемых в рядах сплочной единицы. Данный график представлен на рисунке 2.



**Рисунок 2.** График зависимости коэффициента полндревесности усовершенствованной плоской сплочной единицы от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе

**Figure 2.** Graph of the dependence of the stacked volume ratio of the improved flat flow unit on the diameter of round timber in the upper segment

Анализ графика изменения коэффициента полндревесности усовершенствованной плоской сплочной единицы, представленного на рисунке 2, показывает, что изменение коэффициента полндревесности усовершенствованной плоской сплочной единицы натуральных размеров (патент на изобретение РФ № 2777676) происходит по нелинейной зависимости. Данная зависимость указывает на постоянное уменьшение коэффициента полндревесности при увеличении диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, из которых собираются ряды плоской сплочной единицы. Наибольшая интенсивность изменения коэффициента полндревесности наблюдается при изменении диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе от 10 до 30 см. Также необходимо отметить, что данный график приемлем для плоской сплочной единицы, имеющей длину 6 м и ширину 4 м.

#### 4. Обсуждение и заключение

Проведённые экспериментальные исследования моделей усовершенствованной плоской сплочной единицы позволили установить зависимость коэффициента её полндревесности от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, из которых собираются ряды сплочной единицы. При этом получены следующие результаты.

Коэффициент полндревесности плоской сплочной единицы определяется габаритным объёмом сплочной единицы и объёмом древесины в данном габаритном объёме. Причём объём древесины в габаритном объёме плоской сплочной единицы зависит от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, из которых собираются ряды сплочной единицы.

При увеличении диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе коэффициент полндревесности плоской сплочной единицы уменьшается. При этом изменение коэффициента полндревесности протекает по нелинейной зависимости. В свою очередь, наиболее интенсивное изменение коэффициента полндревесности наблюдается при изменении диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе от 10 до 30 см.

В практических условиях, как правило, наибольшее количество плоских сплочных единиц изготавливается из круглых лесоматериалов, у которых диаметр в верхнем отрезе изменяется в диапазоне 10—40 см. При этом полученные экспериментальные данные показывают, что усовершенствованная плоская сплочная единица в данном диапазоне изменения диаметров круглых лесоматериалов имеет наибольший коэффициент полндревесности. Таким образом, выполнение сплава лесоматериалов в усовершенствованной плоской сплочной единице будет обеспечивать высокую степень использования пропускной способности сплавного хода и способствовать увеличению объёмов поставки древесины потребителям водным транспортом.

#### Список литературы

1. Васильев В. В., Афоничев Д. Н. Расчёт прочности модернизированной плоской сплочной единицы // Resources and Technology. 2023. Т. 20, № 1. С. 1—25. DOI: 10.15393/j2.art.2023.6623.
2. Васильев В. В., Афоничев Д. Н. Усовершенствованные системы плотового сплава лесоматериалов: [монография]. Saarbrücken (Германия): Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 284 с.
3. Васильев В. В., Афоничев Д. Н. Использование плоских сплочных единиц на первоначальном сплаве лесоматериалов // Известия вузов. Лесной журнал. 2022. № 1. С. 128—142. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-1-128-142.
4. Васильев В. В., Афоничев Д. Н. Обоснование показателя гибкости плота из сплочных единиц // Известия вузов. Лесной журнал. 2022. № 4. С. 146—155. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-4-146-155.
5. Васильев В. В. Расчёт транспортно-эксплуатационных показателей усовершенствованной плоской сплочной единицы // Resources and Technology. 2022. Т. 19, № 4. С. 1—22. DOI: 10.15393/j2.art.2022.6365.

6. *Perfiliev P., Zadrauskaite N., Rybak G.* Study of hydrodynamic resistance of a raft composed of the flat rafting units of various draft // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 18 (1.5). Austria, 2018. P. 765—772.
7. Brevet 2882723 FR, Int. CI.8 B 63 B 35/00, 3/08, 7/02. Embarcation modulaire pour le transport des grumes par voie d'eau / Demandeur Roumengas Jonsa Guy; Mandataire SCHMITT. No. 0502132; la date de la demande 03.03.05; la date de parution 21.10.2005, bulletin 06/36. 14 p.
8. Patent 5119529 USA, Int. CI.5 B63B 35/62. Cable hook / Wire Rope Industries Ltd., Pointe-Claire, Canada. No. 703,844; filed: 21.05.1991; date application 09.06.1992.
9. Patent 3971309 USA, Int. CI.2 B63B 27/16. Log bundling apparatus and method of bundling logs / Wilfred Spry Brodie, P. O. Box 175, Gibsons, British Columbia, VON 1VO, Canada. No. 566,904; filed: 10.04.1975; date application 27.07.1976.
10. Patent 3556319 USA, Int. CI. B63b 27/16. Log-bundling apparatus / M. Ray Holden, P. O. Box 716, Ketchikan, Alaska. No. 857,247; filed: 30.06.1969; date application 19.01.1971.
11. *Васильев В. В.* Обоснование параметров транспортно-технологической схемы поставки древесины в плоских сплottedных единицах по принципу плот (линейка) — плот // Resources and Technology. 2021. Т. 18, № 2. С. 48—78. DOI: 10.15393/j2.art.2021.5603.
12. *Васильев В. В., Афоничев Д. Н.* Обоснование геометрических параметров высокоэффективной плоской сплottedной единицы // Resources and Technology. 2023. Т. 20, № 2. С. 1—19. DOI: 10.15393/j2.art.2023.6763.
13. *Васильев В. В., Барабанов В. А.* Анализ результатов испытания плота из плоских сплottedных единиц в Северодвинском бассейне // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: материалы Междунар. научно-техн. конф. «Техника и технологии — мост в будущее». Воронеж: ВГЛТА, 2014. № 5. Ч. 4 (10-4). С. 67—72.
14. *Васильев В. В.* Особенности формирования осадки плоской сплottedной единицы // Лесотехнический журнал ВГЛТА. 2014. № 1 (13). С. 79—84.
15. *Васильев В. В.* Сплottedная единица для рек с малыми глубинами // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. Междунар. научно-техн. конф. «Механика технологических процессов в лесном комплексе». Воронеж: ВГЛТА, 2014. № 2. Ч. 3 (7-3). С. 41—45. DOI: 10.12737/3184.
16. *Митрофанов А. А.* Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение: [монография]. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. 492 с.
17. *Васильев В. В., Аксенов И. И.* Анализ конструкций перспективных плоских сплottedных единиц // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции — новые технологии и техника нового поколения для АПК: Сб. науч. докл. XX междунар. научно-практич. конф. г. Тамбов, 26—27 сентября 2019 г. Тамбов: Изд-во «Студия печати Галины Золотовой», 2019. С. 188—191.
18. *Васильев В. В.* Усовершенствованная плоская сплottedная единица с повышенным коэффициентом полндревесности // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: Материалы междунар. научно-практич. конф. (Россия, Воронеж, 25 ноября 2022 г.). Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский ГАУ», 2022. С. 37—43.
19. Патент 2777676 Р. Ф., МПК В65В 35/02. Плоская сплottedная единица / В. В. Васильев, Д. Н. Афоничев, В. А. Морковин, В. В. Абрамов, Е. В. Поздняков; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический

- университет им. Г. Ф. Морозова» (RU). № 2021140062; заявл. 30.12.2021; опубл. 08.08.2022, Бюл. № 22. 8 с.
20. Патент 213802 Р. Ф., МПК В60Р 3/41. Грузовая платформа / В. В. Васильев, Д. Н. Афоничев, А. В. Лощенко; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I» (RU). № 2022123837; заявл. 08.09.2022; опубл. 29.09.2022, Бюл. № 28. 10 с.
  21. *Dean A., Voss D., Draguljić D.* Design and analysis of experiments. Springer International Publishing, 2017. 852 p.
  22. *Bate S. T., Clark R. A.* The design and statistical analysis of animal experiments. CUP, 2014. 328 p.
  23. *Lightbown D.* Designing the user experience of game development tools. A K Peters CRC Press, 2015. 164 p.
  24. *Selvamuthu D., Das D.* Introduction to statistical methods, design of experiments and statistical quality control. Springer Singapore, 2018. 445 p.
  25. *Gezan S. A.* Statistical methods in biology: design and analysis of experiments and regression. Chapman & Hall/CRC, 2014. 616 p.
  26. *Mathews P. G.* Design of experiments with MINITAB. American Society for Quality (ASQ), 2005. 521 p.
  27. *Oehlert G. W.* A first course in design and analysis of experiments. Freeman, 2010. 680 p.
  28. *Rhinehart R. R.* Applications: modeling, model validation, and enabling design of experiments. Wiley-ASME Press, 2016. 400 p.
  29. *Mead R., Gilmour S. G., Mead A.* Statistical principles for the design of experiments: applications to real experiments. Cambridge University Press, 2012. 586 p.
  30. *Allen T. T.* Introduction to engineering statistics and lean six sigma: statistical quality control and design of experiments and systems. Springer London, 2019. 633 p.
  31. *Винарский М. С., Лурье М. В.* Планирование эксперимента в технологических исследованиях. Киев: Техника, 1975. 168 с.
  32. *Бит Ю. А., Вавилов С. В.* Измерение объёмов круглых лесоматериалов: Справочник. СПб.: ООО «Профикс», 2008. 361 с.

## References

1. Vasiliev V. V., Afonichev D. N. Calculation of the strength of a modernized flat-flow unit. *Resources and Technology*, 2023, vol. 20, no. 1, pp. 1—25. doi: 10.15393/j2.art.2023.6623. (In Russ).
2. Vasiliev V. V., Afonichev D. N. *Improved systems of raft timber alloy: [monograph]*. Saarbrucken (Germany), Publishing house LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 284 p. (In Russ).
3. Vasiliev V. V., Afonichev D. N. The use of flat splice units on the initial timber alloy. *Izvestiy vuzov. Lesnoi zhurnal*, 2022, no. 1, pp. 128—142. doi: 10.37482/0536-1036-2022-1-128-142. (In Russ.).
4. Vasiliev V. V., Afonichev D. N. Substantiation of the indicator of the flexibility of a raft of raft units. *Izvestiy vuzov. Lesnoi zhurnal*, 2022, no. 4, pp. 146—155. doi: 10.37482/0536-1036-2022-4-146-155. (In Russ).
5. Vasiliev V. V. Calculation of transport and operational indicators of an improved flat-flow unit. *Resources and Technology*, 2022, vol. 19, no. 4, pp. 1—22. doi: 10.15393/j2.art.2022.6365. (In Russ.).

6. Perfiliev P., Zadrauskaite N., Rybak G. Study of hydrodynamic resistance of a raft composed of the flat rafting units of various draft. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 18 (1.5)*. Austria, 2018, pp. 765—772.
7. Patent 2882723 FR, Int. THIS.8 B63B 35/00, 3/08, 7/02. Modular boat for the transport of logs by water. Applicant Roumengas Jonsa Guy; Agent SCHMITT. No.0502132; the date of application 03.03.05; the date of publication 21.10.2005, bulletin 06/36. 14 p.
8. Wire Rope Industries Ltd., Pointe-Claire, Canada. Patent 5119529 USA, Int. CI.5 B63B 35/62. Cable hook. No. 703,844; filed: 21.05.1991; date application 09.06.1992.
9. Wilfred Spry Brodie, P. O. Box 175, Gibsons, British Columbia, VON 1VO, Canada. Patent 3971309 USA, Int. CI.2 B63 B 27/16. Log bundling apparatus and method of bundling logs. No. 566,904; filed: 10.04.1975; date application 27.07.1976.
10. M. Ray Holden, P. O. Box 716, Ketchikan, Alaska. Patent 3556319 USA, Int. CI. B63b 27/16. Log-bundling apparatus. No. 857,247; filed: 30.06.1969; date application 19.01.1971.
11. Vasiliev V. V. Calculation of transport and operational indicators of an improved flat-flow unit. *Resources and Technology*, 2022, vol. 19, no. 4, pp. 1—22. doi: 10.15393/j2.art.2022.6365. (In Russ.).
12. Vasiliev V. V., Afonichev D. N. Substantiation of geometric parameters of a highly efficient flat-flow unit. *Resources and Technology*, 2023, vol. 20, no. 2, pp. 1—19. doi: 10.15393/j2.art.2023.6763. (In Russ.).
13. Vasiliev V. V., Barabanov V. A. Analysis of the results of testing a raft of flat raft units in the Severodvinsk basin. *Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice: Mater. international scientific and Technical conference «Technology and Technologies — a bridge to the future»*. Voronezh, VGLTA, 2014, no. 5, part 4 (10-4), pp. 67—72. (In Russ.).
14. Vasiliev V. V. Features of the formation of the precipitation of a flat flat unit. *Forestry journal VGLTA*, 2014, no. 1 (13), pp. 79—84. (In Russ.).
15. Vasiliev V. V. A cohesive unit for rivers with shallow depths. *Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice. International scientific and technical conference «Mechanics of technological processes in the forest complex»*. Voronezh, VGLTA, 2014, no. 2, part 3 (7-3), pp. 41—45. doi: 10.12737/3184. (In Russ.).
16. Mitrofanov A. A. *Lesosplav. New technologies, scientific and technical support: [monograph]*. Arkhangelsk, Publishing house of AGTU, 2007. 492 p. (In Russ.).
17. Vasiliev V. V., Aksenov I. I. Analysis of the designs of promising flat cohesive units. *Improving the efficiency of the use of resources in the production of agricultural products — new technologies and equipment of a new generation for the agro-industrial complex: collection of scientific reports of the XX International Scientific and practical Conference. Tambov, September 26—27, 2019*. Tambov, Publishing House «Printing Studio Galina Zolotova», 2019, pp. 188—191. (In Russ.).
18. Vasiliev V. V. An improved flat cohesive unit with an increased full-weight coefficient. *Science and education at the present stage of development: experience, problems and ways to solve them: materials of the International scientific and practical conference (Russia, Voronezh, November 25, 2022)*. Voronezh, Voronezh State Pedagogical University, 2022, pp. 37—43. (In Russ.).
19. Vasiliev V. V., Afonichev D. N., Morkovin V. A., Abramov V. V., Pozdnyakov E. V. Patent 2777676 R. F., IPC B65B 35/02. Flat splice unit. Applicant and patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Forestry University



- named after G. F. Morozov» (RU). No. 2021140062; application 30.12.2021; publ. 08.08.2022, Byul. No. 22. 8 p. (In Russ.).
20. Vasiliev V. V., Afonichev D. N., Loschenko A. V. Patent 213802 R. F., IPC B60R 3/41. Cargo platform. Applicant and patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I» (RU). No. 2022123837; application 08.09.2022; publ. 29.09.2022, Byul. No. 28. 10 p. (In Russ.).
  21. Angela Dean, Daniel Voss, Danel Draguljić. *Design and analysis of experiments*. Springer International Publishing, 2017. 852 p.
  22. Bate S. T., Clark R. A. *The design and statistical analysis of animal experiments*. CUP, 2014. 328 p.
  23. David Lightbown. *Designing the user experience of game development tools*. A K Peters CRC Press, 2015. 164 p.
  24. Dharmaraja Selvamuthu, Dipayan Das. *Introduction to statistical methods, design of experiments and statistical quality control*. Springer Singapore, 2018. 445 p.
  25. Gezan Salvador Alejandro. *Statistical methods in biology: design and analysis of experiments and regression*. Chapman & Hall/CRC, 2014. 616 p.
  26. Mathews Paul G. *Design of experiments with MINITAB*. American Society for Quality (ASQ), 2005. 521 p.
  27. Oehlert G. W. *A first course in design and analysis of experiments*. Freeman, 2010. 680 p.
  28. Russell R. Rhinehart. *Applications: modeling, model validation, and enabling design of experiments*. Wiley-ASME Press, 2016. 400 p.
  29. Mead R., Gilmour S. G., Mead A. *Statistical principles for the design of experiments: applications to real experiments*. Cambridge University Press, 2012. 586 p.
  30. Theodore T. Allen. *Introduction to engineering statistics and lean six sigma: statistical quality control and design of experiments and systems*. Springer London, 2019. 633 p.
  31. Vinarsky M. S., Lurie M. V. *Experiment planning in technological research*. Kiev, Technique, 1975. 168 p. (In Russ.).
  32. Bit Yu. A., Vavilov S. V. *Measurement of volumes of round timber*. Directory. Saint Petersburg, Profix LLC, 2008. 361 p. (In Russ.).