

DOI: 10.15393/j2.art.2025.7503

УДК 630*378.33

Статья

Исследование коэффициента полндревесности усовершенствованной плоской сплочной единицы

Васильев Владимир Викторович

*кандидат технических наук, доцент, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I (Российская Федерация),
vasiliev.vladimir87@mail.ru*

Афоничев Дмитрий Николаевич

*доктор технических наук, профессор, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I (Российская Федерация),
dmafonichev@yandex.ru*

Получена: 2 ноября 2023 / Принята: 5 февраля 2025 / Опубликовано: 19 февраля 2025

Аннотация: Выполнение сплава лесоматериалов по транспортно-технологическим схемам, функционирующим на базе плоских сплочных единиц, требует совершенствования конструкций сплочных единиц и определения их основных транспортно-эксплуатационных показателей. Разработана конструкция плоской сплочной единицы, отличительной особенностью которой является укладка рядов круглых лесоматериалов перпендикулярно друг другу с обязательным соединением между собой крайних круглых лесоматериалов первого (нижнего) и третьего рядов, а также второго и четвёртого рядов с помощью скоб. При расчёте основных транспортно-эксплуатационных показателей усовершенствованной плоской сплочной единицы, а именно её осадки в конкретный период времени и содержания фактического объёма древесины в ней, требуется установление коэффициента полндревесности. Установление коэффициента полндревесности плоской сплочной единицы для различного диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, из которых собираются ряды сплочной единицы, осуществлялось экспериментальным путём. Все экспериментальные работы проводились согласно матрице планирования опытов, которая была построена по функциональной схеме проведения эксперимента, учитывающей качественные и количественные факторы, влияющие на эксперимент. При этом использовались модели плоской сплочной единицы, а все данные, полученные для модели, переводились

пропорционально для плоской сплочной единицы натуральных размеров. В результате проведённых экспериментальных исследований и полученных расчётных данных был построен график зависимости коэффициента полндревесности сплочной единицы от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе. На основании полученного графика было установлено, что при увеличении диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, из которых собираются ряды сплочной единицы, коэффициент полндревесности увеличивается. Причём наиболее интенсивное возрастание коэффициента полндревесности плоской сплочной единицы наблюдается при изменении диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе — от 10,0 до 30,0 см. Использование полученных экспериментальных и расчётных данных коэффициента полндревесности позволит максимально точно определить требуемые транспортно-эксплуатационные показатели усовершенствованной плоской сплочной единицы, что обеспечит эффективное выполнение транспортных работ на первоначальном и магистральном сплаве лесоматериалов.

Ключевые слова: круглые лесоматериалы; плоская сплочная единица; объём; коэффициент полндревесности

DOI: 10.15393/j2.art.2025.7503

Article

Investigation of the stacking factor of an improved flat-flow unit

Vladimir Vasiliev

*Ph. D. in engineering, associate professor, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great (Russian Federation),
vasiliev.vladimir87@mail.ru*

Dmitry Afonichev

*D. Sc. in engineering, professor, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great (Russian Federation),
dmafonichev@yandex.ru*

Received: 2 November 2023 / Accepted: 5 February 2025 / Published: 19 February 2025

Abstract: Timber rafting according to transport and technological schemes operating on the basis of flat raft units requires the improvement of the designs of the float units and the determination of their main transport and operational indicators. The design of a flat float unit has been developed, its distinctive feature being rows of round timber laid perpendicular to each other with the obligatory stapling of the extreme round timber of the first (lower) and third rows, as well as the second and fourth rows. Establishing a stacking factor is required when calculating the main transport and operational indicators of an improved flat-flow unit, namely its draft during a specific period of time and the content of the actual volume of wood in it. The authors determined experimentally the stacking factor of a flat raft unit for various diameters of round timber in the upper segment, from which the rows of the raft unit are assembled. The experimental work was performed according to the experiment planning matrix, which was built according to the functional scheme of the experiment, taking into account the qualitative and quantitative factors affecting the experiment. At the same time models of a flat float unit were used, and all data obtained for the model were converted proportionally for a flat float unit of natural dimensions. Eventually a graph of the dependence of the unit stacking factor on the diameter of round timber in the upper segment was constructed. Based on the obtained graph, it was found that with an increase in the diameter of round timber in the upper segment, from which the rows of the unit were assembled, the stacking factor increased. Moreover, the most intensive increase in the unit stacking factor was observed when the diameter of round timber in

the upper segment increased from 10.0 to 30.0 cm. The use of the obtained experimental and calculated data of the stacking factor might allow more accurate determination of the required transport and operational indicators of the improved flat-flow unit, which will ensure the efficient performance of transport work on the initial and main timber rafting.

Keywords: round timber; flat float unit; volume; stacking factor

1. Введение

Транспортировка лесоматериалов от мест заготовки до перерабатывающих предприятий может осуществляться двумя видами транспорта [1—14]: сухопутным и водным. Сухопутный транспорт возможен в местах с наличием автомобильных дорог и железнодорожных путей [8], [10], [11]. В свою очередь, водный транспорт имеет своё непосредственное преимущество в местах с плохо развитой сетью автомобильных дорог и железнодорожных путей [1—7], [9], [12—14], где в качестве единственного транспортного пути могут использоваться различные водные объекты.

Проблема поставки лесоматериалов из труднодоступных мест в условиях отсутствия сети автомобильных дорог и железнодорожных путей требует совершенствования систем водного транспорта древесины, особенно по малым и средним рекам, где ранее проводился молевой сплав. Для этого разработаны специализированные транспортно-технологические схемы, функционирующие на базе плоских сплочных единиц [4], [7]. Основной особенностью данных транспортно-технологических схем является то, что они позволяют осуществлять бесперевалочную транспортировку лесоматериалов от берегового склада до рейда приплава или лесосырьевой биржи.

Для реализации транспортно-технологических схем, функционирующих на базе плоских сплочных единиц, предложена плоская сплочная единица [15], [16]. Практическое применение усовершенствованной плоской сплочной единицы при сплаве её самосплавом или в составе плота требует проведения расчёта её транспортно-эксплуатационных показателей. Данные показатели включают определение габаритных размеров, объёма содержания древесины, коэффициента полнодревесности, коэффициента запаса плавучести, осадки, волнустойчивости, жёсткости, прочности и расхода сплочного такелажа.

Коэффициент полнодревесности плоской сплочной единицы является одним из важных показателей, который имеет своё влияние на определение объёма содержания древесины в сплочной единице и её фактической осадки на конкретный период времени. При этом точность расчёта осадки плоской сплочной единицы на конкретный период времени является залогом безаварийной транспортировки древесины по малым и средним рекам, а точность определения объёма содержания древесины в сплочной единице позволит спрогнозировать максимальный объём поставки лесоматериалов потребителям. Таким образом, для обеспечения безаварийной транспортировки плоской сплочной единицы по рекам с лимитирующими габаритами сплавного хода и правильного учёта объёма транспортируемых лесоматериалов в плоских сплочных единицах и плотах на их основе требуется определение их коэффициента полнодревесности.

Цель исследования — установить экспериментальным путём коэффициент полнодревесности плоской сплочной единицы в зависимости от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, из которых собираются ряды сплочной единицы.

2. Материалы и методы

Усовершенствованная конструкция плоской сплочной единицы (патент на полезную модель РФ № 210485) [16], которая была подвергнута дополнительной модернизации [15], является объектом исследования.

С учётом основных рекомендаций по планированию эксперимента в технологических исследованиях [17—27] построена схема проведения эксперимента, которая представлена на рисунке 1. В соответствии с изображённой на рисунке 1 схемой присутствуют: один качественный фактор — плоская сплочная единица (z_1) и количественные факторы — диаметры круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, из которых собираются ряды плоской сплочной единицы, они изменяются от d_{1nm} до d_{nm} . Откликом является коэффициент полндревесности плоской сплочной единицы $K_{nППСЕ}(y_n)$.

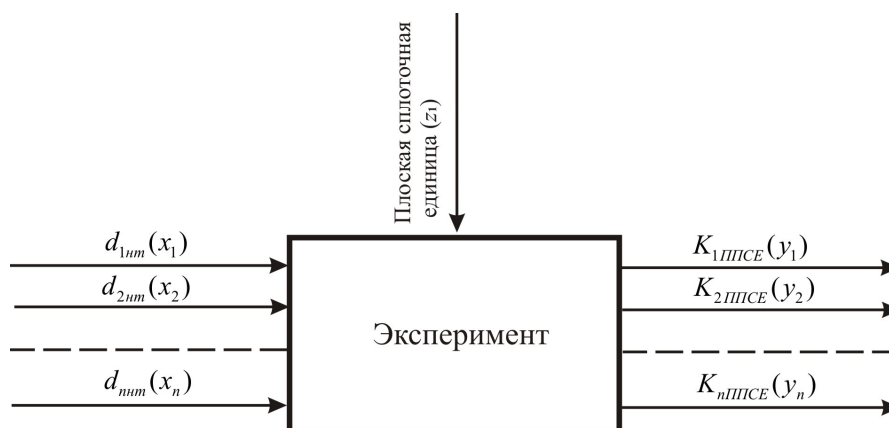


Рисунок 1. Функциональная схема проведения эксперимента [рисунок авторов]

Figure 1. Functional scheme of the experiment

На основе принятой схемы проведения эксперимента осуществлялось построение матрицы планирования опытов при условии соблюдения ряда рекомендаций. Во-первых, для количественных факторов, являющихся диаметрами круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, устанавливается изменение от 10,0 до 70,0 см, с шагом 10,0 см. Данные диаметры будут считаться нулевыми уровнями. Во-вторых, при изготовлении плоской сплочной единицы диаметр в верхнем отрезе круглых лесоматериалов должен обязательно соответствовать нулевому уровню. При изготовлении плоской сплочной единицы не принимается во внимание порода древесины, из которой будут заготавливаться круглые лесоматериалы, при этом средняя сбежистость данных круглых лесоматериалов должна удовлетворять условию не более 1,0 см на 1,0 м, где кривизна лесоматериалов обязана иметь минимально возможный процентный показатель. Таким образом, для данного качественного фактора будут выполняться семь опытов. При учёте этих рекомендаций была проработана 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
	$d_{1шт}$	$d_{2шт}$	$d_{3шт}$	$d_{4шт}$	$d_{5шт}$	$d_{6шт}$	$d_{7шт}$
Нулевой уровень	10	20	30	40	50	60	70
Опыт 1	+	+	+	+	+	+	+

При реализации всех опытов предусматривается обязательное изготовление семи плоских сплочных единиц натуральной величины. Это также влечёт заготовку круглых лесоматериалов, где сложность заключается в заготовке лесоматериалов, например, с диаметром 70,0 см. Приведённые факторы несут в себе значительную потребность материальных и трудовых ресурсов, а также большие затраты времени. Следовательно, для снижения затрат на проведение данного эксперимента и увеличения скорости реализации каждого опыта необходимо переходить на работу с моделями плоской сплочной единицы. При данных обстоятельствах принимаем масштаб для каждого количественного фактора 1:10. Приведённый масштаб считается оптимальным [1], [3], [9], а получаемые экспериментальные данные будут являться объективными и достоверными для дальнейшего использования в расчётах.

Например, для третьего количественного фактора в соответствии с принятым масштабом устанавливаем длину первого и третьего рядов 60,0 см, а ширину модели 40,0 см. На основании установленной длины заготовок круглых лесоматериалов определяем количество данных лесоматериалов в каждом ряду. Так, в первом и третьем рядах, с учётом сбежистости заготовок круглых лесоматериалов, лесоматериалы уложатся по 12 шт., т. к. $40 \div 3,3 = 12,12 \approx 12$ шт. В свою очередь, во второй и четвёртый ряды, с учётом сбежистости заготовок круглых лесоматериалов, их нужно укладывать по 18 шт. из расчёта, что $60 \div 3,3 = 18,18 \approx 18$ шт., а их длина будет 39,6 см. При этом в качестве гибких связей применяется вязальная проволока диаметром 0,4 см. После заготовки нужных круглых лесоматериалов на специальной установке, показанной на фото 1, выполняется сборка сплочной единицы [15], [16]. При этом в плоской сплочной единице в качестве скоб используются деревянные рейки, которые соединяются с крайними круглыми лесоматериалами с помощью гвоздей. В полученной модели плоской сплочной единицы производили измерения средней длины $L_{МПСЕ}$, ширины $B_{МПСЕ}$ и высоты $H_{МПСЕ}$. Затем определяли фактический объём древесины в сплочной единице $V_{ДМПСЕ}$. Используя данные габаритных размеров модели плоской сплочной единицы и расчётного объёма древесины, в ней рассчитывали коэффициент полнодревесности следующим образом:

$$K_{зМПСЕ} = \frac{V_{ДМПСЕ}}{L_{МПСЕ} B_{МПСЕ} H_{МПСЕ}}. \quad (1)$$

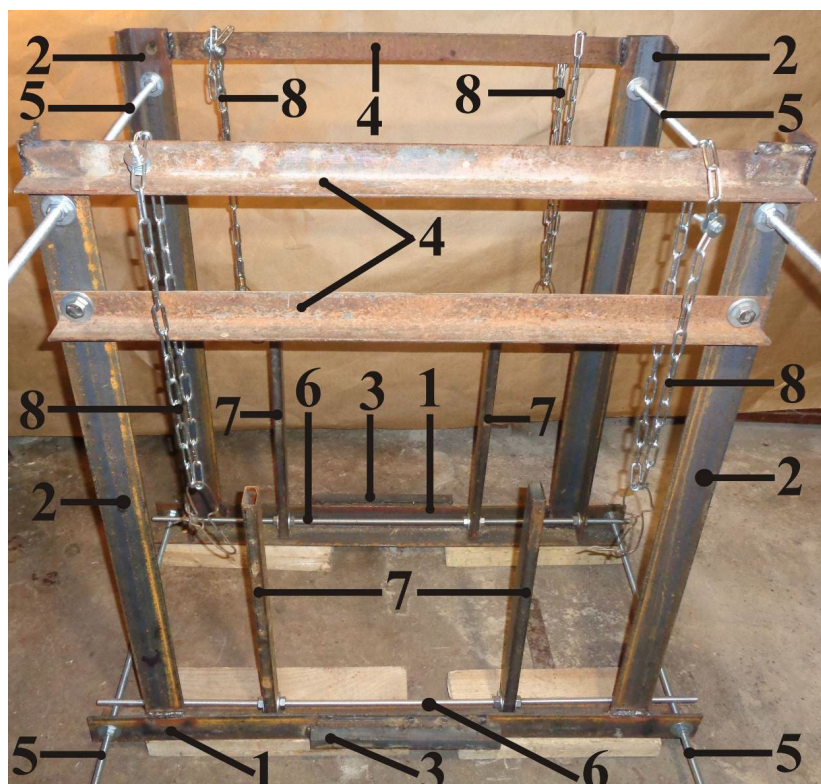


Фото 1. Общий вид установки для экспериментальных исследований: 1 — основание; 2 — вертикальные стойки; 3 — горизонтальные упоры; 4 — горизонтальные верхние перекладины; 5 — продольные регулировочные шпильки; 6 — поперечные регулировочные шпильки; 7 — вертикальные упоры; 8 — цепи [фото авторов]

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

При осуществлении экспериментального исследования по установлению коэффициента полндревесности усовершенствованной плоской сплочной единицы требуются выполнение ряда работ по измерению параметров выпиливаемых круглых лесоматериалов, габаритных размеров изготовленных моделей плоской сплочной единицы, а также расчёт объёма древесины в них. Длина выпиливаемых заготовок круглых лесоматериалов и габаритные размеры моделей измерялись рулеткой измерительной металлической (ГОСТ 7502-98). Диаметры заготовок круглых лесоматериалов замерялись штангенциркулем (ГОСТ 166-89). Заготовки круглых лесоматериалов выпиливали ручной пилой (ГОСТ 26215-84). При расчёте объёма древесины в каждой модели использовались таблицы объёмов круглых лесоматериалов [28], которые составлены для определения объёма лесоматериалов по принципу усечённого конуса.

3. Результаты

Выполнение опыта, например для третьего количественного фактора, требовало использование заготовок круглых лесоматериалов в количестве 24 шт. длиной 60 см и в количестве 38 шт. длиной 39,6 см. Из имеющихся заготовок круглых лесоматериалов собиралась модель плоской сплочной единицы (фото 2), которая имела среднюю длину 0,6 м, среднюю ширину 0,396 м и высоту 0,14 м. В данной модели фактический объём древесины определялся по таблицам объёмов круглых лесоматериалов [28]. Таким образом, объём древесины в модели плоской сплочной единицы составил:

$$V_{\text{ДМПСЕ}} = V_{\text{Д1,3 ряд}} + V_{\text{Д2,4 ряд}} = 0,012336 + 0,012112 = 0,024448 \text{ м}^3.$$

В данном расчёте $V_{\text{Д1,3 ряд}}$ — это объём древесины в первом и третьем рядах, м^3 ; $V_{\text{Д2,4 ряд}}$ — объём древесины во втором и четвёртом рядах, м^3 .



Фото 2. Физическая модель плоской сплочной единицы [фото авторов]

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

На основании измеренных габаритов модели плоской сплочной единицы и расчётного фактического объёма древесины в ней по формуле (1) рассчитывался коэффициент полндревесности модели сплочной единицы:

$$K_{\text{зМПСЕ}} = \frac{V_{\text{ДМПСЕ}}}{L_{\text{МПСЕ}} B_{\text{МПСЕ}} H_{\text{МПСЕ}}} = \frac{0,0244}{0,6 \times 0,396 \times 0,14} = \frac{0,0244}{0,0333} = 0,73273 \approx 0,73.$$

Полученный коэффициент полндревесности модели усовершенствованной плоской сплочной единицы заносили в таблицу 2.

Имеющиеся в наличии экспериментальные и расчётные данные для модели плоской сплottedной единицы, изготавливаемой из круглых лесоматериалов с диаметром в верхнем отрезе 3,0 см, дают возможность произвести расчёт коэффициента полндревесности плоской сплottedной единицы с диаметром круглых лесоматериалов в верхнем отрезе 30,0 см. Расчёт коэффициента полндревесности плоской сплottedной единицы выполнялся с учётом полученных данных для её модели, которые были изменены согласно масштабу. Таким образом, с учётом зависимости (1) коэффициент полндревесности плоской сплottedной единицы натуральных размеров составил:

$$K_{зплсс} = \frac{V_{дплсс}}{L_{плсс} B_{плсс} H_{плсс}} = \frac{24,448}{6,0 \times 3,96 \times 1,4} = \frac{24,448}{33,264} = 0,7349 \approx 0,73.$$

Все вышеприведённые экспериментальные и расчётные данные для модели плоской сплottedной единицы и для плоской сплottedной единицы натуральных размеров были занесены в таблицу 2.

Таблица 2. Результаты экспериментального исследования

Table 2. Results 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.	160	86	60	46	38	30	26
Количество круглых лесоматериалов в первом и третьем рядах, шт.	60	34	24	18	16	12	10
Количество круглых лесоматериалов во втором и четвёртом рядах, шт.	100	54	38	28	22	18	16
Геометрический объём плоской сплottedной единицы, м ³	$\frac{0,0140}{14,040}$	$\frac{0,0235}{23,460}$	$\frac{0,0333}{33,264}$	$\frac{0,0418}{41,796}$	$\frac{0,0560}{55,968}$	$\frac{0,0590}{58,968}$	$\frac{0,0657}{65,70}$
Объём древесины в плоской сплottedной единице, м ³	$\frac{0,0093}{9,3094}$	$\frac{0,0165}{16,544}$	$\frac{0,0244}{24,448}$	$\frac{0,0307}{30,712}$	$\frac{0,0410}{40,984}$	$\frac{0,0430}{42,979}$	$\frac{0,0489}{48,886}$
Коэффициент полндревесности плоской сплottedной единицы	$\frac{0,66}{0,66}$	$\frac{0,70}{0,70}$	$\frac{0,73}{0,73}$	$\frac{0,73}{0,73}$	$\frac{0,73}{0,73}$	$\frac{0,73}{0,73}$	$\frac{0,74}{0,74}$

Примечание. Все показатели в числителе относятся к модели плоской сплottedной единицы, а показатели в знаменателе — к плоской сплottedной единице натуральных размеров.

Проведение опытов для каждого оставшегося количественного фактора реализовывалось аналогично, что и для третьего количественного фактора, где конечным результатом был расчёт коэффициента полндревесности модели плоской сплоточной единицы и плоской сплоточной единицы натуральных размеров в зависимости от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, из которых собирались ряды сплоточной единицы. Экспериментальные и расчётные данные по каждому количественному фактору заносились в таблицу 2.

Используя данные из таблицы 2 для плоской сплоточной единицы натуральных размеров, построили график зависимости коэффициента полндревесности плоской сплоточной единицы натуральных размеров от диаметра круглых лесоматериалов, используемых в рядах сплоточной единицы. Полученный график представлен на рисунке 2.

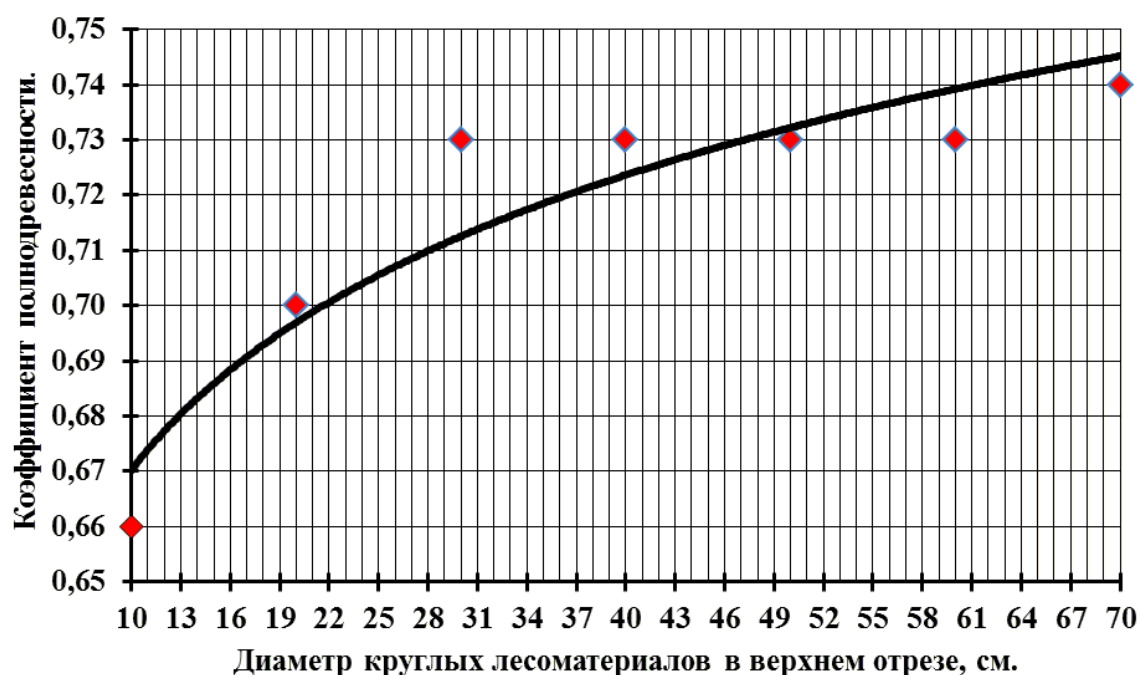


Рисунок 2. График зависимости коэффициента полндревесности сплоточной единицы от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе [рисунок авторов]

Figure 2. Graph of the dependence of the unit stacking factor on the diameter of round timber in the upper segment

Анализ графика (рисунок 2) позволил сделать следующие выводы. Изменение коэффициента полндревесности носит криволинейный характер, а при увеличении диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе коэффициент полндревесности увеличивается. Наибольшая интенсивность изменения коэффициента полндревесности наблюдается при изменении диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе — от 10,0 до 30,0 см. Следует отметить, что график изменения коэффициента полндревесности, представленный

на рисунке 2, справедлив для плоской сплочной единицы, имеющей длину и ширину соответственно 6,0 м и 4,0 м, а хаотичное расположение расчётных точек коэффициента полндревесности связано с особенностью укладки круглых лесоматериалов в данной плоской сплочной единице.

4. Обсуждение и заключение

Проведённые экспериментальные исследования по определению коэффициента полндревесности усовершенствованной плоской сплочной единицы для различного диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, из которых собираются ряды сплочной единицы, показали следующие результаты.

Коэффициент полндревесности плоской сплочной единицы зависит от геометрического объёма сплочной единицы и количества древесины, содержащейся в данном геометрическом объёме, т. е. чем меньше геометрический объём плоской сплочной единицы, тем больше коэффициент полндревесности.

В свою очередь, при высоком уровне содержания древесины в геометрическом объёме плоской сплочной единицы её коэффициент полндревесности будет иметь высокий показатель. При этом диаметр круглых лесоматериалов, укладываемых в ряды плоской сплочной единицы, также влияет на её коэффициент полндревесности. При возрастании диаметра круглых лесоматериалов увеличивается коэффициент полндревесности усовершенствованной плоской сплочной единицы. Наибольшая интенсивность изменения коэффициента полндревесности наблюдается при изменении диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе — от 10,0 до 30,0 см.

Применение полученного коэффициента полндревесности плоских сплочных единиц в расчётах по определению транспортно-эксплуатационных показателей даст возможность осуществить правильное и рациональное планирование сплава лесоматериалов по транспортно-технологическим схемам, реализуемым на базе плоских сплочных единиц.

Список литературы

1. Васильев В. В., Афоничев Д. Н. Усовершенствованные системы плотового сплава лесоматериалов. Saarbrucken (Германия): Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 284 с.
2. 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.
3. Васильев В. В. Экспериментальное определение коэффициента полндревесности усовершенствованной плоской сплочной единицы // Resources and Technology. 2023. Т. 20, № 4. С. 28—44. DOI: 10.15393/j2.art.2023.7103.
4. Васильев В. В., Аксенов И. И. Транспортно-технологическая схема поставки лесоматериалов потребителям в плоских сплочных единицах по принципу плоская сплочная единица — баржа // Наука и образование на современном этапе развития: опыт,

- проблемы и пути их решения: Материалы междунар. научно-практич. конф., г. Воронеж, 24—25 нояб. 2020 г. Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский ГАУ», 2020. С. 30—33.
5. *Васильев В. В., Афоничев Д. Н.* Расчёт прочности модернизированной плоской сплottedной единицы // *Resources and Technology*. 2023. Т. 20, № 1. С. 1—25. DOI: 10.15393/j2.art.-2023.6623.
 6. *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.
 7. *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.
 8. *Герасимов Ю., Катаров В.* Лесные дороги. Йоэнсуу: НИИ леса Финляндии METLA, 2009. 70 с.
 9. *Митрофанов А. А.* Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. 492 с.
 10. *Транспорт леса: В 2 т. Т. 1. Сухопутный транспорт / Под ред. Э. О. Салминена. М.: Издательский центр «Академия», 2009. 368 с.*
 11. *Платонов А. А.* О направлении повышения эффективности вывозки древесины по малоинтенсивным железнодорожным линиям // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова», 2018. Т. 6, № 7 (43). С. 241—244.*
 12. Brevet 2882723 FR, Int. Cl.8 B63B 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.
 13. Patent 5119529 USA, Int. Cl.5 B63B 35/62. Cable hook / Wire Rope Industries Ltd., PointeClaire, Canada. No. 703,844; filed: 21.05.1991; date application 09.06.1992.
 14. *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.*
 15. *Васильев В. В.* Усовершенствованная плоская сплottedная единица для первоначального сплава лесоматериалов // *Теория и практика инновационных технологий в АПК: Материалы национал. научно-практич. конф. (19—21 апр. 2022 г.). Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский ГАУ», 2022. Ч. II. С. 113—120.*
 16. Патент 210485 P. Ф., МПК В63В 35/62. Плоская сплottedная единица / *Васильев В. В., Афоничев Д. Н., Морковин В. А., Абрамов В. В., Поздняков Е. В.*; заявитель и патенто-обладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова» (RU). № 2021125409; заявл. 19.10.2020; опубл. 18.04.2022, бюл. № 11. 5 с.
 17. *Винарский М. С., Лурье М. В.* Планирование эксперимента в технологических исследованиях. Киев: Техника, 1975. 168 с.
 18. *Dean A., Voss D., Draguljić D.* Design and analysis of experiments. Springer International Publishing, 2017. 852 p.
 19. *Bate S. T., Clark R. A.* The design and statistical analysis of animal experiments. CUP, 2014. 328 p.

20. *Lightbown D.* Designing the user experience of game development tools. A. K. PetersCRC Press, 2015. 164 p.
21. *Selvamuthu D., Das D.* Introduction to statistical methods, design of experiments and statistical quality control. Singapore: Springer Singapore, 2018. 445 p.
22. *Gezan S. A.* Statistical methods in biology: design and analysis of experiments and regression. Chapman & Hall/CRC, 2014. 616 p.
23. *Mathews P. G.* Design of experiments with MINITAB. American Society for Quality (ASQ), 2005. 521 p.
24. *Oehlert G. W.* A first course in design and analysis of experiments. Freeman, 2010. 680 p.
25. *Mead R., Gilmour S. G., Mead A.* Statistical principles for the design of experiments: applications to real experiments. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. 586 p.
26. *Russell Rhinehart R.* Applications: modeling, model validation, and enabling design of experiments. New York: Wiley-ASME Press, 2016. 400 p.
27. *Allen T. T.* Introduction to engineering statistics and lean six sigma: statistical quality control and design of experiments and systems. London: Springer London, 2019. 633 p.
28. *Бум Ю. А., Вавилов С. В.* Измерение объёмов круглых лесоматериалов: Справочник. СПб.: ООО «Профикс», 2008. 361 с.

References

1. Vasiliev V. V., Afonichev D. N. *Improved systems of raft timber alloy*. Saarbrucken (Germany), Publishing house LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 284 p. (In Russ.)
2. 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.)
3. Vasiliev V. V. Experimental determination of the full-weight coefficient of an improved flat-flow unit. *Resources and Technology*, 2023, vol. 20, no. 4, pp. 28—44. doi: 10.15393/j2.-art.2023.7103. (In Russ.)
4. Vasiliev V. V., Aksenov I. I. Transport and technological scheme of timber supply to consumers in flat-flow units according to the principle of flat-flow unit — barge. *Science and education at the present stage of development: experience, problems and solutions: Materials of the international scientific and practical conference. Voronezh 24—25 November 2020*. Voronezh, Voronezh State Agrarian University, 2020, pp. 30—33. (In Russ.)
5. Vasiliev V. V., Afonichev D. N. Calculation of the strength of a modernized flat flat unit. *Resources and Technology*, 2023, vol. 20, no. 1, pp. 1—25. doi: 10.15393/j2.art.2023.6623. (In Russ.)
6. 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.)
7. Vasiliev V. V. Substantiation of the parameters of the transport and technological scheme for the supply of wood in flat raft units according to the raft (ruler) — raft principle. *Resources and Technology*, 2021, vol. 18, no. 2, pp. 48—78. doi: 10.15393/j2.art.2021.5603. (In Russ.)
8. Gerasimov Yu., Katarov V. *Forest roads*. Joensuu, Finnish Forest Research Institute METLA, 2009. 70 p. (In Russ.)
9. Mitrofanov A. A. *Lesosplav. New technologies, scientific and technical support*. Arkhangelsk, Publishing house of AGTU, 2007. 492 p. (In Russ.)
10. *Forest transport: In 2 t. T. 1. Land transport*. Ed. by E. O. Salminen. Moscow, Publishing Center «Academy», 2009. 368 p. (In Russ.)

11. Platonov A. A. On the direction of increasing the efficiency of wood removal along low-intensity railway lines. *Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*. Voronezh, Voronezh State Forestry Engineering University named after G. F. Morozov, 2018, vol. 6, no. 7 (43), pp. 241—244. (In Russ)
12. Brevet 2882723 FR, Int. Cl.8 B63B 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.
13. Patent 5119529 USA, Int. Cl.5 B63B 35/62. Cable hook. Wire Rope Industries Ltd., PointeClaire, Canada. No. 703,844; filed: 21.05.1991; date application 09.06.1992.
14. 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.
15. Vasiliev V. V. An improved flat cohesive unit for the initial timber alloy. *Theory and practice of innovative technologies in agriculture: materials of the national scientific and practical conference. (April 19—21, 2022)*. Voronezh, Voronezh State Agrarian University, 2022, part II, pp. 113—120. (In Russ.)
16. Vasiliev V. V., Afonichev D. N., Morkovin V. A., Abramov V. V., Pozdnyakov E. V. Patent 210485 R. F., IPC B63B 35/62. 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. 2021125409; application 19.10.2020; publ. 18.04.2022, byul. No. 11. 5 p. (In Russ.)
17. Vinarsky M. S., Lurie M. V. *Experiment planning in technological research*. Kiev, Technika, 1975. 168 p. (In Russ)
18. Angela Dean, Daniel Voss, Danel Draguljić. *Design and analysis of experiments*. Springer International Publishing, 2017. 852 p.
19. Bate S. T., Clark R. A. *The design and statistical analysis of animal experiments*. CUP, 2014. 328 p.
20. David Lightbown. *Designing the user experience of game development tools*. A. K. PetersCRC Press, 2015. 164 p.
21. Dharmaraja Selvamuthu, Dipayan Das. *Introduction to statistical methods, design of experiments and statistical quality control*. Singapore, Springer Singapore, 2018. 445 p.
22. Gezan Salvador Alejandro. *Statistical methods in biology: design and analysis of experiments and regression*. Chapman & Hall/CRC, 2014. 616 p.
23. Mathews Paul G. *Design of experiments with MINITAB*. American Society for Quality (ASQ), 2005. 521 p.
24. Oehlert G. W. *A first course in design and analysis of experiments*. Freeman, 2010. 680 p.
25. Mead R., Gilmour S. G., Mead A. *Statistical principles for the design of experiments: applications to real experiments*. Cambridge, Cambridge University Press, 2012. 586 p.
26. Russell Rhinehart R. *Applications: modeling, model validation, and enabling design of experiments*. New York, Wiley-ASME Press, 2016. 400 p.
27. Theodore T. Allen. *Introduction to engineering statistics and lean six sigma: statistical quality control and design of experiments and systems*. London, Springer London, 2019. 633 p.
28. Bit Yu. A., Vavilov S. V. *Measurement of volumes of round timber: Directory*. Saint Petersburg, Profix LLC, 2008. 361 p. (In Russ.).