

DOI: 10.15393/j2.art.2025.8463

УДК 630*378.33

Статья

Автоматизация планирования сплава лесоматериалов в плотках на базе усовершенствованных плоских сплотовочных единиц

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: 19 марта 2025 / Принята: 25 июня 2025 / Опубликовано: 8 сентября 2025

Аннотация: Для автоматизированного планирования сплава лесоматериалов в плотках на базе усовершенствованных плоских сплотовочных единиц разработано программное обеспечение, которое учитывает конструктивные особенности плоских сплотовочных единиц, линеек, сформированных из данных плоских сплотовочных единиц, и плотов на их основе. С помощью программного обеспечения реализуется расчёт транспортно-эксплуатационных показателей усовершенствованных плоских сплотовочных единиц, а также линеек и плотов на их основе в зависимости от значений факторов, оказывающих влияние на данные показатели усовершенствованных транспортных единиц. Представленное программное обеспечение также позволяет изучить зависимости транспортно-эксплуатационных показателей плотов на базе усовершенствованных плоских сплотовочных единиц от основных факторов, влияющих на эффективность проведения сплавных работ. Осуществлено компьютерное планирование сплава лесоматериалов в плотках на базе усовершенствованных плоских сплотовочных единиц путём расчёта их транспортно-эксплуатационных показателей для весеннего, летнего и осеннего периодов года с учётом принятых условий выполнения сплавных работ. Установлено, что в весенний период следует формировать линейки и плоты из плоских сплотовочных единиц, конструкция которых соответствует патенту РФ № 2777676. Для летнего периода рационально

использовать линейку, сформированную из плоских сплоточных единиц, выполненных по патенту РФ № 2777676, а плоты необходимо формировать из линеек, включающих в свой состав плоские сплоточные единицы, которые изготавливаются по патенту РФ № 210485. При этом в осенний период целесообразно применять линейки и плоты, сформированные из плоских сплоточных единиц, выполненных по патенту РФ № 2777676. Так как основной целью плотового сплава лесоматериалов является транспортировка максимального объёма древесины на первоначальном плотовом сплаве лесоматериалов, то в весенний, летний и осенний периоды года рекомендовано использовать плоские сплоточные единицы, выполненные по патенту РФ № 2777676, а также линейки и плоты, изготавливаемые в соответствии с патентом РФ № 2811178.

Ключевые слова: планирование сплава лесоматериалов; автоматизация; плоская сплоточная единица; линейка; плот; транспортно-эксплуатационные показатели; объём древесины

DOI: 10.15393/j2.art.2025.8463

Article

Automation of timber rafting planning based on advanced flat raft units

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: 19 March 2025 / Accepted: 25 June 2025 / Published: 8 September 2025

Abstract: For the automated planning of timber rafting based on improved flat rafts software has been developed to take into account the design features of flat rafts, raft section lines formed from these flat rafts, and rafts based on them. The software is used to calculate the transport and operational performance of improved flat rafts, as well as lines and rafts based on them, depending on the values of the factors influencing these indicators of improved transport units. The presented software also makes it possible to study the dependence of transport and operational parameters of improved flat rafts on the main factors affecting the efficiency of rafting operations. Computer planning of timber rafting in rafts was performed on the basis of improved flat rafts by calculating their transport and operational indicators for the spring, summer and autumn periods of the year, taking into account the accepted conditions for the performance of rafting operations. It has been established that in the spring period raft section lines and rafts should be formed from flat rafts, the design of which corresponds to RF Patent no. 2777676. For the summer period, it is rational to use a raft section line formed from flat rafts made according to RF patent no. 2777676, and rafts should be formed from raft section lines comprising flat rafts which are manufactured according to RF patent no. 210485. At the same time, in the autumn period, it is advisable to use raft section lines and rafts formed from flat rafts made according to RF Patent no. 2777676. Since the main purpose of timber raft is to transport the maximum volume of wood on the initial timber raft, in the spring, summer and autumn periods of the year it is recommended to use flat raft units made under RF Patent no. 2777676, as well as raft section lines and rafts manufactured in accordance with RF Patent no. 2811178.

Keywords: timber rafting planning; automation; flat raft; raft section lines; raft; transport and operational indicators; volume of wood

1. Введение

Сплав круглых лесоматериалов в плотках по различным водным объектам является сложным процессом, требующим выполнения различных организационно-технических мероприятий [1—13]. Исключением не является и выполнение сплава лесоматериалов по транспортно-технологической схеме, функционирующей по принципу плот (линейка) — плот. Основная особенность транспортно-технологической схемы заключается в том [14], [15], что сплав лесоматериалов разделяется на два этапа. Первый этап — это первоначальный плотовый сплав лесоматериалов по малым и средним рекам с использованием линеек, сформированных из плоских сплотовых единиц. Из лесоматериалов изготавливаются плоские сплотовые единицы с последующим формированием из них линеек с расчётными габаритными размерами. Второй этап — это магистральный плотовый сплав лесоматериалов по большим и крупным рекам. В данном случае магистральные плоты формируются из линеек, применяемых на первоначальном плотовом сплаве лесоматериалов.

Для эффективной реализации транспортно-технологической схемы, функционирующей по принципу плот (линейка) — плот, были усовершенствованы плоские сплотовые единицы [8], [10], [16—20] и созданы линейки и плоты на их основе [21], [22]. Усовершенствованные плоские сплотовые единицы [16], [17], [18] характеризуются высокими транспортно-эксплуатационными показателями, простотой конструкции и могут изготавливаться в сплотовой машине [23] или грузовой платформе [24]. Созданные линейки и плоты на основе усовершенствованных плоских сплотовых единиц обладают [8], [10], [16—22] простотой конструкции, высокими транспортно-эксплуатационными показателями, а процесс их формирования несёт минимальные трудовые и временные затраты. Несмотря на то, что все модернизированные плоские сплотовые единицы, линейки и плоты способствуют обеспечению эффективной реализации данной транспортно-технологической схемы, существует также немаловажный фактор, который влияет на общую эффективность и безопасность проведения сплавных работ. Данным фактором является планирование сплава лесоматериалов в плотках на базе плоских сплотовых единиц.

Известные [25], [26], [27] программы для электронно-вычислительных машин (ЭВМ), предназначенные для планирования сплава лесоматериалов в плотках на базе плоских сплотовых единиц, имеют ряд недостатков, которые не позволяют полноценно выполнить данное мероприятие. К указанным недостаткам программ для ЭВМ относятся: узкий спектр функциональных возможностей и отсутствие учёта конструктивных особенностей усовершенствованных плоских сплотовых единиц, а также линеек и плотов на их основе. Таким образом, для обеспечения высокой эффективности реализации транспортно-технологической схемы, функционирующей по принципу плот (линейка) — плот, необходимо разработать программу для ЭВМ, предназначенную для автоматизации процесса планирования сплава лесоматериалов в плотках на базе усовершенствованных плоских сплотовых единиц, и построить алгоритм планирования сплавных работ. Приведённые требования считаются основной целью работы.

2. Материалы и методы

Разработка программного обеспечения для автоматизации процесса планирования сплава лесоматериалов в плотках на базе усовершенствованных плоских сплотовых единиц (ПСЕ) должна учитывать имеющийся опыт автоматизации технологических процессов с различным уровнем сложности. Подробно изучив концепцию автоматизации технологических процессов в различных отраслях промышленности [28—36] с использованием среды программирования Delphi [37—41], была разработана многофункциональная программа для ЭВМ [42], которая представлена на рисунке 1. Программа для ЭВМ предусматривает выполнение двух основных функций. Первая функция [42] — это автоматизированное планирование сплава лесоматериалов в плотках на базе усовершенствованных плоских сплотовых единиц путём расчёта их транспортно-эксплуатационных показателей для конкретных условий выполнения сплавных работ. Вторая функция [42] — это графический анализ зависимостей транспортно-эксплуатационных показателей плотов на базе усовершенствованных плоских сплотовых единиц от основных факторов, влияющих на эффективность проведения сплавных работ. При этом компьютерная программа [42] была написана на языке Object Pascal в интегрированной среде программирования Borland Delphi 7. Она имеет исходный текст объёмом, равным 2,1 Мб, и рассчитана на использование компьютеров с процессором не ниже Pentium 1,6 ГГц, где объём оперативной памяти должен составлять не менее 256 Мб. Также следует отметить, что разработанное программное обеспечение может работать в различных операционных системах с условием установленного полного пакета Microsoft Office (Майкрософт Офис), выпущенного не позднее 2010 г.

Автоматизация процесса планирования сплава лесоматериалов в плотках на базе усовершенствованных плоских сплотовых единиц с помощью представленного программного обеспечения заключается в оперативном расчёте транспортно-эксплуатационных показателей плотов, линеек и усовершенствованных плоских сплотовых единиц. При этом транспортно-эксплуатационные показатели плотов на базе усовершенствованных плоских сплотовых единиц зависят от изменения транспортных условий, параметров используемых круглых лесоматериалов, физико-механических свойств сплавляемой древесины, процентного содержания древесины повышенной и ограниченной плавучести, а также вида используемого сплотового и формировочного такелажа. На основании полученных расчётных данных утверждается конструкция плота на базе усовершенствованной плоской сплотовой единицы, которая наиболее эффективна для заданных условий.

Выполнение функции планирования сплава лесоматериалов в плотках на базе усовершенствованных плоских сплотовых единиц реализуется путём использования командной кнопки «Расчётный анализ» (см. рисунок 1). В результате этого открывается окно «Расчётный анализ» (рисунок 2а), а кнопкой «Сводный расчёт» запускается следующее окно:



Рисунок 1. Интерфейс программы планирования сплава лесоматериалов в плотях на базе усовершенствованных плоских сплотовых единиц [рисунок авторов]

Figure 1. Interface of the timber rafting planning program in rafts based on advanced flat raft units

«Сводный расчётный анализ плотов из ПСЕ» (рисунок 2б). В окне «Сводный расчётный анализ плотов из ПСЕ» вносятся все необходимые входящие данные для расчёта транспортно-эксплуатационных показателей плотов на базе усовершенствованных плоских сплотовых единиц. Затем посредством командной кнопки «Расчёт» (см. рисунок 2б) выполняются все расчёты, а при необходимости с помощью командной кнопки «Экспорт в Excel» (см. рисунок 2б) все расчёты выгружаются в электронную таблицу для дальнейшего анализа полученных данных. При этом на рисунке 2 «Конструкция плота из плоских сплотовых единиц № 1» и «Плот из ПСЕ № 1» — это плот, выполненный по патенту РФ № 2804911 [22], в состав которого входят линейки, сформированные из усовершенствованных плоских сплотовых единиц, изготовленных по патенту РФ № 2777674 [16]. «Конструкция плота из плоских сплотовых единиц № 2» и «Плот из ПСЕ № 2» — это плот, выполненный по патенту РФ № 2811178 [21], в состав которого входят линейки, сформированные из усовершенствованных плоских сплотовых единиц, изготовленных по патенту РФ № 210485 [17]. В свою очередь «Конструкция плота из плоских сплотовых единиц № 3» и «Плот из ПСЕ № 3» — это плот, выполненный по патенту РФ № 2811178 [21], в состав которого входят линейки, сформированные из усовершенствованных плоских сплотовых единиц (патент РФ № 2777676 [18]). Необходимо также отметить, что командная кнопка «Расчёт» (см. рисунок 2б) предназначена для расчёта транспортно-эксплуатационных показателей плота в зависимости от выбранной базовой конструкции усовершенствованной плоской сплотовой единицы (патенты РФ № 2777674 [16], № 210485 [17], № 2777676 [18]). Данная функция требуется в случае, когда планируется осуществлять сплав лесоматериалов в плотях на базе определённой усовершенствованной плоской сплотовой единицы.

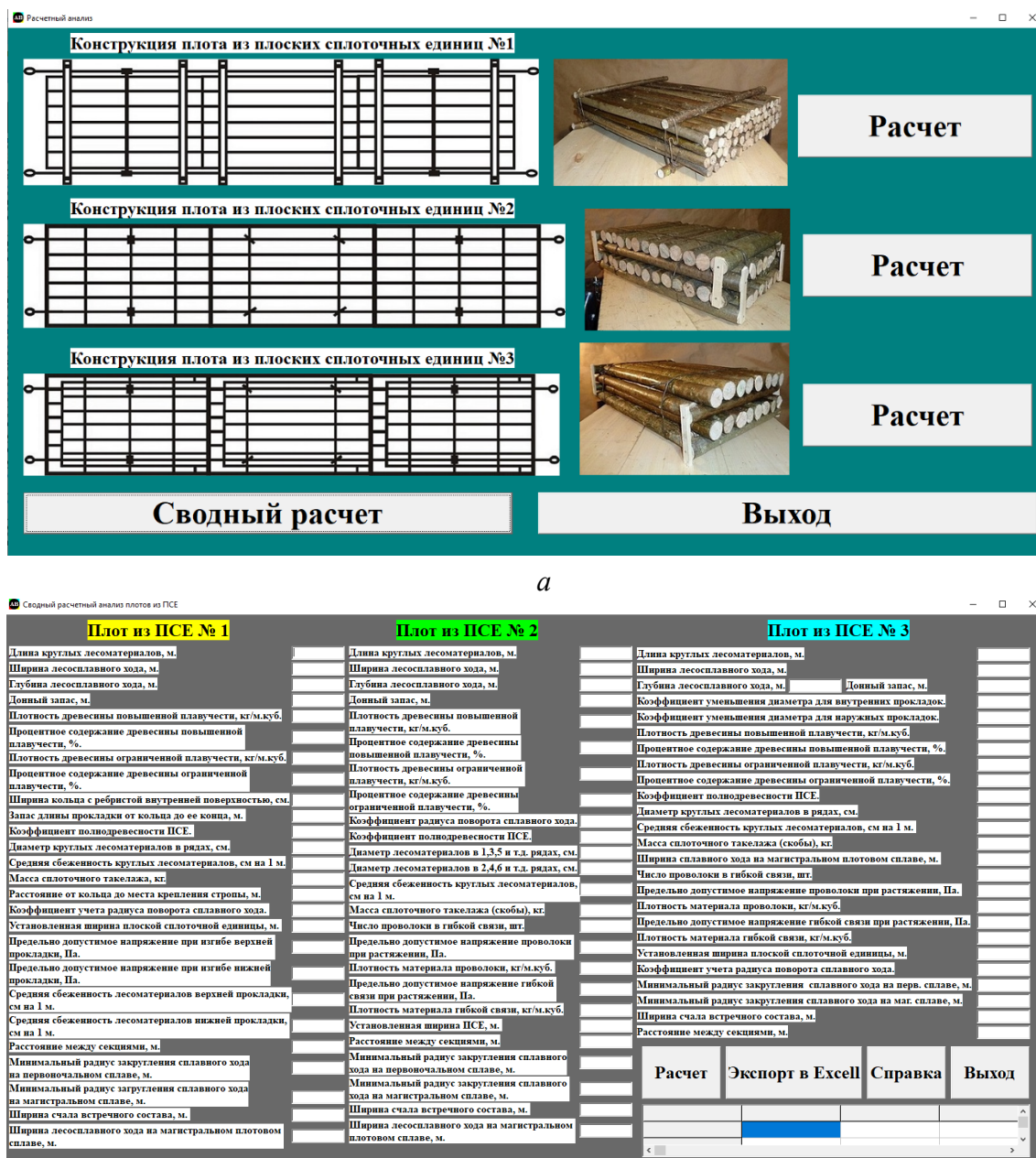


Рисунок 2. Интерфейс командной кнопки «Расчётный анализ»: а — форма расчётного анализа; б — форма сводного расчётного анализа [рисунки авторов]

Figure 2. Interface of the «Calculation Analysis» command button: (a) calculation analysis form; (b) summary calculation analysis form

Практическая реализация сплава лесоматериалов в плотях на базе усовершенствованных плоских сплоточных единиц, как правило, осуществляется при постоянном изменении транспортных условий и параметров используемых круглых лесоматериалов, а именно их диаметров в верхнем отрезе. На основании сказанного планирование сплава лесоматериалов в плотях на базе усовершенствованных плоских сплоточных единиц будет

производиться для габаритов сплавного хода в весеннем, летнем и осеннем периодах года. В весенний период года габариты сплавного хода имеют максимальное значение из-за половодья при таянии снежного покрова. В результате этого для данного периода года обуславливаемся, что габариты сплавного хода на первоначальном и магистральном плотовом сплаве имеют максимальное значение, а диаметр круглых лесоматериалов изменяется с установленным шагом. Летний период года регламентирует минимальное значение сплавного хода, т. е. данный период года является меженным. Для летнего периода года обуславливаемся, что габариты сплавного хода на первоначальном и магистральном плотовом сплаве имеют минимальное значение, а диаметр круглых лесоматериалов изменяется с установленным шагом. В свою очередь в осенний период года габариты сплавного хода увеличиваются по отношению к параметрам сплавного хода летнего периода года из-за выпадения большого количества атмосферных осадков. Обуславливаемся, что для осеннего периода года габариты сплавного хода имеют среднее значение между габаритами сплавного хода весеннего и летнего периодов года, а диаметр круглых лесоматериалов изменяется с установленным шагом. При этом для весеннего, летнего и осеннего периодов года параметры всех остальных факторов, влияющих на транспортно-эксплуатационные показатели плотов на базе усовершенствованных плоских сплотовых единиц, остаются постоянными.

Согласно принятым условиям, для весеннего периода года устанавливаем, что на первоначальном плотовом сплаве лесоматериалов минимальная глубина сплавного хода $h_{ПЛХ}$ составляет 2 м, минимальная ширина сплавного хода $b_{ПЛХ}$ равна 16 м, а минимальный радиус закругления сплавного хода $R_{ПЛХ}$ равен 100 м. На магистральном плотовом сплаве лесоматериалов минимальная ширина сплавного хода $b_{МЛХ}$ составляет 60 м, минимальный радиус закругления сплавного хода $R_{МЛХ}$ равен 500 м, а минимальная глубина сплавного хода $h_{МЛХ}$ не регламентируется, т. к. глубина крупных и больших рек позволяет выполнить буксировку плотов с осадкой, не превышающей глубину малых и средних рек. Диаметр круглых лесоматериалов в верхнем отрезе $d_{КЛ}$ принимается равным 10 см, который изменяется с шагом 5 см до 55 см включительно. Следовательно, расчёт транспортно-эксплуатационных показателей плотов на базе усовершенствованных плоских сплотовых единиц будет осуществляться при $d_{КЛ}$, равном 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 см и 55 см, с учётом того, что $h_{ПЛХ} = 2,0$ м, $b_{ПЛХ} = 16,0$ м, $R_{ПЛХ} = 100,0$ м, $b_{МЛХ} = 60,0$ м и $R_{МЛХ} = 500,0$ м в отношении всех утверждённых значений $d_{КЛ}$. Для летнего периода года принимаем на первоначальном плотовом сплаве лесоматериалов минимальную глубину сплавного хода $h_{ПЛХ}$, равную 1,4 м, минимальную ширину сплавного хода $b_{ПЛХ}$, равную 10 м, и минимальный радиус закругления сплавного хода $R_{ПЛХ}$, равный 100 м. Минимальная ширина сплавного хода $b_{МЛХ}$ на магистральном плотовом сплаве лесоматериалов устанавливается 50 м, минимальный радиус закругления сплавного хода $R_{МЛХ}$ равен 500 м, при этом минимальная глубина сплавного хода $h_{МЛХ}$ не регламентируется, т. к. глубина

крупных и больших рек обеспечивает выполнение буксировки плотов с осадкой, которая не превышает глубину малых и средних рек. В отношении летнего периода года диаметр круглых лесоматериалов в верхнем отрезе $d_{кл}$ принимается равным 10 см, который изменяется с шагом 5 см до 55 см включительно. На основании сказанного расчёт транспортно-эксплуатационных показателей плотов на базе усовершенствованных плоских сплотовых единиц будет реализовываться при $d_{кл}$, равном 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 см и 55 см, когда $h_{плх} = 1,4$ м, $b_{плх} = 10,0$ м, $R_{плх} = 100,0$ м, $b_{млх} = 50,0$ м и $R_{млх} = 500,0$ м для всех принятых значений $d_{кл}$. При осеннем периоде года задаём, что минимальная глубина сплавного хода $h_{плх}$, минимальная ширина сплавного хода $b_{плх}$ и минимальный радиус закругления сплавного хода $R_{плх}$ на первоначальном плотовом сплаве лесоматериалов соответственно равны 1,7, 13 м и 100 м. Для магистрального плотового сплава лесоматериалов $b_{млх} = 55,0$ м, $R_{млх} = 500,0$ м, а минимальная глубина сплавного хода $h_{млх}$ не регламентируется, т. к. глубина крупных и больших рек даёт возможность выполнить буксировку плотов с осадкой, не превышающей глубину малых и средних рек. При этом $d_{кл} = 10$ см, с шагом изменения на 5 см до 55 см включительно. Значит, расчёт транспортно-эксплуатационных показателей плотов на базе усовершенствованных плоских сплотовых единиц будет производиться при $d_{кл}$, равном 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 см и 55 см, на основании того, что $h_{плх} = 1,7$ м, $b_{плх} = 13,0$ м, $R_{плх} = 100,0$ м, $b_{млх} = 55,0$ м и $R_{млх} = 500,0$ м для всех установленных значений $d_{кл}$.

Величина основных транспортно-эксплуатационных показателей плотов на базе усовершенствованных плоских сплотовых единиц также зависит от оставшихся параметров всех факторов, которые влияют на данные показатели. Оставшиеся параметры всех факторов разделяются на три вида. Первый вид — это идентичные факторы для каждого плота, сформированного из усовершенствованной плоской сплотовой единицы. Они представлены в таблице 1 и имеют равные параметры. Второй вид — это идентичные факторы с разными параметрами. Третий вид — это неидентичные факторы. Второй и третий виды факторов имеют индивидуальные параметры и зависят от конструктивных особенностей усовершенствованных плоских сплотовых единиц и плотов на их основе, которые должны обязательно учитываться во всех расчётах.

Плот, сформированный из усовершенствованных плоских сплотовых единиц № 1 (плот из ПСЕ № 1), имеет следующие идентичные факторы с разными параметрами: масса сплотового такелажа, коэффициент полндревесности плоской сплотовой единицы. Масса сплотового такелажа принимается 50 кг. При этом коэффициент полндревесности плоской сплотовой единицы зависит от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, из которых изготавливается сплотовая единица. Таким образом, для диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, равного 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 см и 55 см, коэффициент полндревесности плоской сплотовой единицы соответственно равен 0,43, 0,457, 0,477, 0,493, 0,505, 0,518, 0,527, 0,534, 0,542 и 0,549. Все неидентичные факторы,

относящиеся к плоту из ПСЕ № 1, определяются конструктивными особенностями усовершенствованной плоской сплottedной единицы (патент РФ № 2777674 [16]). Следовательно, к неидентичным факторам относятся: ширина кольца с ребристой внутренней поверхностью 5 см; запас длины прокладки от кольца до её конца 0,3 м; расстояние от кольца до места крепления стропы 0,2 м; предельно допустимое напряжение при изгибе верхней прокладки (сосна обыкновенная) 48000000 Па; предельно допустимое напряжение при изгибе нижней прокладки (сосна обыкновенная) 48000000 Па; средняя сбежистость лесоматериалов верхней прокладки см на 1 м составляет 1 см; средняя сбежистость лесоматериалов нижней прокладки см на 1 м — 1 см.

Таблица 1. Параметры идентичных факторов, влияющих на транспортно-эксплуатационные показатели плотов на базе усовершенствованных плоских сплottedных единиц

Table 1. Parameters of identical factors affecting the transport and operational performance of rafts based on improved flat raft

Факторы	Плот из плоских сплottedных единиц		
	ПСЕ № 1	ПСЕ № 2	ПСЕ № 3
Длина круглых лесоматериалов, м	6,0	6,0	6,0
Плотность древесины повышенной плавучести, кг/м ³	700,0	700,0	700,0
Плотность древесины ограниченной плавучести, кг/м ³	800,0	800,0	800,0
Содержание древесины повышенной плавучести, %	50,0	50,0	50,0
Содержание древесины ограниченной плавучести, %	50,0	50,0	50,0
Коэффициент учёта радиуса поворота сплавного хода	2,0	2,0	2,0
Донный запас, м	0,3	0,3	0,3
Средняя сбежистость круглых лесоматериалов, см на 1,0 м	1,0	1,0	1,0
Установленная ширина плоской сплottedной единицы, м	2,0	2,0	2,0
Расстояние между секциями, м	2,0	2,0	2,0
Ширина счала встречного состава, м	10,0	10,0	10,0

Для плота, сформированного из усовершенствованных плоских сплottedных единиц № 2 (плот из ПСЕ № 2), идентичными факторами с разными параметрами являются: масса сплottedного такелажа (скобы), коэффициент полндревесности плоской сплottedной единицы. В данном случае масса сплottedного такелажа (скобы) устанавливается 50 кг, а коэффициент полндревесности плоской сплottedной единицы зависит от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, из которых изготавливается сплottedная единица. На основании принятых $d_{кл}$, которые равны 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 см и 55 см, коэффициент полндревесности плоской сплottedной единицы для данных диаметров

круглых лесоматериалов необходимо принимать соответственно 0,67, 0,687, 0,698, 0,705, 0,712, 0,719, 0,723, 0,728, 0,732 и 0,736. Что касается неидентичных факторов, то для плота из ПСЕ № 2 к ним относятся следующие: число проволоки в гибкой связи 15 шт.; предельно допустимое напряжение проволоки при растяжении 500000000 Па; плотность материала проволоки 7800 кг/м³; предельно допустимое напряжение гибкой связи при растяжении 500000000 Па; плотность материала гибкой связи 7800 кг/м³.

Идентичные факторы с разными показателями для плота из ПСЕ № 3: масса сплотноного такелажа (скобы) и коэффициент полнодревесности плоской сплотноной единицы. Для указанного плота масса сплотноного такелажа составляет 50 кг. В свою очередь, коэффициент полнодревесности плоской сплотноной единицы будет иметь различные значения, т. к. он зависит от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, из которых изготавливается сплотноная единица. При $d_{кл}$, равном 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 см и 55 см, коэффициент полнодревесности плоской сплотноной единицы имеет соответственно следующие значения: 0,84, 0,825, 0,812, 0,803, 0,796, 0,788, 0,782, 0,778, 0,772 и 0,768. Неидентичные факторы плота из ПСЕ № 3 следующие: число проволоки в гибкой связи 15 шт.; предельно допустимое напряжение проволоки при растяжении 500000000 Па; плотность материала проволоки 7800 кг/м³; предельно допустимое напряжение гибкой связи при растяжении 500000000 Па; плотность материала гибкой связи 7800 кг/м³. Причём такие неидентичные факторы, как коэффициент уменьшения диаметра для внутренних поперечных прокладок и коэффициент уменьшения диаметра для наружных поперечных прокладок, зависят от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, из которых изготавливается плоская сплотноная единица. Если $d_{кл}$ имеет значения 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 см и 55 см, то коэффициент уменьшения диаметра для внутренних поперечных прокладок соответственно равен: 0,95, 0,90, 0,85, 0,834, 0,817, 0,805, 0,793, 0,785, 0,776 и 0,774. Коэффициент уменьшения диаметра для наружных поперечных прокладок равен: 1,15, 1,075, 1,0, 0,98, 0,96, 0,949, 0,938, 0,929, 0,92 и 0,911 соответственно для $d_{кл}$ 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 см и 55 см.

В соответствии с принятыми условиями по планированию сплава лесоматериалов в плотях на базе усовершенствованных плоских сплотноных единиц в весенний, летний и осенний периоды года было реализовано планирование первоначального и магистрального плотового сплава лесоматериалов. При реализации планирования сплава лесоматериалов в плотях на базе данных плоских сплотноных единиц в обязательном порядке учитывались установленные требования к параметрам всех факторов, влияющих на транспортно-эксплуатационные показатели плоских сплотноных единиц, линеек и плотов. При этом планирование сплава лесоматериалов заключалось в расчёте транспортно-эксплуатационных показателей усовершенствованных плоских сплотноных единиц, а также линеек и плотов на их основе, которое выполнялось по разработанному алгоритму.

3. Результаты

Алгоритм планирования сплава лесоматериалов в плотях на базе усовершенствованных плоских сплотовых единиц для весеннего, летнего и осеннего периодов года заключается в следующем. Например, для весеннего периода года изначально с помощью разработанного программного обеспечения [42] рассчитываются транспортно-эксплуатационные показатели усовершенствованной плоской сплотовой единицы, линейки, сформированной из плоских сплотовых единиц, которая предназначена для первоначального плотового сплава, а также плота, сформированного из линеек, используемых на первоначальном плотовом сплаве, который предназначен для магистрального плотового сплава. Данная операция повторяется для каждой усовершенствованной плоской сплотовой единицы в рамках весеннего периода года. Так как основной целью при организации сплава лесоматериалов в плотях на базе усовершенствованных плоских сплотовых единиц является транспортировка максимального объёма древесины по водным путям на протяжении всей навигации, то при расчётах делается акцент на определение объёма древесины в усовершенствованных плоских сплотовых единицах, а также линейках и плотях на их основе. Затем полученные расчётные данные анализируются, где устанавливаются конструкции усовершенствованной плоской сплотовой единицы, линейки и плота, которые содержат максимальный объём древесины. Аналогичные работы выполняются для летнего и осеннего периодов года, где также для каждого периода года устанавливаются конструкции усовершенствованной плоской сплотовой единицы, линейки и плота, которые содержат максимальный объём древесины. На основании полученных данных по каждому периоду года утверждается базовая конструкция плоской сплотовой единицы, с использованием которой будут выполняться первоначальный и магистральный плотовой сплав лесоматериалов.

На основании разработанного алгоритма первоначально было выполнено планирование сплава лесоматериалов в плотях на базе усовершенствованных плоских сплотовых единиц для весеннего периода года. В результате этого, с учётом параметров всех факторов, влияющих на транспортно-эксплуатационные показатели усовершенствованных плоских сплотовых единиц, а также линеек и плотов на их основе, был реализован расчёт на предмет установления объёма древесины в каждой усовершенствованной плоской сплотовой единице, в линейках, сформированных из данных сплотовых единиц, и плотях. Результаты расчёта представлены в таблице 2. По результатам расчётов были построены графики зависимости объёма древесины в плоских сплотовых единицах, линейках и плотях от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, из которых они изготавливаются. Графики зависимости объёма древесины в усовершенствованных плоских сплотовых единицах от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе представлены на рисунке 3. При этом графики зависимости объёма древесины в линейках от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе и графики зависимости объёма древесины в плотях от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе изображены соответственно на рисунках 4 и 5.

Таблица 2. Результаты расчёта содержания объёма древесины в усовершенствованных плоских сплотовочных единицах, линейках и плотях для весеннего периода года

Table 2. The result of calculating the volume content of wood in improved flat raft units, raft section lines and rafts based on them, for the spring period of the year

Транспортно-эксплуатационные показатели	$d_{кл}$, см									
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
Плот из ПСЕ № 1										
Объём древесины в ПСЕ, м ³	11,2	11,5	11,4	10,7	9,9	12,7	12,9	11,8	10,8	12,6
Объём древесины в линейке, м ³	625	642	641	599	556	712	724	660	604	706
Объём древесины в плоту, м ³	4998	5139	5125	4794	4444	5692	5789	5279	4831	5644
Плот из ПСЕ № 2										
Объём древесины в ПСЕ, м ³	17,5	17,2	16,8	16,9	17,3	16,1	16,5	16,4	15,0	13,7
Объём древесины в линейке, м ³	982	964	938	951	966	903	925	920	841	769
Объём древесины в плоту, м ³	7853	7711	7504	7610	7728	7227	7402	7358	10098	6152
Плот из ПСЕ № 3										
Объём древесины в ПСЕ, м ³	21,6	22,2	20,6	21,8	20,3	19,2	16,4	20,5	15,1	18,1
Объём древесины в линейке, м ³	1210	1243	1153	1222	1135	1075	922	1068	786	943
Объём древесины в плоту, м ³	9678	9944	9221	9772	9079	8601	7374	8544	9436	7541

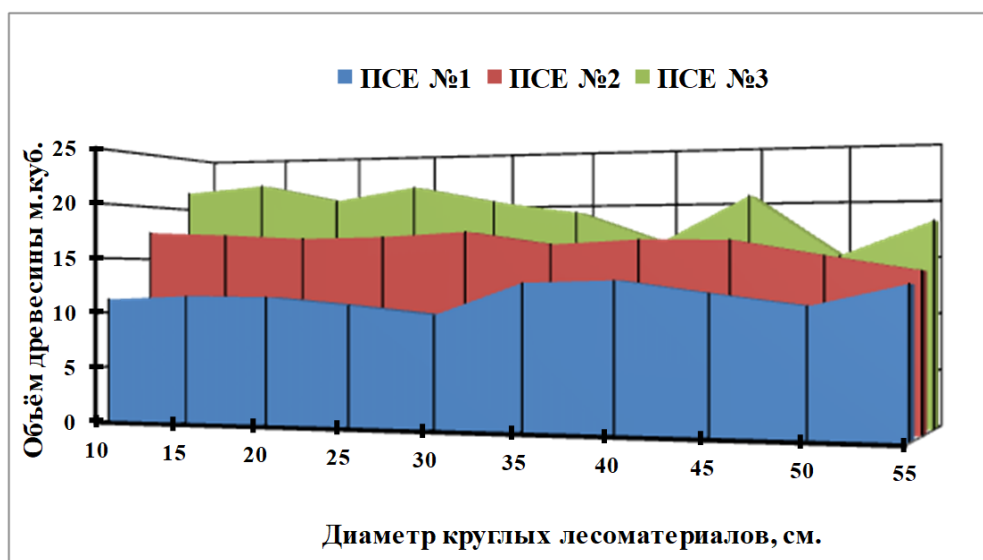


Рисунок 3. Графики зависимости объёма древесины в усовершенствованных плоских сплотовочных единицах от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе [рисунок авторов]

Figure 3. Graphs of the dependence of the volume of wood in improved raft flat units on the diameter of round timber in the upper segment

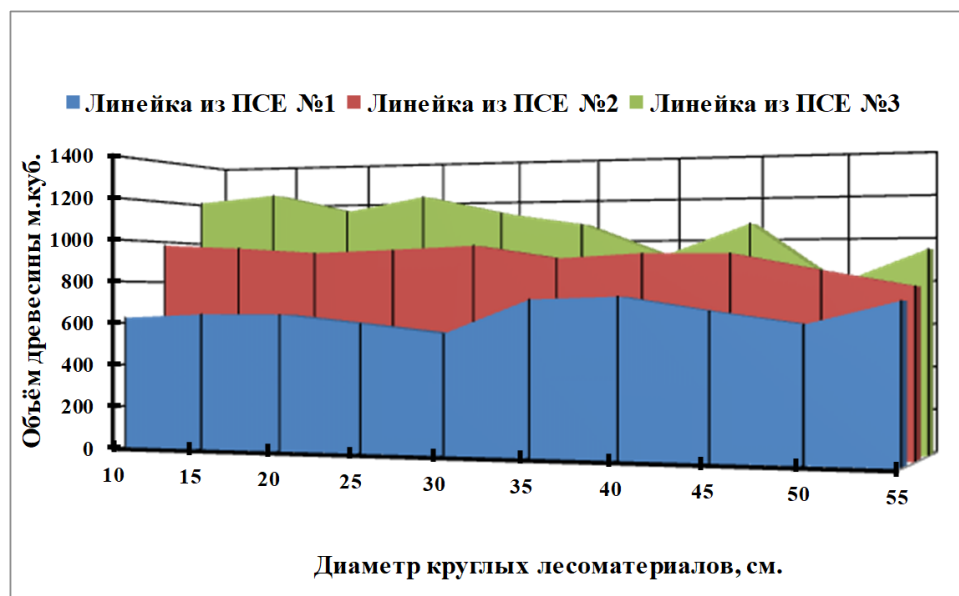


Рисунок 4. Графики зависимости объёма древесины в линейках из усовершенствованных плоских сплочных единиц от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе [рисунок авторов]

Figure 4. Graphs of the dependence of the volume of wood in the lines of improved flat flat units on the diameter of round timber in the upper segment

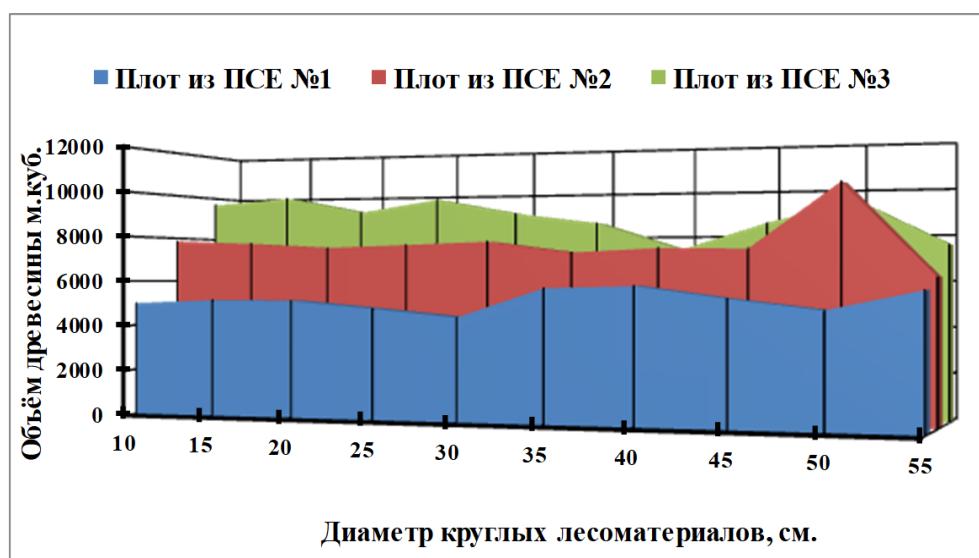


Рисунок 5. Графики зависимости объёма древесины в плотях из усовершенствованных плоских сплочных единиц от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе [рисунок авторов]

Figure 5. Graphs of the dependence of the volume of wood in rafts of improved flat raft units on the diameter of round timber in the upper segment

В соответствии с представленными данными в таблице 2 и рисунком 3 наименьший объём древесины содержится в ПСЕ № 1 (патент РФ № 2777674 [16]). Наибольший объём древесины содержится в ПСЕ № 3 (патент РФ № 2777676 [18]), исключением является условие, когда плоская сплottedная единица изготавливается из круглых лесоматериалов с диаметром, в верхнем отрезе равным 40 см. В данном случае плоская сплottedная единица ПСЕ № 2 (патент РФ № 210485 [17]) содержит наибольший объём древесины. Согласно графикам, изображенным на рисунке 4, наименьший объём древесины содержит линейка из ПСЕ № 1. В свою очередь линейка из ПСЕ № 3 содержит наибольший объём древесины. При диаметре круглых лесоматериалов в верхнем отрезе 40 см и 50 см линейка из ПСЕ № 2 характеризуется наибольшим содержанием древесины. Так как из линеек, используемых на первоначальном плотовом сплаве лесоматериалов, изготавливаются плоты для магистрального плотового сплава лесоматериалов, то, как показывают графики, приведённые на рисунке 5, наименьший объём древесины содержится в плоту из ПСЕ № 1, а наибольший объём древесины присутствует в плоту из ПСЕ № 3. Если плот формируется из линеек, включающих плоские сплottedные единицы, изготовленные из круглых лесоматериалов с диаметров в верхнем отрезе 40 см и 50 см, то в плоту из ПСЕ № 2 находится наибольший объём древесины. Анализируя полученные результаты по планированию сплава лесоматериалов в плотях на базе плоских сплottedных единиц, можно сделать вывод, что по транспортно-эксплуатационным показателям наиболее эффективны линейки и плоты, сформированные из ПСЕ № 3 (патент РФ № 2777676 [18]).

Был выполнен второй этап планирования сплава лесоматериалов в плотях на базе усовершенствованных плоских сплottedных единиц для летнего периода года. Планирование сплава лесоматериалов осуществлялось с обязательным учётом параметров всех факторов, влияющих на транспортно-эксплуатационные показатели усовершенствованных плоских сплottedных единиц, а также линеек и плотов на их основе. На данном этапе планирования основной целью был расчёт объёма древесины, который содержится в каждой усовершенствованной плоской сплottedной единице, в линейках, сформированных из данных сплottedных единиц, и плотях. Результаты расчётов содержания объёма древесины в транспортных единицах представлены в таблице 3.

Для более глубокого анализа содержания древесины в плоских сплottedных единицах, линейках и плотях в зависимости от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, были построены графики, которые представлены на рисунках 6, 7 и 8.

Приведённые данные в таблице 3 и графики рисунка 6 показывают, что наибольший объём древесины содержится в плоской сплottedной единице ПСЕ № 3 (патент РФ № 2777676 [18]), а наименьший объём древесины — в плоской сплottedной единице ПСЕ № 1 (патент РФ № 2777674 [16]), за исключением, когда диаметр круглых лесоматериалов в верхнем отрезе составляет 50 см. При диаметре круглых лесоматериалов 50 см плоская сплottedная единица ПСЕ № 2 (патент РФ № 210485 [17]) содержит наименьший объём древесины. Графики, изображённые на рисунке 7, и представленные результаты расчётов

Таблица 3. Результаты расчёта содержания объёма древесины в усовершенствованных плоских сплотовых единицах, линейках и плотях для летнего периода года

Table 3. The result of calculating the volume content of wood in improved flat raft units, raft section lines and rafts based on them, for the summer period of the year

Транспортно-эксплуатационные показатели	$d_{кл}$, см									
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
Плот из ПСЕ № 1										
Объём древесины в ПСЕ, м ³	6,9	7,4	7,6	7,5	6,3	8,1	7,1	6,4	7,6	5,0
Объём древесины в линейке, м ³	151	162	167	165	139	178	157	141	166	109
Объём древесины в плоту, м ³	2266	2427	3331	3301	2789	3567	2353	2812	3328	2188
Плот из ПСЕ № 2										
Объём древесины в ПСЕ, м ³	10,9	11,0	11,1	12,2	11,5	9,7	9,9	8,2	7,5	9,1
Объём древесины в линейке, м ³	241	242	243	268	253	214	220	181	165	199
Объём древесины в плоту, м ³	3615	3634	4866	4020	3795	4288	4390	3613	3306	3981
Плот из ПСЕ № 3										
Объём древесины в ПСЕ, м ³	13,7	14,4	13,2	12,3	11,8	13,0	10,1	12,6	11,5	9,4
Объём древесины в линейке, м ³	302	316	290	270	259	259	201	251	230	188
Объём древесины в плоту, м ³	4524	3790	4647	3243	3107	5184	4030	5028	4593	3761

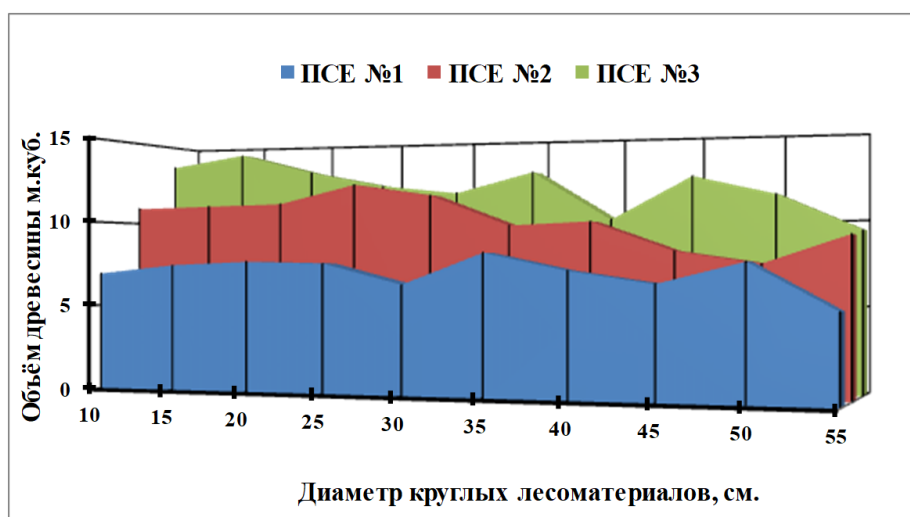


Рисунок 6. Графики зависимости объёма древесины в усовершенствованных плоских сплотовых единицах от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе [рисунок авторов]

Figure 6. Graphs of the dependence of the volume of wood in improved flat raft units on the diameter of round timber in the upper segment

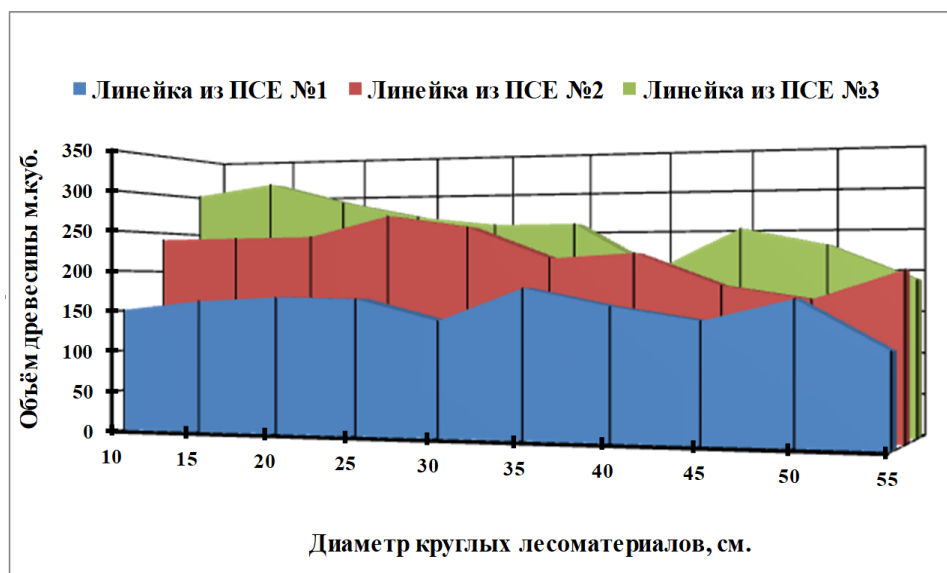


Рисунок 7. Графики зависимости объёма древесины в линейках из усовершенствованных плоских сплочных единиц от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе [рисунок авторов]

Figure 7. Graphs of the dependence of the volume of wood in the lines of improved flat raft units on the diameter of round timber in the upper segment

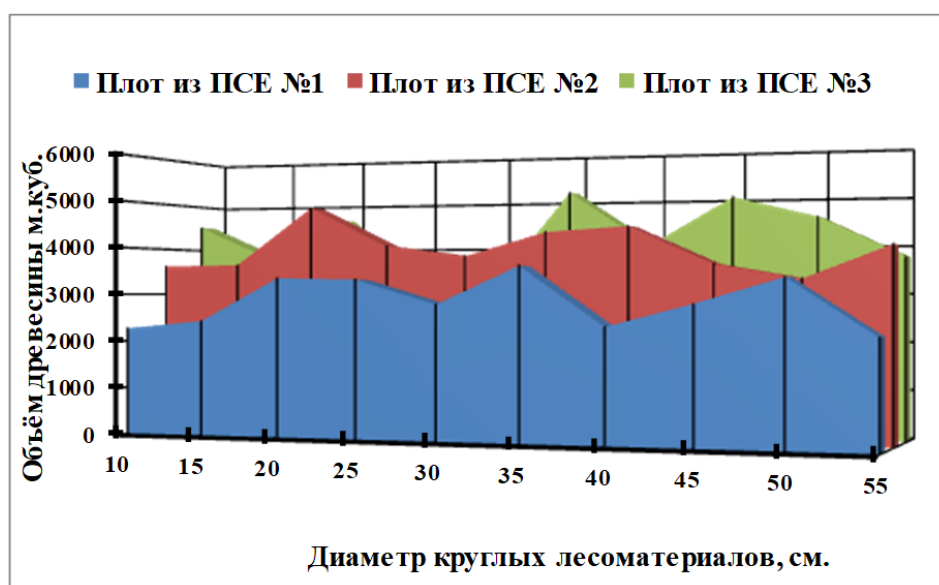


Рисунок 8. Графики зависимости объёма древесины в плотях из усовершенствованных плоских сплочных единиц от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе [рисунок авторов]

Figure 8. Graphs of the dependence of the volume of wood in rafts of improved flat raft units on the diameter of round timber in the upper segment

в таблице 3 показывают, что линейка из ПСЕ № 1 имеет наименьший объём древесины, но при диаметре круглых лесоматериалов в верхнем отрезе 40 см линейка из ПСЕ № 2 содержит наименьший объём древесины. При этом наибольший объём древесины присутствует в линейке из ПСЕ № 3. Исключением являются обстоятельства, когда плоские сплотовые единицы, входящие в состав линейки, изготавливаются из круглых лесоматериалов с диаметром в верхнем отрезе 40 см. При данных обстоятельствах наибольший объём древесины заключается в линейке из ПСЕ № 2. В соответствии с графиками, изображёнными на рисунке 8, и расчётными данными из таблицы 3 при диаметре круглых лесоматериалов в верхнем отрезе 20, 25, 30, 40 см и 55 см наибольший объём древесины содержится в плоту из ПСЕ № 2, а при диаметре круглых лесоматериалов в верхнем отрезе 10, 15 см и 35 см наибольший объём древесины заключён в плоту из ПСЕ № 3. Наименьший объём древесины находится в плоту из ПСЕ № 1. Если диаметр круглых лесоматериалов в верхнем отрезе равен 50 см, то плот из ПСЕ № 2 характеризуется наименьшим объёмом древесины. Подробно изучив полученные расчётные данные из таблицы 3 и графики, изображённые на рисунках 6, 7 и 8, можно сделать вывод, что на первоначальном плотовом сплаве лесоматериалов рационально использовать линейку из ПСЕ № 3. На магистральном плотовом сплаве лесоматериалов по транспортно-эксплуатационным показателям логично использовать плот из ПСЕ № 2.

Заключительным этапом планирования сплава лесоматериалов в плотях на базе усовершенствованных плоских сплотовых единиц является планирование для осеннего периода года. В данном случае, также как и на предыдущих этапах планирования, основной целью являлся расчёт объёма древесины, который содержится в каждой усовершенствованной плоской сплотовой единице, в линейках, сформированных из данных сплотовых единиц, и плотях. При выполнении всех расчётов в обязательном порядке учитывались параметры всех факторов, влияющих на транспортно-эксплуатационные показатели усовершенствованных плоских сплотовых единиц, а также линеек и плотов на их основе. Все результаты расчётов требуемых показателей приведены в таблице 4, на основании которых были построены графики зависимости объёма древесины в плоских сплотовых единицах, линейках и плотях от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе. При этом на рисунках 9, 10 и 11 изображены соответственно графики зависимости объёма древесины в усовершенствованных плоских сплотовых единицах, линейках и плотях от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе.

Расчётные данные, представленные в таблице 4, и графики, изображённые на рисунке 9, регламентируют, что наименьший объём древесины заключён в ПСЕ № 1 (патент РФ № 2777674 [16]). При этом плоская сплотовая единица ПСЕ № 3 (патент РФ № 2777676 [18]) включает наибольший объём древесины. Все расчётные данные, касающиеся установления объёма древесины в линейках (таблица 4), и графики, приведённые на рисунке 10, указывают на то, что наибольший объём древесины содержится в линейке из ПСЕ № 3 при условии, что диаметр круглых лесоматериалов в верхнем отрезе равен 10,

Таблица 4. Результаты расчёта содержания объёма древесины в усовершенствованных плоских сплотовых единицах, линейках и плотях для осеннего периода года

Table 4. The result of calculating the volume content of wood in improved flat raft units, raft section lines and rafts based on them, for the autumn period of the year

Транспортно-эксплуатационные показатели	$d_{кл}$, см									
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
Плот из ПСЕ № 1										
Объём древесины в ПСЕ, м ³	9,0	9,4	8,9	9,1	8,1	10,4	10,0	9,1	7,6	8,8
Объём древесины в линейке, м ³	352	368	346	355	317	406	392	355	295	344
Объём древесины в плоту, м ³	2815	2940	4150	4263	3808	4875	3135	4260	3540	4133
Плот из ПСЕ № 2										
Объём древесины в ПСЕ, м ³	14,4	14,1	13,1	14,4	14,5	12,8	13,1	12,5	11,4	13,7
Объём древесины в линейке, м ³	562	550	509	562	567	498	511	487	446	536
Объём древесины в плоту, м ³	4493	4403	6114	4498	4538	5977	6126	5845	5346	6428
Плот из ПСЕ № 3										
Объём древесины в ПСЕ, м ³	18,2	17,5	16,9	17,0	17,4	16,1	13,3	16,6	11,5	13,8
Объём древесины в линейке, м ³	711	630	608	614	628	579	478	596	413	496
Объём древесины в плоту, м ³	5685	5038	7298	4910	5021	6946	5731	7152	4960	5946

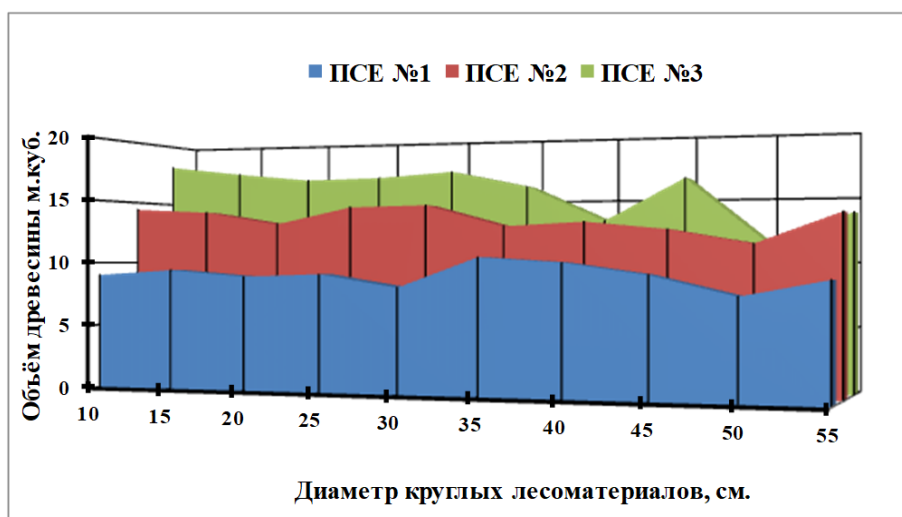


Рисунок 9. Графики зависимости объёма древесины в усовершенствованных плоских сплотовых единицах от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе [рисунок авторов]

Figure 9. Graphs of the dependence of the volume of wood in improved flat raft units on the diameter of round timber in the upper segment

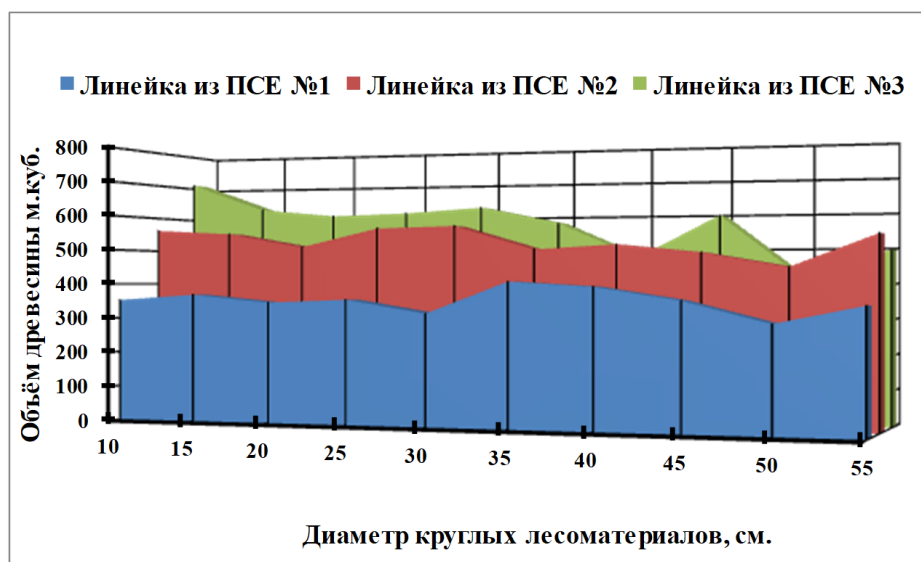


Рисунок 10. Графики зависимости объёма древесины в линейках из усовершенствованных плоских сплочных единиц от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе [рисунок авторов]

Figure 10. Graphs of the dependence of the volume of wood in the lines of improved flat raft units on the diameter of round timber in the upper segment

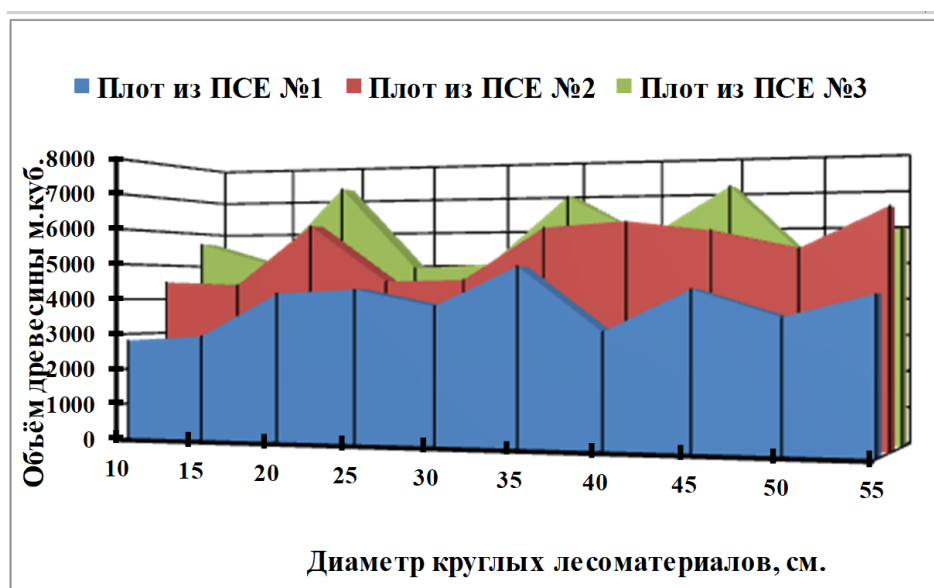


Рисунок 11. Графики зависимости объёма древесины в плотях из усовершенствованных плоских сплочных единиц от диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе [рисунок авторов]

Figure 11. Graphs of the dependence of the volume of wood in rafts of improved flat raft units on the diameter of round timber in the upper segment

15, 20, 25, 30, 35 см и 45 см. В том случае, когда диаметр круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, из которых изготавливаются плоские сплотовые единицы, составляет 40, 50 см и 55 см, наибольший объём древесины присутствует в линейке из ПСЕ № 2. Линейка из ПСЕ № 1 характеризуется наименьшим объёмом древесины, который заключён в её геометрическом объёме. В свою очередь плот из ПСЕ № 3 имеет наибольший объём древесины (таблица 4, рисунок 11), где исключением является случай, когда диаметр круглых лесоматериалов в верхнем отрезе равен 40, 50 см и 55 см. Для данных диаметров наибольший объём древесины находится в плоту из ПСЕ № 2. Также следует отметить, что наименьший объём древесины содержится в плоту из ПСЕ № 1. Таким образом, расчёт транспортно-эксплуатационных показателей усовершенствованных плоских сплотовых единиц, линеек и плотов позволил установить, что на первоначальном и магистральном плотовом сплаве лесоматериалов необходимо применять конструкции плоских сплотовых единиц, которые выполнены по патенту РФ № 2777676 [18].

4. Обсуждение и заключение

Представленное программное обеспечение, предназначенное для автоматизированного планирования сплава лесоматериалов на базе усовершенствованных плоских сплотовых единиц, служит в первую очередь для обеспечения безопасности и повышения эффективности проведения сплавных работ. Программа для ЭВМ учитывает конструктивные особенности каждой усовершенствованной плоской сплотовой единицы (патенты РФ № 2777674 [16], № 210485 [17], № 2777676 [18]) и плотов на их основе (патенты РФ № 2811178 [21] и № 2804911 [22]). При этом планирование осуществляется при варьировании значений всех факторов, оказывающих влияние на транспортно-эксплуатационные показатели усовершенствованных транспортных единиц.

Планирование сплава лесоматериалов в плотях на базе плоских сплотовых единиц осуществлялось по разработанному алгоритму для весеннего, летнего и осеннего периодов года при изменении диаметра круглых лесоматериалов в верхнем отрезе от 10 до 55 см включительно с шагом 5 см. Для весеннего периода года установлено, что в соответствии с полученными транспортно-эксплуатационными показателями, а именно по содержанию древесины в усовершенствованных плоских сплотовых единицах и плотях на их основе, наиболее эффективными являются линейки и плоты, сформированные из плоских сплотовых единиц, выполненных по патенту РФ № 2777676 [18]. По содержанию древесины в усовершенствованных плоских сплотовых единицах и плотях на их основе для летнего периода года на первоначальном плотовом сплаве лесоматериалов рационально использовать линейку, сформированную из плоских сплотовых единиц, выполненных по патенту РФ № 2777676 [18]. В свою очередь, на магистральном плотовом сплаве лесоматериалов необходимо использовать плоты, сформированные из линеек, включающих в свой состав плоские сплотовые единицы, которые изготавливаются по патенту РФ № 210485 [17]. В осенний период года на первоначальном и магистральном плотовом сплаве

лесоматериалов рекомендуется применять линейки и плоты, сформированные на базе плоских сплотовых единиц, выполненных по патенту РФ № 2777676 [18]).

В связи с тем, что основной задачей сплава лесоматериалов в плотях является транспортировка максимального объёма древесины на первоначальном плотовом сплаве лесоматериалов, выбор базовой конструкции плоских сплотовых единиц, из которых будут формироваться линейки, основывается на максимальном содержании древесины в одной линейке, в зависимости от применяемой конструкции усовершенствованной плоской сплотовой единицы. На основании вышесказанного, с учётом расчётных данных транспортно-эксплуатационных показателей усовершенствованных плоских сплотовых единиц и плотов на их основе, можно рекомендовать в весенний, летний и осенний периоды года к применению плоские сплотовые единицы, выполненные по патенту РФ № 2777676 [18], а также линейки и плоты, изготавливаемые в соответствии с патентом РФ № 2811178 [21].

Список литературы

1. *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.
2. Brevet No. 2882723 FR, Int. Cl. 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.
3. *Васильев В. В.* Транспортно-технологическая схема поставки древесины водным транспортом в плоских сплотовых единицах по принципу плоская сплотовая единица — плот // Арктика: инновационные технологии, кадры, туризм: Материалы Междунар. научно-практич. онлайн-конф., г. Воронеж, 17—19 нояб. 2020 г. Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова», 2020. С. 335—340.
4. *Васильев В. В., Аксенов И. И.* Транспортно-технологическая схема поставки лесоматериалов потребителям в плоских сплотовых единицах по принципу плоская сплотовая 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.* Усовершенствованные системы плотового сплава лесоматериалов. Saarbrücken (Германия): Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. 278 с.
6. *Васильев В. В., Афоничев Д. Н.* Обоснование показателя гибкости плота из сплотовых единиц // Известия вузов. Лесной журнал. 2022. № 4. С. 146—155. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-4-146-155.
7. *Васильев В. В., Афоничев Д. Н.* Использование плоских сплотовых единиц на первоначальном сплаве лесоматериалов // Известия вузов. Лесной журнал. 2022. № 1. С. 128—142. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-1-128-142.

8. *Васильев В. В.* Расчёт транспортно-эксплуатационных показателей усовершенствованной плоской сплотовой единицы // *Resources and Technology*. 2022. Т. 19, № 4. С. 1—22. DOI: 10.15393/j2.art.2022.6365.
9. *Shadrina Ya. V., Surov G. Ya.* Research on models of the hydrodynamics resistance of timber transport units // *International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM*. Austria, 2018. Vol. 18, is. 3.2. P. 425—432.
10. *Васильев В. В., Афоничев Д. Н.* Исследование коэффициента полнодревесности усовершенствованной плоской сплотовой единицы // *Resources and Technology*. 2025. Т. 22, № 1. С. 90—104. DOI: 10.15393/j2.art.2024.8163.
11. *Васильев В. В., Афоничев Д. Н.* Планирование поставки лесоматериалов потребителям по транспортно-технологической схеме плот (линейка) — плот // *Resources and Technology*. 2024. Т. 21, № 4. С. 121—149. DOI: 10.15393/j2.art.2024.8163.
12. *Васильев В. В., Афоничев Д. Н.* Технологические схемы формирования навигационных плотов на базе плоских сплотовых единиц // *Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения для АПК: Материалы Междунар. научно-практич. конф., Россия, г. Воронеж, 29 нояб. 2024 г.* Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский ГАУ», 2024. С. 32—37.
13. *Васильев В. В.* Математическое моделирование спуска плоских сплотовых единиц в водоём по береговой секции наклонного роликового транспортёра // *Актуальные проблемы энергетики АПК в современной реальности: Материалы Междунар. научно-практич. конф., посвящённой основателю факультета энергетики и электрификации Валентину Васильевичу Фокину, г. Ижевск, 15 мая 2024 г.* Ижевск: ФГБОУ ВО «Удмуртский ГАУ», 2024. С. 81—89. URL: <https://udsau.ru/news/novosti/17699-aktualnye-problemy-energetiki-apk-v-sovremennoj-realnosti.html>. Текст: электронный.
14. *Васильев В. В.* Обоснование параметров транспортно-технологической схемы поставки древесины в плоских сплотовых единицах по принципу плот (линейка) — плот // *Resources and Technology*. 2021. Т. 18, № 2. С. 48—78. DOI: 10.15393/j2.art.2021.5603.
15. *Васильев В. В.* Усовершенствованная транспортно-технологическая схема поставки древесины водным транспортом в плоских сплотовых единицах по принципу плот (линейка) — плот // *Арктика: инновационные технологии, кадры, туризм: Материалы Междунар. научно-практич. онлайн-конф., г. Воронеж, 17—19 нояб. 2020 г.* Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова», 2020. С. 341—346.
16. Патент № 2777674 Р. Ф., МПК В65В 35/02, В65G 69/20. Плоская сплотовая 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). № 2021140068; заявл. 30.12.2021; опубл. 08.08.2022, Бюл. № 22. 8 с.
17. Патент № 210485 Р. Ф., МПК В63В 35/62. Плоская сплотовая 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). № 2021125409; заявл. 19.10.2020; опубл. 18.04.2022, Бюл. № 11. 5 с.
18. Патент № 2777676 Р. Ф., МПК В65В 35/02. Плоская сплотовая 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.

19. *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.
20. *Васильев В. В., Афоничев Д. Н.* Требования к диаметрам круглых лесоматериалов для обеспечения жёсткости плоской сплottedной единицы // Resources and Technology. 2024. Т. 23, № 3. С. 39—56. DOI: 10.15393/j2.art.2024.7483.
21. Патент № 2811178 Р. Ф., МПК В63В 35/62. Плот / 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). № 2023121796; заявл. 21.08.2023; опубл. 11.01.2024. Бюл. № 2. 9 с.
22. Патент № 2804911 Р. Ф., МПК В 63 В 35/62. Плот / 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). № 2023114620; заявл. 02.06.2023; опубл. 09.10.2023, Бюл. № 28. 9 с.
23. Патент № 199681 Р. Ф., МПК В65G 69/00, 57/18. Сплottedная машина / В. В. Васильев, Д. Н. Афоничев, В. А. Морковин, Е. В. Поздняков; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова» (RU). № 2020119839; заявл. 08.06.2020; опубл. 14.09.2020. Бюл. № 26. 5 с.
24. Патент № 2812680 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 имени императора Петра I» (RU). № 2023121982; заявл. 23.08.2023; опубл. 31.01.2024, Бюл. № 4. 9 с.
25. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013613974. Программа расчёта инерционных показателей плотов, предназначенных для транспортировки по рекам с малыми глубинами / В. В. Васильев, Д. Н. Афоничев, Н. Н. Папонов; правообладатель ГОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия» (RU); заявл. 12.03.2013; зарегистр. 22.04.2013.
26. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012618060. Программа расчёта эксплуатационных показателей плотов, предназначенных для транспортировки по рекам с малыми глубинами / В. В. Васильев, Д. Н. Афоничев, Н. Н. Папонов; правообладатель ГОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия» (RU); заявл. 16.07.2012; зарегистр. 07.09.2012.
27. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012613752. Программа расчёта осадки плоской сплottedной единицы / В. В. Васильев, Н. Ю. Юдина, Д. Н. Афоничев; правообладатель ГОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия» (RU); заявл. 27.02.2012; зарегистр. 20.04.2012.
28. *Афоничев Д. Н., Васильев В. В., Еремин М. Ю.* Компьютерные технологии в научных исследованиях: Учебное пособие. Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский ГАУ», 2024. 83 с.
29. Теория автоматического управления: Учебник для вузов / Под ред. Б. В. Яковлева. М.: Высшая школа, 2003. 567 с.

30. Dintsis D., Simankov V. The control automation system method based on combined implementation of fuzzy logic and discrete automation systems // Uksim-AMSS 7th European modeling symposium on computer modeling and simulation, EMS 2013 Manchester, 20—22 november 2013; IEEE Computer Society. 2013. P. 89—90. DOI: 10.1109/EMS.2013.15.
31. Hametner R., Zoitl A., Semo M. Automation component architecture for the efficient development of industrial automation systems // 2010 IEEE international conference on automation science and engineering, CASE 2010, Toronto, August 21-24, 2010; IEEE Robotics and Automation Society. 2010. P. 156—161. DOI: 10.1109/COASE.2010.5584013.
32. Nagorkin M. N., Fyodorov V. P., Kovalyova E. V. Automation of technological system diagnostics by parameters of quality of surfaces of machined parts // 4th international conference on industrial engineering ICIE 2018, Moscow, May 15—18, 2018. Springer International Publishing. 2018. P. 1535—1545. DOI: 10.1007/978-3-319-95630-5_164.
33. Czarnecki C., Fettke P. Robotic process automation: management, technology, applications. De Gruyter, 2021. 300 p.
34. Langmann C., Turi D. Robotic process automation (RPA) — Digitization and automation of processes: prerequisites, functionality and implementation using accounting as an example. Springer Nature, 2023. 143 p.
35. Dasgupta D. Intelligent automation simplified: learn enterprise automation, AI-Led automation, and robotic process automation. BPB Publications, 2021. 437 p.
36. Alpert C. J., Mehta D. P., Sapatnekar S. S. Handbook of algorithms for physical design automation. CRC Press, 2008. 1024 p.
37. Gabrijelčič P. Mastering Delphi programming: a complete reference guide. Packt Publishing, 2019. 674 p.
38. Collingbourne H. The little book of Delphi programming: learn to program with Object Pascal. Dark Neon, 2020. 194 p.
39. Prasnikar D., Prasnikar N. J. Delphi Thread Safety Patterns. Dark Neon, 2022. 324 p.
40. Cantù M. Delphi 2009 Handbook. Italy. Wintech Italia Srl, 2008. 400 p.
41. Teti D. Delphi Cookbook. Packt publishing, 2014. 332 p.
42. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022660776. Программа для планирования сплава древесины в плотях на базе плоских сплотовых единиц / В. В. Васильев, Д. Н. Афоничев, В. А. Морковин, Е. В. Поздняков; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова» (RU); заявл. 08.06.2022; зарегистр. 08.06.2022.

References

1. 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 Geo Conference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 18 (1.5)*. Austria, 2018, pp. 765—772.
2. Patent No. 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.
3. Vasiliev V. V. Transport and technological scheme of wood supply by water transport in flat-flow units according to the principle of flat-flow unit — raft. *Arctic: innovative technologies, personnel, tourism: materials of international scientific practice*. Online

- conferences. Voronezh, November 17—19, 2020. Voronezh, Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov, 2020, pp. 335—340. (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. *Improved systems of raft timber alloy*. Saarbrücken (Germany), Publishing house LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. 278 p. (In Russ.)
 6. 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.)
 7. 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.)
 8. 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.)
 9. Shadrina Ya. V., Surov G. Ya. Research on models of the hydrodynamics resistance of timber transport units. *International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM*. Austria, 2018, vol. 18, is. 3.2, pp. 425—432.
 10. Vasiliev V. V., Afonichev D. N. Investigation of the full-wood coefficient of an improved flat cohesive unit. *Resources and Technology*, 2025, vol. 22, no. 1, pp. 90—104. doi: 10.15393/j2.-art.2024.8163. (In Russ.)
 11. Vasiliev V. V., Afonichev D. N. Planning the supply of timber to consumers according to the transport and technological scheme raft (ruler) — raft. *Resources and Technology*, 2024, vol. 21, no. 4, pp. 121—149. doi: 10.15393/j2.art.2024.8163. (In Russ.)
 12. Vasiliev V. V., Afonichev D. N. Technological schemes for the formation of navigation rafts based on flat cohesive units. *Science and education at the present stage of development: experience, problems and solutions for agriculture: Proceedings of the International scientific and Practical conference; Russia, Voronezh, November 29, 2024*. Voronezh, Voronezh State Agrarian University, 2024, pp. 32—37. (In Russ.).
 13. Vasiliev V. V. Mathematical modeling of the descent of flat cohesive units into a reservoir along the coastal section of an inclined roller conveyor. *Actual problems of agricultural energy in modern reality: Materials of the international scientific and practical conference dedicated to the founder of the Faculty of Energy and Electrification Valentin Vasilyevich Fokin; Izhevsk, May 15, 2024*. Izhevsk, Udmurt State Agrarian University, 2024, pp. 81—89. Available at: <https://udsau.ru/news/novosti/17699-aktualnye-problemy-energetiki-apk-v-sovremennoj-real-nosti.html>. Text. Image: electronic. (In Russ.)
 14. 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.)
 15. Vasiliev V. V. Improved transport and technological scheme for the supply of wood by water transport in flat-flow units on the principle of raft (ruler) — raft. *Arctic: innovative technologies, personnel, tourism: Materials of international scientific practice. Online conferences; Voronezh, November 17—19, 2020*. Voronezh, Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov, 2020, pp. 341—346. (In Russ.)

16. Vasiliev V. V., Afonichev D. N., Morkovin V. A., Abramov V. V., Pozdnyakov E. V. Patent no. 2777674 R. F., IPC B65B 35/02, B65G 69/20. Flat splice unit. The applicant and the patent holder are the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Forestry Engineering University named after G. F. Morozov» (RU). No. 2021140068; application 30.12.2021; publ. 08.08.2022, Byul. no. 22. 8 p. (In Russ.)
17. Vasiliev V. V., Afonichev D. N., Morkovin V. A., Abramov V. V., Pozdnyakov E. V. Patent no. 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.)
18. Vasiliev V. V., Afonichev D. N., Morkovin V. A., Abramov V. V., Pozdnyakov E. V. Patent no. 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 Engineering University named after G. F. Morozov» (RU). No. 2021140062; application 30.12.2021; publ. 08.08.2022, Byul. no. 22. 8 p. (In Russ.)
19. 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.)
20. Vasiliev V. V., Afonichev D. N. Requirements for the diameters of round timber to ensure the rigidity of a flat cohesive unit. *Resources and Technology*, 2023, vol. 23, no. 3, pp. 39—56. doi: 10.15393/j2.art.2024.7483. (In Russ.)
21. Vasiliev V. V., Afonichev D. N., Morkovin V. A., Abramov V. V., Poznyakov E. V. Patent no. 2811178 R. F., IPC B63B 35/62. The raft. Applicant and patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov» (RU). No. 2023121796; application. 21.08.2023; publ. 11.01.2024, Bul. no. 2. 9 p. (In Russ.)
22. Vasiliev V. V., Afonichev D. N., Morkovin V. A., Abramov V. V., Poznyakov E. V. Patent no. 2804911 R. F., IPC B63B 35/62. The raft. Applicant and patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov» (RU). No. 2023114620; application. 02.06.2023; publ. 09.10.2023, Bul. no. 28. 9 p. (In Russ.)
23. Vasiliev V. V., Afonichev D. N., Morkovin V. A., Poznyakov E. V. Patent no. 199681 R. F., IPC B65G 69/00, 57/18. The Splotch machine. Applicant and patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov» (RU). No. 2020119839; application. 08.06.2020; publ. 14.09.2020, Bul. no. 26. 5 p. (In Russ.)
24. Vasiliev V. V., Afonichev D. N., Loshchenko A. V. Patent No. 2812680 R. F., IPC B60P 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. 2023121982; application. 23.08.2023; publ. 31.01.2024, Bul. no. 4. 9 p. (In Russ.)
25. Vasiliev V. V., Afonichev D. N., Paponov N. N. Certificate of state registration of the computer program no. 2013613974. The program of calculation of inertia indicators of the rafts intended for transportation on the rivers with shallow depths; the copyright holder of the «Voronezh State Forestry Academy» (RU). Claimed on 12.03.2013, registered on 22.04.2013. (In Russ.)
26. Vasiliev V. V., Afonichev D. N., Paponov N. N. Certificate of state registration of the computer program no. 2012618060. A program for calculating the performance of rafts intended for transportation along rivers with shallow depths; the copyright holder of the «Voronezh State Forestry Academy» (RU). Claimed on 16.07.2012, registered on 07.09.2012. (In Russ.)

27. Vasiliev V. V., Yudina N. Y., Afonichev D. N. Certificate of state registration of the computer program no. 2012613752. A program for calculating the performance of rafts intended for transportation along rivers with shallow depths; the copyright holder of the «Voronezh State Forestry Academy» (RU). Claimed on 27.02.2012, registered on 20.04.2012. (In Russ.)
28. Afonichev D. N., Vasiliev V. V., Eremin M. Yu. *Computer technologies in scientific research: Textbook*. Voronezh, Voronezh State Pedagogical University, 2024. 83 p. (In Russ.)
29. *Theory of automatic control: textbook for universities*. Edited by B. V. Yakovlev. Moscow, Higher School, 2003. 567 p.
30. Dintsis D., Simankov V. The control avtomation system method based on combined implementation of fuzzy logic and discrete automation systems. *Uksim-AMSS 7th European modeling symposium on computer modeling and simulation, EMS 2013 Manchester, 20—22 november 2013. IEEE Computer Society*, 2013, pp. 89—90. doi: 10.1109/EMS.2013.15.
31. Hametner R., Zoitl A., Semo M. Automation component architecture for the efficient development of industrial automation systems. *2010 IEEE international conference on automation science and engineering, CASE 2010, Toronto, August 21—24, 2010. IEEE Robotics and Automation Society*, 2010, pp. 156—161. doi: 10.1109/COASE.2010.5584013.
32. Nagorkin M. N., Fyodorov V. P., Kovalyova E. V. Automation of technological system diagnostics by parameters of quality of surfaces of machined parts. *4th international conference on industrial engineering ICIE 2018, Moscow, May 15—18, 2018. Springer International Publishing*, 2018. pp. 1535—1545. doi: 10.1007/978-3-319-95630-5_164.
33. Czarnecki C., Fettke P. *Robotic process automation: management, technology, applications*. De Gruyter, 2021. 300 p.
34. Langmann C., Turi D. *Robotic process automation (RPA) — Digitization and automation of processes: prerequisites, functionality and implementation using accounting as an example*. Springer Nature, 2023. 143 p.
35. Dasgupta D. *Intelligent automation simplified: learn enterprise automation, AI-Led automation, and robotic process automation*. BPB Publications, 2021. 437 p.
36. Alpert C. J., Mehta D. P., Sapatnekar S. S. *Handbook of algorithms for physical design automation*. CRC Press, 2008. 1024 p.
37. Gabrijelčič P. *Mastering Delphi programming: a complete reference guide*. Packt Publishing, 2019. 674 p.
38. Collingbourne H. *The little book of Delphi programming: learn to program with Object Pascal*. Dark Neon, 2020. 194 p.
39. Prasnikar D., Prasnikar N. J. *Delphi Thread Safety Patterns*. Dark Neon, 2022. 324 p.
40. Cantù M. *Delphi 2009 Handbook*. Italy, Wintech Italia Srl, 2008. 400 p.
41. Teti D. *Delphi Cookbook*. Packt publishing, 2014. 332 p.
42. Vasiliev V. V., Afonichev D. N., Morkovin V. A., Pozdnyakov E. V. Certificate of state registration of the computer program 2022660776. The program for planning wood alloy in flat cohesive units; the applicant and the copyright holder is the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Forestry Engineering University named after G. F. Morozov» (RU). Claimed on 08.06.2022, registered on 08.06.2022. (In Russ.)