

Научный обзор

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.2/17>

УДК 676.051.32



Технико-экономический анализ положений сквозной технологии плантационного лесовыращивания

Сергей В. Фокин¹ ✉, feht@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9575-7764>.

Полина Ю. Медведева¹, pelageam@mail.ru <https://orcid.org/0009-0003-9708-4182>

Виктор П. Попиков², kafedra.laip@inbox.ru <https://orcid.org/0000-0003-2499-2772>.

¹ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова», пр-кт им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3., г. Саратов, 410012, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация

Источники биомассы, используемой для производства топлива, включают в себя разнообразные ресурсы, такие как остатки лесного и сельскохозяйственного производства, естественную растительность и специально выращиваемые энергетические культуры. Исходя из экологической перспективы, остатки и отходы лесного и сельскохозяйственного производства являются идеальным сырьем для производства биотоплива. Для повышения эффективности лесопромышленного комплекса, российские ученые предлагают использовать сквозные технологические процессы, которые объединяют различные этапы заготовки, транспортировки и переработки биомассы дерева. Конкретный выбор технологий и методов плантационного выращивания лесов играет важную роль в повышении эффективности деятельности лесопромышленных предприятий. Однако анализ зарубежных научных исследований в области энергетического лесного хозяйства показывает недостаток внимания, уделенного изучению технологических процессов получения конечного продукта плантационного лесовыращивания – щепы. Поэтому необходимо провести технико-экономический анализ подобных технологий для того, чтобы полностью раскрыть потенциал данного направления. Включение новых образцов рубильного оборудования, соответствующего современным техническим требованиям, в сквозной технологический процесс плантационного лесовыращивания может обеспечить более надежную энергетическую безопасность, как предприятий лесного комплекса, так и потребителей, у которых отсутствует возможность централизованного обеспечения тепловой энергией.

Ключевые слова: *сквозные технологии лесовыращивания, лесные плантации, рубильное оборудование, щепы*

Финансирование: данное исследование не получало внешнего финансирования.

Благодарности: авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

Конфликт интересов: авторы данной статьи заявили об отсутствии личных, коммерческих, идеологических, интеллектуальных конфликтов интересов при подготовке, написании и публикации данной статьи.

Для цитирования: Фокин, С. В. Технико-экономический анализ положений сквозной технологии плантационного лесовыращивания / С. В. Фокин, П. Ю. Медведева, В. П. Попиков // Лесотехнический журнал. – 2024. – Т. 14. – № 2 (54). – С. 295–313. – Библиогр.: с. 306–312 (42 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.2/17>.


Поступила 23.02.2024. Пересмотрена 21.03.2024. Принята 08.04.2024. Опубликовано онлайн 17.06.2024.

Review

Techno-economic analysis of the provisions of end-to-end plantation silviculture technology

Sergei V. Fokin¹✉, feht@mail.ru  <https://orcid.org/0000-0002-9575-7764>

Polina Yu. Medvedeva¹, pelageam@mail.ru  <https://orcid.org/0009-0003-9708-4182>

Victor P. Popikov², kafedra.laip@inbox.ru  <https://orcid.org/0000-0003-2499-2772>

¹Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Petr Stolypin ave., 4, pp. 3., Saratov, 410012, Russian Federation

²Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation

Abstract

Sources of biomass for fuel production include a variety of resources such as forest and agricultural residues, natural vegetation and specially grown energy crops. From an environmental perspective, forest and agricultural residues and residues are ideal feedstocks for biofuel production. In order to increase the efficiency of the forest industry complex, Russian scientists propose to use end-to-end technological processes that combine the various stages of harvesting, transportation and processing of wood biomass. The specific choice of technologies and methods of plantation forest cultivation plays an important role in improving the efficiency of forestry enterprises. However, the analysis of foreign scientific research in the field of energy forestry shows the lack of attention paid to the study of technological processes of obtaining the final product of plantation forest growing - wood chips. Therefore, it is necessary to conduct a technical and economic analysis of such technologies in order to fully unlock the potential of this area. The inclusion of new samples of chopping equipment that meet modern technical requirements in the end-to-end technological process of plantation forest growing can provide more reliable energy security, both for forest enterprises and consumers who do not have the possibility of centralized provision of thermal energy.

Keywords: *end-to-end forestry technologies, forest plantations, chopping equipment, wood chips*

Funding: this study did not receive external funding.

Acknowledgments: the authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of the article.

Conflict of interest: the authors of this article declared the absence of personal, commercial, ideological, intellectual conflicts of interest in the preparation, writing and publication of this article.

For citation: Fokin S. V., Medvedeva P. Yu., Popikov V. P. (2024). Techno-economic analysis of the provisions of end-to-end plantation silviculture technology. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 14, No. 2 (54), pp. 295-313 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.2/17>.

Received 23.02.2024. *Revised* 21.03.2024. *Accepted* 08.04.2024. *Published online* 17.06.2024.

Введение

Ситуация, приведшая к энергетическому кризису, заставила людей искать новые источники первичной энергии, в том числе возобновляемые. Тема использования биомассы, в частности древесины, для производства энергии, активно изучается уже давно [1, 2]. С появлением рынка биотоплива ряд исследований был посвящен экономической эффективности производства биомассы [3, 4].

Первым к этому вопросу обратился финский математик О. Хеллманн, который в 1980 году рассмотрел вариант, включающий в себя сегментный состав плантации с числом элементов, равным периоду созревания пород [5, 6].

Каждый год один из сегментов заготавливается весной и высаживается осенью. Впоследствии эта модель стала известна как финская. Позднее О. Хеллманн усовершенствовал эту модель. Он поставил перед собой задачу найти оптимальный возраст заготавливаемой древесины.

В 1982 г. О. Хеллманн рассмотрел тот же вопрос для энергетических плантаций, не требующих ежегодной новой посадки. Такая модель неосуществима, поскольку процент всхожести семян может оказаться незначительным, что обязательно отразится на положительном результате решаемой задачи. В условиях отсутствия дополнительных посадочных работ, рост древесины окажется бессистемным, а заготовка древесины, несомненно, усложнится.

В 1986 году О. Хеллманн привнес новые элементы в свою модель, исследуя возможность выращивания нескольких видов деревьев на одной плантации [7, 8]. Но в своем исследовании он не рассматривал влияние транспортной доступности на экономическую эффективность, а также случайные колебания объемов производства и спроса на топливо для обеспечения надежности поставок с этих плантаций.

Многочисленные исследования М. Borzecka-Walker, М. NordborgE., Rozenka, Н. Krasuska, N. Krasuska, N. Rosenqvist, К. Havlickova были проведены с целью анализа стоимости биотоплива, полученного из энергетических культур, выращиваемых в различных странах, включая Швецию, Чехию и Польшу [7].

Авторами выполнено сравнительное исследование стоимости биотоплива, полученного из мискантуса, конопли и ивы. В свою очередь, Л. Кристерссон и Т. Эрикссон исследовали влияние сельскохозяйственных мероприятий на скорость роста гибридов тополя и ивы в Швеции [8].

В России ученые так же работают над моделированием процессов роста и уборки биомассы. Они провели исследования по созданию функциональной модели биоэнергетического комплекса, которая позволила бы оптимизировать технологические процессы производства биотоплива и выбрать наиболее эффективные решения. Кроме того, они установили количественные соотношения между параметрами комплекса и техническими параметрами оборудования. Однако, экономические аспекты производства биотоплива пока не изучены.

Осуществлению комплексных исследований, охватывающих весь спектр технических процессов, связанных с производством, транспортировкой и хранением биотоплива уделяется мало внимания. Топливообеспечение удаленных населенных пунктов с энергетических плантаций остается недостаточно изученным в научной литературе, особенно в контексте эффективности топливообеспечения из традиционных источников, требующего значительных ресурсов [9, 10].

При анализе эффективности топливообеспечения удаленных населенных пунктов от энергетических плантаций необходимо учитывать стоимость мероприятий по повышению надежности поставок энергетических материалов. Однако, предыдущие исследования не учитывали влияние случайных факторов на надежность топливообеспечения.

Важно рассматривать годовой спрос на топливо, его производство и годовые запасы в качестве случайных величин, так как все три фактора отчасти зависят от непредсказуемых природно-климатических условий. Уже с 60-х годов многие советские ученые проводили исследования длительных колебаний температур и связанных с ними проблем надежности топливообеспечения [11, 12].

Исследования надежности и маневренности топливоснабжения основывались на анализе долгосрочных наблюдений температуры воздуха в раз-

личных местах метеонаблюдений. В качестве репрезентативных точек рассматривались следующие: Екатеринбург для Урала, Барнаул для Западной Сибири, Иркутск для Восточной Сибири и так далее [13].

В данном исследовании приведены результаты анализа воздействия зимних колебаний температуры и продолжительности отопительных периодов на надежность системы теплоснабжения. Для этого были использованы данные о среднемесячных температурах с 1881 года, сгруппированные по экономическим районам СССР.

Важно отметить, что при оценке эффективности энергетических плантаций необходимо учитывать расходы, связанные с обеспечением надежности поставок топлива. Однако, до настоящего времени не было проведено исследований, включающих такие факторы, как годовая потребность в топливе, объем его производства в конкретном году и изменение запасов топлива с течением времени. Эти факторы непосредственно зависят от природно-метеорологических условий.

Исследования, основанные на долгосрочных колебаниях температуры воздуха, внесли значительный вклад в понимание проблемы надежности теплоснабжения. Отдельное внимание следует уделить ученым, которые внесли значительный вклад в данное направление лесовыращивания. К ним можно отнести Я.А. Мазура, А.С. Некрасова, М.А. Великанова, Л.С. Хрилева, В.И. Зоркальцева и других.

Но, несмотря на большое количество исследований, посвященных надежности теплоснабжения объектов различного назначения, до сих пор отсутствуют работы, посвященные этому важному вопросу.

На основе анализа научных исследований по выращиванию энергетических плантаций можно сделать вывод, что до настоящего времени недостаточно внимания уделялось исследованиям, направленным на создание технологических цепочек сквозного производства, включая конечный продукт - щепу.

Поэтому, для обеспечения долгосрочного развития, требуются дальнейшие исследования с целью разработки технологии продолжительного вы-

ращивания лесных культур в условиях среднего Поволжья и разработки соответствующего оборудования.

Таким образом, целью данного исследования является повышение эффективности работы лесного комплекса за счет совершенствования конструкции технологических средств, действующих в рамках сквозного технологического процесса плантационного выращивания леса в условиях степной и лесостепной климатических зон Среднего Поволжья.

Материалы и методы

Объект и предмет исследования

Данная работа является теоретическим изысканием в области плантационного лесовыращивания. Объект исследования: сквозной технологический процесс выращивания лесных плантаций. Предмет исследования: проект по ускоренному выращиванию деревьев с дальнейшей их переработкой на топливную щепу.

Сбор данных. Поиск и сбор материала осуществлялся в соответствии с концепцией предметного обзора [24]. Источниками послужили: единая библиографическая и сводная база данных рецензируемой научной литературы "Scopus"; многофункциональная поисковая платформа научных публикаций "Академия Google"; каталоги компаний Российской Федерации по продаже рубильных машин, размещенные в сети Интернет научные электронные библиотеки "ELibrary.ru" и "КиберЛенинка"; каталоги компаний Российской Федерации по продаже рубильных машин, размещенные в сети Интернет. Поиск осуществлялся по ключевым словам: «энергетические плантации», «топливная щепка», «переработка древесины на щепу», «мобильные рубильные машины», «топливная щепка для мини-котельных», «сквозные технологии лесовыращивания» и их прямые английские эквиваленты. Для сложных запросов использовались соответствующие литеральные операторы поисковых систем [41].

При проведении технико-экономического анализа использовались положения проектных решений по созданию, выращиванию и использованию лесных плантаций, изложенные в работе Л.И. Загидуллиной [8], а также методики определения эффективности от внедрения в производство новой техники [14].

Энергетические лесные плантации - это участки земли, на которых специально выращиваются быстрорастущие, энергонасыщенные или ценные породы деревьев. Они предназначены для производства конечной продукции., которая впоследствии может переработана механическим или химическим способом. На таких плантациях производятся ценные породы древесины, которые отличаются красивой текстурой и могут быть использованы в различных отраслях промышленности, таких как производство мебели или строительные работы. Также на плантациях выращиваются растения, которые используются для производства различных изделий, например, для производства прутьев для плетения, коры для изготовления гутта и эфирных масел, пробки, танинов [15, 16].

Одной из главных задач создания таких плантаций является ускорение процесса выращивания сельскохозяйственной продукции, улучшение ее качества и повышение эффективности использования земельных площадей.

Для ее решения предпринимается активное производство, которое включает химическую обработку, механизацию, мелиорацию и особые методы агротехники. Кроме того, для достижения оптимальных результатов производства, осуществляется тщательный подбор пород деревьев. [15, 16].

В России имеется значительный опыт плантационного выращивания лесных культур. В 1980-х годах было создано примерно 36 тысяч гектаров лесосырьевых плантаций. Однако в 1990-х годах объемы таких работ начали сокращаться и в конечном итоге почти полностью прекратились.

Организация выращивания плантационных лесов включает несколько ключевых аспектов. К ним относятся тщательная обработка почвы перед посадкой, агротехнические процедуры, борьба с болезнями и вредителями, регулярная обрезка, внесение удобрений, орошение и т. д. Такие меры помогают создать простые фитоценозы, то есть перейти от лесоводства к арбористике [17, 18].

Так же в работе использовались общелогические методы исследования в части анализа режимов работы различного рубильного оборудования для древесного сырья, который позволил установить,

что в настоящее время выпускаются рубильные машины со следующими типами механизмов резания древесины [19, 20].

Существует несколько видов рубильных машин, которые различаются видом измельчающего механизма: барабанные, дисковые, роторные, молотковые и шредеры [21, 22, 23].

Результаты

Выбор породы. Существуют два типа плантаций: длительного пользования и циклические, которые начинаются сразу после уборки предыдущего выращивания. При выборе древесных пород следует учесть плотность выращиваемой древесины, так как она является определяющим фактором для теплоты сгорания и интенсивности роста древесной биомассы на протяжении жизни насаждения (табл. 1).

Таблица 1

Плотность древесины в абсолютно сухом состоянии и теплота её сгорания

Table 1

Density of wood in absolutely dry state and its heat of combustion

Порода/ Breed	Плотность древесины, кг/ м ³ / Wooddensity, kg/m ³	Теплота сгорания, кВтч/ м ³ / Heat of combustion, kWh/m ³
Сосна обыкновенная/ Commonpine	480	1500
Лиственница сибирская/ Siberianlarch	620	1600
Ясень ланцетный/ Lanceolateash	680	1850
Береза повислая/ Hangingbirch	620	1670
Ольха черная/ Blackalder	495	1300
Осина/ Aspen	415	1200
Тополь бальзамический/ Poplarbalsamic	425	1230
Ива древовидная/ Willowtree	425	1230
Дуб черешчатый/ Petioleoak	700	1850
Клен остролистный/ Sharpleafmaple	653	1670

Источник: открытые данные Интернета

Source: Open Internet data

Обработка данных проводилась на основании «принципа ближайшего соседа». Для решения использовался агломеративный иерархический алгоритм классификации. В качестве расстояния между объектами принято обычное евклидово расстояние. Результаты иерархической классификации объектов представлены на рис. 1 в виде дендрограммы [24, 25, 26].

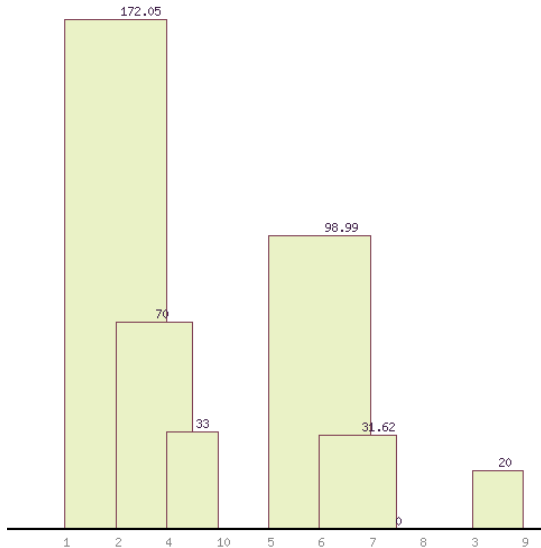


Рисунок 1. Иерархическая классификация пород поплотности древесины в абсолютно сухом состоянии и теплоты её сгорания

Figure 1: Results of hierarchical classification of species according to wood density in absolutely dry state and its calorific value

Источник: Собственные вычисления авторов
Source: Authors' own calculations

В результате расчета образовано 3 кластера: S(1,2,4,10), S(3,9), S(5,6,7,8). В первый кластер вошли 4 породы: сосна обыкновенная, лиственница сибирская, береза повислая, клен остролистный. Первый кластер представлен породами, имеющими высокую плотность древесины и среднюю по выборке теплоту сгорания. Второй кластер представлен двумя породами: ясень ланцетный, дуб черешчатый. Это породы, имеющие наивысшие показатели в выборке плотности древесины и теплоты сгорания. В третий кластер вошли следующие 4 породы: ольха черная, осина, тополь бальзамический, ива древовидная. Это группа быстрорастущих пород, которые имеют небольшую плотность древесины, но высокие показатели в своей группе теплоты ее сгорания.

Поэтому, руководствуясь значениями теплоты сгорания древесной биомассы пород данного кластера, закладка энергетических плантаций наиболее благоприятна с применением быстрорастущих пород ивы и тополя. Саженьцы данных пород в первые годы жизни имеют высокие показатели роста и накопления биомассы.

Уход за плантациями проводится в зависимости от конечной цели, например, для получения пиловочника производится удаление ветвей и побочных побегов. Технология создания плантационных культур во многом схожа с обычным лесоразведением, однако основное отличие заключается в использовании крупномерных саженцев [27, 28].

Лесные плантации могут быть созданы для разных целей и, это объясняет разнообразие их видов. Важным является регулярное наблюдение за развитием и численностью насекомых. В случае, если вредители представляют реальную угрозу, применяются различные методы борьбы с ними, включая как биологические, так и химические. Кроме того, чтобы обезопасить плантации от диких животных производится ограждение, а также создаются специальные кормовые угодья [31, 32].

Выбор посадочного материала имеет ключевое значение при выращивании плантаций. При этом необходимо учесть происхождение семян и вегетативного материала, генотип деревьев и целевое назначение плантаций.

На примере плантаций, где основной целью является получение плодов кедра, ореха и других культур, следует отбирать особей с высокой плодородностью, крупными плодами и шишками, а также небольшой высотой ствола, чтобы наклон ствола был минимальным [33, 34].

Для выращивания древесины с быстрым темпом прироста необходимо выбирать деревья с большой высотой и диаметром. Также важно учитывать происхождение семян, поскольку нерайонированные семена могут создать нежелательные качества в регионе выращивания. Плантации, созданные с использованием нерайонированного материала, могут также стать неустойчивыми к внешним факторам окружающей среды [35, 36].

При выборе участка для закладки плантаций наибольшее внимание следует уделять плодородности почвы. Перед посадкой растений проводятся планировка участка и тщательная обработка почвы.

Также обеспечивается оптимальный водный режим почвы, для чего на переувлажненных участках проводится мелиорация с помощью дренажных борозд глубиной до 40 см [37, 38].

Для улучшения минерального питания растений используются различные удобрения, а также проводятся известкование и подкисление почв по необходимости. Размещение растений на площади плантаций зависит от биологических особенностей деревьев или кустарников и от целевого назначения культур [39,40].

Выбор рубильного оборудования

Важным условием успешного создания энергетических плантаций и планирования их территории является разумная организация переработки древесных отходов, возникающих при выращивании плантационных деревьев и переработки древесного сырья для получения конечной продукции. Чтобы решить задачу переработки тонкомерных древесных материалов эффективно, рекомендуется использовать мобильные рубильные машины.

Результаты проведенный анализа режимов работы основных типов рубильных машин представлены в табл. 2. Образцами для сравнительного анализа конструкции рубильного оборудования послужили по 2 экземпляра рубильных машин, отличающихся типом механизма резания. Всего для анализа представлено 10 рубильных машин.

Сравнительный анализ режимов работы рубильных машин проводился методом к-средних, разработанным Маккуином (1967) и на данный момент является одним из наиболее широко используемых неиерархических методов.

Количество кластеров в методе к-средних должно быть определено методом локтя, который является распространенным способом определения соответствующего количества кластеров (рис. 2). С каждым новым кластером общая вариация в каждом кластере становится все меньше и меньше. В крайнем случае, когда кластеров столько, сколько точек, результат равен нулю.

Таблица 2

Сравнительный анализ режимов работы рубильных машин

Table 2

Comparative analysis of chipper operating modes

Обозначение машины / Machine designation	Мах.разм.перераб. древесины, мм / Maximum size of wood to be processed, mm	Производительность, м ³ /ч / Capacity, m ³ /h	Уст.мощность, кВт / Installed power, kW
Рубмастер МОБИ-300 (дисковая) / Rubmaster MOBI-300 (disk)	300	40	100,3
PPM – 9 (дисковая) / RRM - 9 (disk)	300	25	100,3
Skorpion 350 SDB (барабанная) /Skorpion 350 SDB (drum)	300	16	63
Gandini 30/60 TPS (барабанная) /Gandini 30/60 TPS (drum)	300	18	110
Мульчер FAE DML (ротаторный) / FAE DML mulcher (rotary)	120	6,5	52
Мульчер Serrat FX4 T2300 (ротаторный) / mulcher Serrat FX4 T2300 (rotary)	280	10,8	110
Дробилка молотковая МД 5х5 / Hammercrusher MD 5×5	100	3,8	22
Молотковая дробилка СМД-112 / Hammercrusher SMD-112	150	4,5	18,5
Шредер PPM-1/ shredder RRM-1	150	0,25	7,5
Шредер ОШВ 600 / shredder OSHV 600	150	1,25	30

Источник: открытые данные производителей оборудования

Source: open data from equipment manufacturers

Однако в большинстве случаев уменьшение общей вариации становится меньше после определенного момента.

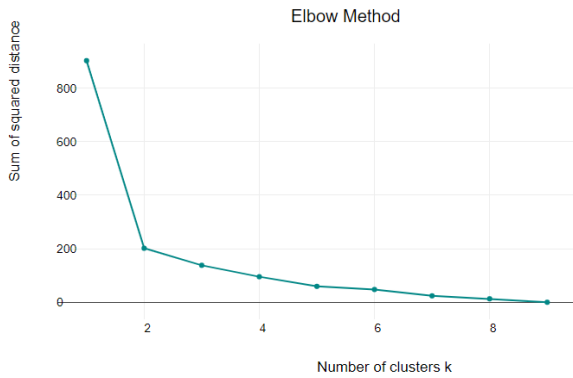


Рисунок 2. Зависимость для выбора количества кластеров при сравнительном анализе режимов работы рубильных машин

Figure 2: Dependence for selecting the number of clusters in the comparative analysis of chopping machine operation modes

Источник: Собственные вычисления авторов
Source: Authors' own calculations

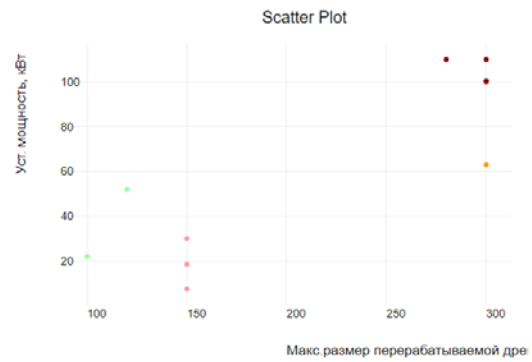


Рисунок 4. Идентификация кластеров при сравнительном анализе параметров конструкций рубильных машин

Figure 4. Identification of cluster in comparative analysis of chipper design parameters

Источник: Собственные вычисления авторов
Source: Authors' own calculations

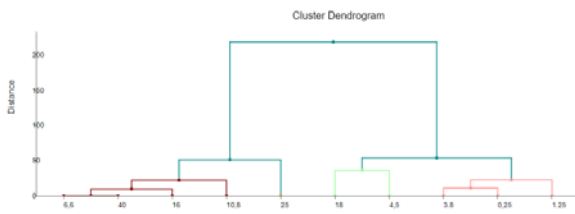


Рисунок 3. Иерархическая классификация рубильного оборудования по режимам работы

Figure 3. Hierarchical classification of chopping equipment by operating modes

Источник: Собственные вычисления авторов
Source: Authors' own calculations

Затем эта точка используется в качестве оптимального номера кластера. Если рассматриваемые переменные не имеют одинаковой единицы измерения, часто рекомендуется масштабировать данные перед кластерным анализом.

В результате расчета образовано 4 кластера: S(5,7), S(8,9,10), S(3),S(1,2,3,6) (рис. 3). В первый кластер вошли 2 машины: дробилка молотковая МД 5×5, мульчер FAE DML. Первый кластер представлен машинами, имеющими наименьшие показатели режимов работы. Второй кластер представлен тремя измельчителями: шредер ОШВ 600, молотковая дробилка СМД-112, шредер PPM-1.

Это машины, имеющие средние показатели режимов работы в выборке максимального размера перерабатываемой древесины, производительности и установленной мощности.

В третий кластер вошла одна машина: Skorpion 350 SDB. Этот кластер характеризуют высокие значения максимального размера перерабатываемой древесины и средние значения производительности и установленной мощности.

В четвертый кластер определились следующие рубильные машины: Рубмастер МОБИ-300, PPM – 9, Gandini 30/60 TPS и мульчер Serrat FX4 T2300. Данная группа рубильного оборудования обладает наивысшими показателями в выборке максимального размера перерабатываемой древесины, производительности и установленной мощности (рис. 4).

Поэтому, руководствуясь наивысшими значениями показателей режимов работы для переработки продукции плантационных лесов, целесообразно использовать дисковые рубильные машины.

В случае с измельчителями тракторного типа маломощные дисковые дробилки обычно используются в качестве навесного и прицепного оборудования из-за их небольшого веса. Напротив, более мощные устройства, такие как дисковые или барабанные машины с усовершенствованными системами подачи, чаще устанавливаются на прицепах. Большинство прицепов способны развивать скорость до 80 километров в час на дорогах общего пользования, а тяжелые прицепы оснащены тормозами и световыми приборами.

К преимуществам прицепной техники также относится возможность установки бункера для сбора щепы, который обычно оснащен подъемно-поворотной системой для обеспечения быстрой разгрузки. Важно отметить, что мобильные измельчители, подключаемые к ВОМ трактора, имеют ограничения.

Их вес, мощность и, соответственно, производительность ограничены мощностью двигателя трактора. Причем такие машины отличаются большой мобильностью и доступной ценой.

На основе изложенного можно сделать вывод, что для переработки древесного сырья, полученного с лесных плантаций, наиболее целесообразно использовать навесные рубильные машины. При сравнении характеристик серийно производимых дробилок для тонкомерной древесины можно сделать вывод, что наиболее подходящим типом измельчителя является дисковая рубильная машина.

Основные технико-экономические показатели проекта плантационного лесовыращивания

При создании лесных культур при проектировании сквозной технологии лесовыращивания предполагалось в качестве посадочного материала использовать саженцы-барбателлы тополя бальзамического с нормой высадки 2200 шт/га, которые довольно часто используют за рубежом для закладки энергетических плантаций. Барбателла представляет собой черенковый саженец с однолетним побегом и двулетней корневой системой.

Наилучшим участком для размещения плантации тополя являются заброшенные сельскохозяйственные земли (24 га), расположенные на территории ОГУ «Вязовский лесхоз». Участок расположен в пойме реки, где на влажной почве хорошо растут бальзамические тополя. Участок (категория территории), выбранный для расчетов проекта, относится к залежным землям, лесополосам, бывшим сельскохозяйственным землям, старым невосстановленным лесополосам основных видов и пустошам с удаленными или сгнившими пнями, участкам без естественного возобновления, где возможно постоянное культурное выращивание деревьев (рис. 5). На площади участка предлагается сплошная обработка участка трактором Беларус-3522 с мульчером SERRAT FX5 T2000.



Рисунок 5. Местоположение участка для проведения проектных работ по плантационному лесоразведению
Figure 5. Location of the site for plantation afforestation project works

Источник: Гугл.Карты
Source: GoogleMaps

Проект ускоренного выращивания приведет к увеличению производства древесины первого поколения на 30 % по сравнению с традиционным выращиванием бальзамического тополя. Все затраты на создание плантации (24 га) определены в размере 647503,2 рубля. Производительность лесной плантации тополя бальзамического при оптимальном режиме выращивания по годам произрастания возрастает с 80,2 м³/га (5 лет) до 1899,1 м³/га (15 лет), т.е.

увеличение объема древесного сырья составляет в 23 раза.

При этом следует отметить, что объем произрастания после 10 лет выращивания плантации является значительным 820,5 м³/га. Экономическое обоснование проектируемых мероприятий заключается в расчете затрат на закладку лесной плантации и получении дохода от продажи полученной продукции. Результаты исследований показали, что приоритетным, с экономической точки зрения, является срезание древесины тополя бальзамического, выращиваемого на энергетических плантациях в первые 5 лет после высадки культур. Об этом свидетельствует индекс доходности, который у плантаций возрастом 5 лет (4,79) выше индекса доходности плантации возрастом 10 и 15 лет соответственно (4,61).

Оценка эффективности применения опытного образца рубильной машины новой конструкции

Для оценки эффективности применения прототипа в рамках новой технологии лесовосстановления на производственном участке был создан опытный образец (рис. 6, а, б), включающий следующие конструктивные компоненты: трактор, механизм отбора мощности, прицепное устройство, транспортная система для щепы, механизм формования, устройство для загрузки, измельчительный диск с ножами, гидравлический цилиндр, редуктор, система привода механизма подачи, тормозная система, муфта, шасси, система привода рубильного механизма и валы привода редуктора.

Процесс измельчения древесного материала этой машины осуществляется следующим образом: загрузочное устройство машины устанавливается возле скопления древесного сырья [37, 38], осуществляя маневрирование трактора.

Затем, с помощью гидравлического цилиндра, подъемный ковш переводится в рабочее положение, чтобы собранное древесное сырье размещалось на плоскости загрузочного патрона.

Механизм формирования в виде козырьков, размещенных вокруг входного окна загрузочного

патрона, позволяет загрузить тонкомерный материал, который находится вне плоскости приемного окна.

Пальчиковое устройство захватывает древесину, расположенную на поверхности загрузочного ковша. Сырье, которое доставляется, таким образом, в загрузочный патрон, перемещается в зону рубки с помощью подающих валков и подвергается измельчению рубильным диском с ножами.

Часовая продуктивность данной рубильной машины была измерена с использованием хронометра в течение одного часа работы экспериментального дискового измельчителя. Результаты измерений были записаны в специальный журнал наблюдений.

Определение пород деревьев на лесосеке проводилось визуально, а весовые параметры древесного сырья рассчитывались путем обмера с помощью рулонной линейки и последующего пересчета объемных значений в весовые параметры.

Проведенные полевые эксперименты показали, что данная дисковая дробилка способна перерабатывать 38,1 п. м³/ч древесного сырья за час работы. Экономические показатели работы новой машины были установлены в соответствии с действующими нормативами.

Стоимость экспериментального варианта измельчителя была определена исходя из стоимости ее комплектующих элементов и составила 409 983,05 руб.

Внедрение новой конструктивной схемы механизма привода позволяет значительно увеличить производительность машины для измельчения тонкомерного древесного сырья. Это особенно актуально для получения более эффективных рабочих параметров процесса получения щепы из продукции плантационных лесов [19, 20].

Проведенные расчеты показывают, что внедрение этой новой техники в производственный процесс плантационного лесовыращивания приводит к годовой экономической результативности в размере 1 263 091,2 руб. Дополнительные капиталовложения окупятся всего за 0,2 года.

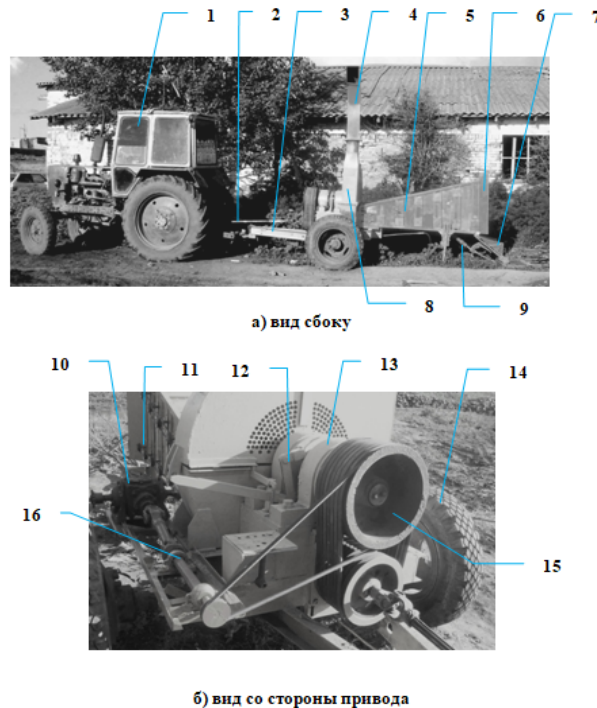


Рисунок 6. Общая схема опытного образца машины для измельчения продукции плантационных лесов
 Условные обозначения: 1 – трактор; 2 – вал отбора мощности; 3 – прицепное устройство; 4 – щепопровод; 5 – загрузочный патрон; 6 – механизм формования; 7 – загрузочный ковш; 8 – измельчающий диск с ножами; 9 – гидроцилиндр; 10 – редуктор; 11 – система шкивов привода механизма подачи; 12 – ленточный тормоз; 13 – муфта; 14 – шасси; 15 – система шкивов привода рубильного механизма; 16 – валы привода редуктора

Figure 6. General scheme of the prototype machine for product shredding plantation forests

Notation: 1 – tractor; 2 – power take-off shaft; 3 – trailer device; 4 – wood chip pipeline; 5 – loading chuck; 6 – forming mechanism; 7 – loading bucket; 8 – crushing disk with knives; 9 – hydraulic cylinder; 10 – reducer; 11 – pulley system of drive mechanism feed; 12 – belt brake; 13 – clutch; 14 – chassis; 15 – pulley system of drive chopping mechanism; 16 – reducer drive shafts

Источник: собственные фотоснимки авторов

Source: authors' own photos

Обсуждение

Проведенный в рамках данной работы технико-экономический анализ положений сквозной технологии плантационного лесовыращивания показал практическую значимость проведенных исследований. Аналогичных работ выявлено не было, однако идея плантационного лесоразведения рассматривалась и апробировалась ранее, но в последнее время в РФ она не применяется.

Хотя с увеличением масштабов планетарной экономики возникает все большая потребность в эффективном использовании ископаемых ресурсов, особенно топлива и энергии. В связи с этим, развитые страны активно проводят исследования с целью поиска альтернативных источников энергии.

По прогнозам экспертов, доля ископаемого топлива в мировом энергобалансе должна снизиться до 76 % к 2020 году, 45 % к 2050 году и 30 % к 2060 году. В последние годы особое внимание уделяется использованию древесного топлива, которое считается более экологичным, чем ископаемые источники.

Киотский протокол, принятый в 1998 году, стал важным катализатором процесса развития энергетики на основе древесного топлива. Швеция, Канада, Австрия и США – страны, которые успешно развивают энергетические плантации, специально выращивая леса для использования их биомассы в производстве тепловой и электрической энергии.

Инновационное использование биотоплива на энергетических плантациях позволяет диверсифицировать источники энергии, снизить затраты на электроэнергию в отдаленных населенных пунктах, создать новые рабочие места для местного населения, помочь сохранить ресурсы и уменьшить содержание парниковых газов и других загрязняющих веществ в атмосфере [21].

Новизна рассматриваемых мероприятий заключается том, что в условиях степной и лесостепной природно-климатических применение данных технологий ранее не проводилось. Также новизной обладает предлагаемое рубильное оборудование для переработки древесного сырья в топливную щепу, защищенное патентом РФ на полезную модель.

Результаты проведенного технико-экономического анализа достаточно достоверны, так как они сопоставимы с выводами, проводимых ранее исследований, итоги которых находятся в открытом доступе в сети Интернет.

Заключение

Лесной кодекс Российской Федерации, вступивший в силу в 2006 году, предусматривает создание и использование лесных насаждений в составе плантаций. В соответствии с положениями кодекса лесные участки предоставляются в аренду гражданам и юридическим лицам для посадки энергетического леса.

Важно отметить, что в начальной стадии формирования лесосырьевых плантаций потребуются существенные финансовые вложения, которые окупятся только через продолжительное время.

Проведенные исследования свидетельствуют о высокой эффективности внедрения прогрессивных технологий в лесной сектор России, но требуется создание высокоэффективных средств для производства и доставки конечной продукции потребителю потому, что мероприятия по ускоренному выращиванию деревьев позволяют увеличить прирост деревьев первого поколения на 30% по сравнению с традиционным выращиванием тополя бальзамического.

Все затраты на создание плантации (24 га) определены в размере 647 503,2 руб., а урожайность лесных плантаций тополя бальзамического при наилучшем варианте выращивания после нескольких лет возрастает с 80,2 м³/га (5 лет) до 1899,1 м³/га (15 лет), т.е. увеличение объема древесного сырья составляет в 23 раза.

Экономические расчеты показывают, что разработанная нами новая конструкция прицепной дисковой рубильной машины является эффективным способом получения щепы так, как приводит к годовой экономической эффективности в размере 1 263 091,2 руб. Дополнительные капиталовложения окупятся всего за 0,2 года.

Список литературы

1. Драпалюк М. В. Ресурсосберегающие технологии и техника при плантационном лесовыращивании и заготовке древесного сырья / М. В. Драпалюк, П. И. Попиков // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе : Материалы международной научно-практической конференции. 2021. P. 350-357. EDNOIGFWG. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47155573>.
2. Englund X., Dimitriou O., Rosenqvist I. Landscape Metrics and Land-Use Patterns of Energy Crops in the Agricultural Landscape. *Biomass and Bioenergy*. 2023. 1-14. DOI: 10.1007/s12155-023-10584-9.
3. Popp J., Kovács S., Oláh J., Divéki Z., Balázs E. (2021) Bioeconomy: biomass and biomass-based energy supply and demand. *New Biotechnol* 60:76–84. –URL:<https://doi.org/10.1016/j.nbt.2020.10.004>.
4. Shortall O. K., Anker H. T., Sandøe P., Gamborg C. (2019) Room at the margins for energy-crops? A qualitative analysis of stakeholder views on the use of marginal land for biomass production in Denmark. *Biomass Bioenergy* 123:51–58. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.01.042>.
5. Mola-Yudego B., Xu X., Englund O., Dimitriou I. (2021) Reed canary grass for energy in Sweden: yields, land-use patterns, and climatic profile. *Forests* 12(7): 897. – URL: <https://doi.org/10.3390/f12070897>.
6. Spinelli R., Mihelič M., Kováč B., Heger P., Magagnotti N. (2023). Logging residue chipping options for short rotation poplar plantations. *iForest* 16: 23-29. – DOI: 10.3832/ifer4130-015 [online 2023-01-15].

7. Шишкин А. С. Плантационное лесовыращивание на отвалах / А. С. Шишкин, Р. Т. Мурзакуматов // Охрана, инновационное восстановление и устойчивое управление лесами. Forestry–2023. Материалы Международного лесного форума. Воронеж, 2023. С. 236-242. – EDNYKMQDC. – DOI: 10.58168/Forestry2023_236-242. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54975797>.
8. Загидуллина Л. И. Лесные плантации. Основы создания, выращивания и использования: учебное пособие / Л. И. Загидуллина. – Ульяновск : УЛГУ, 2018. – 185 с. – URL: <https://www.ulsu.ru/media/documents.pdf>.
9. Коновалов В. Ф. Селекционно-генетически аспекты плантационного лесовыращивания Pinus Sylvestris в республике Башкортостан / В. Ф. Коновалов, Р. Р. Байтурина, Д. А. Рафикова // Российский электронный научный журнал. 2023. № 1 (47). С. 60-72. - EDN: ZBBIOS. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50383467>. DOI: 10.31563/2308-9644-2023-47-1-60-72.
10. Оценка перспективности использования клонов гибридных тополей и осины для плантационного лесовыращивания в условиях Северо-Запада России / А. К. Бойцов, А. В. Жигунов, А. А. Григорьев, А. С. Бондаренко // Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Материалы третьей международной научно-технической конференции. Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова. 2018. С. 40-43. - EDN: XRQBLF. URL: <https://elibrary.ru/xrqblf>.
11. Любов В. К. Повышение эффективности энергетического использования биотоплива / В. К. Любов, И. И. Цыпнятов // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 1. С. 172–185. - EDN: JSRLLO. DOI: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-1-172-185>. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50260969>.
12. Шегельман И. Р. Типизация лесных территорий по природно-производственным условиям на основе кластерного анализа / И. Р. Шегельман, П. В. Будник // Изв. ВУЗов. Лесной журнал, 2021. № 1. С. 120–137. - EDN: XORRKH. - DOI: 10.17238/issn0536-1036. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44729465>.
13. Фокин С. В. Современное состояние лесного и лесоперерабатывающего комплекса Западной Сибири / С.В.Фокин, О.А. Фомина // Материалы II всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Современные научно-практические решения в АПК». Государственный аграрный университет Северного Зауралья. 2018. С. 149-152. -EDN: VPOOIN-URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36659898>.
14. Шамсутдинова А. И. Внедрение инноваций в лесное хозяйство РФ и перспективы их развития / А. И. Шамсутдинова, Г. Ф. Илалова, А. Р. Мухтарова // Наука молодых – будущее России : Сборник научных статей 2-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых. В 5 т. Курск, 13–14 декабря 2017 года / отв. ред. А.А. Горохов. Т. 5. – Курск : ЗАО «Университетская книга», 2018. – С. 211-213. – EDN YBBGRQ. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=31736899>.
15. Третьякова И. Н. Плантационное лесовыращивание лиственницы сибирской через технологию соматического эмбриогенеза в культуре in-vitro / И. Н. Третьякова, М. Э. Пак // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. 2021. Т. 24. С. 151-153. EDN: PDIOIU. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47954039>.
16. Фокин С. В. Экологосберегающие технологии при ведении современных агролесомелиоративных мероприятий / С. В. Фокин, О. Н. Шпортько, А. С. Бурлаков // Научная жизнь. 2017. № 7. С. 78-91. EDN: ZHTTGX. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30058020>.
17. Фокин С. В. Об использовании древесных отходов при восстановлении защитных лесных полос / С. В. Фокин, О. Н. Шпортько, В. В. Цыплаков // Научная жизнь. 2015. № 6. С. 134-142. EDN: VJOZRD. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25388509>.
18. Каракчиева И. В. Система оценки экономической доходности древесных ресурсов леса и экономической доступности лесных участков / И. В. Каракчиева, С. И. Чумаченко // Фундаментальные исследования. 2016. № 7-2. С. 372–377. EDN: WGCGIZ. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26417157>.
19. Фокин С. В. Об основных видах энергетической древесины / С. В. Фокин, О. А. Фомина // Forest Engineering : материалы научно-практической конференции с международным участием. 2018. С. 273-276. EDN: SMBQRR. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35278500>.

20. Fokin S., Eskov D., Medvedeva P. (2022). On clearing agricultural land from undesirable vegetation as a way to improve soil fertility. *BIO Web of Conferences*. 43. 02029. 10.1051/bioconf/20224302029.-EDN: ZIPPLT-DOI: 10.1051/bioconf/20224302029- URL:<https://elibrary.ru/item.asp?id=50001765>.
21. Фокин С. В. О перспективных конструкциях рубительных машин / С. В. Фокин, Э. А. Ахметов // *Аграрный научный журнал*. 2020. № 7. С. 85-88. – EDN: MVPDBZ. – DOI: 10.28983/asj.y2020i7pp85-88. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43561102>.
22. Фокин С. В. Способы транспортирования щепы из рубительных машин / С. В. Фокин, О. А. Фомина // *Научная жизнь*. 2018. № 2. С. 10-15. - EDN: YVTTJL. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32788506>.
23. Fokin S., Eskov D., Medvedeva P., Shportko O., Fomina O. (2021). On technical means of obtaining wood chips, as a way to increase soil fertility. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 723. 042025. 10.1088/1755-1315/723/4/042025. - EDN: BWAKIW. – DOI: 10.1088/1755-1315/723/4/042025. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46022403>.
24. Тихонова Е. В. Обзор предметного поля как метод синтеза научных данных / Е. В. Тихонова, Н. М. Шленская // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2021. – № 3. – С. 11-25. – DOI 10.36107/spfr.2021.257. – EDN UUDXHJ. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48003100>.
25. Фомина О. А. К обоснованию конструктивных параметров щепопроводарубительной машины для измельчения отходов лесозаготовок / О. А. Фомина, С. В. Фокин, А. В. Касторнова // *Аграрный научный журнал*. 2023. № 3. С. 154-159. - EDN: YEZGLS. – DOI: 10.28983/asj.y2023i3pp154-159. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50403292>.
26. Фокин С. В. К обоснованию конструктивно-технологических параметров механизма выброса щепы из дисковой рубительной машины / С. В. Фокин, О. А. Фомина // *Лесной вестник. Forestry Bulletin*. 2021. Т. 25. № 2. С. 99-107. - EDN: AQHUAB. - DOI: 10.18698/2542-1468-2021-2-99-107. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45662503>.
27. Rowe R., Keith A., Elias D., Mcnamara N. (2020). Soil carbon stock impacts following reversion of *Miscanthus × giganteus* and short rotation coppice willow commercial plantations into arable cropping. *GCB Bioenergy*. 12. 10.1111/gcbb.12718.-DOI:10.1111/gcbb.12718. - URL :https://www.researchgate.net/publication/342018705_Soil_carbon_stock_impacts_following_reversion_of_Miscanthus_giganteus_and_short_rotation_coppice_willow_commercial_plantations_into_arable_cropping.
28. Технологический алгоритм производства продукции из порубочных остатков / А. П. Мохирев, К. П. Рукомойников, М. М. Герасимова, С. О. Медведев, М. А. Зырянов // *Изв. вузов. Лесн. журн*. 2023. № 1. С. 153–171. – EDN: RMNTFL. – DOI: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-1-153-171>. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=rmntfl>.
29. Паршина Е. И. Платационное выращивание *Pinus sibirica* Du Tour в среднетаежной зоне Республики Коми / Е. И. Паршина, О. В. Дымова, Е. В. Титов // *Изв. вузов. Лесн. журн*. 2023. № 3. С. 195–204. EDN: NTEOKN. DOI: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-3-195-204>. URL:<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=53987640>.
30. Платонов А. А. Комплексное управление лесной растительностью: этапы и перспективы развития / А. А. Платонов // *Лесотехнический журнал*. – 2023. – Т. 13. – № 2 (50). – С. 142–157. – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.2/8>. - URL: <http://lestehjournal.ru/journal/2023/no-2-50/kompleksnoe-upravlenie-lesnoy-rastitelnostyu-etapy-i-perspektivy-razvitiya>.
31. Xu X., Mola-Yudego Blas. (2021) Where and when are plantations established? Land-use replacement patterns of fast-growing plantations on agricultural land. *Biomass and Bioenergy*. 144. 105921. 10.1016/j.biombioe.2020.105921. DOI:10.1016/j.biombioe.2020.105921. URL:https://www.researchgate.net/publication/347890804_Where_and_when_are_plantations_established_Land-use_replacement_patterns_of_fast-growing_plantations_on_agricultural_land.
32. Морозов, А. Е. Формирование естественных и искусственных молодняков на сплошных вырубках / А. Е. Морозов, В. Н. Южаков // *Молодой ученый. Международный научный журнал. Экология*. – 2022. – № 5 (400). – С. 296–298. – EDN: DNRPEO-URL: <https://elibrary.ru/dnrpeo>.

33. Hale D., Morzillo A. Landscape characteristics and social factors influencing attitudes toward roadside vegetation management. *Landscape Ecology*. 2020;35(9): 2029. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01078-6> URL:https://www.researchgate.net/publication/343413576_Landscape_characteristics_and_social_factors_influencing_attitudes_toward_roadside_vegetation_management.
34. Bollenbacher B. L.; Graham R. T.; Reynolds K. M. Regional forest landscape restoration priorities: Integrating historical conditions and an uncertain future in the Northern Rocky Mountains. *J. For.* 2014, 112, 474–483, DOI:10.5849/jof.13-086. URL: https://www.researchgate.net/publication/265390429_Regional_Forest_Landscape_Restoration_Priorities_Integrating_Historical_Conditions_and_an_Uncertain_Future_in_the_Northern_Rocky_Mountains.
35. Manner J., Ersson B. T. Mechanized tree planting in Nordic forestry: Simulating a machine concept for continuously advancing site preparation and planting. *J. For. Sci.* 2021, 67, 242–246, DOI:10.17221/203/2020-JFS.- URL:https://www.researchgate.net/publication/351545154_Mechanized_tree_planting_in_Nordic_forestry_simulating_a_machine_concept_for_continuously_advancing_site_preparation_and_planting.
36. Ramantswana M., Guerra, S., Ersson B. T. (2020). Advances in the Mechanization of Regenerating Plantation Forests: a Review. *Current Forestry Reports*. 6. 10.1007/s40725-020-00114-7. DOI: 10.1007/s40725-020-00114-7 - URL: https://www.Researchgate.net/publication/341108827_Advances_in_the_Mechanization_of_Regenerating_Plantation_Forests_a_Review/citation/download.
37. Arenas J., Escudero A., Mola I., Casado M. Roadsides: An opportunity for biodiversity conservation. *Applied Vegetation Science*. 2017; 20(4): 527. DOI: <https://doi.org/10.1111/avsc.12328>. URL: https://www.researchgate.net/publication/318330588_Roadsides_An_opportunity_for_biodiversity_conservation.
38. Korshun, V. Energy efficiency in forestry machinery / V. Korshun, I. Kuchar, A. Kamaukhov // 2019 International Science and Technology Conference "EastConf", EastConf 2019, Vladivostok, March 01–02 2019. – Vladivostok, 2019. – P. 8725311. – EDN: JZPYIO-DOI 10.1109/Eastonf.2019.8725311. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41697018>.
39. Любов В. К. Повышение эффективности энергетического использования биотоплива / В. К. Любов, И. И. Цыпнятов // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 1. С. 172–185. EDN: JSRLL0. DOI:<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-1-172-185>. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50260969>.
40. Gonsamo A., D'odorico P., Pellikka P. Measuring fractional forest canopy element cover and openness – definitions and methodologies revisited. *Oikos*. 2013; 122(9): 1283. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2013.00369.x>. URL: https://www.researchgate.net/publication/236158594_Measuring_fractional_canopy_element_cover_and_openness_-_definitions_and_methodologies_revisited.
41. Патент на полезную модель № 221 248 U1 , МПК B27L 11/00 (2006.01), A01G 23/00 (2006.01), СПКВ27L 11/00 (2023.08), A01G 23/00 (2023.08) Устройство для измельчения порубочных остатков / Фокин С. В, Медведева П. Ю.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Вавиловский университет. – № 2023123326; заявл. 08.09.2023; опубл. 26.10.2023 Бюл. № 30.
42. Оценка целесообразности применения мотоблоков и мини-тракторов для механизации работ в лесных питомниках / М. А. Никулин, В. А. Иванников, С. С. Самойленков, М. К. Асмоловский // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13. – № 3 (51). – С. 143–163. – Библиогр.: с. 157–163 (40 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.3/11>.

References

1. Drapalyuk, M. V. Resource-saving technologies and techniques in plantation forest growing and harvesting of wood raw materials / M. V. Drapalyuk, P. I. Popikov // In Collection: Energy efficiency and energy saving in modern production and society. Materials of the international scientific-practical conference. 2021. P. 350-357. -EDNOIGFWG (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47155573>.
2. Englund X., Dimitriou O., Rosenqvist I. Landscape Metrics and Land-Use Patterns of Energy Crops in the Agricultural Landscape. *Biomass and Bioenergy*. 2023. 1-14. DOI: 10.1007/s12155-023-10584-9.

3. Popp J., Kovács S., Oláh J., Divéki Z., Balázs E. (2021) Bioeconomy: biomass and biomass-based energy supply and demand. *New Biotechnol* 60:76–84. – URL:<https://doi.org/10.1016/j.nbt.2020.10.004>.
4. Shortall O. K., Anker H. T., Sandøe P., Gamborg C. (2019) Room at the margins for energy-crops? A qualitative analysis of stakeholder views on the use of marginal land for biomass production in Denmark. *Biomass Bioenerg* 123: 51–58. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.01.042>.
5. Mola-Yudego B., Xu X., Englund O., Dimitriou I. (2021) Reed canary grass for energy in Sweden: yields, land-use patterns, and climatic profile. *Forests* 12(7): 897. – URL: <https://doi.org/10.3390/f12070897>.
6. Spinelli R., Mihelič M., Kováč B., Heger P., Magagnotti N. (2023). Logging residue chipping options for short rotation poplar plantations. *Forest* 16: 23-29. – doi: 10.3832/ifor4130-015 [online 2023-01-15].
7. Shishikin, A. S. Plantation silviculture on dumps / A. S. Shishikin, R. T. Murzakmatov // Protection, innovative restoration and sustainable forest management. *Forestry – 2023 : materials of the International Forestry Forum. Voronezh, 2023. P. 236-242. - EDN YKMQDC. DOI: 10.58168/Forestry2023_236-242 (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54975797*.
8. Zagidullina, L. I. Forest plantations. Fundamentals of creation, cultivation and use: textbook / L. I. Zagidullina. - Ulyanovsk: UISU, 2018. - 185 p. (In Russ.). URL:<https://www.ulsu.ru/media/documents.pdf>.
9. Konovalov, V.F. Breeding and genetic aspects of plantation forest growing of *Pinus Sylvestris* in the Republic of Bashkortostan / V. F. Konovalov, R. R. Baiturina, D. A. Rafikova // Russian electronic scientific journal. 2023. № 1 (47). P. 60-72. EDN: ZBBIOC. URL:<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50383467>.(In Russ.)DOI:10.31563/2308-9644-2023-47-1-60-72.
10. Evaluation of the prospects of hybrid topoi and aspen clones for plantation cultivation in the North-West of Russia / A. K. Boitsov, A. V. Zhigunov, A. A. Grigoriev, A. S. Bondarenko // *Forests of Russia: politics, industry, science, education. Proceedings of the third international scientific and technical conference: St. Petersburg State Forest Engineering University named after S.M. Kirov. 2018. P. 40-43-EDN: XRQBLF-(In Russ.). URL:https://elibrary.ru/xrqblf*.
11. Lyubov V. K. Increasing the efficiency of energy utilization of biofuel / V. K. Lyubov, I. I. Tsypnyatov // *Izv. vuzov. Lesn. zhurn.* 2023. № 1. P. 172–185. EDN: JSRLLQ. DOI: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-1-172-185> (In Russ.). URL:<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50260969>.
12. Shegelman, I. R. Typization of forest areas by natural and production conditions on the basis of cluster analysis / I. R. Shegelman, P. V. Budnik // *Iz.VUZ Forestry Journal*, 2021. № 1.P. 120–137. EDN: XORRKH. DOI: 10.17238/issn0536-1036-(In Russ.). URL:<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44729465>.
13. Fokin, S.V. Modern state of the forest and timber processing complex of Western Siberia / S. V. Fokin, O. A. Fomina // *Proceedings of the II All-Russian (national) scientific-practical conference "Modern scientific and practical solutions in agroindustrial complex". Fomina // Proceedings of the II All-Russian (national) scientific-practical conference "Modern scientific and practical solutions in agroindustrial complex". State Agrarian University of the Northern Trans-Urals. 2018. P. 149-152. EDN: VPOOIN (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=36659898*.
14. Shamsutdinova A. I. Introduction of innovations in forestry of the Russian Federation and prospects for their development / A. I. Shamsutdinova, G. F. Ilalova, A. R. Mukhtarova // *Science of young people - the future of Russia : Collection of scientific articles of the 2nd International Scientific Conference of promising developments of young scientists. In 5 vol., Kursk, December 13-14, 2017 / Editor-in-Chief A.A. Gorokhov. Vol. 5. Kursk: Closed Joint Stock Company "Universitetskaya kniga", 2018. P. 211-213. EDN YBBGRQ (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=31736899*.
15. Tretyakova I. N. Plantation silviculture of Siberian larch through the technology of somatic embryogenesis in in-vitro culture / I. N. Tretyakova, M. E. Pak // *Fruit growing, seed production, introduction of woody plants. 2021. Vol. 24. P. 151-153. EDN: PDIOIU (In Russ.). URL:https://elibrary.ru/item.asp?id=47954039*.
16. Fokin, S. V. Ecological-saving technologies in the conduct of modern agroforestry measures / S. V. Fokin, O. N. Shportko, A. S. Burlakov // *Scientific Life. 2017. № 7. P. 78-91. EDN: ZHTTGX (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=30058020*.

17. Fokin S. V. On the use of wood waste in the restoration of protective forest belts / S. V. Fokin, O. N. Shportko, V. V. Tsyplakov // *Scientific Life*. 2015. № 6. P. 134-142. EDN: VJOZRD (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25388509>.
18. Karakchieva, I. V. System for assessing the economic profitability of woody forest resources and economic availability of forest areas / I. V. Karakchieva, S. I. Chumachenko // *Fundamental Research*. 2016. № 7-2. P. 372-377. (In Russ.) EDN: WGCGIZ. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26417157>.
19. Fokin S. V. About the main types of energy wood / S. V. Fokin, O. A. Fomina // *Forest Engineering. materials of the scientific-practical conference with international participation*. 2018. P. 273-276 (In Russ.). EDN: SMBQRR. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35278500>.
20. Fokin S., Eskov D., Medvedeva P. (2022). On clearing agricultural land from undesirable vegetation as a way to improve soil fertility. *BIO Web of Conferences*. 43. 02029. 10.1051/bioconf/20224302029. EDN: ZIPPLT. DOI: 10.1051/bioconf/20224302029 (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50001765>.
21. Fokin S. V., Akhmetov E. A. About promising designs of chipping machines // *Agrarny nauchny zhurnal*. 2020. № 7. P. 85-88. EDN: MVPDBZ. DOI: 10.28983/asj.y2020i7pp85-88. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43561102>.
22. Fokin S. V., Fomina O. A. Methods for transporting chips from chippers // *Scientific Life*. 2018. № 2. P. 10-15. EDN: YVTTJL (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32788506>.
23. Fokin S., Eskov D., Medvedeva P., Shportko O., Fomina O. (2021). On technical means of obtaining wood chips, as a way to increase soil fertility. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 723. 042025. 10.1088/1755-1315/723/4/042025. EDN: BWAKIW. DOI: 10.1088/1755-1315/723/4/042025. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46022403>.
24. Tikhonova E. V. Review of the subject field as a method of synthesizing scientific data / E. V. Tikhonova, N. M. Shlenskaya // *Storage and processing of agricultural raw materials*. 2021. № 3. P. 11-25. DOI 10.36107/spfp.2021.257. EDN UUDXHJ (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48003100>.
25. Fomina O. A., Fokin S. V., Kastornova A. V. On justifying the design parameters of a woodchip chipper for shredding logging waste // *Agrarny nauchny zhurnal*. 2023. № 3. P. 154-159. EDN: YEZGLS. DOI: 10.28983/asj.y2023i3pp154-159 (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50403292>.
26. Fokin S. V. To the substantiation of design and technological parameters of the mechanism of chip ejection from the disk chipper / S. V. Fokin, O. A. Fomina // *Forestry Bulletin. Forestry Bulletin*. 2021. T. 25. NO. 2.P. 99-107. EDN: AQHUAB. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-2-99-107. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45662503>.
27. Rowe R., Keith A., Elias D., Mcnamara N. (2020). Soil carbon stock impacts following reversion of *Miscanthus × giganteus* and short rotation coppice willow commercial plantations into arable cropping. *GCB Bioenergy*. 12. 10.1111/gcbb.12718. DOI:10.1111/gcbb.12718. URL: https://www.researchgate.net/publication/342018705_Soil_carbon_stock_impacts_following_reversion_of_Miscanthus_giganteus_and_short_rotation_coppice_willow_commercial_plantations_into_arable_cropping.
28. Technological algorithm for production of products from felling residues / A. P. Mokhirev, K. P. Rukomoynikov, M. M. Gerasimova, S. O. Medvedev, M. A. Zyryanov // *Izv. of universities. Lesn.zhurn*. 2023. № 1. C. 153-171. EDN: RMNTFL. DOI: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-1-153-171> (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=rmntfl>.
29. Parshina E. I., Dymova O. V., Titov E. V. Plantation cultivation of *Pinussibirica*DuTour in the middle taiga zone of the Komi Republic // *Izv. vuzov. Lesn.zhurn*. 2023. № 3. P. 195–204. EDN: NTEOKN. DOI: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-3-195-204> (In Russ.). URL:<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=53987640>.
30. Platonov, A. A. Integrated forest vegetation management: stages and prospects of development / A. A. Platonov // *Lesotechnicheskiy zhurnal*. 2023. Vol. 13. № 2 (50). P. 142-157. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.2/8>. (In Russ.). URL: <http://lestehjournal.ru/journal/2023/no-2-50/kompleksnoe-upravlenie-lesnoy-rastitelnostyu-etapy-i-perspektivy-razvitiya>.

31. Xu X., Mola-Yudego Blas. (2021). Where and when are plantations established? Land-use replacement patterns of fast-growing plantations on agricultural land. *Biomass and Bioenergy*. 144. 105921. DOI: 10.1016/j.biombioe.2020.105921.
32. Morozov A. E. Formation of natural and artificial young trees on clearcuts / A. E. Morozov, V. N. Yuzhakov // *Young Scientist. International scientific journal. Ecology*. - 2022. - № 5 (400). - P. 296-298. - EDN: DNRPEO (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/dnrpeo>.
33. Hale D., Morzillo A. Landscape characteristics and social factors influencing attitudes toward roadside vegetation management. *Landscape Ecology*. 2020;35(9): 2029. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01078-6>.
34. Bollenbacher B. L., Graham R. T., Reynolds K. M. Regional Forest landscape restoration priorities: Integrating historical conditions and an uncertain future in the Northern Rocky Mountains. *J. For.* 2014, 112, 474–483, DOI: 10.5849/jof.13-086. URL: https://www.researchgate.net/publication/265390429_Regional_Forest_Landscape_Restoration_Priorities_Integrating_Historical_Conditions_and_an_Uncertain_Future_in_the_Northern_Rocky_Mountains.
35. Manner J., Ersson B. T. Mechanized tree planting in Nordic forestry: Simulating a machine concept for continuously advancing site preparation and planting. *J. For. Sci.* 2021, 67, 242–246. DOI:10.17221/203/2020-JFS. URL: https://www.researchgate.net/publication/351545154_Mechanized_tree_planting_in_Nordic_forestry_simulating_a_machine_concept_for_continuously_advancing_site_preparation_and_planting.
36. Ramantswana M., Guerra S., Ersson B. T. (2020). Advances in the Mechanization of Regenerating Plantation Forests: a Review. *Current Forestry Reports*. 6. 10.1007/s40725-020-00114-7. DOI: 10.1007/s40725-020-00114-7. URL: https://www.researchgate.net/publication/341108827_Advances_in_the_Mechanization_of_Regenerating_Plantation_Forests_a_Review/citation/download.
37. Arenas J., Escudero A., Mola I., Casado M. Roadsides: An opportunity for biodiversity conservation. *Applied Vegetation Science*. 2017; 20(4): 527. DOI: <https://doi.org/10.1111/avsc.12328>. URL: https://www.researchgate.net/publication/318330588_Roadsides_An_opportunity_for_biodiversity_conservation.
38. Korshun V. Energy efficiency in forestry machinery / V. Korshun, I. Kuchar, A. Kamaukhov // 2019 International Science and Technology Conference "EastConf", EastConf 2019, Vladivostok, March 01–02 2019. Vladivostok, 2019. P. 8725311. EDN: JZPYIO. DOI 10.1109/Eastconf.2019.8725311. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41697018>.
39. Lyubov, V. K. Increasing the efficiency of energy use of biofuel / V. K. Lyubov, I. I. Tsypnyatov // *Izv. vuzov. Lesn. zhurn.* 2023. № 1. P. 172–185. EDN: JSRLLO. DOI: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-1-172-185>. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50260969>.
40. Gonsamo A., D'odorico P., Pellikka P. Measuring fractional forest canopy element cover and openness – definitions and methodologies revisited. *Oikos*. 2013;122(9):1283. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2013.00369.x>. URL: https://www.researchgate.net/publication/236158594_Measuring_fractional_canopy_element_cover_and_openness_-_definitions_and_methodologies_revisited.
41. Patent for utility model No. 221 248 U1, IPC B27L 11/00 (2006.01), A01G 23/00 (2006.01), SPCB27L 11/00 (2023.08), A01G 23/00 (2023.08) Device for chopping felling residues / Fokin S. V., Medvedeva P. Yu. ; applicant and patentee FGBOU VO Vavilov University. - No. 2023123326; application.08.09.2023; publ. 26.10.2023 Bul. No. 30. (In Russ.).
42. Assessment of the feasibility of using motorized blocks and mini-tractors for mechanization of work in forest nurseries / M. A. Nikulin, V. A. Ivannikov, S. S. Samoilenkov, M. K. Asmolovsky // *Forest Engineering Journal*. - 2023. - T. 13.- № 3 (51). - C. 143-163. - DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.3/11.->(In Russ.).

Сведения об авторах

✉ *Фокин Сергей Владимирович* – д-р тех. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова», пр-кт им. Петра Столыпина зд. 4, стр. 3., г. Саратов, 410012, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9575-7764>, e-mail: feht@mail.ru.

Медведева Полина Юрьевна – аспирант, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова», пр-кт им. Петра Столыпина зд. 4, стр. 3., г. Саратов, 410012, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9708-4182>, e-mail: pelageam@mail.ru.

Попиков Виктор Петрович – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2499-2772>, e-mail: kafedra.laip@inbox.ru.

Information about the authors

✉ *Sergey V. Fokin* – Dr. Sci. (Technical Sciences), Professor, N.I. Vavilov Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering, Petr Stolypin Ave., zd. 4, p. 3., Saratov, 410012, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9575-7764>, e-mail: feht@mail.ru.

Polina Yu. Medvedeva – postgraduate student, N.I. Vavilov Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering, Petr Stolypin Ave., zd. 4, p. 3., Saratov, 410012, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9708-4182>, e-mail: pelageam@mail.ru.

Victor P. Popikov – Cand. Sci. (Technical Sciences), Associate Professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2499-2772>, e-mail: kafedra.laip@inbox.ru.

✉ – Для контактов | Corresponding author