

УДК 630\*232

**ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМ МАШИН ДЛЯ СОЗДАНИЯ И  
ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЛЕСНЫХ ПЛАНТАЦИЙ В  
РАЗЛИЧНЫХ ПРИРОДНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ****Давтян Армен Борисович***Аспирант, Воронежский государственный университет инженерных технологий,  
г. Воронеж, Россия, e-mail: armen\_davtyan\_2019@inbox.ru***Должиков Илья Сергеевич***Кандидат технических наук, Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: idolzhihov222@mail.ru***Куницкая Ольга Анатольевна***Доктор технических наук, профессор, Арктический государственный  
агротехнологический университет, г. Якутск, Россия, e-mail: ola.ola07@mail.ru*

**Аннотация.** Проблема повышения эффективности использования заброшенных земель сельскохозяйственного назначения в России стоит чрезвычайно остро. Данная проблема достаточно многогранна, имеет законодательные, технические, экономические, и технологические аспекты. В статье представлен анализ проблем и перспектив создания и эксплуатации энергетических лесных плантаций на заброшенных сельскохозяйственных землях. Работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» Арктического государственного агротехнологического университета. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-26-00009, <https://rscf.ru/project/22-26-00009/>.

**Ключевые слова:** лесные плантации, системы машин, выращивание древесно-кустарниковой растительности, заброшенные земли сельскохозяйственного назначения.

**JUSTIFICATION OF MACHINE SYSTEMS FOR THE CREATION AND  
OPERATION OF ENERGY FOREST PLANTATIONS IN VARIOUS NATURAL  
AND INDUSTRIAL CONDITIONS****Davtyan Armen Borisovich***Postgraduate Student, Voronezh State University of Engineering Technologies,  
Voronezh, Russia, e-mail: armen\_davtyan\_2019@inbox.ru*

**Dolzhikov Ilya Sergeevich**

*Candidate of Technical Sciences, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russia, e-mail: idolzhikov222@mail.ru*

**Kunitskaya Olga Anatolyevna**

*Doctor of Technical Sciences, Professor, Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia, e-mail: ola.ola07@mail.ru*

**Abstract.** The problem of increasing the efficiency of the use of abandoned agricultural land in Russia is extremely acute. This problem is quite multifaceted, has legislative, technical, economic, and technological aspects. The article presents an analysis of the problems and prospects of creating and operating energy forest plantations on abandoned agricultural lands. The work was performed within the framework of the scientific school "Innovative developments in the field of logging industry and forestry" of the Arctic State Agrotechnological University. The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 22-26-00009, <https://rscf.ru/project/22-26-00009/>.

**Keywords:** forest plantations, machine systems, cultivation of tree and shrub vegetation, abandoned agricultural land.

**Введение.** С 01 января 2022 г. в Российской Федерации начала действовать Государственная программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации, утвержденная Постановлением Правительства РФ от 14.05.2021 г. № 731.

Безусловно, необходимость проведения масштабных работ в этом направлении возникла в России давно. Даже не со времен развала СССР, а значительно раньше, когда многие получавшие паспорта граждане СССР, проживавшие в сельской местности, начали перебираться в города. Особенно эта тенденция была свойственна молодежи, начиная еще с 60-х годов XX века.

Постепенно отток населения из сельской местности усиливался, остающееся население старело, и сокращалось из-за естественной убыли. С каждым годом становилось все больше заброшенных деревень и сел, и, соответственно, заброшенных сельскохозяйственных земель.

Развал СССР, и последовавший за ним экономический кризис, привел к еще большему ускорению «вымирания» сельской местности России, и соответственно увеличению площади заброшенных сельскохозяйственных земель.

За последние годы можно было встретить достаточно разные данные о площадях неиспользуемых по назначению (заброшенных) сельскохозяйственных земель. Встречались цифры и 50 млн га, и 60 млн га, и даже 76 млн га.

Точной официальной цифры, наверное, и не существует, поскольку первой целью упомянутой Государственной программы является: «получение достоверных и актуальных сведений о количественных характеристиках и границах земель сельскохозяйственного назначения в отношении 100% земель сельскохозяйственного назначения, включая количественные и качественные характеристики сельскохозяйственных угодий, вовлекаемых в оборот, к концу 2025 г». Но ориентируясь на данные той же Программы, можно указать цифру из цели 2 «вовлечение в оборот земель сельскохозяйственного назначения площадью не менее 13234,8 тыс. га к концу 2031 г».

Тринадцать млн га – это огромная цифра, хотя по нашим наблюдениям «вымирания» сельской местности в Иркутской области, Краснодарском крае, и ряде других субъектов РФ (визуальном сравнении ранее используемых и заброшенных в настоящее время площадей), установленный в упомянутой Программе показатель должен быть только первым шагом к полному, комплексному, рациональному использованию сельскохозяйственных земель России.

Судя по статистическим отчетам последних лет, Российское сельское хозяйство добилось очень больших успехов в обеспечении продовольственной безопасности страны, выходе на ведущие позиции в экспорте продукции, обновлении машинного парка и использовании самых передовых технологий. Но проблема эффективного использования заброшенных земель сельхозназначения, по-прежнему стоит очень остро, несмотря на увеличение штрафных санкций к собственникам этих земель, и повышение закупочных цен на сельхозпродукцию.

На наш взгляд, с учетом острой нехватки рабочих рук в сельском хозяйстве, одним из наиболее эффективных направлений использования заброшенных в настоящее время земель сельхозназначения является выращивание на них целевых древесно-кустарниковых плантаций различного назначения.

По трудоемкости их создания и эксплуатации они требуют значительно меньше ресурсов, кроме того, они позволят решить еще две остро стоящие проблемы – обеспечение лесопромышленного комплекса необходимым древесным сырьем, а также переход экономики страны на карбоновую нейтральность.

Известно, что постоянный рост расстояния вывозки заготовленной древесины в Сибири и на Дальнем Востоке уже вызвал рост себестоимости продукции лесного комплекса, и снизил его рентабельность. Необходимость освоения все более удаленных эксплуатационных массивов спелых и перестойных

лесов требует масштабного дорожного строительства, обостряет кадровую проблему, увеличивая масштабы использования вахтового метода организации труда в лесозаготовительном производстве. Все это и приводит к удорожанию древесины и продукции из нее [1-4].

В заброшенной сельской местности по-прежнему осталась здания и сооружения, транспортная сеть, центральное электроснабжение, которые, возможно после некоторого ремонта, вполне можно использовать для целей создания и эксплуатации лесных плантаций, вкупе с местными кадрами, если таковые остались.

К сожалению, в Российской Федерации совсем нет опыта создания и эксплуатации лесных плантаций. В этом наша страна существенно отстает от развитых лесопромышленных стран. Примеры успешного бизнеса создания и эксплуатации лесных плантаций будут рассмотрены в далее.

Помимо оптимального посадочного материала и технологии выращивания плантационных древесно-кустарниковых насаждений, для успешного ведения лесоплантационного бизнеса необходим оптимальный выбор систем машин для конкретных природно-производственных условий.

Исследованию вопросов выбора оптимальных систем машин лесозаготовительного производства для различных природно-производственных условий посвящены труды многих ученых лесотехнических, политехнических и сельскохозяйственных вузов. В настоящее время ведущие позиции в исследуемом вопросе занимает научная школа «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» Арктического государственного агротехнологического университета, возглавляемая д.т.н., профессором И.В. Григорьевым.

В последние годы, в рамках данной научной школы, подготовлены и защищены несколько работ, посвященных вопросу систем лесных машин. Это, например, диссертации следующих авторов: А.М. Хахина, Е.Г. Хитров, А.А. Просужих и др. По этим работам можно определить современное состояние исследований в этой области.

Вместе с тем ряд вопросов нуждается в дальнейшей проработке. Прежде всего, природно-производственные условия работы систем машин для создания и эксплуатации лесных плантаций существенно отличаются от заготовки древесины в спелых и перестойных лесах. Как показал предварительный анализ, в данном случае желателен модульный принцип, позволяющий сочетать выполнение различных, разделенных во времени, работ одними и теми же энергетическими модулями, в паре с различными технологическими и транспортными модулями.

В свете этого, работы, направленные на обоснование оптимального выбора систем машин для создания и эксплуатации лесных плантаций, представляются актуальными как для теории, так и для практики лесного комплекса.

**Материалы и методы исследования.** Материалы данной статьи получены путем анализа литературных источников, данных сайтов компаний-производителей, интервью со специалистами отрасли.

**Результаты.** Как было отмечено выше, в Российской Федерации совершенно отсутствует практика создания и эксплуатации целевых лесных плантаций, несмотря на значительный успешный иностранный опыт в данном вопросе, острую потребность деревоперерабатывающих предприятий в древесном сырье, причем не только в долгорастущем хвойном, наличии больших площадей заброшенных сельскохозяйственных земель, имеющих необходимую транспортную инфраструктуру, здания и сооружения, центральное электроснабжение.

Во многом это связано с несовершенством законодательной базы в данной области. Весьма интересным и полезным ресурсом, позволяющим отслеживать законодательные изменения, правоприменительную практику в рассматриваемой области является Лесной форум Гринпис, раздел «Леса и лесовыращивание на землях сельхозназначения», посвященный обсуждению вопросов, связанных с правовым статусом лесов на землях сельхозназначения, лесоразведением, лесным фермерством.

Отметим, что законодательная борьба за возможность выращивания целевых лесных плантаций на землях сельхозназначения ведется достаточно давно. Не однократно вопросы на эту тему поднимались в рамках Национального лесного форума (2019 г.) [5]. 21.09.2020 г. вышло Постановление Правительства РФ от № 1509 «Об особенностях использования, охраны, защиты, воспроизводства лесов, расположенных на землях сельскохозяйственного назначения». Оно было воспринято лесной общественностью очень положительно, как большой шаг вперед в решении вопроса о создании и эксплуатации лесных плантаций. Однако затем в Минприроды были разработаны поправки к указанному постановлению, по сути, сводящие его на нет.

Если кратко, к основным последствиям принятия этих поправок относят:

1. Рост числа и площадей ландшафтных пожаров, частоты их перехода на поселения и объекты инфраструктуры, поскольку штрафы и иные наказания за неиспользование сельхозземель (в качестве одного из признаков которого является наличие леса, если нет установленного права на использование земли для лесоводства) вынуждают собственников уничтожать молодые леса, а самым простым способом их уничтожения является сжигание вместе с сухой прошлогодней травой.

2. Усиление кризисной ситуации с дровами и простейшими (дешевыми) стройматериалами, поскольку радикальный рост регуляторной и административной нагрузки на лесопользователей сделал невозможным или экономически непривлекательным снабжение населения этой дешевой продукцией за счет земель лесного фонда, и пока проблема отчасти решается как раз за счет лесов на землях сельскохозяйственного назначения.

3. Снижение уровня продовольственной безопасности, поскольку в случае принудительного возвращения в сельскохозяйственный оборот низкопродуктивных и неудобных земель, расчищенных от леса, вынудит распределить сельскохозяйственные субсидии на большую площадь и сократить поддержку наиболее эффективных производителей, работающих на лучших землях.

4. Ускорение вымирания и забрасывания сельских поселений и целых сельских районов, особенно в Нечерноземье, поскольку невозможность развития сельского лесоводства не позволит реализовать связанные с ним социально-экономические возможности, дать людям работу и источники средств к существованию.

5. Невозможность выполнения наиболее перспективных лесоклиматических проектов, поскольку именно лесоразведение на ранее безлесных землях является наиболее перспективным направлением развития таких проектов.

Отметим также, что согласно действующему Лесному Кодексу Российской Федерации (ЛК РФ), лесные плантации возможно создавать на землях лесного фонда. Так, например, в статье 25 «Виды использования лесов» есть пункт № 9 «создание лесных плантаций и их эксплуатация». Более подробно данный аспект использования земель лесного фонда регламентирует статья 42 ЛК РФ «Создание лесных плантаций и их эксплуатация», включающая 5 пунктов. Исходя из логики статьи 113 ЛК РФ «Леса, расположенные в водоохранных зонах», пункт 3, лесные плантации нельзя создавать только в данных категориях лесов.

В остальных случаях, по логике ЛК РФ, лесоплантационный бизнес (предпринимательская деятельность), при котором искусственно выращиваются древесно-кустарниковые насаждения для получения целевой древесины, может

вполне успешно работать. Причем как сказано в статье 42 ЛК РФ, не только на землях лесного фонда, но и на землях иных категорий. В качестве важного законодательного нюанса также отметим, что рубка выращенных на лесных плантациях деревьев (кустарников) не ограничивается какими-либо дополнительными нормативными ограничениями, как это, например, имеет место в естественных лесах при проведении рубок спелых и перестойных насаждений, или рубок ухода за лесами [6]. Ограничительными документами в данном случае выступают действующие Правила заготовки древесины и Правила лесовосстановления.

В качестве еще одного законодательного аргумента в пользу развития лесоплантационного бизнеса в России можно указать 212-ФЗ от 19.07.2018 г. «О внесении изменений в Лесной кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации в части совершенствования воспроизводства лесов и лесоразведения», более известный как «Закон о компенсационном лесовосстановлении». Данный нормативный документ, хотя и не упоминает лесные плантации, но, в частности, предусматривает требование к лесопользователям, выполняющим работы по геологическому изучению недр и разработке месторождений полезных ископаемых, созданию линейных объектов (т.е. фактически переводящих площади лесных земель в нелесные), проводить лесовосстановительные работы в пределах того же субъекта РФ, на не арендованных площадях Лесного фонда. При этом, в первую очередь, в такие площади должны включаться погибшие насаждения, например от лесных пожаров.

Анализ действия 212-ФЗ показывает, что он столкнулся с рядом объективных трудностей. Например, в Ленинградской области просто нет таких размеров площадей, чтобы выполнить требования этого документа, поскольку подавляющая часть территории Лесного фонда области находится в аренде. А в Республике Саха (Якутия) проблем с территориями Лесного фонда вне аренды нет, но поскольку 212-ФЗ и Правила лесовосстановления ориентируют, прежде всего на искусственное лесовосстановление, причем часто посадочным материалом с закрытой корневой системой, лесопользователи этого субъекта физически не могут выполнить требования закона, ввиду отсутствия нужного количества посадочного материала (нет даже своих лесосеменных плантаций или питомников), необходимых систем машин, и вообще практики искусственного лесовосстановления в лесах на вечной мерзлоте.

Для полного исполнения требований 212-ФЗ организация лесоплантационного бизнеса была бы очень хорошим решением.

И наиболее «свежим» нормативным документом в пользу развития лесоплантационного бизнеса в России является Распоряжение Правительства РФ

№ 3052-р от 29.10.2021 г. «Стратегию социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г.», подписанное Председателем Правительства Российской Федерации М.В. Мишустиним, во исполнение Указа Президента Российской Федерации № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов» от 04.10.2020 г. В данной Стратегии лесным насаждениям отведена весьма существенная роль. Например, на стр. 10 Стратегии сказано: «Стратегия определяет меры по обеспечению к 2030 г. сокращения выбросов парниковых газов до 70% относительно уровня 1990 г. с учетом максимально возможной поглощающей способности лесов и иных экосистем и при условии устойчивого и сбалансированного социально-экономического развития Российской Федерации...».

И в Инерционном, и в Целевом (интенсивном) сценариях развития, в п. 4. «Поглощающая способность» лесным насаждениям отведена первостепенная роль. При этом планируется существенно увеличить затраты бюджета на лесную инфраструктуру, борьбу с лесными пожарами, и т.д. Очевидно, что составители Стратегии не учли возможности лесоплантационного бизнеса, который не потребует бюджетных трат ни на инфраструктуру, ни на лесные пожары.

В настоящее время Министерство науки и высшего образования Российской Федерации запустило проект по созданию в различных субъектах РФ карбоновых полигонов, которые будут создаваться (в ряде субъектов уже создаются) с участием ведущих научных и образовательных учреждений. Очень интересным примером является карбоновый полигон в Воронежской области, куратором создания которого является ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» (ВГЛТУ) (рис. 1 и 2). Ученые ВГЛТУ, в том числе, экспериментально апробируют различные мягколиственные породы, которые имеют максимальную поглощающую способность по углекислому газу, для природных условий Воронежской области. Это связано с тем, что карбоновый полигон не просто древесно-кустарниковое насаждение, а целевое насаждение, выращиваемое специально для максимального поглощения парниковых газов. Ознакомление с достижениями ученых ВГЛТУ в этой области показало, что поглотительная способность карбонового насаждения, практически линейно, связана с его приростом, что является целью и плантационного лесоразведения.





**Рис. 1.** Аншлаг при входе в экспериментально-калибровочный полигон ВГЛТУ



**Рис. 2.** Пробные посадки лесных культур в экспериментально-калибровочном полигоне ВГЛТУ

На наш взгляд, современная экологическая мировая повестка о глобальном потеплении и роли в ней вклада промышленной деятельности человека не является абсолютно научной доказанной. Глобальные периоды потепления и

последующего похолодания уже неоднократно случались на планете Земля. Но так или иначе, в случае правильной постановки проблемы, карбоновые налоги, как ранее квоты Киотского протокола, могут успешно пополнять бюджет России, с учетом поглотительной особенности наших лесов.

На основании анализа современных литературных источников, а также данных глобальной информационной сети Интернет, в настоящее время нет общепризнанных методик определения поглотительной способности целевых древесно-кустарниковых насаждений. Но когда они будут разработаны, утверждены, и всемирно признаны, еще одним направлением заработка лесоплантационного бизнеса вполне могут быть карбоновые насаждения, или доплата за поглотительный эффект лесных плантаций иного назначения.

В любом случае, использование древесины в качестве топлива, особенно без таких существенных переделов как производство топливных пеллет и брикетов, способствует карбоновой нейтральности, поскольку, как известно, при сгорании древесина выделяет столько же углекислого газа, сколько поглотила во время роста [7, 8].

При оценке эффективности лесных плантаций следует учитывать, что эффективность принято оценивать по соотношению вложенных ресурсов (материальных, финансовых, энергетических, трудовых, временных, и т.д.) и полученных полезностей, которые также могут подразделяться на финансовые, энергетические, сырьевые, социальные, и т.д., могут обладать мультипликативным эффектом. Очень большой вклад в рассматриваемый вопрос оценки эффективности создания и эксплуатации лесных плантаций внесли труды профессора С.С. Морковиной и ее коллег [9-12].

Понятно, что в создание и эксплуатацию лесных плантаций требуется вложить труд, финансы (на приобретение посадочного материала, машин, оплату труда), требуется определенное время на выращивание древесно-кустарниковой фитомассы, ее последующую переработку.

Но при этом, в процессе роста лесной плантации получают известные из курса лесоведения экологические эффекты, включая рассмотренный выше карбоновый, а также древесное сырье.

Одним из наиболее положительных эффектов является создание новых рабочих мест, эффективное освоение земельных ресурсов, вклады в бюджеты различных уровней, вместо финансового ущерба от неиспользуемого актива.

Поскольку оценка социальных эффектов (новых рабочих мест, освоения заброшенных земель), как и экологических с трудом поддается точной оценке, оставим ее за рамками нашего исследования.

Оценка финансовой эффективности создания и эксплуатации лесных плантаций также является достаточно сложной, поскольку, как минимум, зависит

от постоянно колеблющихся цен на древесину, и предсказать стоимость 1 м<sup>3</sup> древесного сырья через 10, тем более 20-50 лет невозможно. Как и то, не будет ли в результате выращенная качественная древесина низкотоварной, из-за рыночной и политической ситуации [13-15].

Отметим, что вопрос повышения стоимости низкотоварной древесины, особенно мягколиственной может быть эффективно решен путем ее модификации, различные методы которой подробно рассмотрены в трудах [16-19].

Вместе с тем, без оценки эффективности предлагаемых мероприятий невозможно их последующее внедрение.

На наш взгляд, наиболее подходящей для нашего случая методикой оценки является вариант оценки энергетической эффективности создания и эксплуатации лесных плантаций, предложенной участниками научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства». Логика указанной оценки достаточно проста, и базируется на подходе известного эколога Ю. Одума [20-22].

Все экосистемы на планете Земля преобразуют энергию Солнца, производя при этом определенное количество биомассы на единице площади (или объема, если брать водные экосистемы). Производительность экосистемы показывает количество произведенной биомассы. При прочих равных условиях (тепло, свет, почва, вода, и т.д.) лесные экосистемы являются самыми высокопроизводительными на планете Земля.

Искусственно создаваемые экосистемы, например в сельском хозяйстве, преобразуют не только естественную энергию Солнца, но еще и искусственно (дополнительно) вкладываемую, в виде топлива для тракторов, удобрений, и т.д.

Ю. Одум предлагал оценивать энергетическую эффективность сельского хозяйства по количеству дополнительно вкладываемой энергии, и количеству энергии, полученной в виде сельскохозяйственной продукции.

Участниками научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» такой подход применен и просчитан применительно к лесному хозяйству и лесозаготовительному производству, ведущимся в естественных лесах [23].

Безусловно, правильное ведение лесного хозяйства (лесовыращивание) требует дополнительных вложений энергии на проведение различных видов ухода за лесом, включая рубки ухода, обрезку кроны на растущих деревьях, и т.д. [24-26]. А если процесс лесовыращивания начинается с искусственного лесовосстановления, то он идентичен принципам создания лесных плантаций, с разницей в длительности и количестве выполняемых хозяйственных мероприятий.

А значит процессы создания лесных плантаций и лесное хозяйство, основанное на искусственном лесовосстановлении, по своим принципам идентичны.

В сельском хозяйстве (при сборе и вывозке урожая), как и на лесозаготовках нельзя обойтись без дополнительных вложений энергии на работу машин и оборудования, то же можно сказать и про заготовку выращенной на лесной плантации древесно-кустарниковой фитомассы.

Отсюда можно сделать вполне логичный вывод о том, что основанная на идее Ю. Одума методика оценки энергетической эффективности, предложенная участниками научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства», вполне может быть адекватно применена для интересов нашего исследования.

Причем следует отметить еще такой момент, что количество вкладываемой дополнительной энергии оценивается по расходу топлива машинами и оборудованием. Удельный расход, на 1 м<sup>3</sup> выращенной древесно-кустарниковой фитомассы будет зависеть от масштаба работ, и применяемой системы машин. Как уже отмечалось, во многих странах мира лесоплантационный бизнес хорошо развит. Но удельные затраты энергии во многом различаются даже в зависимости от стоимости ручного труда. Так в Социалистической Республике Вьетнам, с большой плотностью населения и дешевой рабочей силой, расход топлива на машины и оборудование для посадки деревьев и их заготовки очень низок, ввиду масштабного использования ручного труда (рис. 3 и 4) [27].



**Рис. 3.** Посадка лесной плантации вручную в Социалистической Республике Вьетнам



**Рис.4.** Погрузка заготовленной на лесной плантации древесины вручную в Социалистической Республике Вьетнам

В актуальных исследованиях, конечно, на такие экзотические варианты ориентироваться не стоит, поскольку в настоящее время в России уже наблюдается дефицит кадров, включая вальщиков леса [28, 29]. Поэтому при дальнейшем рассмотрении вопроса следует ориентироваться на современные машинные комплексы.

Как уже отмечалось выше, во многих странах мира лесоплантационный бизнес очень хорошо развит. Более того, хорошо за себя говорят такие факты: около 50% всей перерабатываемой в мире древесины, в настоящее время, заготовлено на лесных плантациях, а не в естественных лесах; российскую древесину на рынке Китая уже активно теснит плантационная древесина сосны колючей (*Pinus pungens*), выращенная на лесных плантациях Новой Зеландии [30]. Если учитывать, что на основе древесины производится более 20000 наименований продукции, что более 90% из этого перечня приходится на продукцию механо-химической переработки древесины, которой в большой части случаев не требуется плотная северная древесина (в которой много лигнина), то быстрорастущая плантационная древесина находит все большее распространение и применение [31]. Как было отмечено выше, из мягколиственной (быстрорастущей) древесины, при необходимости, можно путем модификации получать материал с заданными физико-механическими свойствами, с повышенной стойкостью к огню, химическим и биологическим повреждениям [32].

Также выше было отмечено, что процесс создания лесной плантации во многом схож с процессом искусственного лесовосстановления.

В 2016 г. вышла в свет монография [33], вобравшая в себя передовой на тот момент опыт создания и эксплуатации лесных плантаций, кроме научного обоснования системы машин для этого процесса. Во многом при рассмотрении вопроса будем ориентироваться на данные этой монографии, учитывая специфику природно-производственных условий Российской Федерации.

После выбора участка под лесную плантацию, составления и утверждения плана ее создания, что во многом созвучно плану проведения искусственных лесовосстановительных работ, согласно требованиям Правил лесовосстановления, следует расчистка данного участка.

Понятно, что на землях неудобных для лесовыращивания (нелесных землях), засоренных камнями, заболоченных, нет смысла создавать лесную плантацию [34]. Следовательно, процессы мелиорации можно оставить за рамками данного исследования.

Но, поскольку «природа не терпит пустоты», в большей части случаев, участок будет занят сорной (малоценной) древесной растительностью, часто в уже неудовлетворительном состоянии, которую потребуется предварительно убрать [35].

Поскольку создание лесных плантаций наиболее целесообразно в центральных и южных субъектах России, где наилучшим образом можно выращивать быстрорастущие целевые породы, то можно ориентироваться на данные природно-производственные условия [36]. В условиях юга и центральной части России заброшенные сельхоз земли, вырубki и гари быстро зарастают малоценными мягколистными породами [37], например, вяз мелколистный (*Ulmus*), или клен полевой (*Acer campéstre*), которые образуют труднопроходимые заросли (похожие на чернолесье в Сибири) (рис. 5).

Еще раз отметим, что достаточно часто такие древесно-кустарниковые насаждения находятся в неудовлетворительном состоянии (в процессе распада), подвергаются поражениям насекомых-вредителей [38], т.е. становятся очагами их размножения, и также являются достаточно пожароопасными, из-за большого количества сухой древесины.

Зачастую для расчистки таких заросших участков используются бульдозеры, которые просто сгребают древесно-кустарниковую растительность, вместе с плодородным слоем почвы, в валы по краям участков. Такой метод расчистки, безусловно, не эффективен, как минимум потому, что на восстановление плодородного (производительного) слоя почвы уйдет не одна сотня лет [39].



**Рис. 5.** Заросшая сорной древесно-кустарниковой растительностью земля сельскохозяйственного назначения (Краснодарский край)

Очевидно, что при этом плодородию участка наносится существенный ущерб, много более значительный, чем, например, от переуплотнения движителями тяжелых тракторов [40]. Кроме того, не используется фитомасса самой древесно-кустарниковой растительности, которая могла бы, как минимум, служить в качестве топлива [41].

При расчистке земель от древесно-кустарниковой растительности зачастую необходимо не только убрать надземную часть, но и часть корневых систем на определенную глубину, зависящую от требований к дальнейшей подготовке участка [42]. В связи с тем, что участки зарастают в основном малоценными лиственными породами, которые способны к вегетативному размножению от корневых отпрысков, при расчистке также стоит задача предотвращения такого лесовозобновления [43].

Поскольку достаточно часто древесно-кустарниковая растительность на расчищаемых участках представляет собой стволы и стволы небольшого диаметра, использование традиционных машинных лесозаготовительных комплексов для срезания надземной части будет нерационально, ввиду малой производительности и большой энергоемкости [44]. При значительных площадях, подлежащих расчистке от древесно-кустарниковой растительности использование ручных моторных инструментов (бензиномоторных пил, бензиномоторных кусторезов) также будет нерационально, ввиду малой производительности и значительных удельных затратах на заработную плату [45].

В лесном хозяйстве и мелиорации для срезания древесно-кустарниковой растительности ранее использовались тракторные кусторезы, с пассивным рабочим органом, например, Кусторез ДП-24 [25]. Однако его пассивный рабочий орган не обеспечивает должного качества выполнения работ [26]. Различные измельчители древесной поросли, включая мульчеры, также не очень подходят для решения поставленной задачи, поскольку после них все поле будет забросано древесной щепой большой фракции. Наиболее оптимальным для рассматриваемого случая будет использование навесного технологического оборудования с активными рабочими органами, например, кустореза тракторного КРТ-1Б, который предназначен для механизированного удаления древесно-кустарниковой растительности выносной дисковой пилой, размещенной сбоку трактора. Стоимость такого технологического оборудования, на начало марта 2021 г., составляет около 220 тыс. руб., стоимость дисковой пилы для кустореза – около 40 тыс. руб. Он хорошо агрегируется со всеми моделями тракторов МТЗ [45], которые есть буквально на каждом сельхозпредприятии.

После срезания надземной части древесно-кустарниковой растительности становится задача ее сбора и уделения с поля, без использования специальных тракторов (форвардеров, скиддеров, и д.т.). Для решения этой задачи можно также использовать недорогое технологическое оборудование, агрегируемое с сельскохозяйственными тракторами, например, грабельные подборщики, или фронтальные, например, погрузчик фронтальный ПФ-320 [45], стоимостью около 90 тыс. руб.

Для удаления подземной части древесно-кустарниковой растительности, если это требуется, наилучшим образом подойдет навесной ротатор, оптимальные параметры которого следует выбирать от требуемых показателей работы – производительность, глубина, а также характеристики имеющихся для агрегатирования с ним тракторов. Оставшаяся в почве древесная дробленка от пневмо-корневой древесины древесно-кустарниковой растительности достаточно быстро перегниет, и скорее всего не даст корневых отпрысков.

Переработка стрелованной к дороге вершинной части древесно-кустарниковой растительности на щепу не представляет большой сложности и может быть решена при помощи прицепной рубительной машины, параметры которой также подбираются в зависимости от требуемой производительности и параметров древесно-кустарниковой растительности. Для снижения затрат дополнительной энергии возможно эффективное энергетическое использование расчищаемой древесно-кустарниковой растительности непосредственно на месте ее получения, например, при помощи газогенератора [46-49].

После расчистки участка под лесную плантацию, на основании химического анализа почвы, а также анализа ее гидрологического режима, с учетом



климатических характеристик местности расположения участка, и цели выращивания древесно-кустарниковой растительности, выбирается целевая порода. Отметим, что быстрорастущих пород для энергетических целей, особенно клонов таких пород, достаточно много [33, 50, 51]. К сожалению, после развала СССР отечественные наработки (коллекции), например тополей (осины, ивы), были во многом утрачены. В настоящее время, в том числе и в рамках упомянутых карбоновых полигонов, ведутся активные работы по их восстановлению, например сотрудниками ВГЛТУ [52-57].

Безусловно, предварительное, сопутствующее посадке, и последующее внесение оптимального для конкретной древесно-кустарниковой породы в конкретных природных условиях комплекса удобрений будет значительно способствовать более быстрому росту энергетической лесной плантации, более быстрому накоплению выращиваемой фитомассы на единице площади [58-60]. Однако внесение комплекса удобрений – это не только затраты на сами удобрения, но и затраты на выполнение данной операции, тем более если выполнять ее неоднократно. Скорее всего, эти затраты значительно снизят как финансовую, так и энергетическую эффективность лесоплантационного бизнеса. Правда быстрорастущие лесные плантации могут стать своеобразным утилизатором отходов некоторых производств, которые нежелательно использовать при производстве сельскохозяйственной продукции. Перспективы данного направления можно будет более точно оценить после окончания изучения использования золы от сжигания остатков сточных вод для удобрения лесных насаждений, которые в настоящее время проводятся специалистами инновационной латвийской компании ORVI (во времена СССР известное на всю страну научно-производственное объединение «Силава») совместно с российскими учеными.

На прошедшем 26.05.2022г. в Арктическом государственном агротехнологическом университете (АГАТУ) IV Лесопромышленном форуме Республики Саха (Якутия) представитель компании ORVI Игорь Гусаревс, в докладе «Некоторые аспекты утилизации осадков сточных вод» убедительно показал достоинства использования осадка сточных вод для лесовыращивания (рисунок 6), даже по сравнению с использованием обычных комплексов минеральных удобрений.



**Рис. 6.** Фрагмент презентации Игоря Гусаревса – результаты опытов по выращиванию лесонасаждений с использованием минеральных удобрений, и с использованием осадка сточных вод

В каждом конкретном варианте природно-производственных условий целесообразность внесения комплексов удобрений необходимо обосновывать с аграрной и экономической точек зрения [61, 62], что остается за рамками настоящего исследования.

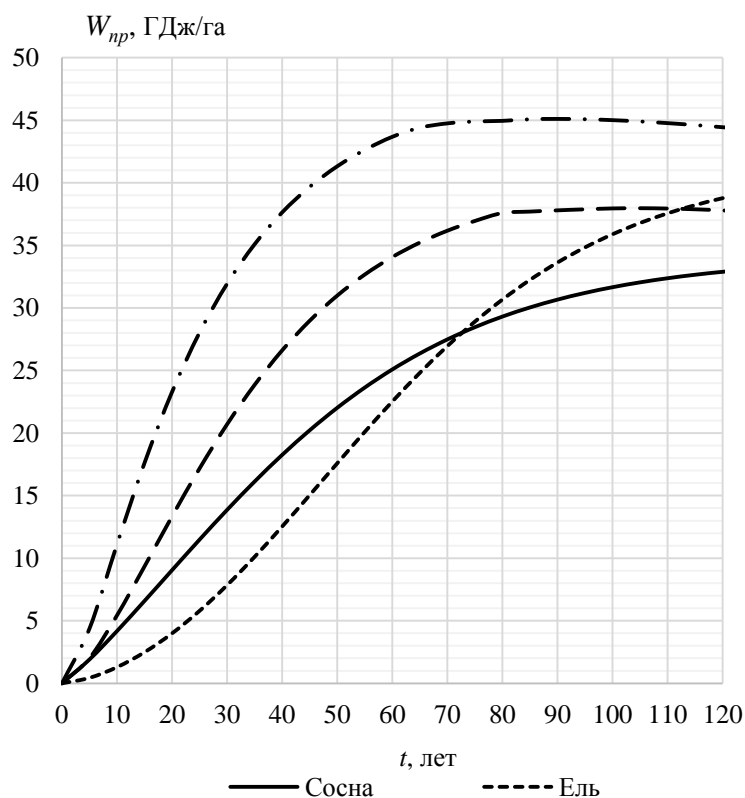
После подготовки почвы следует посадка (много реже посев) целевой древесно-кустарниковой растительности. Различных вариантов систем машин и технологических процессов посадки (посева) древесно-кустарниковой растительности, причем они, в принципе, идентичны процессам закладки обычных лесных культур (при искусственном лесовосстановлении), или при создании защитных полос. Системы машин и технологические процессы посадки (посева), а также вегетативного размножения древесно-кустарниковой растительности подробно рассмотрены в [33, 63-67].

Мероприятия по уходу за высаженной лесной плантацией будут различны для различных природно-производственных условий (выращиваемая порода, почвенные и климатические условия, оборот рубки, и т.д.). Принципиально, различия между искусственным лесовосстановлением (уходом за лесными культурами), уходом за лесной плантацией не будет. Кроме проведения рубок ухода, которые в силу специфики (цели и срока выращивания) в энергетической лесной плантации не нужны.

Для лесоплантационного бизнеса, безусловно, будет важным вопросом оптимизация оборота рубки (срока выращивания). Для энергетической лесной плантации, которые имеют наименьший оборот рубки, важным будет накопление

максимально возможной фитомассы, за минимально возможным сроком, при минимальных энергетических (и финансовых) вложениях на единице площади.

Решение о продолжительности оборота рубки должно приниматься с учетом специфики природно-производственных условий ведения лесоплантационного бизнеса (выращиваемая порода, почвенные и климатические условия, сезонные рыночные колебания спроса на биотопливо и т.д.). Но надо понимать, что зависимость количества выращенной фитомассы от продолжительности выращивания, при прочих равных условиях, не линейна, а скорее подчиняется экспоненциальной зависимости (рисунок 7).



**Рис. 7.** Накопления энергетической «стоимости» ствольной древесины на 1 га площади (на примере II бонитета для осины и березы и I для сосны и ели) [14]

К сожалению, в источнике [14] нет данных о климатических условиях (лесной зоне), для которых построен данный график. Скорее всего, для наиболее предпочтительных условий выращивания энергетических лесных плантаций в России – Краснодарский край, Воронежская область, Саратовская область, и т.д., а также для специальных клонов быстрорастущих пород, момент наступления экстремума функций роста будет наступать значительно раньше. Но общий вид зависимости, очевидно, не изменится.

После успешного выращивания энергетической лесной плантации следует фаза «сбора урожая» - заготовки выращенной фитомассы. Принципиально, данная

фаза схожа с процессом сплошных рубок спелых и перестойных лесных насаждений, без сохранения подроста, семенных деревьев, ключевых биотопов, и т.д. Следует подчеркнуть, что с точки зрения различных природоохранных организаций, систем добровольной лесной сертификации (FSC, PEFC) лесные плантации, тем более энергетического назначения, не считаются лесом, ввиду того, что за короткий срок оборота рубки в лесоплантационных насаждениях не успевает сформироваться сложный биогеоценоз, характерный для естественных лесов [68-70].

Анализ практики создания и эксплуатации лесных плантаций во многих странах показывает, что по технологии они во много идентичны выращиванию сельскохозяйственных культур, а создание и эксплуатация лесных плантаций могут быть даже совмещены в пространстве и времени с производством сельскохозяйственной продукции [71-75]. А сельское хозяйство в настоящее время активно переходит на специализированные цифровые платформы, как и лесное хозяйство России [76-81].

В качестве перспективной базы для цифровой платформы для лесных плантаций, на наш взгляд, хорошо подходит цифровой помощник агронома «ExactFarming+», который предназначен для составления карты полей, планирования севооборота, составления технологических карт, организации учет полевых работ и оптимизации мероприятий по борьбе с вредителями.

Лесные плантации также нуждаются в составлении электронной карты полей для помощи в учете и принятии управленческих решений. Сервис «ExactFarming+» позволяет загрузить границы полей в формате KML или просто нарисовать их мышкой. Возможно также установить мобильное приложение этого сервиса, включить GPS и объехать поле по периметру – сервис сохранит контур поля и автоматически рассчитает площадь.

В сервисе «ExactFarming+» есть информация о среднесуточной температуре, сумме активных температур, накопленных осадках, а также прогноз погоды на неделю и история погоды за 10 лет. Если подключить собственную полевую метеостанцию, можно получать самые точные метеоданные, которые можно использовать для принятия решений.

Сервис «ExactFarming+» содержит функциональную и удобную таблицу с информацией о культурах и сортах, датах сева и уборки, планируемой и фактической урожайности. Если внести в него подобную информацию о выращиваемых древесно-кустарниковых культурах, и, например, указать подробные данные за последние три оборота плантации, сервис поможет выбрать правильные культуры для посадки в будущем.

Шаблоны технологических карт сервиса «ExactFarming+» могут помочь спланировать сезон. При внесении данных о выращиваемой лесной культуре — сервис «ExactFarming+» сможет автоматически создать план работ и рассчитать примерную потребность в расходных материалах. Кроме этого, сервис

«ExactFarming+» позволяет вести учет выполненных работ в течение сезона и сравнивать плановые показатели с фактическими. При помощи рассматриваемого сервиса удобно вести учет закупленных и потраченных расходных материалов – семян (саженцев), удобрений, топливно-смазочных материалов для техники, и т.д. Он позволяет автоматически вести расчет остатков на складе, сохраняет всю историю прихода-расхода. Это дает возможность всегда иметь под рукой записи: на каком поле сколько потрачено, и сколько стоили расходные материалы.

Для каждого вида вредителей лесных культур в сервис «ExactFarming+» можно внести фотографию и дать подробное описание: поражаемые культуры, возможные источники заражения, условия возникновения и регионы распространения. Справочник болезней и вредителей поможет подобрать эффективные агротехнические и химические меры борьбы. Сервис «ExactFarming+» позволяет сделать фотографию в поле и сохранить ее в приложении. Сервис привязывает фото к координатам и отображает ее на карте в точке съемки. При обнаружении вредителя, можно прикрепить к заметке сведения из справочника. Все полевые заметки и вся история осмотров полей хранятся в одном месте. В результате, сервис «ExactFarming+», при внесении в него данных по лесным культурам, может позволить отслеживать всю историю полей с лесными плантациями, анализировать фактические затраты по каждому полю и работе, понять, нужна ли дополнительная обработка, собирать метеоданные — знать, когда и какое количество их выпало, наблюдать текущую ситуацию с любого устройства, где есть интернет.

Очень важным, с точки зрения эксплуатации лесной плантации, является учет заготовленной на ней древесины. Исходя из задач реализации мероприятий национальной программы «Цифровая экономика РФ», цифровизации лесного хозяйства России, будут вноситься существенные изменения в программу ЛесЕГАИС. Об этом, в частности, много говорилось в рамках Семинара «Инновационные технологии лесного комплекса», организованного в феврале 2020 г. в ВГЛТУ Ассоциацией производителей машин и оборудования лесопромышленного комплекса «ЛЕСТЕХ», и научной школой «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства».

Приёмка древесины в местах складирования древесины, её отгрузка, списание в переработку, отходы и на иные потребности собственника древесины будут подлежать обязательному оформлению в первичных учётных документах в электронном виде в соответствии с законодательством о бухгалтерском учёте.

Наиболее распространенными сейчас являются различные виды геометрического учета объемов круглых лесоматериалов. Современные лесозаготовительные машины (харвестеры) имеют возможность выполнять измерение объемов заготовленной древесины при выполнении основных работ по валке деревьев, обрезке сучьев и раскряжевке. Результаты этих измерений имеют высокую точность, особенно если оператор вовремя проводит поверку и калибровку харвестерной головки. Однако в России данные этого учета не являются официально признаваемыми из-за отсутствия официального документа (ГОСТа) на электронную измерительную вилку, при помощи которой выполняются поверка и калибровка головки. Даже если эта ситуация будет исправлена, при дальнейшей трелевке заготовленных сортиментов в штабели все равно возникает задача измерения объема сортиментов, находящихся в штабеле, а затем и на лесовозе.

Учет древесины в местах складирования древесины необходимо будет вести с оформлением результатов учета в первичных учётных документах в электронном виде, включая внесение сведений геотега – места, даты и времени произведённой операции с древесиной. Списание и остатки древесины в местах складирования древесины, должны учитываться в первичных учетных документах в электронном виде, и вноситься в ЛесЕГАИС собственником древесины не реже одного раза в месяц. Для снижения трудоемкости и повышения точности выполнения группового геометрического учета круглых лесоматериалов перспективно использовать современные аппаратно-программные средства, например, технологии и программное обеспечение фотооптического измерения круглых лесоматериалов, основанных на алгоритмах искусственного интеллекта и технологии машинного обучения, которые позволяют определять область контура бревна под корой на основании более чем 2000 точек. Специальная программа Timbeter конвертирует эту область в симметричный круг, и на этом основании высчитывается значение среднего диаметра. Технология была создана для измерения поверхности бревен как можно точнее путем конвертации неправильной формы контура в идеальный круг [82-85].

Искусственный интеллект – перспективная технология для измерения объемов древесины, поскольку задача по измерению бревен четко определена, а измерение каждый раз проводится одинаково, алгоритмы машинного обучения опираются на поиск набора правил для выполнения задачи. Измерение бревен занимает у человека большое количество времени. Человек может одним

взглядом на штабель приблизительно определить его размер и объем; алгоритм также может моментально проанализировать и обработать изображение целиком, только вместо приблизительной информации об объёме он предоставит точные данные о штабеле или грузе. Все данные об измерении доступны в цифровом виде, поэтому ими можно легко делиться, их также легко контролировать [86, 87].

Мобильные технологии измерения круглого леса контролируются и оцениваются исключительно старыми ручными методами, которые были разработаны более ста лет назад. Подобные методы гораздо более ограничены по сравнению с возможностями современных технологий. Мобильные технологии позволяют измерить каждое бревно гораздо объективнее. Результаты, основанные на электронных доказательствах и полученные с помощью механизмов искусственного интеллекта, предоставляют пользователям намного более прозрачную информацию.

Алгоритм распознавания брёвен Timberer распознает до 280 тыс. брёвен в час. Внедрение искусственной нейронной сети в программу в начале 2018 г. имело большой успех и сделало распознавание надежнее. Быстрый механизм подсказок был также интегрирован в программу, что позволило главному механизму быстрее обнаружить ориентировочные размеры и позиции распределения бревен и дало возможность алгоритму пропускать те области изображения, в которых бревен точно нет. Испытания показали, что снижения производительности не произошло, тогда как значительно повысилась точность результатов.

Как было отмечено выше, лесные плантации успешно создаются и эксплуатируются во многих странах мира с середины прошлого века. Более 50% всей заготавливаемой и перерабатываемой древесины в мире – это продукция целевого лесовыращивания, созданная на лесных плантациях.

При этом, в Российской Федерации, в результате многолетнего, продолжающегося экстенсивного лесопользования, несмотря на огромные лесные запасы и далеко не полное использование расчетной лесосеки, лесоперерабатывающие предприятия начинают ощущать сырьевой голод. Стоимость древесного сырья постоянно растет, это связано, прежде всего, с постепенным исчерпанием доступных эксплуатационных спелых лесов.

В результате среднее расстояние вывозки заготавливаемой в естественных лесах древесины постоянно растет, ежегодно увеличиваются затраты на создание и эксплуатацию лесовозных дорог [88].

Многие лесопромышленные предприятия Сибири и Дальнего и востока сталкиваются с кадровым голодом, поскольку их арендные базы находятся на территориях с крайне низкой плотностью населения.

Это приводит к тому, что они вынуждены набирать большую часть персонала на работу вахтовым методом, неся при этом соответствующие затраты на транспорт, организацию проживания вахтовиков, и т.д. [89].

Заметной проблемой, препятствующей, в настоящее время, эффективному созданию лесных плантаций, является отсутствие в нашей стране научно обоснованной системы машин, способной выполнять весь цикл работ, начиная с посадки (посева) древесных растений, заканчивая сбором древесного урожая и подготовкой территории под новую сукцессию.

Для начала обоснования компоновки оптимальной системы машин для создания и эксплуатации лесных плантаций при целевом лесовыращивании обратимся к понятию термина «технология». Согласно общепринятому определению «технология» - это совокупность методов обработки, изменения размеров, формы, свойств, и места расположения предмета труда в процессе производства продукции.

Надо отметить, что данное определение является универсальным, и относится, в принципе, ко всем направлениям человеческой деятельности. Даже, например, когда в операционной лечат заболевшего человека, также выполняют последовательный ряд технологических операций.

В свою очередь, технологические операции подразделяются на рабочие, которые предусматривают обработку неподвижного предмета труда; транспортные, которые предусматривают перемещение предмета труда; и смешанные, которые предусматривают обработку движущегося предмета труда, иначе говоря, рабочую операцию, совмещенную с транспортной.

Например, из практики лесозаготовительного производства, если вальщик леса производит обрезку сучьев лежащего дерева – то это рабочая операция, а если обрезка сучьев производится при помощи харвестера или процессора, путем протаскивания дерева вальцами через сучкорезные ножи головки – то это смешанная операция. Сбор лесоматериалов, трелевка, укладка в штабель, погрузка на лесовозный транспорт, вывозка, разгрузка – это все транспортные операции лесозаготовительного процесса [90].

Известно, что любая коммерческая деятельность, а создание и эксплуатация лесных плантаций является коммерческой деятельностью, направлена на извлечение прибыли, которая является положительным салдо между на затраченными на производство средствами и полученными в результате реализации произведенной продукции, товаров, или услуг. Строго говоря, прибыль, может рассматриваться в критериях эффективности – отношения затрат и выгод.

С точки зрения любого производственного процесса, во многом, на его общей эффективности будут напрямую сказываться эффективности выполнения



каждой технологической операции в цепочке. В свою очередь, на эффективность выполнения конкретной технологической операции, помимо персонала, материалов, значительное влияние будет оказывать совершенство и эффективность использования машин и оборудования, участвующих в данном отрезке технологического процесса.

Эффективность машин и оборудования принято оценивать по целому ряду критериев, основными из которых являются: энергоэффективность, коэффициент технической готовности (надежность, ремонтпригодность), эргономика, производительность при выполнении основных технологических функций [91].

В общем виде, технологическая цепочка создания и эксплуатации лесных плантаций, помимо принятия управленческих решений по выбору целевой породы, оборота рубки, состава и количества вносимых удобрений, технологии подготовки семян и саженцев, и т.д., выглядит следующим образом [33]:

- Подготовка площади к посадке (посеву) древесных растений. Данный этап предусматривает, в основном, подготовку почвы, в ряде случаев предварительную расчистку площадки от пней. Используемое при этом технологическое оборудование включает: корчеватели, мульчеры (ротоваторы), плуги, бороны, рыхлители, покровосдиратели, почвенные фрезы, и т.д.

- Посадка (посев) древесных растений выбранной породы для целевого лесовыращивания. На данном этапе используются посадочные машины, сеялки, катки, и т.д.

- Уход за посадками, заключающийся в поддержании оптимальных условий для роста целевых древесных растений. Изначально он уже задается при подготовке к посадке (посеву), и при их выполнении. На данном этапе используются культиваторы, машины для дополнительного внесения удобрений, могут быть полезны машины для борьбы с вредителями древесных растений, например опрыскиватели, и т.д. [92].

Следующим этапом, по аналогии с сельским хозяйством, является сбор выращенного урожая – заготовка древесины, по достижении заданного оборота рубки. Перечень технологического оборудования здесь будет несколько варьироваться, в зависимости от размеров и целевого назначения выращенной древесины [93]. Например, если выращивалась балансовая или конструкционная древесина, то логично использовать стандартные системы машин лесосечных работ, такие как: харвестер + форвардер, или валочно-пакетирующая машина + скиддер + процессор. В некоторых случаях (при небольших площадях и запасах) эффективной будет использование на рабочих операциях бензиномоторных пил, или их использование только на валке, а выполнение обрезки сучьев и раскряжевки – процессором на верхнем складе. Если же на плантации выращивалась тонкомерная древесина энергетического назначения, например,

быстрорастущий кустарник, то наиболее эффективной может оказаться валочно-рубительно-трелевочная машина (ВРТМ, или же Чиппер), иногда называемая мульчерно-трелевочной машиной (МТМ) [94]. Вообще, если на первый план выводить задачу минимизации количества машин в комплексе, в первую очередь придем к рассмотрению одномашинных комплексов, которые могут быть представлены, во-первых, валочно-сучкорезно-раскряжевочно-трелевочной машиной (харвардером), во-вторых, валочно-трелевочно-процессорной машиной (ВТПМ), в-третьих, уже срезающее-рубительно-трелевочной машиной (чиппером). Обратим внимание, что поскольку речь идет о заготовке выращенной древесины, классические мульчеры не рассматриваются, поскольку данный вид машин не имеет функции сбора измельчаемой древесины.

Анализ показывает, что при работе ВТПМ в теплый период года кроновая часть заготовленных деревьев будет загрязняться минеральными включениями от почвогрунта, поскольку данная машина выполняет трелевку в полупогруженном положении.

Харвардер будет малоэффективен из-за большого коэффициента тары, а также потому, что при трелевке вершинных сортиментов с кроной коэффициент полнодревесности воза будет крайне низким, а это приведет к стремительному росту удельной энергоемкости. Чиппер имеет одно несомненное достоинство – при его использовании не требуется отдельная рубительная машина, но и он обладает чрезмерно большим коэффициентом тары, при низкой полнодревесности воза щепы, а значит неоправданно большой энергоемкостью.

• Финалом всей рассмотренной технологической цепочки будет являться очистка площадки от остатков древесно-кустарниковой растительности, сбор оставшихся частей кроны, обломков стволов, корчевка или измельчение пней, корней, а также рекультивация для передачи земли под другие виды пользования, или возвращение к первому пункту – подготовку площадки под следующую сукцессию целевого лесовыращивания.

Обратим внимание, что все вышперечисленное технологическое оборудование используется периодически и последовательно. Это, в свою очередь, означает, что систему машин для создания и эксплуатации лесных плантаций, при целевом лесовыращивании оптимально создавать по модульному принципу, во много аналогичному с компоновкой систем машин сельскохозяйственного производства [95].

Отметим, что на выполнение разных видов работ, на одной площади, отводятся разные временные интервалы на их выполнение, т.е. если приводить производительность всех операций к единому знаменателю, гектарам площади лесной плантации, то их производительность может быть разной.

Принцип модульного построения системы машин, подробно рассмотренный в [96], заключается в разделении, на первом этапе, на три типа модулей: энергетические, технологические, транспортные.

Энергетические модули, в рассматриваемом вопросе, это тракторы разного класса тяги, обеспечивающие энергией выполнение рабочих, смешанных, и транспортных операций. С точки зрения последних, ограничимся рассмотрением вопроса только в пределах площади, отведенной под лесную плантацию, с погрузочной площадкой (верхним складом) при ней. Поскольку процесс вывозки выращенной и заготовленной древесной биомассы на деревоперерабатывающие предприятия остается за рамками нашего исследования, и, принципиально, не должен отличаться от традиционной вывозки заготовленной древесины из естественного леса. Не считая, правда того, что, в большей части случаев, расстояние вывозки должно быть существенно меньше, чем сейчас, например, в Сибири и на Дальнем востоке.

Итак, транспортные модули, при создании и эксплуатации лесных плантаций, должны выполнять доставку семян, или саженцев, к месту посева (посадки), доставку и внесение удобрений, при необходимости пестицидов, и т.п., трелевку заготовленной древесной биомассы и порубочных остатков.

Технологические модули, в свою очередь, обеспечивают подготовку почвы, заделку семян или саженцев, рыхление, другие необходимые лесохозяйственные операции, срезание и обработку выращенной древесно-кустарниковой растительности.

Исходя из разного целевого назначения модулей, критерии оптимизации их параметров и показателей работы также будут различны.

Понятно, что с точки зрения общей компоновки системы машин крайне желательно иметь, по возможности, меньшее количество модулей, как минимум, с точки зрения уменьшения необходимых капиталовложений, а также последующих проблем с закупкой и доставкой оригинальных запасных частей, необходимых расходных материалов, и т.д.

Общеизвестно, что одним из критериев оптимальности выбора системы машин является, чтобы наиболее дорогая машина, или оборудование, имели максимальную загрузку. Поскольку любая техника, за время выработки ресурса, должна себя окупить и еще принести прибыль.

Критерием оптимальности энергетического модуля (модулей) является соответствие мощности энергетической установки (двигателя) и энергонасыщенности потребностям технологических и транспортных модулей, работающих с ним. Очевидно, что если большой и мощный трактор, например, «Кировец» будет оснащаться небольшой тележкой (бочкой) для перевозки необходимых грузов, или культиватором с небольшим захватом, то

энергоэффективность такой системы будет крайне мала, если не отрицательна. И наоборот, если использовать трактор малого класса тяги, с мощностью двигателя менее, чем требуется совершения технологической или транспортной операции с заданной скоростью (производительностью), то операция либо совсем не будет выполнена и прервется вся технологическая цепочка, либо операция, в конце концов, будет выполнена, но будет сорван график выполнения работ.

В свою очередь, величина потребной мощности технологического или транспортного модуля будет зависеть от преодолеваемых при выполнении операций сил сопротивления и скорости выполнения операций.

Скорость выполнения операций будет зависеть от требуемой производительности. Силы сопротивления будут зависеть целого ряда факторов, и, разумеется, от вида выполняемых операций. Например, при обработке пней – от состава, влажности, и физико-механических свойств почвы, а также толщины обрабатываемого слоя почвы и ширины захватки обрабатываемой поверхности площадки, качества исполнения и обслуживания рабочих органов почвообрабатывающих орудий. При заготовке выращенной древесной биомассы – от породы, влажности, температуры древесины, качества исполнения и обслуживания технологического оборудования – цепного пильного аппарата, или дисковой фрезы.

Очевидно, что многие составляющие являются случайными, и учесть их в рамках математической модели оптимизации при компоновке систем машин для создания и эксплуатации лесных плантаций не представляется возможным. Наиболее правильным, в данном случае, будет введение в математическую модель поправочных эмпирических коэффициентов, как, например, в теории резания древесины – на породу, влажность, затупление лезвия, толщину снимаемой стружки, и т.д. [97].

Конечно, в идеале, было бы хорошо обойтись одним энергетическим модулем, хотя бы на этапах подготовки площади, посадки (посева) и выращивания целевых древесных растений. Поскольку заготовительный процесс, в первой итерации постановки задачи, можно выделить отдельно, а на практике, при необходимости, отдавать выполнение задачи заготовки выращенной древесины на субподряд, организациям, имеющим необходимую технику. В лесозаготовительном производстве России это сейчас достаточно распространенная практика [98]. Правда это не касается заготовки тонкомерной энергетической древесины – для выполнения этой задачи, теоретически, можно использовать энергетический модуль, используемый на первых этапах технологического процесса.

В таком случае, при выборе начальных условий, необходимо задаться некими идеальными (типичными) условиями, при которых следует выполнять оптимизацию выбора систем машин для создания и эксплуатации лесных плантаций по следующим критериям:

- Энергоэффективность – степень соответствия установленной мощности энергетического модуля (модулей) потребностям соединяемых с ними транспортных и технологических модулей.

- Экономическая эффективность капиталовложений в приобретение системы машин. Этот показатель очень многокритериален, и его мы подробно разберем ниже.

В работах [99-102] обосновано разделение почвогрунтов лесосек на три класса по степени деформируемости под воздействием движителей лесных машин, в зависимости от их состава, влажности, и связанных с ними физико-механических свойств. По аналогии с этим походом, логично разделить площади лесных плантаций по сопротивляемости обработки почвы, т.е. по разной потребной мощности на обработку единицы площади при одинаковой производительности. Тогда можно будет обосновывать типовые системы машин для создания и эксплуатации лесных плантаций, в различных природно-производственных условиях. Такой подход, в зависимости от среднего объема хлыста в осваиваемых лесных массивах, для компоновки систем машин лесосечных работ практиковался в СССР – при объеме хлыста до 0,4 м<sup>3</sup> рекомендовалось использовать машины на базе тракторов Онежского тракторного завода, а при большем объеме хлыста – на базе тракторов Алтайского тракторного завода [103].

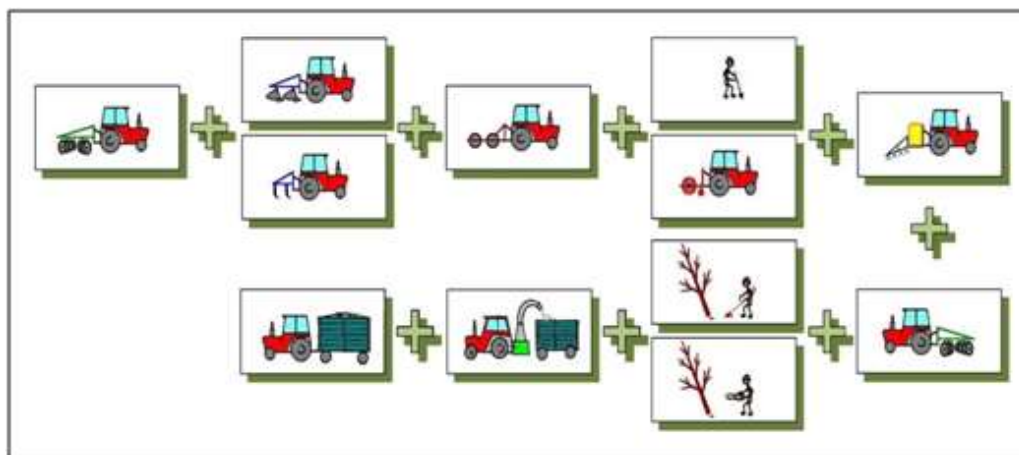
Как было отмечено выше, будет полезным отметить разработанный участниками научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» подход к оценке энергетической (экологической) эффективности систем машин и технологических процессов лесозаготовительного производства, заключающийся в сравнении энергетических затрат на получение древесной биомассы, включая процессы ее выращивания, и энергетическую ценность самой этой древесной биомассы [20, 21].

Касательно экономической эффективности приобретения системы машин необходимо отметить следующие моменты. Можно сравнивать однотипные машины (по назначению, потенциальной производительности и т.д.) по прямому экономическому показателю – цене [104]. Но данное сравнение будет, в большей части случаев не корректным. Далеко не секрет, что, например, дорожно-строительные машины, выпускаемые в России, по разным причинам, включая таможенные пошлины на аналогичную технику, стоят дешевле импортных.

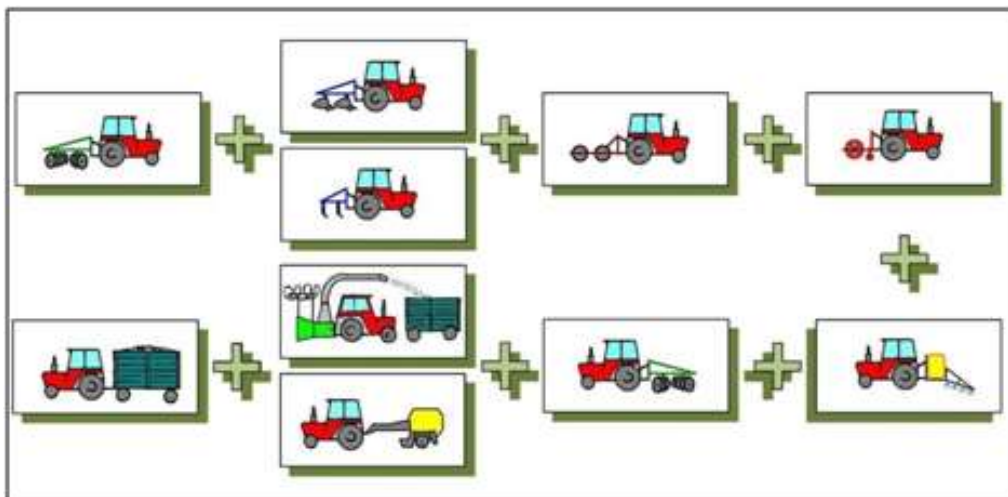
Однако большинство дорожно-строительных компаний предпочитают все же приобретать и работать с техникой импортной. Нельзя же сказать, что они все не считают деньги?! Как раз наоборот, считают. И их предпочтения основаны на производственном опыте. Да, изначально отечественная машина, например, экскаватор, бульдозер, и т.д., стоит дешевле импортного аналога, да и запасные части с расходными материалами стоят дешевле. Но из-за неприемлемо низкого коэффициента технической готовности отечественной техники, приводящей к частым простоям и повышенному расходу запасных частей и расходных материалов, в общем итоге, машина российского производства проигрывает по комплексному экономическому показателю импортной [105].

Вместе с тем, ни один производитель машин и оборудования не будет указывать, что надежность выпускаемой им техники мала. Для сравнения широко распространенной лесозаготовительной техники, наиболее известных фирм – производителей, например, Амкодор, Джон Дир, Камацу, Понссе, Ротне, можно было бы использовать метод экспертных оценок предпочтительности. Но в России сложно будет найти достаточное количество специалистов по оборудованию для создания лесных плантаций, поскольку, в настоящее время, у нас в стране попросту нет таких плантаций.

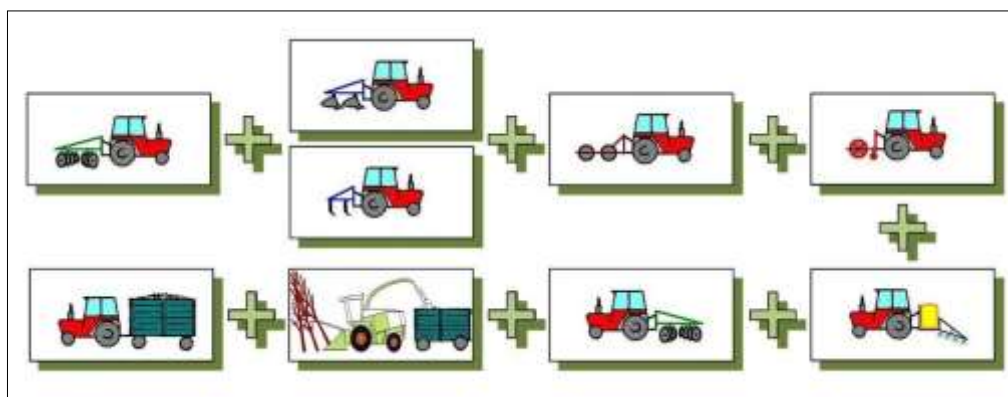
На рисунках 8-10 представлены системы машин и технологические цепочки создания и эксплуатации энергетических лесных плантаций с различной площадью [33].



**Рис. 8.** Система машин и технологическая цепочка создания и эксплуатации энергетических лесных плантаций площадью менее 3 га [33]



**Рис. 9.** Система машин и технологическая цепочка создания и эксплуатации энергетических лесных плантаций площадью 3-20 га [33]



**Рис.10.** Система машин и технологическая цепочка создания и эксплуатации энергетических лесных плантаций площадью более 20 га [33]

Как видно из рисунка 8, перед посадкой плантации проводят подготовку почвы, с использованием плуга и культиватора. Посадка сеянцами или саженцами может производиться как вручную, так и с помощью посадочных машин малой производительности. Уход за насаждениями проводится химикатами с помощью опрыскивающих машин. Срезание деревьев осуществляется с помощью ручного моторного инструмента – бензиномоторным кусторезом, или бензиномоторной пилой. Поваленные деревья перерабатываются на щепу мобильными дробильными установками, а полученную щепу транспортируют потребителю.

В качестве энергетического модуля, в этом случае достаточно использовать универсальные трактора средней категории. Расчеты потребляемой машинами энергии в насаждениях площадью менее 3 га, представлены в таблице 1 [33].

При расчете биоэнергии output авторами [33] были взяты следующие исходные данные: объем получаемой биомассы: 20 тонн/га/год, влажность: 60%,

энергия сгорания биомассы древесины: 7 МДж/кг. Энергия output при этом составит: 2800000 МДж. Input/output=1/46, то есть при расходе 1 части энергии на создание и эксплуатацию энергетической лесной плантации получают биоэнергии в 46 раз больше.

Система машин и технологическая цепочка создания и эксплуатации энергетических лесных плантаций площадью 3 20 га представлена на рисунке 9 [33].

Подготовка почвы производится аналогичному предыдущему случаю, посадка сеянцев или саженцев выполняется при помощи прицепных посадочных машин. Уход производится опрыскивающими машинами. Заготовка древесной биомассы осуществляется чипперами или ВПМ, а затем осуществляется транспортировка биомассы потребителю. В этом случае используют тракторы большей мощности, чем в предыдущем случае.

Затраты энергии на создание и эксплуатацию энергетических лесных плантаций площадью 3 20 га представлены в таблице 2 [33].

Таблица 1

**Энергия input потребляемая машинами и оборудованием на плантации  
площадью менее 3 га [33]**

Операции	Затраты энергии машиной [кВт]	Ко-во повторов операции	Усредненное время работы [час/га]	Всего энергии [МДж]
Подготовка почвы плугами	60	2	0,70	933
Глубокая вспашка	125	2	2,25	6250
Подготовка почвы к посадке	60	1	0,45	300
Внесение удобрений	60	12	0,24	1920
Посадка	60	1	2,56	1707
Междурядная обработка	60	42	0,70	19600
Внесение химреагентов	60	20	0,55	7333
Заготовка древесины ручным моторным инструментом	3,5	10	6,00	2390
Рубка в щепу	45	10	2,40	12000
Погрузка и транспортировка щепы (10-15 т) на 15 км	60	10	0,64	4267
Корчевка пней	135	1	3,00	4500
Всего:				61200 МДж



Таблица 2

**Энергия input потребляемая машинами и оборудованием на плантации  
площадью 3-20 га [33]**

Операции	Затраты энергии [кВт]	К-во повторов операции	Усредненное время работы [час/га]	Всего энергии [МДж]
Подготовка почвы плугами	90	2	0,50	1000
Глубокая вспашка	125	2	2,27	6306
Внесение удобрений	90	12	0,16	1920
Подготовка почвы к посадке	90	1	0,33	330
Посадка саженцев	190	1	1,79	1790
Междурядная обработка	90	42	0,50	21000
Внесение химреагентов	90	20	0,37	7400
Чиппер	150	10	2.28	45000
Погрузка и транспортировка щепы (10-15 т) на 15 км	90	10	0,42	4200
Корчевка пней	130	1	3,00	4400
Всего:	93400 МДж			

Как было показано выше, энергия Output составляет: 2800000 МДж. Исходя из вышепредставленного, энергетический баланс для плантации площадью 3 20 га составляет:  $input/output=1/30$ , т.е. на одну единицу затраченной энергии на создание и эксплуатацию энергетической лесной плантации получают в 30 раз больше биоэнергии.

Система машин и технологическая цепочка создания и эксплуатации энергетических лесных плантаций площадью более 20 га представлена на рисунке 10 [33].

Затраты энергии на создание и эксплуатацию энергетических лесных плантациях площадью более 20 га представлены в таблице 3. Энергия Output м составляет также 2800000 МДж. Энергетический баланс для плантаций площадью более 20 га составляет:  $input/output = 1/37$ , т.е. на одну единицу затраченной энергии на создание и эксплуатацию энергетической лесной плантации получают в 37 раз больше биоэнергии.

Таблица 3

**Энергия input потребляемая машинами и оборудованием на плантации  
площадью более 20 га [33]**

Операции	Затраты энергии [кВт]	К-во повторов операции	Усредненно е время работы [час/га]	Всего энергии [МДж]
Подготовка почвы плугами	125	2	0,37	1028
Глубокая вспашка	125	2	2,27	6306
Внесение удобрений	125	12	0,12	2000
Подготовка почвы к посадке	125	1	0,25	347
Посадка саженцев	125	1	1,00	1389
Междурядная обработка	125	42	0,37	21584
Внесение химреагентов	125	20	0,37	10278
Чиппер	300	10	0,69	23000
Погрузка и транспортировка щепы (10-15 т) на 15 км	125	10	0,36	5000
Корчевка пней	132	1	3,00	4400
Всего:				75300 МДж

**Заключение.** Анализ данных таблиц 1-3 показывает, что, несмотря на рост объемов (концентрацию) производства на лесных энергетических плантациях большей площади, их энергетическая эффективность снижается. Это очевидно связано с использованием в качестве энергетических модулей более мощных тракторов, потребляющих больше топлива (энергии). Во многом это доказывает идею упомянутого выше Ю. Одума о том, что пашущий при помощи вола индус, вносящий только навоз от вола в качестве удобрения, имеет много большую энергетическую (экологическую) эффективность, нежели американский фермер, собирающий по 2 урожая в год, пашущий поля на мощном тракторе, вносящий большое количество удобрений (на производство и транспортировку которых также расходуется много энергии).

Следует подчеркнуть, что изложенные выше выкладки получены авторами [33] для лесорастительных (почвенных и климатических) условий Венгрии. Безусловно, в разных районах Российской Федерации, да и в разные периоды выращивания, будут получаться различные приросты древесины на га площади плантации (различное количество энергии output). При этом при использовании одних и тех же систем машин и технологий создания и эксплуатации

энергетических лесных плантаций количество энергии input, потребляемой машинами и оборудованием, будет, примерно, постоянной (на га площади плантации).

Следовательно, для максимизации эффективности процессов создания и эксплуатации энергетических лесных плантаций необходимо для конкретных природно-производственных условий выбирать наиболее оптимальный породный состав (породы и клоны) выращиваемой древесно-кустарниковой растительности (этот вопрос находится за рамками наших исследований – в компетенции ученых лесоводов, дендрологов, биологов), а также оптимизировать составы систем машин, при единообразии применяемых технологических процессов (таблицы 1-3).

### Список литературы

1. Григорьев И.В., Куницкая О.А., Беляев Н.Л. Актуальные проблемы лесозаготовительного производства в России на рубеже 2022 года // Комплексные вопросы аграрной науки и образования. Сборник научных статей по материалам Внутривузовской научно-практической конференции, посвященной 65-летию Высшего аграрного образования Республики Саха (Якутия) и Всероссийской студенческой научно-практической конференции с международным участием в рамках «Северного форума – 2021». 2021. С. 265-271.
2. Григорьев И.В., Зорин М.В., Григорьев Г.В., Рудов С.Е., Швецова В.В., Калита Г.А. Анализ способов укрепления временных транспортных путей для трелевки и вывозки древесины // Деревообрабатывающая промышленность. 2021. № 2. С. 10-29.
3. Григорьев Г.В., Дмитриева И.Н., Григорьев И.В., Каляшов В.А., Рудов С.Е., Иванов В.А. Проблемы и перспективы лесозаготовительного производства в условиях районов распространения вечной мерзлоты // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 3 (51). С. 59-67.
4. Тамби А.А., Григорьев И.В., Давтян А.Б., Помигуев А.В., Калита О.Н., Григорьев В.И. Технологическая интеграция лесопромышленных предприятий // Деревообрабатывающая промышленность. 2021. № 1. С. 26-37.
5. Куницкая О.А. Национальный лесной форум продолжает путь // Леспроминформ. 2019. № 4 (142). С. 174-177.
6. Rego G.E., Voronov R.V., Grigoreva O.I. Algorithms for calculating schemes of transport routes in a felling area // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2. Сер. "II All-Russian Scientific-Technical Conference "Digital Technologies in Forest Sector"" 2021. С. 012025.

7. Куницкая О.А., Григорьев И.В., Давтян А.Б., Григорьев В.И., Нгуен Т.Н. Техничко-экономический анализ производства биотоплива из древесины // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2020. № 12. С. 29-35.
8. Куницкая О.А., Григорьев И.В., Мануковский А.Ю. Техничко-экономическое сравнение производства топливных брикетов и пеллет из древесины // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2020. № 57. С. 40-43.
9. Колесниченко Е.А., Торжков И.О., Радюкова Я.Ю., Морковина С.С. Рисковые факторы развития плантационного лесоразведения // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2017. № 3 (60). С. 103-114.
10. Сиволапов А.И., Сиволапов В.А., Благодарова Т.А., Морковина С.С. Перспективы создания плантационных культур быстрорастущих древесных пород биотехнологией *in vitro* в лесостепи // Инновации и технологии в лесном хозяйстве. ITF-2016. Тезисы докладов V Международной научно-практической конференции. 2016. С. 128.
11. Морковина С.С., Торжков И.О. Экономическая оценка возможности создания лесных плантаций на землях лесного фонда // Социально-экономические явления и процессы. 2016. Т. 11. № 6. С. 46-50.
12. Морковина С.С., Сибиряткина И.В. Лесопромышленные плантации - взгляд в будущее лесного сектора экономики // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2016. Т. 4. № 3 (23). С. 82-85.
13. Григорьев В.Ф., Фокинов А.М., Шадрин И.И., Куницкая О.А. Экономические аспекты эффективного использования низкотоварной древесины // Актуальные аспекты управления и экономики в современных условиях. Сборник материалов IX Всероссийского молодежного научного форума. 2017. С. 160-163.
14. Куницкая О.А. Обоснование направлений диверсификации обработки низкотоварной древесины на комплексных лесопромышленных предприятиях с использованием инновационных технологий / О. А. Куницкая / СПб.: СПбГЛТУ, 2015. - 250 с.
15. Куницкая О.А. Ресурсы низкотоварной древесины в субъектах Российской Федерации // Наука, образование, инновации в приграничном регионе. Материалы республиканской научно-практической конференции. Петрозаводский государственный университет. 2015. С. 15-17.
16. Шамаев В.А., Куницкая О.А., Григорьев И.В., Анучин А.И., Волганкин А.М., Челебадзе И.З. Состояние инновационных разработок в области модификации древесины // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2019. № 1. С. 41-48.

17. Шамаев В.А., Куницкая О.А., Григорьев И.В., Медведев И.Н., Паринов Д.А., Бурмистрова С.С. Пропитка древесины жидкостями под давлением // Системы. Методы. Технологии. 2018. № 4 (40). С. 152-156.
18. Медведев И.Н., Паринов Д.А., Шамаев В.А. Экономическое обоснование инновационного производства железнодорожных шпал из модифицированной древесины // Подготовка кадров в условиях перехода на инновационный путь развития лесного хозяйства. Научно-практическая конференция. Воронеж, 2021. С. 199-203.
19. Медведев И.Н., Паринов Д.А., Шамаев В.А. Модификация древесины малоценных пород с целью повышения эксплуатационных показателей изделий // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2020. Т. 8. № 1 (48). С. 233-237.
20. Григорьев И.В., Григорьева О.И., Никифорова А.И., Куницкая О.А. Обоснование методики оценки экологической эффективности лесопользования // Вестник КрасГАУ. 2012. № 6 (69). С. 72-77.
21. Григорьев И.В., Хитров Е.Г., Никифорова А.И., Григорьева О.И., Куницкая О.А. Определение энергоемкости продуктов лесопользования в рамках методики оценки экологической эффективности лесопользования // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2014. Т. 19. № 5. С. 1499-1502.
22. Одум Ю. П. Экология: перевод с англ. Ю. М. Фролова; под ред. В. Е. Соколова. - Москва: Мир, 1986. - 376 с.
23. Grigorev I., Ivanov V., Khitrov E., Kalistratov A., Bozhbov V. New approach for forest production stocktaking based on energy cost // 14th international multidisciplinary scientific geoconference sgem 2014. Sofia, 2014. С. 407-414.
24. Сафин Р.Р., Григорьев И.В., Григорьева О.И., Разумов Е.Ю. Основы лесного хозяйства. Учебное пособие. М.: Редакция журнала «Деревообрабатывающая промышленность», 2015. -170 с.
25. Григорьев И.В., Григорьева О.И., Никифорова А.И. Технология и машины лесовосстановительных работ. Учебник. СПб.: Изд-во Лань, 2015. - 272 с.
26. Сафин Р.Р., Григорьев И.В., Григорьева О.И., Разумов Е.Ю. Технология и машины лесовосстановительных работ. Учебное пособие. М.: Редакция журнала «Деревообрабатывающая промышленность», 2015. -230 с.
27. До Т.А., Григорьев В.И., Куницкая О.А. Природные условия лесов Социалистической Республики Вьетнам // Вестник АГАТУ. 2022. № 1 (5). С. 60-73.
28. Степанова Д.И., Григорьев И.В., Куницкая О.А., Григорьев М.Ф. Эксплуатационные причины выхода из строя бензиномоторных пил // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и

- обществе. Материалы международной научно-практической конференции. Под общей редакцией В.А. Гулевского. 2018. С. 266-271.
29. Гончаров А.В., Григорьев И.В., Куницкая О.А., Григорьев М.Ф. Основные ошибки вальщиков, приводящие к выходу из строя бензиномоторных пил // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2018. № 10. С. 17-21.
  30. Григорьев И.В., Куницкая О.А., Беляев Н.Л. Актуальные проблемы лесозаготовительного производства в России на рубеже 2022 года // Комплексные вопросы аграрной науки и образования. Сборник научных статей по материалам Внутривузовской научно-практической конференции, посвященной 65-летию Высшего аграрного образования Республики Саха (Якутия) и Всероссийской студенческой научно-практической конференции с международным участием в рамках «Северного форума – 2021». 2021. С. 265-271.
  31. Куницкая О.А. Повышение эффективности лесной промышленности Республики Саха (Якутия) путем развития лесохимических технологий // Повышение эффективности лесного комплекса. материалы Шестой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2020. С. 88-89.
  32. Куницкая О.А., Григорьев И.В. Оптимизация процесса модифицирования древесины // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 3-2 (8-2). С. 375-378.
  33. Вагвелди А., Фехер Ш., Хорват Б., Коман С., Ковач Г., Сабо Л., Цупи И., Григорьев И.В., Григорьева О.И., Данилов Д., Куницкая О.А., Криваш Е. Выращивание и эксплуатация лесных плантаций. Издательство: University of West Hungary Pres. 2016. -132 с.
  34. Энциклопедия агролесомелиорации / Сост. и гл. ред. Е.С. Павловский. - Волгоград: ВНИАЛМИ, 2004. - 675 с.
  35. Кузнецова Н.Ф., Сауткина М.Ю. Состояние лесов и динамика их породного состава в Центральном федеральном округе // Лесохозяйственная информация. 2019. № 2. С. 25-45.
  36. Терехин Э.А., Чендев Ю.Г. Анализ пространственно-временных изменений лесистости на юге лесостепи среднерусской возвышенности по спутниковым данным // Лесоведение. 2019. № 4. С. 257-265.
  37. Доманина О.И. Влияние ландшафтных пожаров на продуктивность и мелиоративную роль полезащитных насаждений степного Придонья // Диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук (06.03.03) / Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН. Волгоград, 2019. – 143 с.

38. Белицкая М.Н., Грибуст И.Р. Дендрофаги лесомелиоративных комплексов с участием древесных интродуцентов в условиях засушливой зоны // Социально-экологические технологии. 2019. № 3. С. 343-361.
39. Засоба В.В., Чеплянский И.Я., Поповичев В.В. Семидесятилетний опыт создания государственных защитных лесных полос в степной зоне России // Живые и биокосные системы. 2019. № 27. С. 3.
40. Ивонин В.М., Танюкевич В.В. Лесные мелиорации аграрных ландшафтов и эрозия почв. Противоэрозионная агролесомелиорация - Донской государственный аграрный университет, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова. Новочеркасск, 2019. – 161 с.
41. Власов Ю.Н., Куницкая О.А. Оптимальные параметры сырья для производства топливных брикетов из древесины // Лесоэксплуатация и комплексное использование древесины. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск, 2020. С. 45-49.
42. Рунова Е.М., Серков Д.В. Перспективы создания смешанных лиственнично-сосновых лесных культур в Иркутской области // Нива Поволжья. 2017. № 4 (45). С. 126-131.
43. Савченкова В.А., Рунова Е.М. Особенности влияния некоторых физических свойств почвы на формирование естественного возобновления леса // Системы. Методы. Технологии. 2014. № 2 (22). С. 169-174.
44. Никитина Е.И., Куницкая О.А., Николаева Ф.В. Проект организации лесозаготовок в условиях Алданского лесничества с применением многооперационных лесозаготовительных комплексов // современные проблемы и достижения аграрной науки в Арктике. Сборник научных статей по материалам Всероссийской студенческой научно-практической конференции с международным участием в рамках «Северного форума – 2020» (29–30 сентября 2020 г., Якутск) и Международной научной онлайн летней школы – 2020 (6–20 июля 2020 г., Якутск). 2020. С. 138-148.
45. Григорьева О.И., Давтян А.Б. Эффективная технология расчистки древесно-кустарниковой растительности // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Седьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2021. С. 34-35.
46. Куницкая О.А., Помигуев А.В. Анализ систем газификации древесины // Комплексные вопросы аграрной науки и образования. Сборник научных статей по материалам Внутривузовской научно-практической конференции, посвященной 65-летию Высшего аграрного образования Республики Саха (Якутия) и Всероссийской студенческой научно-практической конференции

- с международным участием в рамках «Северного форума – 2021». 2021. С. 291-296.
47. Куницкая О.А., Помигуев А.В., Калита Е.Г., Швецова В.В., Тихонов Е.А. Анализ газогенерирующих систем для автономного энергоснабжения лесных терминалов // Resources and Technology. 2021. Т. 18. № 3. С. 53-76.
  48. Куницкая О.А., Помигуев А.В. Функциональные возможности и эксплуатационные характеристики средств энергоснабжения лесных терминалов // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Седьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2021. С. 102-103.
  49. Куницкая О.А., Стородубцева Т.Н., Помигуев А.В. Энерго-ресурсосберегающие технологии электроснабжения лесных терминалов // Эколого-ресурсосберегающие технологии в науке и технике. материалы Всероссийской научно-технической конференции. Воронеж, 2021. С. 112-117.
  50. Иозус А.П., Крючков С.Н., Морозова Е.В. Селекционное семеноводство древесных пород на юго-востоке европейской России. Монография - Волгоградский государственный технический университет (Камышинский филиал). Волгоград, 2016. – 184 с.
  51. Крючков С.Н., Вдовенко А.В., Филимонова Л.В., Зарубина А.В. Технология выращивания посадочного материала в лесных питомниках в условиях юга России // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в современных экономических условиях. Материалы Международной научно-практической конференции. Волгоград, 2021. С. 50-57.
  52. Сиволапов А.И. Тополя селекции ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова для защитного лесоразведения // Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Материалы третьей международной научно-технической конференции. СПб.: СПбГЛТУ, 2018. С. 259-262.
  53. Багаев Е.С., Багаев С.С., Макаров С.С., Чудецкий А.И. Перспективы плантационного выращивания быстрорастущих триплоидных клонов осины в южно-таежном лесном районе европейской части России // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2018. Т. 4. № 3. С. 81-93.
  54. Сиволапов А.И. Селекция - один из путей повышения продуктивности и качества лесных насаждений // Биотехнология, генетика, селекция в лесном и сельском хозяйстве, мониторинг экосистем. Материалы международной научно-технической конференции. 2017. С. 486-490.
  55. Машкина О.С., Табацкая Т.М. Опытные плантационные культуры березы, тополя и осины, созданные методами биотехнологии // Биотехнология,



- генетика, селекция в лесном и сельском хозяйстве, мониторинг экосистем. Материалы международной научно-технической конференции. 2017. С. 75-80.
56. Горобец А.И. Перспективы внедрения в производство научных исследований по селекции и плантационному выращиванию ивы // Воспроизводство, мониторинг и охрана природных, природно-антропогенных и антропогенных ландшафтов. материалы Международной молодежной научной школы. Воронежская государственная лесотехническая академия; Научные редакторы: М. В. Драпалюк, О. В. Трегубов; Редколлегия: А. В. Царалунга, Н. Н. Харченко, С. М. Матвеев, В. И. Михин, С. Ю. Крахотина. 2012. С. 324-327.
57. Сиволапов А.И., Чернодубов А.И., Журихин А.И., Исаков И.Ю., Клещева Е.В., Сиволапов В.А., Галдина Т.Е., Малышев В.В. Использование генетико-селекционных технологий для создания плантационных культур древесных пород // Воспроизводство, мониторинг и охрана природных, природно-антропогенных и антропогенных ландшафтов. материалы Международной молодежной научной школы. Воронежская государственная лесотехническая академия; Научные редакторы: М. В. Драпалюк, О. В. Трегубов; Редколлегия: А. В. Царалунга, Н. Н. Харченко, С. М. Матвеев, В. И. Михин, С. Ю. Крахотина. 2012. С. 458-464.
58. Кулагина В.И., Андреева А.А., Сунгатуллина Л.М., Рязанов С.С., Кольцова Т.Г. Оценка воздействия гранулята осадков сточных вод на реакцию среды серой лесной почвы // Инновационные технологии в АПК: теория и практика. Сборник статей X Международной научно-практической конференции. Под научной редакцией А.А. Галиуллина, В.А. Кошеляева, О.А. Тимошкина. Пенза, 2022. С. 95-98.
59. Драпалюк М.В., Попиков В.П. Ресурсосберегающие технологии и техника при плантационном лесовыращивании и заготовке древесного сырья // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе. Материалы международной научно-практической конференции. 2021. С. 350-357.
60. Калинин К.П., Касимов А.К. Перспективы использования вышедших из-под сельскохозяйственного пользования земель под лесовыращивание // Инновационные технологии для реализации программы научно-технического развития сельского хозяйства. Материалы Международной научно-практической конференции: в 3 томах. ФГБОУ ВО Ижевская государственная сельскохозяйственная академия. 2018. С. 179-182.

61. Торжков И.О. Предпосылки развития лесного предпринимательства на базе промышленных лесосырьевых плантаций // Социально-экономические явления и процессы. 2015. Т. 10. № 10. С. 163-168.
62. Горобец А.И. Продуктивность микроротационной плантации ивы на выщелоченном черноземе // Лесотехнический журнал. 2015. Т. 5. № 4 (20). С. 26-33.
63. Сучков Д.К. Сравнительный анализ создания полезащитных лесных полос шахматным и рядовым способом посадки // Научно-агрономический журнал. 2019. № 4 (107). С. 24-27.
64. Крючков С.Н., Архангельская Г.П., Жукова О.И. Способ закладки плантационных культур древесных видов посевом семян // Патент на изобретение RU 2305929 С1, 20.09.2007. Заявка № 2005140494/12 от 23.12.2005.
65. Архангельская Г.П., Жукова О.И., Крючков С.Н., Засова Н.В. Способ вегетативного размножения древесных растений // Патент на изобретение RU 2200384 С2, 20.03.2003. Заявка № 2000114102/13 от 02.06.2000.
66. Лысыч М.Н., Бухтояров Л.Д., Чернышов В.В., Нагайцев В.М. Обзор современных технологий аэросева лесных культур с применением беспилотных летательных аппаратов // Успехи современного естествознания. 2021. № 10. С. 37-42.
67. Свиридов Л.Т., Чмелев В.В. Новый способ и комбинированное орудие для создания культур хвойных пород посевом // Восстановление эколого-ресурсного потенциала агролесобиоценозов, лесоразведение и рациональное природопользование в Центральной лесостепи и юге России. Школа-конференция. Сборник научно-исследовательских работ. А.А. Аксенов, С.В. Белокуров, В.П. Белокуров, Д.В. Лихачев, Г.А. Бондарева, Ю.С. Боровик. 2007. С. 141-144.
68. Григорьев В.И. Лесные плантации в Азиатско-Тихоокеанском регионе // Наука и инновации: векторы развития. Материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых. Сборник научных статей. В 2-х книгах. 2018. С. 75-78.
69. Демаков Ю.П., Нуреева Т.В., Краснов В.Г., Рыжков А.А. Эколого-ресурсный потенциал лесных насаждений на приовражно-балочных землях среднего Поволжья // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2017. № 3 (35). С. 73-87.
70. Kunickaya O., Tanyukevich V., Khmeleva D., Kulik A., Runova E., Savchenkova V., Voronova A., Lavrov M. Cultivation of the targeted forest plantations // Journal of Environmental Treatment Techniques. 2020. Т. 8. № 4. С. 1385-1393.

71. Григорьева О.И., Давтян А.Б. Иностраный опыт агролесоводства для повышения эффективности лесопользования // В сборнике: Наука и инновации: векторы развития. Материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых. Сборник научных статей. В 2-х книгах. 2018. С. 82-85.
72. Кретинин В.М., Кошелев А.В. Проблемы агролесоводства в Волгоградской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 3 (47). С. 73-78.
73. Кретинин В.М. Будущее агролесоводство на лесных почвах России // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 1 (41). С. 52-57.
74. Кретинин В.М. Агролесоводство на опустыненных землях // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2016. № 67. С. 153-156.
75. Земляной А.И. Перспективы развития агролесоводства в Присалаирье // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2014. Т. 3. № 2. С. 310-316.
76. Веренич Г.Д., Марцева С.В., Гуторова Е.С. Тенденции развития лесного хозяйства Республики Беларусь с использованием цифровых технологий // Экономика и маркетинг в XXI веке: проблемы, опыт, перспективы. Сборник материалов XVI международной научно-практической конференции: посвящается 100-летию ДОННТУ. Донецк, 2020. С. 189-194.
77. Морковина С.С. Финансовое обеспечение цифровой трансформации лесного хозяйства РФ // Актуальные вопросы теории и практики финансово-хозяйственной деятельности. Сборник материалов II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. 2020. С. 109-112.
78. Морковина С.С., Шанин И.И. Применение цифровых технологий в лесном комплексе // Вызовы цифровой экономики: развитие комфортной городской среды. Труды III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2020. С. 553-555.
79. Морковина С.С., Топчеев А.Н. Организация комплексного использования лесных ресурсов на цифровой основе // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. 2020. Т. 10. № 4. С. 125-136.
80. Морковина С.С., Топчеев А.Н. Цифровизация в лесном секторе: перспективы и потенциал // Современные тенденции развития менеджмента и государственного управления. Материалы межрегиональной заочной научно-практической конференции: в 2-х томах. Под редакцией А.В. Полянина. 2019. С. 125-127.

81. Морковина С.С., Шанин И.И. Обзор и практика применения цифровых технологий в лесной отрасли // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2019. Т. 7. № 4 (47). С. 31-36.
82. Куницкая О.А., Беляев Н.Л. Развитие оптических технологий для группового и поштучного измерения и учёта круглых лесоматериалов // Вестник АГАТУ. 2022. № 1 (5). С. 74-85.
83. Беляев Н.Л., Куницкая О.А. Перспективные технологии повышения эффективности группового учета круглых лесоматериалов // Эколого-ресурсосберегающие технологии в науке и технике. материалы Всероссийской научно-технической конференции. Воронеж, 2021. С. 22-26.
84. Куницкая О.А., Беляев Н.Л. Анализ методов измерений круглых лесоматериалов и их систем учёта в лесном комплексе // Комплексные вопросы аграрной науки и образования. Сборник научных статей по материалам Внутривузовской научно-практической конференции, посвященной 65-летию Высшего аграрного образования Республики Саха (Якутия) и Всероссийской студенческой научно-практической конференции с международным участием в рамках «Северного форума – 2021». 2021. С. 279-285.
85. Куницкая О.А., Беляев Н.Л. Обоснование необходимости повышения эффективности учета круглых лесоматериалов // Вестник АГАТУ. 2021. № 4 (4). С. 73-79.
86. Куницкая О.А., Беляев Н.Л., Хитров Е.Г., Пузанова О.А. Результаты экспериментальных исследований программного определения объема партии лиственных лесоматериалов // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 1 (53). С. 99-106.
87. Куницкая О.А., Беляев Н.Л., Хитров Е.Г. Результаты экспериментальных исследований программного определения объема партии хвойных лесоматериалов // Деревообрабатывающая промышленность. 2021. № 4. С. 49-59.
88. Куницкая О.А., Бурмистрова С.С. Повышение эффективности труднодоступных лесных массивов за счет расширения ассортимента готовой продукции, выпускаемой на мобильных лесопромышленных складах // Леса России в XXI веке: Материалы девятой международной научно-технической интернет-конференции. СПб.: СПбГЛТУ, 2012. С. 83-87.
89. Григорьев И.В., Григорьева О.И., Цыгарова М.В. Вахтовые лесозаготовки. Теория и практика // Леспроминформ. 2016. № 1. С. 60-65.
90. Каляшов В.А., Куницкая О.А., Григорьева О.И. Современные технологии и системы машин для заготовки древесины на склонах // Лесная инженерия,

- материаловедение и дизайн. материалы 86-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием). Минск, 2022. С. 46-49.
91. Григорьев И.В. Чураков А.А. Оценка качества лесных машин в проектировании // Леспромформ, 2017. № 4. С. 78-82.
  92. Григорьева О.И. Перспективные направления повышения эффективности проведения рубок ухода за лесом // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы третьей Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2017. С. 56-58.
  93. Григорьева О.И. Эффективность транспортно-технологических систем для лесного хозяйства // Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы Международной научно-технической конференции. Отв. ред. Н. С. Захаров. 2018. С. 79-83.
  94. Куницкая О.А., Давтян А.Б., Помигуев А.В. Транспортно-технологические комплексы для производства топливной щепы // В сборнике: Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы Международной научно-технической конференции. Отв. редактор Н.С. Захаров. Тюмень, 2021. С. 141-144.
  95. Григорьев И.В., Григорьева О.И., Вернер Н.Н. Системы машин для создания и эксплуатации лесных плантаций // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2017. Т. 5. № 5 (31). С. 438-443.
  96. Григорьев И.В. Снижение отрицательного воздействия на почву колесных трелевочных тракторов обоснованием режимов их движения и технологического оборудования // СПб.: СПбГЛТА. 2006 г. - 236 с.
  97. Григорьев И.В., Хитров Е.Г., Власов Ю.Н., Иванов В.А., Жданович В.И. О необходимости дополнительных исследований энергоемкости процесса поперечного пиления древесины // Системы. Методы. Технологии. 2013. № 4 (20). С. 143-147.
  98. Григорьева О.И. Новая машина для очистки лесосек // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 5-3 (10-3). С. 96-99.
  99. Никифорова А.И., О.И. Григорьева Моделирование воздействия движителей лесных машин на почвы лесосек // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 5-4 (16-4). С. 320-323.
  100. Никифорова А.И., Рудов М.Е., Григорьева О.И. Экспериментальные исследования уплотнения боковых полос трасс трелевки волочащейся частью трелевочной пачки лесоматериалов // Проблемно-ориентированные

- исследования: теория и практика. Материалы республиканской научно-практической конференции. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Петрозаводский государственный университет». 2014. С. 37-39.
101. Никифорова А.И., Григорьева О.И., Киселев Д.С., Хахина А.М., Рудов М.Е. Оценка экологической безопасности работы лесных машин // Природные ресурсы и экология Дальневосточного региона. Материалы Международного научно-практического форума. 2013. С. 134-138.
102. Калистратов А.В., Григорьева О.И., Григорьев Г.В., Дмитриева И.Н. О важности исследований экологической эффективности процесса трелевки // Наука, образование, инновации в приграничном регионе. Материалы республиканской научно-практической конференции. Петрозаводский государственный университет. 2015. С. 7-9.
103. Куницкая О.А., Степанова Д.И., Григорьев М.Ф. Перспективные направления развития транспортно-технологических систем лесного комплекса России // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе. Материалы международной научно-практической конференции. Под общей редакцией В.А. Гулевского. 2018. С. 109-114. 9
104. Куницкая О.А., Степанова Д.И., Григорьев М.Ф. Транспортно-технологические системы для сбора и переработки пищевой продукции леса // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе. Материалы международной научно-практической конференции. Под общей редакцией В.А. Гулевского. 2018. С. 102-108.
105. Куницкая О.А., Просужих А.А., Давтян А.Б., Григорьев М.Ф., Григорьева А.И. Организационно-технические решения для повышения коэффициента технической готовности лесных машин // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе. Материалы международной научно-практической конференции. 2020. С. 162-167.