



№19 (2)

ISSN 2307-0048

Resources and Technology

научный журнал

2022

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Resources and Technology

№19 (2)

Сетевое издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ЭЛ № ФС 77 - 57768 от 18.04.2014.

Учредитель – ФГБОУ ВО Петрозаводский государственный университет.

Адрес электронной почты журнала: rt@petsu.ru. Номер телефона: 8 (8142) 76-97-11.

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

Resources and Technology

№19 (2)

Mass media registration certificate #ΦC77-57768 (18/04/2014).

Founder: Petrozavodsk State University.

E-mail: rt@petsu.ru. Phone number: 8 (8142) 76-97-11.

Редакционная коллегия:

Главный редактор:

Васильев Сергей Борисович (Россия) доктор технических наук, профессор, *servas@psu.karelia.ru*.

Заместитель главного редактора:

Колесников Геннадий Николаевич (Россия) доктор технических наук, профессор, *kgn@psu.karelia.ru*.

Тихонов Евгений Андриянович (Россия) кандидат технических наук, доцент, *tihonov@psu.karelia.ru*.

Редакционный совет:

Гаврилова Ольга Ивановна (Россия) доктор сельскохозяйственных наук, профессор, *ogavril@mail.ru*.

Добрынина Оксана Леонидовна (Россия) Кандидат педагогических наук, доцент, *oksdobr@mail.ru*.

Григорьев Игорь Владиславович (Россия) Доктор технических наук, профессор, *silver73@inbox.ru*.

Карвинен Сари (Финляндия) Магистр естественных наук, *sari.karvinen@metla.fi*.

Левин Валерий Михайлович (Мексика) Доктор физико-математических наук, профессор,
vlevine@imp.mx.

Ледницкий Андрей Викентьевич (Республика Беларусь) Кандидат экономических наук, доцент,
ledniz@inbox.ru.

Мануковский Андрей Юрьевич (Россия) Доктор технических наук, профессор, *mayu1964@mail.ru*.

Мельник Пётр Григорьевич (Россия) Кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, *melnik_petr@bk.ru*.

Саастамойнен Олли (Финляндия) Доктор наук, *olli.saastamoinen@uef.fi*.

Саливоник Александр Владимирович (Россия) Кандидат технических наук, *salivonik@rambler.ru*.

Сюнёв Владимир Сергеевич (Россия) Доктор технических наук, профессор, *siounev@psu.karelia.ru*.

Editorial staff:

Editor-in-chief:

Prof. Dr. Vasilyev, Sergey (Russia), *servas@psu.karelia.ru*.

Deputy editor:

Prof. Dr. Kolesnikov, Gennady (Russia), *kgn@psu.karelia.ru*.

Prof. Dr. Tikhonov, Eugeny (Russia), *tihonov@psu.karelia.ru*.

Editorial board:

Prof. Dr. Gavrilova, Olga I. (Russia), *ogavril@mail.ru*.

Dr. Dobrinina, Oksana (Russia), *oksdobr@mail.ru*.

Prof. Dr. Grigoryev, Igor (Russia), *silver73@inbox.ru*.

M. Sc. Karvinen, Sari (Finland), *sari.karvinen@metla.fi*.

Prof. Dr. Levin, Valery (Mexico), *vlevine@imp.mx*.

Prof. Dr. Lednitskij, Andrej (Belarus), *ledniz@inbox.ru*.

Prof. Dr. Manukovsky, Andrey (Russia), *mayu1964@mail.ru*.

Dr. Melnik, Petr (Russia), *melnik_petr@bk.ru*.

Prof. Emeritus, Dr. Sc., Saastamoinen Olli (Finland), *olli.saastamoinen@uef.fi*.

Prof. Dr. Salivonik, Alexander (Russia), *salivonik@rambler.ru*.

Prof. Dr. Syunev, Vladimir (Russia), *siounev@psu.karelia.ru*.

Содержание №2, Т. 19, 2022

<i>Каляшов В. А., До Туан А., Хитров Е. Г., Григорьева О. И., Гурьев А. Ю., Новгородов Д. В.</i>	Современные системы машин и технологии заготовки древесины и лесовосстановления в условиях горных лесосек	1 - 47
<i>Букреев В. Ю., Козлов В. Г., Скрыпников А. В., Мануковский А. Ю.</i>	Снижение удельного простоя лесозаготовительной техники в техническом обслуживании и ремонте	48 - 60
<i>Соколов А. П., Сюнёв В. С., Галактионов О. Н., Пойконен П., Селиверстов А. А., Лукашевич В. М.</i>	О возможных направлениях международного сотрудничества России и Финляндии: результаты опроса поставщиков лесохозяйственных услуг	61 - 76
<i>Васильев В. В., Афоничев Д. Н.</i>	Расчет прочности гибкого водонепроницаемого материала плоских сплоченных единиц со стабилизированным запасом пластичности	77 - 102
<i>Добрынина О. Л.</i>	Аннотация к статье в области технических наук и её машинный перевод	103 - 117
<i>Зимарин С. В., Хрипченко М. С., Четверикова И. В.</i>	Исследование параметров новой конструкции мультиблока для ресурсосберегающего восстановления дубрав	118 - 133
<i>Шиловский В. Н., Скобцов И. Г., Конанов Д. Г.</i>	Регрессионный анализ и оценка факторов ремонтпригодности лесных машин	134 - 146

Content №2, Vol. 19, 2022

<i>Kalyashov V., Do Tuan A., Hitrov E., Grigoreva O., Gur'ev A., Novgorodov D.</i>	Modern systems of machinery and technologies for timber harvesting and reforestation in mountain forests	1 - 47
<i>Bukreev V. Y., Kozlov V. G., Skrypnikov A. V., Manukovsky A. Y.</i>	Reduction of specific downtime of logging equipment in maintenance and repair	48 - 60
<i>Sokolov A. P., Syuney V. S., Galaktionov O. N., Poikonen P., Seliverstov A. A., Lukashevich V. M.</i>	Potential areas of international cooperation between Russia and Finland: survey of forestry services suppliers	61 - 76
<i>Vasiliev V. V., Afonichev D. N.</i>	Calculation of a flexible waterproof material strength for flat float units with a stabilized buoyancy reserve	77 - 102
<i>Dobrynina O.</i>	Abstract of an article in engineering sciences and its machine translation	103 - 117
<i>Zimarin S., Khrapchenko M., Chetverikova I.</i>	Investigation of the parameters of a new multiblock design for resource-saving restoration of oak forests	118 - 133
<i>Shilovsky V., Skobtsov I., Konanov D.</i>	Regression Analysis and Evaluation of Forest Machine Maintainability Factors	134 - 146

УДК 674.81

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6163

Обзор

Современные системы машин и технологии заготовки древесины и лесовосстановления в условиях горных лесосек

Каляшов Виталий Анатольевич

кандидат технических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (Российская Федерация), vit832@yandex.ru

До Туан Ань

преподаватель, Вьетнамский национальный университет лесного хозяйства (Социалистическая Республика Вьетнам), anhdo.dhln@gmail.com

Хитров Егор Германович

доктор технических наук, доцент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Российская Федерация), yegorkhitrov@gmail.com

Григорьева Ольга Ивановна

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова (Российская Федерация), grigoreva_o@list.ru

Гурьев Александр Юрьевич

аспирант, Арктический государственный агротехнологический университет (Российская Федерация), sashafuryjager96@gmail.com

Новгородов Дьулус Васильевич

аспирант, Арктический государственный агротехнологический университет (Российская Федерация), novgorodov_dulus@mail.ru

Получена: 18 февраля 2022 / Принята: / Опубликовано:

Аннотация: Во многих странах мира достаточно большие запасы лесных ресурсов находятся на горных склонах. Такие природно-производственные условия характерны для Дальнего Востока Российской Федерации, многих стран Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР), в т. ч. Социалистической Республики Вьетнам, США, ряда европейских стран (Чехия, Австрия и т. д.). Работы по заготовке древесины и лесовосстановлению в условиях горных лесосек

существенно снижают производительность и повышают риски для людей и техники, если не использовать специально приспособленные для этих условий системы машин и технологические процессы. Во многих индустриально развитых странах мира преобладают машинные способы заготовки древесины и лесовосстановления, включая освоение лесов на горных склонах. В ряде стран АТР до сих пор преобладает использование ручного труда для выполнения рассматриваемых работ. При помощи специальных технических средств, таких как интегрированные в трансмиссию лесных машин лебёдки, самоходные лебёдки, современные канатные установки, возможно эффективное освоение лесов на достаточно крутых склонах. При этом надо учитывать, что экосистемы горных лесов являются очень ранимыми, при неправильном проведении работ на них могут возникать и быстро развиваться процессы водной и ветровой эрозии. В статье рассмотрены современные технические средства для заготовки древесины и лесовосстановления в условиях горных лесосек, позволяющие существенно повысить эффективность этих работ и минимизировать негативные экологические последствия. Работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» Арктического государственного агротехнологического университета.

Ключевые слова: горные леса, леса на склонах, лесосечные работы, лебёдки, трелёвка, лесовосстановление, аэросев

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6163

Review

Modern systems of machinery and technologies for timber harvesting and reforestation in mountain forests

Vitalij Kalyashov

Ph. D. in engineering, associate professor, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (Russian Federation), vit832@yandex.ru

Do Tuan An'

lecturer, Vietnam National University of Forestry (Socialist Republic of Vietnam), anhdo.dhln@gmail.com

Egor Hitrov

D. Sc. in engineering associate professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (Russian Federation), yegorkhitrov@gmail.com

Olga Grigoreva

Ph. D. in agriculture, associate professor, St. Petersburg State Forest Engineering University named after S. M. Kirov (Russian Federation), grigoreva_o@list.ru

Aleksandr Gur'ev

graduate student, Arctic State Agrotechnological University (Russian Federation), sashafuryjager96@gmail.com

D'ulus Novgorodov

graduate student, Arctic State Agrotechnological University (Russian Federation), novgorodov_dulus@mail.ru

Received: 18 February 2022 / Accepted: 22 April 2022 / Published: 25 April 2022

Abstract: In many countries of the world quite large reserves of forest resources are located on mountain slopes. Such natural and production conditions are typical for the Far East of the Russian Federation, many countries of the Asia-Pacific region (APR), including the Socialist Republic of Vietnam, the USA, a number of European countries (Czech Republic, Austria, etc.). Harvesting and reforestation activities in mountainous areas significantly reduce productivity and increase risks for people and machinery, unless specially adapted machinery systems and technological processes are used. Machine logging and reforestation operations, including forest exploitation on mountain

slopes, are the predominant methods in many industrialized countries of the world. In a number of Asia-Pacific countries, manual labor still prevails in harvesting and reforestation activities. Using special technical means, such as winches integrated into the transmission of forest machines, self-propelled winches, and modern rope units, it is possible to exploit forests efficiently on rather steep slopes. However, the vulnerability of mountain forests ecosystem should be kept in mind because water and wind erosion processes may arise and develop quickly in case of exploitation operations failure. The article deals with modern technical means for logging and reforestation in mountain forests, which may significantly increase the efficiency of these works and minimize the negative environmental consequences. The research was conducted within the framework of the scientific school «Innovative developments in the field of logging industry and forestry» of the Arctic State Agrotechnological University.

Keywords: mountain forests, slope forests, logging, winches, skidding, reforestation, aerial seeding

1. Введение

Многие страны мира обладают значительными запасами леса, произрастающего на сильно пересечённой местности, с крутыми склонами. Такие леса характерны и для Российской Федерации (Дальний Восток, часть Сибири, часть Краснодарского края и др.), и для Социалистической Республики Вьетнам, в которой более 70 % естественных лесов произрастает в горной местности (фото 1, 2).



Фото 1. Типичный лесной массив на склоне сопок Хабаровского края (фото авторов)

Photo 1. A typical forest area on the slope of the Khabarovsk hills (authors' photo)



Фото 2. Типичный лесной массив на горном склоне в Социалистической Республике Вьетнам (фото авторов)

Photo 2. A typical forested area on a mountain slope in the Socialist Republic of Vietnam (authors' photo)

Во многих странах мира для освоения запасов древесины в эксплуатационных лесах на крутых склонах были разработаны многочисленные системы машин, включая различные средства воздушного транспорта (легче и тяжелее воздуха), различные системы канатных трелёвочных установок (лесных кранов), самоходные лебёдки, лесные машины с интегрированными в их трансмиссию лебёдками.

В СССР также была разработана и выпускалась широкая линейка передвижных, самоходных и стационарных трелёвочных установок. Над проблемой обоснования и оптимизации их конструктивных параметров и режимов работы в различных условиях эксплуатации трудились несколько отраслевых научно-исследовательских институтов, конструкторских бюро, специализированные кафедры профильных высших учебных заведений. По данному вопросу были защищены десятки диссертаций, включая работы вьетнамских специалистов, проходящих обучение в вузах и НИИ Советского Союза.

К сожалению, в Российской Федерации такое направление специального лесного машиностроения утрачено на сегодняшний день полностью. Выпуск специальной техники для освоения лесов на склонах прекращён.

В других странах мира (например, США, Япония, Новая Зеландия, Австрия) выпускается широкая линейка техники для работы в горных лесах. Каждый вариант этой техники имеет свои достоинства и недостатки.

Приятно отметить, что в Российской Федерации есть тенденция к возрождению лесного машиностроения. И можно ожидать, что сегмент техники для лесов на склонах гор и сопок также, через определённое время, будет восстанавливаться. Целью данной работы является выявление достоинств и недостатков различных концептов техники для работы в лесах на склонах.

2. Материалы и методы

При подготовке материала статьи использовались данные иностранных производителей специальной техники для работы в лесах на склонах, специальная литература, а также данные интервью специалистов лесопромышленных предприятий Дальнего Востока Российской Федерации и Социалистической Республики Вьетнам, занимающихся освоением лесных массивов на склонах гор и сопок.

3. Результаты

Как известно, эффективность проведения лесосечных работ, в т. ч. и на склонах, складывается из экономических и экологических показателей. Экономические показатели считаются хорошими при достижении возможного минимума себестоимости заготовленной древесины, т. е. минимизации затрат на подготовительные, вспомогательные и основные работы, объём которых во многом зависит от принятой системы машин, режима их работы, технологического процесса и схемы разработки лесосеки.

Экологические показатели лесосечных работ считаются хорошими при достижении возможного минимума отрицательного воздействия на лесную экосистему, и, соответственно, при достижении минимума затрат на последующее лесовосстановление. При этом степень отрицательного воздействия лесосечных работ на лесную экосистему во многом зависит от принятой системы машин, режима их работы, технологического процесса и схемы разработки лесосеки.

Как показывает анализ научной литературы, данных сети Интернет и интервью с представителями лесопромышленных компаний, осуществляющих лесозаготовительную деятельность в условиях склонов гор и сопок, принципиально можно выделить пять вариантов систем машин для лесосечных работ в данных природно-производственных условиях.

Наименее оптимальным и не рассматриваемым далее вариантом является использование традиционных для условий равнинных лесов систем машин с механизированной или машинной заготовкой древесины. Для того чтобы обычные лесные машины могли работать в условиях крутых склонов, предварительно бульдозером нарезаются террасы, которые серпантином охватывают склон (фото 3). Данный вариант является самым затратным по экономической и эксплуатационной эффективности, поскольку прокладка террас стоит достаточно дорого, а постоянная нагрузка трансмиссий лесных машин при подъёмах на террасы приводит к повышенному расходу топлива и ускоренному износу двигателя и элементов трансмиссии. Также данный вариант является совершенно неприемлемым с экологической точки зрения, поскольку оказывает невосполнимое отрицательное воздействие на экосистемы лесов на склонах. В дальнейшем террасы становятся очагами водной и ветровой эрозии, и на нормальное лесовосстановление таких лесосек на склонах трудно рассчитывать.



Фото 3. Нарезка террас на горном склоне бульдозером

Photo 3. Cutting terraces on a hillside with a bulldozer (authors' photo)

Вторым вариантом, являющимся наиболее предпочтительным с экологической точки зрения, но нераспространённым из-за чрезмерно большой себестоимости, является вариант использования воздушного транспорта для трелёвки заготовленной на склонах древесины. При этом валка деревьев может производиться как механизированным, так и машинным способом. Вопрос о доставке тяжёлых лесных машин на склоны пока оставим за рамками данного анализа.

Главным преимуществом использования воздушного транспорта на трелёвке заготовленной древесины является минимальная, из всех возможных при проведении лесосечных работ на склонах, степень повреждения компонентов экосистемы леса. Но очень большая стоимость такого варианта, как уже было отмечено, препятствует его широкому распространению.

Третьим вариантом являются различные виды канатных трелёвочных установок (КТУ), которые будут подробно рассмотрены ниже. Данный вариант, в зависимости от типа используемой КТУ, в той или иной мере обладает и достоинствами, и недостатками предыдущих двух вариантов. Например, при использовании неподвесной или полуподвесной КТУ трелюемые лесоматериалы оказывают достаточно сильное негативное воздействие на почвогрунты лесосек. При использовании полностью подвесной КТУ лесоматериалы не оказывают негативного воздействия на почвогрунты, но такой вариант существенно дороже по подготовительным и основным работам, стоимости самого оборудования.

Четвёртый вариант является более современным относительно предыдущих — это лесные машины, оснащённые встроенными в трансмиссию лебёдками. Такая система позволяет лесной машине намного эффективнее работать на крутых склонах, но утяжеляет её конструктивно и значительно удорожает процесс. Кроме этого, недостатками такого варианта являются негативное воздействие движителей лесных машин на почвогрунты (как нормальные, так и касательные), а также то, что при смене дислокации машины (например, при переходе на разработку равнинных лесосек) снять эту лебёдку нельзя. Лесная машина работает с дополнительным весом технологического оборудования и, соответственно, с дополнительным расходом топлива на перемещение.

Пятым вариантом является использование самоходных лебёдок различных конструкций, которые, в отличие от КТУ, перемещают не непосредственно заготовленную древесину, а лесные машины, работающие на склоне. Данный вариант получается неким гибридом между третьим и четвёртым. При сохранении недостатков в виде дополнительных расходов на оборудование (в данном случае самоходную лебёдку) и негативного воздействия на почвогрунты движителей работающих на склоне лесных машин этот вариант даёт также и преимущества. Во-первых, самоходная лебёдка является достаточно универсальным оборудованием и может быть использована не только для совместной работы с лесными машинами на склонах. Во-вторых, при смене дислокации лесной машины (на равнинные, тем более переувлажнённые лесосеки) нет необходимости возить дополнительную массу не нужного в данных условиях технологического оборудования.

Далее более подробно рассмотрим четыре вышеперечисленных варианта систем машин для проведения лесосечных работ на склонах гор и сопок.

3.1. Использование летательных аппаратов для освоения лесосек на склонах

Как известно, воздушный транспорт принципиально можно подразделить на аппараты «легче воздуха» (с которых начиналось мировое воздухоплавание) и «тяжелее воздуха» (самолёты, вертолёты).

Обнаружить сколь-нибудь масштабное использование в лесозаготовительном производстве в настоящее время летательных аппаратов «легче воздуха» не удалось. Но следует отметить, что значительный вклад в теоретическое и экспериментальное обоснование использования летательных аппаратов «легче воздуха» (типа аэростат) для освоения труднодоступных лесосек внесли учёные Тихоокеанского государственного университета (г. Хабаровск, Российская Федерация). Причём это обоснование выполнено как с точки зрения оптимизации показателей эксплуатационной эффективности, так и минимизации негативных экологических последствий проведения лесосечных работ на склонах [1—9]. В частности, А. В. Абузовым (под руководством проф. П. Б. Рябухина и С. Б. Якимовича) в 2015 г. была защищена диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук на тему «Теоретическое обоснование параметров канатных лесотранспортных систем на базе аэростатических и пневматических конструкций», которую до настоящего времени можно считать основополагающим научным трудом в области проектирования систем машин для освоения лесосек на склонах и при использовании аэростатной трелёвки.

По результатам многолетних, объёмных теоретических и экспериментальных исследований А. В. Абузов сделал обоснованные выводы о том, что «для снижения затрат, а также сохранения лесной среды при рубках леса на склонах надо применять наиболее эффективный и максимально щадящий вариант, основанный на подвесном или воздушном способе трелёвки с использованием канатных систем на базе аэростатических и пневматических конструкций (гибридные системы), которые обладают следующими преимуществами: возможность эксплуатации на крутых склонах с развитой гидрологической сетью и сильно переувлажнёнными почвогрунтами; способность обеспечивать временную оперативную доставку древесины с необорудованных сложных участков суши, где нет возможности строительства причалов и подхода водного транспорта близко к береговой линии; уменьшение затрат на разработку лесного участка за счёт снижения количества подготовительно-заключительных и вспомогательных работ».

В работах А. В. Абузова и его коллег обоснованы схемы использования канатных аэростатных установок для различных природно-производственных условий эксплуатации. Ряд из них хорошо подходит и для природно-производственных условий лесного фонда Социалистической Республики Вьетнам, поскольку, как показал сравнительный анализ, по ряду таксационных и рельефных условий лесосеки Дальнего Востока Российской

Федерации (особенно Хабаровского края [6], [7]) сильно похожи на условия ряда лесных провинций Вьетнама.

Предложенные А. В. Абузовым технологические решения объединяет один технический принцип — крепление аэростатов к тяговым лебёдкам, которые перемещают аэростаты и груз из одной точки в другую. Но даже при таком техническом исполнении применение рассмотренных выше вариантов использования воздушного транспорта «легче воздуха» для освоения лесосек на горных склонах затрудняет ветровая нагрузка, а ветер в горах — явление очень распространённое. Аэростат, особенно большой грузоподъёмности, имеет значительную парусность, которую также будет увеличивать прицеплённый к аэростату груз лесоматериалов. Это, очевидно, будет вносить коррективы в возможность эксплуатации канатных аэростатных систем в ветреную погоду.

Кроме этого, с повышением высоты мест горных лесозаготовок над уровнем моря воздух будет всё более разреженным, а значит, полезная грузоподъёмность аэростатов будет снижаться. Этот эффект не очень заметен при условии работы на сопках, но будет достаточно существенным в горах.

В меньшей степени от силы и направления ветра при трелёвке заготовленной древесины с лесосек на горных склонах будут зависеть летательные аппараты «тяжелее воздуха».

В США, Канаде и ряде других стран мира вертолётная трелёвка в достаточной степени распространена. Правда, в связи с удорожанием топлива и аренды вертолётных услуг в последние годы в США вертолёты всё реже и реже используют при лесозаготовке. Если раньше машины компании «Сикорский» всегда присутствовали на всех лесопромышленных выставках США, то после 2010 г. их там не видно.

Материалы о применении вертолётов на лесозаготовках вполне доступны [10], [11]. Имеются также отрывочные сведения об использовании вертолётов на трелёвке в Российской Федерации. В частности, на Дальнем Востоке использовались вертолеты Ми-8МТВ-1 — в Хабаровском крае; Ка-32Т — на побережье Сахалина; аэроклуб РОСТО применял при трелёвке вертолёты Ми-8; авиакомпания «Авиалифт-Владивосток» — вертолёты Ка-32 для трелёвки пачек сортиментов массой до 5 т, и не только в России, но и Малайзии и Индонезии.

Судя по имеющимся данным, в настоящее время в Российской Федерации вертолёты на лесозаготовках не используются, как и в Социалистической Республике Вьетнам. Это и не удивительно, при расходе топлива вертолётном Ми-8 0,68—1,5 т/ч, в зависимости от режима работы, высоты над уровнем моря и стоимости топлива (авиационного керосина) 58000 руб./т (на конец 2021 г.), эксплуатационные затраты на трелёвку таким вертолётном только по топливу составят 39440—87000 руб./ч. При этом необходимо учитывать ещё заработную плату пилотов — мастеров экстракласса, а также расходы на амортизацию. Всё это делает вариант с трелёвкой вертолётном крайне экономически невыгодным, хотя с большими преимуществами — с точки зрения нанесения минимального вреда лесной

экосистеме на горном склоне (если, конечно, не учитывать шум и выхлопные газы от двигателя вертолётa).

Достаточно интересным, но пока не воплощённым в жизнь техническим решением для трелёвки заготовленной древесины со склонов горных лесосек является авиационная платформа, выполненная по сопловой схеме [12—14] (рисунок 1).

Предложенная в работе [13] конструкция основана на использовании экономичного (экономия топлива до 30 %) пульсирующего детонационного двигателя (ПудД), высокочастотный пульсирующий выхлоп (25—30 кГц) которого позволяет в полной мере использовать «явление аномально высокого прироста тяги в газовом эжекционном процессе с пульсирующей активной струёй». Это явление приводит к высокому приросту реактивной силы при эжектировании атмосферного воздуха пульсирующей активной струёй (до 120—140 % к исходной тяге). Повышенная экономичность двигателя обеспечивается высокой степенью сжатия топливной смеси (150—200 ед.) вместо 35—40 в обычном дизельном двигателе. Сжатие осуществляется в резонансном режиме.

Интеграция импульсного высокочастотного, подъёмно-маршевого двигателя с плоским соплом и щелевым эжекторным усилителем тяги позволяет создать летающую платформу (ЛП) особо большой грузоподъёмности (полезная нагрузка до 60 т и более) [66]. С её помощью возможно доставлять лесные машины, топливо, расходные материалы на лесосеки на склонах, а также вытрелёвывать заготовленную древесину.

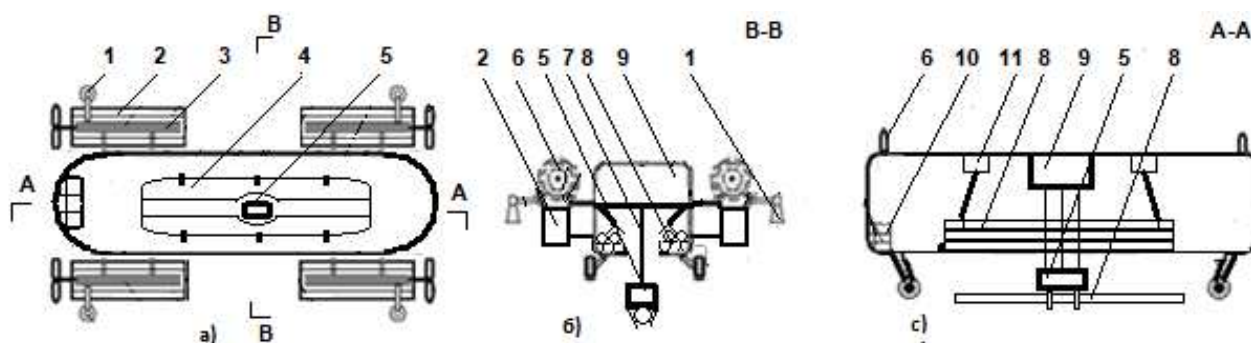


Рисунок 1. Схема авиационной платформы для трелёвки [13]: 1 — сопла точного позиционирования; 2 — эжекторный усилитель тяги; 3 — ПудД; 4 — створки люка загрузки; 5 — подвес подъёмника; 6 — винт изменяемого шага самолётного типа; 7 — захваты для груза; 8 — заготовленная древесина; 9 — грузовая лебёдка; 10 — кабина управления; 11 — манипулятор

Figure 1. Diagram of an aerial skidding platform [13]: 1 — precision positioning nozzles; 2 — ejector thrust booster; 3 — PuDD; 4 — loading hatch doors; 5 — hoist suspension; 6 — variable pitch propeller of aircraft type; 7 — load grips; 8 — harvested timber; 9 — cargo winch; 10 — control cabin; 11 — manipulator

Анализ конструкции авиационной платформы [12—14] показывает её определённые преимущества перед стандартным вариантом вертолётной трелёвки (существенная экономия расходов на топливо) и перед аэростатно-канатной трелёвкой (меньшая зависимость от силы и направления ветра). Однако в дальнейшем анализе данная конструкция использоваться не будет, поскольку, судя по доступной информации, автор данной разработки Ю. С. Подзирей не продвинулся до настоящего времени дальше разработки её принципиальной компоновки.

Из анализа различных вариантов использования воздушного транспорта («легче воздуха» и «тяжелее воздуха») для освоения горных лесосек можно сделать вывод о том, что ни один из рассмотренных вариантов не будет давать необходимых показателей эксплуатационной эффективности из-за сильной зависимости от метеорологических условий и высоты над уровнем моря (аэростаты), неприемлемой дороговизны приобретения и эксплуатации, а также необходимости наличия высококлассных пилотов (вертолёты) и отсутствия предложения техники на рынке (авиационная платформа).

3.2. Использование канатных трелёвочных установок для освоения лесосек на склонах

Использование тяговых канатов на лесозаготовках известно давно. Когда появились достаточно мощные передвижные (самоходные) лебёдки с приводом от двигателей внутреннего сгорания (ДВС), стало возможным освоение труднодоступных лесосек, в т. ч. и на склонах.

Приводные канатные трелёвочные установки (КТУ) имеют большое количество классификационных признаков, по которым в т. ч. можно проследить их техническую эволюцию.

Первыми из приводных КТУ были неподвесные установки, без несущего каната. Они осуществляли трелёвку пачек или отдельных стволов заготовленной древесины волоком. При этом возникали очень большие сопротивления волочению перемещаемого груза (тем более что он постоянно цеплялся за пни, корни, камни, неровности почвогрунта лесосеки). Почвенному покрову наносился очень большой ущерб, особенно в тёплый период года, трелюемая древесина сильно загрязнялась минеральными включениями почвогрунта, что затрудняло её последующую механическую обработку.

Для решения этой проблемы в первое время использовались различные санки, оголовники, тележки и другие приспособления для снижения коэффициента трения скольжения передней части волоочащейся пачки древесины о почвогрунт.

Также известен вариант одномачтовой КТУ (без несущего каната), у которой перед тяговой лебёдкой устанавливалась высокая опора, с блоком на вершине, через который перебрасывался тяговый канат. При начале движения пачка древесины перемещалась волоком, но по мере приближения к мачте передняя часть пачки приподнималась, и она оказывалась в полуподвешенном положении [15].

В дальнейшем на лесозаготовительном производстве стали использовать полуподвесные, а затем и подвесные КТУ, имеющие головную и тыловую мачты, а при значительном расстоянии трелёвки ещё и промежуточные мачты (опоры), на которые устанавливался несущий канат с тяговой кареткой. Каретка по несущему канату перемещалась при помощи тягового каната. Такая конструкция требовала уже многобарабанной тяговой лебёдки, тем более с учётом того, что необходимо было ещё и подтаскивать заготовленные лесоматериалы под линию несущего каната [16].

Подвесные КТУ, в т. ч. и многопролётные, успешно использовались в горных районах СССР и других стран мира, но имели достаточно существенные недостатки. К основным недостаткам таких КТУ можно отнести следующие: чрезвычайно большой объём подготовительно-заключительных и вспомогательных работ, связанных с установкой мачт и канатной оснастки, поддержанием их в рабочем состоянии, последующим демонтажом по окончании разработки лесосеки; малая производительность, связанная также со сложностью сбора и прицепки пачки, малыми скоростями грузовых кареток [17].

Для повышения производительности подвесных многопролётных КТУ использовались такие технические решения, как замыкание трассы КТУ в кольцо, круговое постоянное движение грузовых кареток. Но это существенно усложняло её конструкцию, стоимость, трудозатраты на монтаж-демонтаж, делало такую КТУ значительно менее надёжной [18].

Следует упомянуть отдельный вид неприводных КТУ, которыми люди пользовались с незапамятных времён. Принцип их действия основан на использовании силы тяжести перемещаемого сверху вниз (с горного склона к подножию) груза. Для этого между верхней и нижней точками пути на опорах (например, на деревьях, растущих на вершине склона и у подножия) крепится канат, по которому на каретке спускается груз. Такие конструкции иногда называют лесоспусками. Их не следует путать с бремсбергами, поскольку никакого противовеса у таких конструкций нет [18], [19].

Во времена СССР вопросам совершенствования конструкции, повышения эффективности различных вариантов КТУ было посвящено большое количество исследований. Надо отметить, что после Великой Отечественной войны (ВОВ) и до конца существования СССР Россия проектировала и выпускала самые передовые технические средства для лесозаготовительного производства. Ярким примером являются моторные механизмы — электромоторная пила ВАКООП, бензиномоторная пила «Дружба» [20]. Таких примеров можно привести достаточно много, как относительно лесозаготовительных машин (валочных, валочно-пакетирующих, валочно-трелёвочных), так и касательно погрузочной техники, средств первичного и вторичного транспорта леса.

Помимо специализированных конструкторских бюро и научно-исследовательских институтов большой вклад в разработку передовой лесозаготовительной техники внесли учёные Ленинградской лесотехнической академии им. С. М. Кирова (ЛолТА). Это касается, например, первого в мире специализированного чокерного гусеничного трактора КТ-12,

производство которого было налажено в 1947 г. на Кировском заводе в г. Ленинграде, а затем было передано на Онежский тракторный завод в г. Петрозаводск.

Значительный вклад учёные ЛОЛТА внесли и в разработку КТУ. В частности, на кафедре механизации лесоразработок под руководством К. М. Ашкенази, Б. Г. Залегаллера было выполнено большое количество научных исследований, включая кандидатские диссертации зарубежных аспирантов из Болгарии, Румынии, Вьетнама.

Помимо ЛОЛТА значительный объём исследований в области совершенствования конструкции и повышения эффективности эксплуатации КТУ в СССР выполнялся Центральным научно-исследовательским и проектно-конструкторским институтом механизации и энергетики лесной промышленности (ЦНИИМЭ) и Всесоюзным научно-исследовательским институтом лесоводства и механизации лесного хозяйства (ВНИИЛМ), а также рядом научно-исследовательских институтов Украинской ССР.

Большой интерес к КТУ как к эффективному виду первичного транспорта леса (при ручной валке деревьев) был проявлен в СССР ещё в 30—40-е гг. XX в. После ВОВ большая часть территории СССР была разрушена. Необходимо было восстанавливать жильё, объекты промышленности и инфраструктуры. Для этого требовались очень большие объёмы древесины, причём заготавливать её было желательно в местах её потребления [20]. Это связано в т. ч. и с тем, что в послевоенные годы большое количество ранее эвакуированных в Сибирь и на Дальний Восток предприятий вместе с их кадровым составом перебазировались на прежние места дислокации, поэтому все силы транспорта были брошены на выполнение этой задачи, а значит, доставлять из Сибири и Дальнего Востока древесину было затруднительно, ввиду полной загруженности транспортных магистралей.

Как известно, ВОВ прошла по европейской части СССР, на которой горные массивы встречаются достаточно редко. За время ВОВ значительная часть спелых лесных массивов на пройденной войной территории была повреждена пожарами, боевыми действиями, вырублена воюющими сторонами и населением на дрова, строительство дорог, фортификационных сооружений и т. д.

Большие запасы спелых и перестойных лесных насаждений оставались на неудобных для заготовки древесины площадях, прежде всего со слабой несущей способностью почвогрунтов в тёплое время года (переувлажнённых и заболоченных). Как и ранее, валка деревьев, обрезка сучьев, раскряжёвка (при необходимости) велись ручными пилами и топорами. Но трелёвка заготовленной древесины вызывала большие проблемы, поскольку использовавшиеся в те годы на лесозаготовках гусеничные тракторы общего назначения (С-60) вязли и не могли эффективно работать. Появившиеся в те годы передвижные лебёдки с большой канатоёмкостью барабана и приводом от ДВС позволили создать упомянутые выше неподвесные КТУ, которые в дальнейшем, за счёт добавления в конструкцию мачт и многобарабанных (агрегатных) лебёдок, эволюционировали в полуподвесные, а затем и в подвесные. Их стали использовать не только для собственно трелёвки, но и для разворота

подтрелёванных пачек, погрузки древесины на лесовозный транспорт [автолесовозы и вагоны узкоколейной железной дороги (УЖД)].

В дальнейшем пришла необходимость эффективного освоения запасов спелых и перестойных лесов на горных склонах. Основные объёмы горных лесозаготовок в СССР были на Украине, Кавказе и Дальнем Востоке. Они давали особо ценную древесину твёрдых лиственных пород.

Для горных лесоразработок, как уже отмечалось, были спроектированы, выпускались и успешно эксплуатировались многопролётные КТУ, которые также могли совмещать выполнение операций трелёвки, штабелёвки, погрузки заготовленной древесины [21].

Но постепенное ужесточение экологических (лесоводственных) требований к лесозаготовкам [17], [22], в т. ч. и в горных лесах, привело к существенному сокращению допустимых площадей лесосек в горных условиях и одновременному увеличению сроков примыкания лесосек. Поэтому использование достаточно дорогих, многопролётных КТУ стало невыгодным [23], и от них постепенно отказались. Можно с большой долей вероятности (по результатам анализа данных литературы и сети Интернет) утверждать, что как на территории бывшего СССР, так и в других странах многопролётные стационарные КТУ на лесозаготовках в настоящее время не используются.

На смену стационарным КТУ с 80-х гг. XX в. стали приходить мобильные КТУ, их лебёдка и головная мачта были передвижными или самоходными [17].

В СССР и в первое десятилетие постсоветской России выпускались самоходные канатные трелёвочные установки МЛ-43, МЛ-43 А, ЛС-2; ЛС-3; ЛС-4; ЛС-5, ЛЛ-20, ЛЛ-24, ЛЛ-28, ЛЛ-37, СТУ-3 С [24], [25].

Они имели разные кинематические схемы, фронтальное или фланговое расположение головной мачты, различные конструктивные решения устройств для удержания установки в неподвижном положении во время работы. Нужно отметить, что основная инициатива и объём опытно-конструкторских разработок в области мобильных КТУ в те годы перешёл от ЛолТА к ЦНИИМЭ [95], [96]. Общим у вышеперечисленных мобильных КТУ было то, что они базировались на гусеничных трелёвочных тракторах ТТ-4 производства Алтайского тракторного завода (г. Рубцовск, Алтайский край).

К сожалению, мобильные КТУ, как и другая техника для лесозаготовок, в России больше не выпускаются, не считая сборочного производства Белорусской компании «Амкодор», расположенного в г. Петрозаводске на бывшей площадке Онежского тракторного завода.

В начале XXI в. рынок техники для освоения горных лесов при механизированной заготовке древесины Российской Федерации и Республики Беларусь начала достаточно успешно осваивать чешская компания Larix [26]. КТУ Larix выпускались в Чехии (г. Брно). Они базировались на колёсных тракторах типа «Беларусь».

В зависимости от схемы монтажа осваиваемая с одного места стоянки КТУ Larix площадь и форма лесосеки могли быть разные, правда, при этом существенно варьировался и объём

подготовительно-заключительных работ, связанных с монтажом, демонтажом и переноской канатной оснастки КТУ на другую пасеку.

Самоходные КТУ Larix были предназначены для трелёвки лесоматериалов не только в условиях пересечённого рельефа, но и заболоченной местности. В этой связи в Республике Беларусь был разработан специальный проект по освоению лесов на Полесских болотах при помощи данного оборудования.

Однако в настоящее время можно с большой долей вероятности (по результатам анализа данных литературы и сети Интернет) утверждать, что самоходные КТУ Larix на территории бывшего СССР и в других странах на лесозаготовках практически не используются, и, вероятно, уже не выпускаются.

На сегодняшний день из коммерческих предложений по мобильным КТУ на рынке Европы и Российской Федерации преобладает продукция австрийской компании Konrad Forsttechnik GmbH, которая провела большую презентацию выпускаемой продукции на Петербургском международном лесопромышленном форуме в сентябре 2021 г.

По утверждению представителя Konrad Forsttechnik GmbH, мобильные КТУ производства данной компании являются одними из наиболее популярных и продаваемых на рынке специального оборудования для лесозаготовок в условиях горных лесов.

В линейку КТУ компании Konrad Forsttechnik GmbH входят классические передвижные (прицепные) КТУ с колёсным (KM40-2) и гусеничным (KR40-2) двигателем и встроенным ДВС для привода лебёдки (фото 4).



Фото 4. Мобильные КТУ компании Konrad Forsttechnik GmbH (фото с сайта компании Konrad Forsttechnik GmbH)

Photo 4. Mobile CLU from Konrad Forsttechnik GmbH (Photo from Konrad Forsttechnik GmbH website)

Помимо классических мобильных КТУ, различных типов грузовых кареток компания Konrad Forsttechnik GmbH выпускает горные процессоры (канатные трелёвочно-сучкорезно-раскряжёвочные машины). К такому оборудованию компании относятся установки MOUNTY MT30-2, MOUNTY MT40-2, и MOUNTY MT50-2, отличающиеся по установленной мощности приводов и колёсной базе. Общий принцип компоновки горного процессора представлен на фото 5, а принцип работы в условиях горных склонов — на рисунке 2.

Как видно из фото 5, горный процессор компании Konrad Forsttechnik GmbH состоит из колёсной полноприводной базы 6 × 6, установленных на ней кабины управления трелёвкой и процессорной головки, телескопической головной мачты КТУ с приводной лебёдкой, гидроманипулятора, на котором установлена процессорная (сучкорезно-раскряжёвочная) головка. Для устойчивости установки во время работы она снабжена аутригерами.



Фото 5. Общий вид компоновки горного процессора компании Konrad Forsttechnik GmbH (фото с сайта компании Konrad Forsttechnik GmbH)

Photo 5. General view of the layout of a mining processor from Konrad Forsttechnik GmbH (Photo from Konrad Forsttechnik GmbH website)

Как видно из рисунка 2, при работе горного процессора компании Konrad Forsttechnik GmbH предусматривается механизированная валка деревьев при помощи бензиномоторных пил, их ручная прицепка к грузовой каретке, которая затем производит трелёвку к установке по несущему грузовому канату.



Рисунок 2. Схема работы горного процессора компании Konrad Forsttechnik GmbH (схема с сайта компании Konrad Forsttechnik GmbH)

Figure 2. Diagram of a mining processor operation Konrad Forsttechnik GmbH (schematic from the Konrad Forsttechnik GmbH website)

После подтаскивания деревьев в зону действия манипулятора горного процессора они обрабатываются (производится обрезка сучьев и раскряжёвка), а полученные сортименты с верхнего склада забираются автолесовозом (на рисунке 2 самопогружающимся лесовозом).

Безусловно, при условии доминирования в Европе и России сортиментной заготовки древесины горные процессоры компании Konrad Forsttechnik GmbH являются удобной, многофункциональной техникой. Ведь при использовании классических КТУ, неважно

каких, хоть КМ40-2 или КR40-2, той же компании Konrad Forsttechnik GmbH, для получения сортиментов на верхнем складе пришлось бы доставлять и задействовать дополнительную лесную машину — процессор, а в условиях горной местности любая лишняя доставка машин достаточно затруднена. Кроме этого, исходя из компоновки и принципа работы горных процессоров, очевидно, что они не обладают большой производительностью, поскольку её будет ограничивать возможная производительность вальщика и чокеровщика в особо сложных условиях — на крутом горном склоне. В этой связи соединение в одной машине функций КТУ и процессора, которыми управляет один оператор, представляется удачным техническим решением, поскольку пока вальщик с чокеровщиком готовят к трелёвке очередную пачку деревьев, оператор КТУ и процессора может заниматься ранее вытрелёванной пачкой.

Но надо отметить одно общее негативное для КТУ (мобильных и стационарных) обстоятельство, заключающееся в том, что в начале технологической цепочки основных работ стоит механизированная валка деревьев, при помощи бензиномоторных пил. Труд вальщиков леса и в равнинных условиях тяжёлый и травмоопасный, а в условиях горных склонов тяжесть и травмоопасность труда возрастают многократно [27—29]. Кроме этого, ввиду особых требований по технике безопасности при валке деревьев бензиномоторной пилой (необходимостью выполнения направляющего подпила — со стороны направления валки дерева, пропила — с противоположной стороны, оставления предохранительной перемычки, которая ломается при падении дерева), возникают достаточно существенные потери древесины с комлевой части ствола, связанные с необходимостью дальнейшей откомлёвки, даже в удобных для механизированной валки условиях равнинной местности.

В условиях механизированной валки деревьев на горных склонах технологические потери комлевой части ствола возрастают многократно [17], [25]. Это связано с тем, что с увеличением угла склона и диаметра дерева необходимая по технике безопасности высота оставляемого пня существенно увеличивается.

Помимо сложностей и опасностей механизированной валки деревьев на горных склонах, следует отметить ещё одно обстоятельство: если до конца XX в. и в первом десятилетии XXI в. в России преобладала механизированная заготовка древесины, на которую в больших количествах привлекались гастарбайтеры (бывшие граждане СССР из стран ближнего зарубежья), то после финансового кризиса 2008 г., резкого падения курса рубля и получения шенгенских виз гражданами Украины, с учётом небольшой популярности у населения России лесозаготовительных специальностей и естественного выбытия старых кадров, на лесопромышленных предприятиях России стал ощущаться не просто дефицит, а острый голод вальщиков леса, что заставило лесозаготовительные предприятия Российской Федерации волей-неволей перейти, в основном, на машинную заготовку древесины [30], [31].

В связи с тем, что научные исследования должны ориентироваться на создание лучших, более безопасных условий труда, исключение тяжёлого ручного труда, внедрение передовых

технологий в рассматриваемой области знаний, следует рассмотреть варианты систем машин, при которых труд валыщиков леса на горных лесосеках может быть исключён.

Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод, что классические КТУ и горные процессоры не являются оптимальным оборудованием для проведения лесосечных работ в условиях горных склонов.

3.3. Использование лесных машин, оснащённых встроенными лебёдками

В настоящее время на рынке лесозаготовительной техники Российской Федерации и во многих других странах мира доминируют лесные машины трёх компаний-производителей: John Deere, Ponsse, Komatsu Forest (как уже отмечалось, на сегодняшний день российское лесное машиностроение практически полностью ликвидировано, продукция компании «Амкодор» пока не устраивает большинство потребителей по качественным характеристикам, прежде всего надёжности). Достаточно активно на рынке продвигает свою продукцию шведская компания Rottne. Есть ещё немало компаний, производящих лесные машины, например, EcoLog, Caterpillar, Tigercat, TimberPro и др., однако их доля на рынке относительно невелика, и концептуальных отличий от машин упомянутой тройки лидеров рынка они в принципе не имеют [32—34].

Компании John Deere и Komatsu Forest [в корпорацию Komatsu Forest входит компания TimberPro, являясь их основным звеном по производству лесных машин класса Heavy Duty (для тяжёлых режимов работы)] являются глобальными мировыми холдингами, выпускающими также сельскохозяйственную, строительную, дорожную, карьерную технику. В линейке лесных машин у этих компаний есть как комплексы для канадской технологии заготовки древесины (валочно-пакетирующие машины, скиддеры, процессоры), так и для скандинавской технологии заготовки древесины (харвестеры, форвардеры).

Компания Ponsse пережила финансовый кризис 2008 г. и осталась семейным предприятием, созданным в середине XX в. в Финляндии Эйнари Виндгреном, и производит только линейку машин для скандинавской заготовки древесины — харвестеры, форвардеры, форвестеры [33].

Компани-производители John Deere, Ponsse, Komatsu Forest достаточно часто называют «Большая тройка» [35].

Для условий проведения лесосечных работ на горных склонах «Большая тройка» предлагает своим клиентам машины, дооснащённые встроенными в трансмиссию лебёдками, а также ряд других дополнительных технических опций [36—39].

Лебёдка и другие технические опции устанавливаются на заводах-производителях или на других заводах — партнёрах компаний-производителей по предварительному заказу, т. е. пользователь таких лесных машин не имеет возможности самостоятельно установить или снять данное оборудование. Лебёдка при лесозаготовках на горном склоне позволяет работать лесной машине существенно эффективнее и безопаснее. Значительно снижаются расход топлива и нагрузки в трансмиссии. Вкупе к лебёдке производители настоятельно

рекомендуют использовать установку специальных гусениц на колёса машины (фото 6, 7). Иногда для повышения устойчивости в колёса харвестеров заливают специальный соляной раствор, в этом случае шины помечаются символами LB (жидкий балласт) [37].

Специалисты компании Komatsu Forest в качестве необходимых дополнительных технических опций для оснащения форвардеров, работающих на горных склонах, рекомендуют: наклоняемый гидроманипулятор, подвижная решётка кузова для сортиментов и задняя решётка кузова для сортиментов, предотвращающая их выпадение при движении гружёной машины вверх по склону, бульдозерный отвал, уменьшение длины рамы машины, специальные гусеницы, специальный тормоз для склонов, специальное крепление сиденья оператора и четырёхточечный ремень безопасности.

На фото 6 видна лебёдка, установленная на харвестере за капотом (справа). Конструкция и места установки лебёдок на машины разных производителей могут несколько отличаться, но сам принцип остаётся одинаковым.



Фото 6. Форвардер с лебёдкой на горном склоне (фото с сайта компании Komatsu Forest)

Photo 6. Forwarder with a winch on a mountain slope (Photo from Komatsu Forest website)



Фото 7. Харвестер с лебёдкой (фото с сайта компании Komatsu Forest)

Photo 7. Harvester with a winch (Photo from Komatsu Forest website)

Конструкция лебёдки для лесной машины компании Komatsu Forest представлена на рисунке 3.

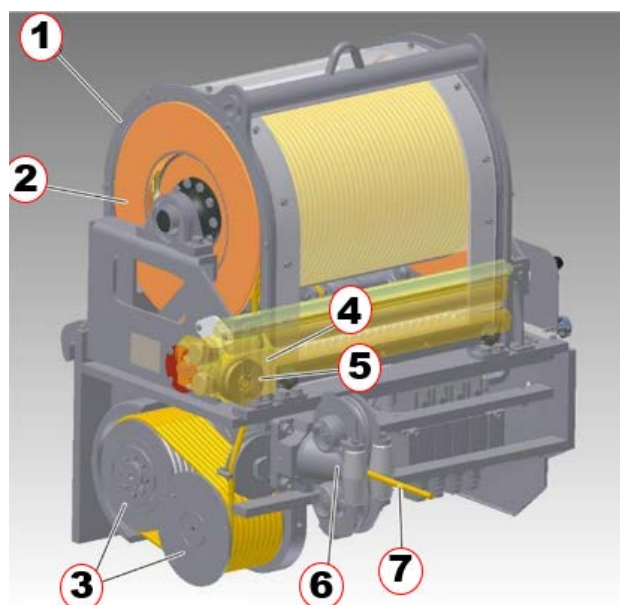


Рисунок 3. Конструкция лебёдки для лесной машины компании Komatsu Forest (схема с сайта компании Komatsu Forest): 1 — лебёдка; 2 — барабан с тросом; 3 — тяговые ролики; 4 — поддержка ролика намотки троса; 5 — наматывающий ролик; 6 — шкив подачи троса; 7 — трос

Figure 3. Komatsu Forest winch design (schematic from Komatsu Forest's website): 1 — winch; 2 — drum with a rope; 3 — traction rollers; 4 — support roller winding rope; 5 — winding roller; 6 — rope pulley; 7 — rope

Как и при работе на склонах вальщиков леса, работа операторов лесных машин на горных склонах также является значительно более опасной (из-за возможности соскальзывания машины по склону или опрокидывания), нежели в равнинных условиях.

Кроме вышеперечисленных машин «Большой тройки» отдельным перспективным вариантом для проведения лесосечных работ в условиях горных склонов является валочно-трелёвочно-процессорная машина (ВТПМ) уже упомянутой выше компании Konrad Forsttechnik GmbH «Highlander» (фото 8).



Фото 8. ВТПМ «Highlander» компании Konrad Forsttechnik GmbH

Photo 8. Konrad Forsttechnik GmbH «Highlander» feller-barrel processor

ВТПМ «Highlander» представляет собой одномашинный комплекс для канадской технологии заготовки древесины, т. е. одна машина может выполнить все операции технологического процесса основных работ [40].

Если отвлечься от рассматриваемых условий горных лесозаготовок, то компоновка ВТПМ «Highlander» принципиально более удобна, нежели форвардера или харвестера, представляющих собой одномашинные комплексы для скандинавской технологии заготовки древесины [41].

Канадская и скандинавская технологии относятся к группе сортиментных технологических процессов, т. е. предусматривают, что заготовленная древесина будет вывезена с лесосеки в виде сортиментов (брёвен специального назначения) [42]. ВТПМ позволяет более гибко организовать технологический процесс основных работ на лесозаготовках. В классическом варианте она может производить валку деревьев, собирать в коник, трелевать, производить обрезку сучьев и раскряжёвку на верхнем складе. В случае работы на слабонесущих почвогрунтах ВТПМ после валки деревьев может

выполнять обрезку сучьев (для укрепления трелёвочного волока), затем укладывать хлысты в коник, трелевать и на верхнем складе выполнять раскряжевку. При необходимости увеличения производительности ВТПМ может работать в режиме обычного харвестера или в режиме «валка — пакетирование», или «валка — обрезка сучьев — пакетирование», в зависимости от потребности и природно-производственных условий. Такие варианты работы ВТПМ рассмотрены в работах проф. И. Р. Шегельмана и его учеников [43—45].

Кроме этого, благодаря тому, что ВТПМ трелюет заготовленные лесоматериалы (деревья или хлысты) в полупогруженном положении, при трелёвке пачки одинакового веса она оказывает меньшее давление, а значит, и уплотняющее воздействие на лесные почвогрунты по сравнению с форвардером или харвестером [46—48].

С точки зрения работы в условиях горных лесосек ВТПМ «Highlander» компании Konrad Forsttechnik GmbH удобен тем, что, как и у рассмотренных выше машин «Большой тройки», он оснащён встроенной лебёдкой. Причём эта техническая опция входит в конструкцию машины «по умолчанию». Это означает, что потребителю машины не нужно ждать её установки в качестве дополнительной технической опции и отдельно за неё доплачивать. В качестве дополнительной технической опции лебёдка на лесную машину стоит около 100 тыс. евро [49].

Также значительным техническим преимуществом ВТПМ «Highlander» компании Konrad Forsttechnik GmbH для работы в условиях горных лесосек является конструктивная возможность изменения (уменьшения или увеличения) длины базы машины за счёт возможности выдвижения переднего моста, возможность изменения (уменьшения или увеличения) клиренса машины, а также наличие технической опции крабового хода. Всё это делает рассматриваемую машину значительно более устойчивой на склоне, а значит, и более безопасной в эксплуатации.

Отметим, что лесные машины, оснащённые лебёдками для работы на горных склонах, безусловно, являются хорошим выбором, поскольку в отличие от КТУ не требуют тяжёлой и травмоопасной работы вальщиков леса. Но и у такого решения есть недостаток, связанный с удорожанием и утяжелением машины. Как уже было отмечено, пользователь не может самостоятельно установить или снять эту техническую опцию, следовательно, при переходе на работу в равнинной местности, где лебёдка уже не нужна, оснащённая ею лесная машина будет иметь лишнюю массу, что приведёт к повышенному расходу топлива, снижению полезной грузоподъёмности и увеличению давления движителя на почвогрунт.

Кроме этого, для обеспечения работы машины с лебёдкой оператору необходимо надёжно закрепить свободный конец троса, а это иногда может представлять собой достаточно трудоёмкую операцию, которую хорошо иллюстрирует рисунок 4.

Как видно из рисунка 4, для качественного крепления свободного конца каната лебёдки лесной машины, если на вершине склона в нужном месте нет крепкого дерева, может потребоваться провести небольшие земляные работы (вырыть траншею) или обмотать канатом несколько деревьев, что уменьшит длину манёвра машины.

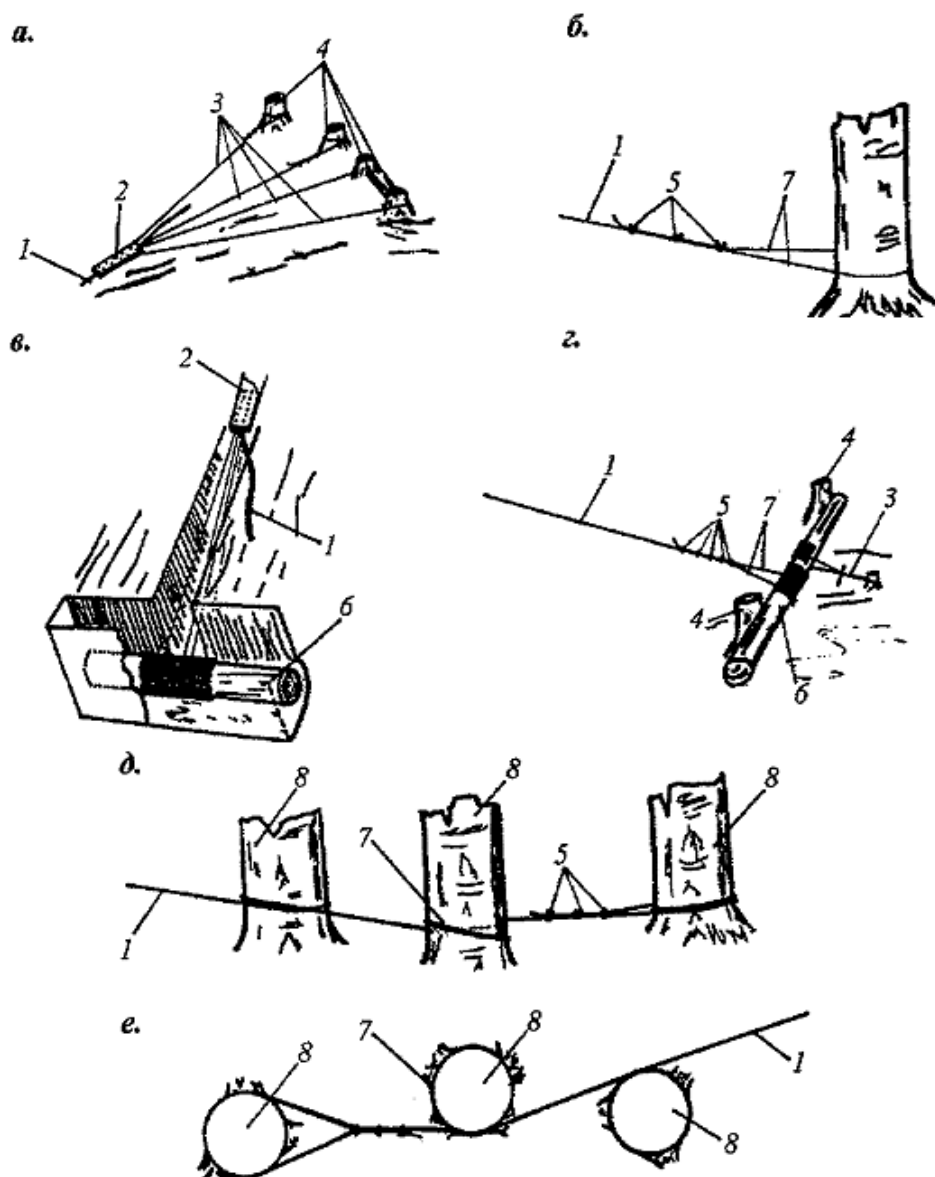


Рисунок 4. Варианты крепления тыловой опоры канта лебёдки лесной машины [17]:
a — с замком и растяжками, закреплёнными за пни; *б* — с петлей, закреплённой за дерево; *в* — с перекладиной в траншее; *г* — с перекладиной у пней; *д* — с петлями у деревьев; *е* — с огибанием деревьев петлёй; 1 — несущий канат; 2 — замок; 3 — растяжки; 4 — пни; 5 — канатные зажимы; 6 — перекладина; 7 — петля несущего каната; 8 — дерево [17]

Figure 4. Attachment options for the rear support of the forest machine winch [17]:
a — with a lock and stumps secured to stumps; *b* — with a loop secured to a tree; *c* — with a crossbar in a trench; *d* — with a crossbar at stumps; *e* — with loops at trees; *f* — with a loop wrapping around trees; 1 — carrying rope; 2 — lock; 3 — splices; 4 — stumps; 5 — rope clamps; 6 — crossbar; 7 — carrying rope loop; 8 — tree

3.4. Использование самоходных лебёдок для работы с лесными машинами на склонах

Анализ литературных источников и данных сети Интернет показывает, что в настоящее время производится и используется достаточно значительная линейка самоходных лебёдок, предназначенных для работы с самыми разными лесными машинами в условиях горных склонов. Они выполнены как на специальных самоходных шасси, так и на базе стандартных шасси (бульдозерном, экскаваторном).

Наиболее популярными и распространёнными в настоящее время в мире системами самоходных лебёдок для перемещения лесных машин по склонам являются системы T-winch (США), созданные на специальной гусеничной базе, управляемой дистанционно (фото 9).



Фото 9. Самоходная лебёдка T-winch (фото авторов)

Photo 9. Self-propelled T-winch (authors' photo)

Лебёдки T-winch могут работать не только с лесными машинами, но и с карьерными. Они производятся двух типоразмеров — T-winch-10.2 и T-winch-30.2. Первая весит около 10 т, вторая — немного более 30 т и способна надёжно удерживать на крутом склоне машину массой до 100 т [50].

Среди лебёдок на базе строительных машин (бульдозеров, экскаваторов) можно выделить системы Summit Winch Assist (США) и ROB (Новая Зеландия).

Самоходная лебёдка на экскаваторной базе Summit Winch Assist (фото 10) представляет собой экскаватор, дооснащённый лебёдкой и специальной стрелой. В результате получается устойчивая, массивная машина, надёжно стоящая на вершине склона и удерживающая на тросе лесную машину на склоне (фото 11).



Фото 10. Самоходная лебёдка на экскаваторной базе Summit Winch Assist (фото с сайта U. S. FOREST SERVICE)

Photo 10. Summit Winch Assist self-propelled winch on an excavator base (photo from U. S. FOREST SERVICE website)



Фото 11. Валочно-пакетирующая машина спускается на горный склон, удерживаемая самоходной лебёдкой на экскаваторной базе Summit Winch Assist (фото авторов)

Photo 11. The feller-buncher descends a mountain slope, held by a self-propelled winch on a Summit Winch Assist excavator base (authors' photo)

Самоходная лебёдка на бульдозерной базе ROB представляет собой гусеничный бульдозер, оснащённый двухбарабанной лебёдкой (фото 12).

Самоходные лебёдки на бульдозерной базе ROB наиболее распространены на горных лесозаготовках Канады и Новой Зеландии. Самоходные лебёдки на экскаваторной базе Summit Winch Assist получили большое распространение в США, в штатах Орегон, Вашингтон и Северной Калифорнии, где наиболее распространена заготовка на склонах с помощью разного рода вспомогательных средств.

Надо отметить, что на базе самоходных лебёдок на экскаваторной базе Summit Winch Assist, благодаря возможности достаточно высокого поднятия стрелы с канатно-блочной системой, создаются и различные виды самоходных КТУ (фото 13). Самоходная лебёдка на бульдозерной базе ROB не предоставляет такой возможности.



Фото 12. Самоходная лебёдка на бульдозерной базе ROB (фото с сайта компании Remote Operated Bulldozer)

Photo 12. Self-propelled winch on ROB bulldozer base (photo from the Remote Operated Bulldozer website)

Как уже отмечалось выше, классический вариант работы КТУ на горных склонах предусматривает использование труда вальщиков леса, который тяжёл и травмоопасен. При использовании самоходных лебёдок T-winch, Summit Winch Assist, ROB появляется возможность использования обычных лесных машин на горных лесосеках по традиционным технологическим процессам машинной заготовки древесины (как сортиментной, так и хлыстовой). К примеру, сначала по склону поддерживаемая самоходной лебёдкой запускается валочно-пакетирующая машина, а затем — трактор с пачковым захватом (скиддер), фото 14, 15.



Фото 13. Мобильные КТУ на базе самоходных лебёдок на экскаваторной базе Summit Winch Assist Assist (фото с сайта U.S. FOREST SERVICE)

Photo 13. Mobile CLU based on self-propelled winches on the excavator base Summit Winch Assist (photo from U.S. FOREST SERVICE website)

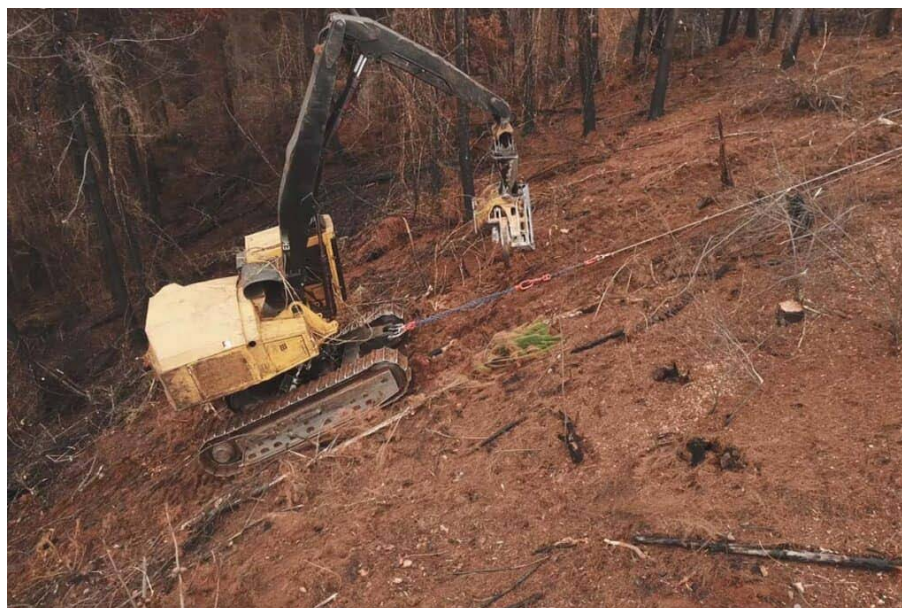


Фото 14. Работа валочно-пакетирующей машины на горном склоне в сцепке с самоходной лебёдкой (фото с сайта компании Ecoforst GmbH)

Photo 14. Operation of a feller-buncher on a hillside in conjunction with a self-propelled winch (photo from Ecoforst GmbH website)



Фото 15. Работа скиддера на горном склоне в сцепке с самоходной лебёдкой (фото с сайта компании Ecoforst GmbH)

Photo 15. Skider operation on a mountain slope in conjunction with a self-propelled winch (photo from Ecoforst GmbH website)

Известно, что тракторная трелёвка является наиболее энергозатратной и экологически вредной операцией основных работ на лесозаготовках, особенно на горных склонах, поскольку движитель трелёвочного трактора оказывает не только нормальные, но и касательные воздействия, которые на склоне могут приводить к потере устойчивости слоя почвогрунта и его сползанию к подошве, образуя оползни и оказывая крайне негативное воздействие на лесную экосистему [51—56]. В связи с этим иногда встречается вариант, особенно на влажных склонах, когда после лесозаготовительной машины (чаще валочно-пакетирующей) используется не тракторная трелёвка, а канатная. В этом случае самоходная лебёдка на экскаваторной базе Summit Winch Assist становится предпочтительной, поскольку она может сначала обеспечить эффективную и безопасную работу лесозаготовительной машины на склоне, а затем — канатную трелёвку заготовленных лесоматериалов. Для облегчения работы чокеровщиков при такой технологии работы у лебёдок Summit Winch Assist (рисунок 5) есть опция забрасывания захвата для лесоматериалов, по принципу пращи (после раскручивания).

Несмотря на одинаковое назначение, технические решения рассмотренных технических систем существенно различаются. T-winch представляет собой специальную самоходную лебёдку на гусеничном ходу, дистанционно управляемую оператором лесной машины, с которой она в данный момент работает. ROB представляет собой тяжёлый бульдозер, а Summit Winch Assist — тяжёлый экскаватор, оснащённые лебёдкой с механическим приводом.

На первый взгляд, большим достоинством системы Summit Winch Assist и ROB является её массивность и надёжность, в качестве анкера для машины на склонах. В чатах операторов лесных машин можно найти утверждение, что с системами Summit Winch Assist и ROB психологически комфортнее работать, поскольку тяжёлый экскаватор или бульдозер на вершине склона производит впечатление «непоколебимой скалы».

Машины T-winch много меньше по габаритам и массе и, на первый взгляд, не могут обеспечить столь же надёжного закрепления на вершине склона, особенно при больших углах склона и работе с тяжёлыми машинами, например, валочно-пакетирующими или тяжёлыми форвардерами (форвардерами большой грузоподъёмности).

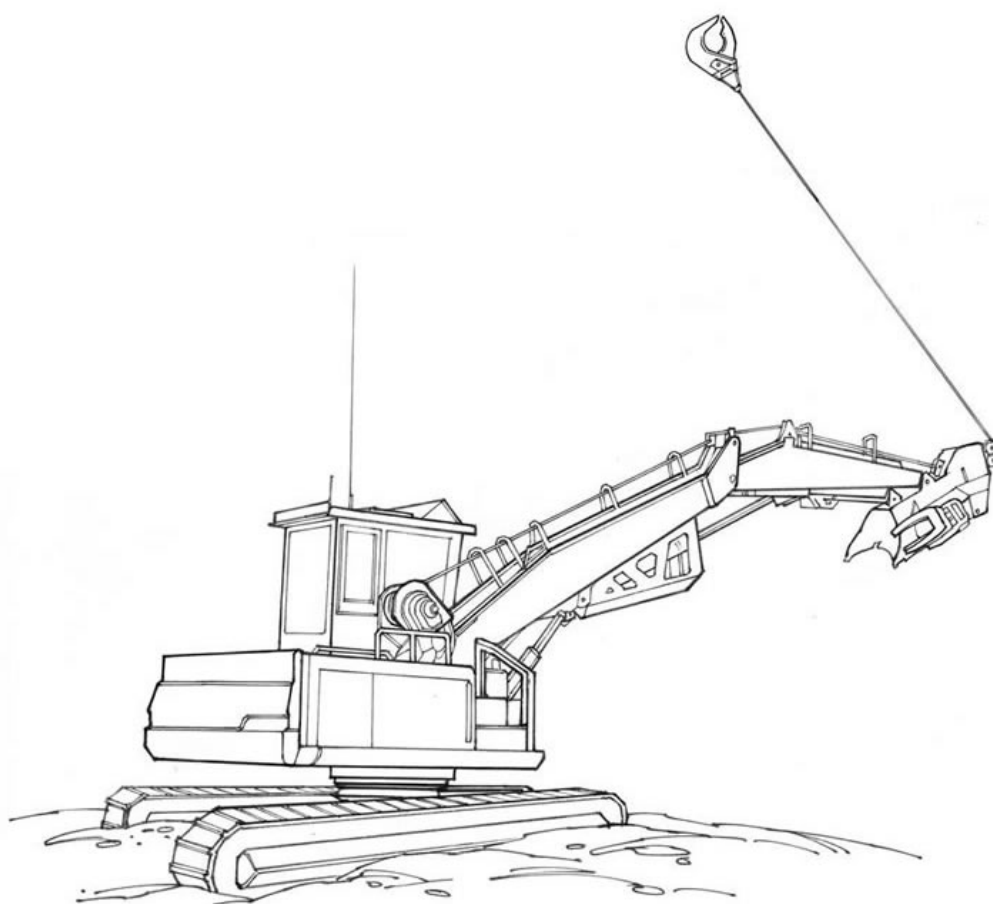


Рисунок 5. Принцип забрасывания захвата для лесоматериалов на пасеку самоходной лебёдкой на экскаваторной базе Summit Winch Assist (рисунок с сайта U.S. FOREST SERVICE)

Figure 5. Principle of throwing a timber grab onto an apiary with a self-propelled winch on a Summit Winch Assist excavator base (Figure from U.S. FOREST SERVICE website)

Но сравнительный технический анализ позволяет однозначно отдать предпочтение системе T-winch по следующим соображениям.

Во-первых, значительно меньшие габариты и масса машины T-winch (особенно модели 10.2) делают решение задачи о её доставке на вершину склона, существенно протяжённого и с большим углом уклона, значительно проще, нежели доставку на вершину тяжёлого экскаватора или бульдозера. Более того, машина T-winch, что очевидно, может въехать с подножья на вершину самостоятельно, а вот тяжёлые машины с системами Summit Winch Assist или ROB далеко не всегда. Значит, для их доставки на вершину склона, если только не задействовать вертолёт очень большой грузоподъёмности, придётся нарезать террасы, что является достаточно трудоёмкой, затратной и экологически вредной операцией, об этом говорилось выше.

Во-вторых, система T-winch не требует дополнительного оператора, поскольку, как уже было отмечено, данной техникой дистанционно управляет оператор работающей на склоне лесной машины. Для систем Summit Winch Assist и ROB необходим второй оператор, находящийся в кабине экскаватора или бульдозера, что, как минимум, приводит к лишним расходам на его заработную плату.

Кроме того, система T-winch имеет автоматическую синхронизацию с работающей с ней лесной машиной, а также сигнализацию на случай возникновения возможности аварийной ситуации. Например, если лебёдка T-winch получает смещение во время работы, сигнал об этом сразу же поступает оператору работающей с ней на склоне лесной машины, и он может оперативно принять меры к исправлению ситуации и недопущению аварии. Системы Summit Winch Assist и ROB, по всей видимости, такой автоматической системы синхронизации не имеют. Это приводит к тому, что оператор лесной машины на склоне и оператор экскаватора или бульдозера с лебёдкой должны согласовывать свои действия по радиосвязи, что снижает оперативность корректирующих действий, в случае возникновения необходимости в них. Следовательно, это снижает безопасность работы лесной машины на склоне с системами Summit Winch Assist и ROB, несмотря на их кажущуюся монументальность.

В-третьих, очевидно, что небольшая по габаритам и массе самоходная лебёдка T-winch потребляет значительно меньше топлива, чем тяжёлый экскаватор или бульдозер, особенно при работе на холостом ходу. Сравнение данных производителя о расходе топлива системой T-winch, который под нагрузкой составляет 3—4 л/ч, с потреблением топлива двигателем тяжёлого экскаватора или бульдозера на холостом ходу (30—40 л/ч) позволяет утверждать, что разница в удельном расходе топлива (литров на м³) составляет примерно 10 раз.

В-четвёртых, механический привод барабанов лебёдки систем Summit Winch Assist и ROB, а также сравнительно маленький их диаметр неизбежно приведут к рывкам во время работы, вместо плавной тяги, которую обеспечивают гидростатическая трансмиссия и большой диаметр барабана лебёдки T-winch.

В-пятых, открытые барабаны лебёдок систем Summit Winch Assist и ROB, как показывает опыт эксплуатации некоторых грузоподъёмных кранов, неизбежно приведут к более быстрому износу (как минимум, из-за коррозии), нежели в случае закрытых барабанов лебёдки T-winch.

Большим достоинством лебёдок на самоходном шасси, особенно T-winch (ввиду её небольших габаритов и лёгкости перемещения), является то, что помимо работы с лесными машинами на горных склонах они могут использоваться и для других целей, например, если требуется вытащить увязшую в болоте машину или соорудить канатную погрузочно-разгрузочную установку и т. д.

В целом, анализ систем машин, применяемых для разработки лесосек на горных склонах, позволяет утверждать, что для рассматриваемых условий наиболее предпочтительным вариантом являются самоходные лебёдки, работающие в паре с лесными машинами. Выбор типа и конкретной модели лебёдки будет зависеть от используемых лесных машин, вида двигателя, их массы и грузоподъёмности, природно-производственных условий эксплуатации — формы и протяжённости склона, влажности почвогрунта, таксационных характеристик древостоя [139], [140] и т. д.

3.5. Перспективные варианты восстановления лесов на склонах

Чрезмерная экологическая нагрузка на лесные экосистемы горных склонов и сопок, возникающая при проведении лесозаготовительных работ, приводит к многочисленным негативным последствиям, включая интенсивное развитие процессов водной и ветровой эрозии, нарушениям гидрологического режима водоёмов и самих лесов, снижению биологического разнообразия и продуктивности лесов [56].

Особенностями лесов на склонах, влияющими на технику и технологии лесосечных и процессы лесовосстановительных работ, являются высота над уровнем моря, крутизна склонов, их расположение относительно солнца и преобладающей розы ветров, сложение почвогрунтов [57].

В условиях лесов на горных склонах и склонах сопок очень важное значение имеет быстрое восстановление леса, которое способствует менее интенсивному развитию перечисленных выше негативных процессов. Для этого можно использовать различные способы искусственного лесовосстановления — посев, посадки сеянцев (саженцев) или содействие естественному лесовосстановлению.

Содействие своевременному естественному лесовосстановлению вырубок или гарей на склонах для минимизации негативных экологических последствий (процессов водной и ветровой эрозии) является очень значимым. Не менее важно, чтобы через оборот рубки на месте срубленного леса на склоне появилось не менее ценное по экономическим и экологическим качествам лесное насаждение. В идеале процесс восстановления леса на склонах должен соответствовать концепции «расширенного лесовосстановления», согласно которой за один оборот рубки должна обеспечиваться возможность получения

большого объёма древесины, нежели было получено до образования новой сукцессии [58], [59].

При разработке плана лесовосстановления вырубке или гари на склоне надо учитывать его крутизну, экспозицию, высоту над уровнем моря, сложение почвогрунтов, преобладающую розу ветров. В рассматриваемых условиях важно учитывать вероятность возникновения ветровала.

На вероятность возникновения и масштабы возможного ветровала, объёмы вываленной древесины будут влиять все перечисленные выше факторы, а также породный состав лесонасаждения, его способность сопротивляться ветровой нагрузке. Надо учитывать, что в условиях лесов на склонах гор и сопок также возможно ухудшение лесопатологического состояния древостоев из-за ветровала.

Интенсивность нарушений естественного сложения почвенного покрова на склонах зависит от состава древостоя до рубки, срока давности рубки, сезона рубки, применяемой системы машин и технологии и мер содействия естественному возобновлению леса.

В среднем через 6—7 лет после проведения лесозаготовительных работ начинается восстановление морфологического облика лесных почв.

При проектировании лесовосстановительных работ важно учитывать, что влажность почвы на свежей вырубке в среднем в 1,4 раза и более меньше во всех фондах склона, чем в аналогичных условиях в лесу, а запасы воды в корнеобитаемой (30 см) толще ниже примерно в 1,5 раза, что обусловлено активизацией поверхностного стока [60].

Запасы же воды в почвогрунтах на трассах трелёвочных волоков с высокой плотностью почти в два раза меньше, чем в лесу. Застой влаги на поверхности приводит в дальнейшем к водной эрозии сильно нарушенных почвенных горизонтов.

Посадка сеянцев (саженцев) в условиях вырубке (гари) на склоне, на участках с хорошей скарификацией почвогрунта возможна без предварительной обработки почвы или проводится обработка почвы небольшими площадками различной площади, террасками с использованием средств малой механизации, например на базе мотоблока [61]. Такой вариант комбинированного лесовосстановления позволяет обеспечить максимальное приспособление создаваемых насаждений к естественным условиям.

Свежие вырубки в условиях лесов на склонах, как правило, захламлены и имеют значительное количество пней, что затрудняет работу техники при подготовке почвы. Кроме того, идёт либо интенсивный смыл плодородного слоя почвы, либо вырубки захватывает поросль быстрорастущих мягколиственных пород и травяная растительность.

Сплошная корчёвка пней в условиях лесов на склонах не приемлема, т. к. это может спровоцировать почвозерозионные процессы и полностью лишит склоны гумусного горизонта.

Полосная корчёвка пней возможна только поперёк склона с уклоном не более 8—10°. В результате работы корчевателей частично или полностью удаляются аккумулятивные горизонты почвы, происходит уплотнение верхних слоёв почвы и углубление полосы

на 5—9 см с удалением верхнего плодородного слоя. Корчёвка пней отвалом бульдозера очень энергозатратна и экологически вредна, поскольку при этом потери плодородного слоя составляют около 50 % его мощности [62].

При условии проведения механизированной подготовки почвы вырубок или гарей на склонах плужные борозды должны быть созданы строго поперёк склона. При этом может происходить частичный смыв лесной подстилки, а иногда и гумусного горизонта. Плоскостная эрозия почвы бывает выражена только на магистральных трелёвочных волоках, которые, как правило, устраиваются вдоль по склону (фото 16). Магистральные трелёвочные волоки и усы лесовозных дорог создают промоины, которые тянутся даже за пределами вырубki, выносят ил и песок (в зависимости от механического состава почвы) на 5—50 м. Подготовка почвы на склоновых вырубках должна производиться одноотвальными плугами. Отвал борозды укладывается в сторону уклона за один проход и прижимается лемехом [62].

Хороший результат может дать подготовка почвы плугом-фрезой-покровосдирателем. Такой агрегат способен готовить почву строго поперёк склона, т. к. он приспособлен легко преодолевать пни любого диаметра. Микроповышений и понижений при таком способе обработки почвы на вырубке не предусмотрено. Такой способ подготовки вырубki или гари к культивированию может использоваться только на свежих вырубках и путём посадки крупномерного посадочного материала или посадочного материала с закрытой корневой системой [62].



Фото 16. Трелёвочные волоки на склоне (фото авторов)

Photo 16. Logging skids on the slope (authors' photo)

В нижних частях и подножиях склонов подготовка вырубок (гарей) к искусственному лесовосстановлению может заключаться в нарезке площадок-terraces размером 2 × 2 м. После этого производится посадка или посев. Также может проводиться полосная вспашка по предварительно сделанным террасам шириной до 3 м. При ориентации на искусственное лесовосстановление путём создания лесных культур на склонах для каждого условия надо подбирать способ обработки почвы, дающий наиболее высокий результат приживаемости.

Весьма перспективным способом искусственного лесовосстановления на склонах является принцип создания групповых лесных культур. Этот вариант даёт следующие преимущества: сокращаются площадь обработки почвы и, соответственно, энергозатраты, не требуется корчёвка. Групповые лесные культуры характеризуются высокой продуктивностью и устойчивостью.

Проблемой всех вышеперечисленных вариантов искусственного лесовосстановления является их дороговизна и техническая сложность, связанная с доставкой на рубку (гари) необходимой техники. Кроме того, отмечается сложность эксплуатации лесных площадей, особенно при необходимости работы поперёк склона, что является достаточно опасным мероприятием.

Естественное лесовосстановление вырубок (гарей) на склонах не всегда может проходить эффективно, что связано с нарастающими эрозийными процессами и вероятностью недостатка лесных семян от стен леса или семенников.

Наиболее оптимальным (дешёвым и эффективным) вариантом восстановления лесов на склонах, особенно при больших площадях, представляется технология аэросева при помощи специальных беспилотных летающих аппаратов (БПЛА).

Такой вариант лесовосстановления допускается в Правилах лесовосстановления (утверждённых приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 04.12.2020 г. № 1014 «Об утверждении Правил лесовосстановления, состава проекта лесовосстановления, порядка разработки проекта лесовосстановления и внесения в него изменений»): «Искусственное восстановление леса посевом семян допускается на лесных участках со слабым развитием травянистого покрова... На свежих паловых рубках с супесчаными и хорошо дренированными суглинистыми почвами, на которых огонь вызвал полное прогорание лесной подстилки, возможно проведение искусственного лесовосстановления аэросевом. Оптимальное время аэросева семян хвойных пород — весна (апрель — по снежному покрову, первая и вторая декады мая — непосредственно после таяния снега)». Допустимыми нормами высева семян первого класса сортности при аэросеве считаются: на паловых и кипрейно-паловых рубках с обнажением поверхности почвы огнём 70—80 % — для сосны 1,0 кг, для ели 1,2 кг; на свежих рубках из-под зеленомошных типов леса с минерализацией почвы более 40 % — для сосны 1,5, для ели 1,8 кг на гектар.

Технология аэросева также применяется в области сельского хозяйства и наибольшую эффективность даёт на участках, где затруднено применение наземной техники. Это, в первую очередь, участки со сложным рельефом и низкой несущей способностью почв. Примером может служить посев на крутых склонах и ранний посев мелкосемянных холодостойких культур, а также ранневесенняя подкормка озимых культур минеральными гранулированными удобрениями.

Стоимость аэросева значительно ниже других вариантов посева лесных семян на вырубках или гарях, и при этом работы выполняются со значительно большей производительностью [63].

Наиболее перспективным типом БПЛА для посева лесных семян на склонах гор и сопок является многоосный вертолёт или «мультикоптер» [63].

Процесс аэросева обычно разделяется на два этапа. Сначала создаётся точная карта для определения оптимальных мест посева каждого семени. Затем производится непосредственно процесс посева по ранее созданной траектории полёта.

Аэросев с применением БПЛА часто выполняется семенами в искусственных оболочках (дражированных). Дражирование семян — это операция покрытия семян специальным субстратом, удерживающим влагу и содержащим достаточное количество питательных веществ, стимуляторов и биопрепаратов, необходимых для быстрого прорастания семян и энергичного последующего роста [64].

При посеве дражированных семян выращиваемых растений они оказываются в лучших условиях, чем семена сорных растений. За счёт использования в качестве добавок стимуляторов роста семена лесных пород быстрее прорастают и доминируют над нежелательными травянистыми и древесными растениями.

Высев дражированных семян помогает решать такие проблемы, как заболеваемость и гибель в условиях неблагоприятных почвенно-климатических условиях. При введении дополнительных добавок можно ускорить прорастание семян и улучшить рост сеянцев. Дражирование семян также позволяет обеспечить более точный высев семян с соблюдением расстояний между ними [65].

Дражирование выполняется в ёмкостях типа бетономешалки с различным углом наклона. В качестве целевых добавок используют различные органоминеральные вещества, стимуляторы роста, фунгициды и микроэлементы [66], [67].

Преимущества метода дражирования заключаются в защите семян от болезней, снижении расхода средств для химической защиты растений, удобрений и стимуляторов роста, ускорении прорастания семян. Дражированная оболочка при аэросеве служит для семян хорошей защитой от повреждений при ударе и внедрении в почвенный слой гари или вырубки. Но у этого метода подготовки семян имеются и недостатки, такие как повышенная стоимость семян, со временем семена теряют всхожесть, т. к. сквозь оболочку не поступает кислород.

Дражированным семенам придают различную форму (сферическую, эллиптическую, квадратную), в зависимости типа используемого на БПЛА высевного аппарата (рисунок 6). Для рассматриваемых условий посева на склонах наиболее подходят квадратные брикетированные семена, т. к. они не подвержены скатыванию и имеют большую площадь контакта с почвенной поверхностью.

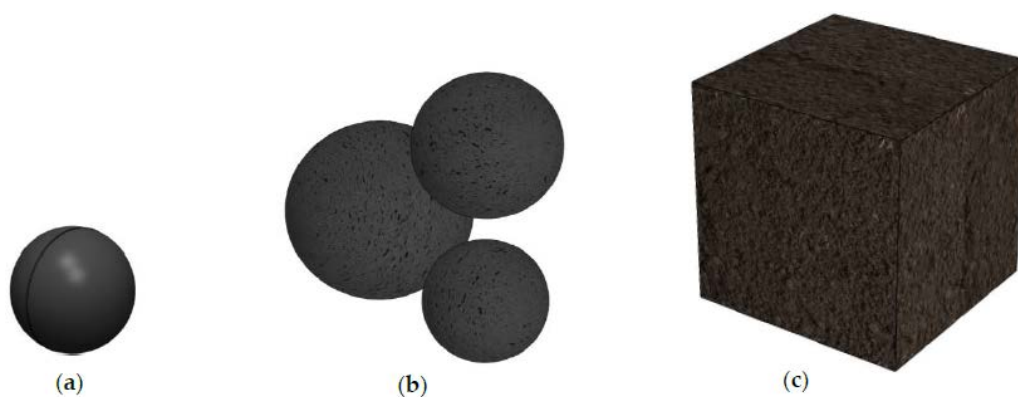


Рисунок 6. Дражированные и брикетированные семена: а — калиброванное сферическое дражированное семя; б — некалиброванное сферическое или эллиптическое дражированное семя; с — квадратное брикетированное семя [63]

Figure 6. Coated and briquetted seeds: a — calibrated spherical coated seed; b — uncalibrated spherical or elliptical coated seed; c — square coated seed [63]

4. Обсуждение и заключение

Анализ систем машин, применяемых для разработки лесосек на горных склонах, позволяет утверждать, что для рассматриваемых условий наиболее предпочтительным вариантом являются самоходные лебёдки, работающие в паре с лесными машинами. Выбор типа и конкретной модели лебёдки будет зависеть от используемых лесных машин, вида двигателя, их массы и грузоподъёмности, природно-производственных условий эксплуатации — формы и протяжённости склона, влажности почвогрунта, таксационных характеристик древостоя и т. д.

Эффективное лесовосстановление вырубок и гарей на склонах является крайне важным мероприятием, поскольку предотвращает возникающие после удаления лесного покрова эрозионные процессы. На успешности лесовосстановительных процессов на склонах отражаются высота над уровнем моря, крутизна и экспозиция склонов, мощность и устойчивость почвогрунтов. Из проанализированных вариантов естественного и искусственного лесовосстановления на склонах, как один из наиболее оптимальных, может быть рекомендован метод аэросева квадратными дражированными семенами, при помощи БПЛА типа многоосный вертолёт или «мультикоптер», непосредственно последующей весной или осенью после удаления лесного покрова со склона.

Исследование выполнено на средства гранта Российского научного фонда № 22-26-00009, <https://rscf.ru/project/22-26-00009/>.

Список литературы

1. Рябухин П. Б., Абузов А. В. Горным лесоразработкам — средосберегающее технологическое оборудование // Лесное хозяйство. 2008. № 6. С. 36—37.
2. Лесозаготовки на Дальнем Востоке — состояние и перспективы / П. Б. Рябухин, А. П. Ковалев, Н. В. Казаков, Е. В. Луценко. Хабаровск: Изд-во ДальНИИЛХ, 2010. 283 с.
3. Рябухин П. Б., Луценко Е. В., Кравец А. Д. Анализ систем лесозаготовительных машин для освоения горных лесов по критериям производительности и экономической эффективности // Вестник КрасГАУ. 2010. № 10. С. 148—155.
4. Рябухин П. Б., Луценко Е. В., Кравец А. Д. Эффективные объёмы лесозаготовительного производства в условиях горных лесных массивов Дальнего Востока // Актуальные проблемы лесного комплекса: Сб. науч. тр. по итогам междунар. научно-технич. конф. Брянск: БГИТА, 2010. Вып. 25. С. 160—163.
5. Абузов А. В., Рябухин П. Б. Аэростатный транспорт для горных лесозаготовок в условиях Дальнего Востока. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2013. 199 с.
6. Рябухин П. Б., Рыжаков М. Р. Эффективность систем лесозаготовительных машин в лесорастительных и производственных условиях Дальнего Востока // Философия современного природопользования в бассейне реки Амур: Сб. докл. междунар. экол. семинара (Хабаровск, 6—8 мая 2015 г.) / Под ред. проф. П. Б. Рябухина. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2015. С. 74—78.
7. Рябухин П. Б. Оценка эффективности лесозаготовительных машин в природно-производственных условиях лесопромышленных предприятий Дальневосточного федерального округа: [монография]. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2018. 176 с.
8. Абузов А. В., Куницкая О. А. Определение массы грузозахватного срезающего механизма для аэростатной системы трелёвки // Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10, № 1 (37). С. 96—104.
9. Абузов А. В., Григорьев И. В. Конструктивные особенности канатных лесотранспортных систем на мягких пневматических опорах // Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10, № 1 (37). С. 86—95.
10. Абузов А. В., Казаков Н. В., Дмитриева И. Н. Особенности использования вертолёта на лесозаготовительных операциях // Инженерный вестник Дона. 2014. № 3. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2014/2469>. Текст: электронный.
11. Виногоров Г. К., Калущкий К. К. Применение вертолётов для транспорта леса в горах // Труды ЦНИИМЭ. Химки, 1971. Вып. 118. С. 116—125.
12. Подзирей Ю. С. Газодинамическое управление для экраноплана, выполненного по схеме «Летающее крыло» // Русский инженер. 2020. № 03 (68). С. 18—22.
13. Подзирей Ю. С. Летающий кран для строительно-монтажных работ // Русский инженер. 2021. № 1 (70). С. 16—19.
14. Нечаев Ю. Н., Тарасов А. И. Пульсирующий детонационный двигатель — новый тип двигателя для авиации // Полёт. 1999. № 4. С. 13—18.
15. Григорьев И. В. Особенности эксплуатации и выбор канатов для канатных трелёвочных установок // Деловой лес. 2004. № 2 (38). С. 7—9.
16. Берг Л. В., Ливанов А. П., Родионов В. И. Лебёдки и трелёвочные установки для горных условий. М.: Лесн. пром-сть, 1974. 136 с.

17. Средооадающие технологии разработки лесосек в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации / И. В. Григорьев, А. И. Жукова, О. И. Григорьева, А. В. Иванов. СПб.: ЛТА, 2008. 175 с.
18. Белая Н. М., Прохоренко А. Г. Канатные лесотранспортные установки. М.: Лесн. пром-сть, 1964. 300 с.
19. Возный В. П., Визнер П. Ф. Канатные лесоспуски на лесочистке горных склонов. М.: ЦНИИТЭИлеспром, 1965. 21 с.
20. Кузавков В. М. История лесной промышленности России. СПб.: ЛТА, 1997. 117 с.
21. Григорьев И. В., Валяжонков В. Д. Современные машины и технологические процессы лесосечных работ. СПб.: ЛТА, 2009. 287 с.
22. Григорьев И. В., Григорьева О. И. Сохранение биоразнообразия при заготовке древесины в горных лесах // Биоразнообразие. Биоконсервация. Биомониторинг: Сб. материалов II Междунар. научно-практич. конф., посвящается 75-летию Адыгейского государственного университета. Майкоп, 2015. С. 134—135.
23. Комплексная экономическая оценка применения канатных трелёвочных установок на лесозаготовках / В. В. Лавришин, Н. В. Мурашкин, В. И. Пятакин, И. В. Григорьев, О. Н. Тюкина, А. Н. Мурашкин, Н. И. Тихонов. СПб.: ЛТА, 2006. 200 с.
24. Занегин Л. А., Воскобойников И. В., Еремеев Н. С. Машины и механизмы для канатной трелёвки. М.: МГУЛ, 2004. Ч. 1. 446 с.
25. Занегин Л. А., Воскобойников И. В., Еремеев Н. С. Машины и механизмы для канатной трелёвки. М.: МГУЛ, 2004. Ч. 2. 418 с.
26. Азаренок В. А., Герц Э. Ф., Мехренцев А. В. Природооадающие технологии в условиях интенсификации лесного комплекса // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2005. № 3. С. 64—68.
27. 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.
28. Григорьев И. В. Валка деревьев бензиномоторными пилами // Деловой лес. 2003. № 12. С. 7—9.
29. 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 междунар. научно-практич. конф. / Под общ. ред. В. А. Гулевского. Воронеж, 2018. С. 266—271.
30. Куницкая О. А., Григорьев И. В. Оценка эффективности работы операторов лесных машин // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Междунар. научно-технич. конф. / Отв. ред. Н. С. Захаров. Тюмень, 2019. С. 184—188.
31. Куницкая О. А., Григорьев И. В., Нгуен Т. Н. Современные методы и формы обучения операторов лесных машин // Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции и перспективы развития: Сб. материалов Всерос. научно-практич. конф. / Отв. ред.: Ю. А. Безруких, Е. В. Мельникова. Красноярск, 2020. С. 277—280.
32. Григорьев И. В., Куницкая О. А. Перспективные направления опытно-конструкторских работ в лесном машиностроении // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Третьей Всерос. научно-практич. конф. с междунар. участием. Петрозаводск, 2017. С. 53—56.
33. Машинная заготовка древесины по скандинавской технологии / О. А. Куницкая, Н. А. Чернуцкий, М. В. Дербин, С. Е. Рудов, И. В. Григорьев, О. И. Григорьева. СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2019. 192 с.

34. Богатова Е. Ю., Григорьев И. В. Перспективы развития лесного машиностроения России // Леса России в XXI веке: Материалы Одиннадцатой междунар. научно-технич. интернет-конф., посвящённой 85-летию лесоинженерного факультета СПбГЛТУ и 95-летию кафедры сухопутного транспорта леса. СПб.: ЛТУ, 2014. С. 153—156.
35. Григорьев И. В., Куницкая О. А., Фам Н. Л. Применение мобильных технологий для мониторинга, контроля и управления процессами сервиса лесных машин // Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции и перспективы развития: Сб. материалов Всерос. научно-практич. конф. / Отв. ред.: Ю. А. Безруких, Е. В. Мельникова. Красноярск, 2020. С. 143—146.
36. Grigorev I., Kunickaya O., Prosuzhih A., Kruchinin I., Shakirzyanov D., Shvetsova V., Markov O., Egipko S. Efficiency improvement of forest machinery exploitation // Diagnostyka. 2020. Vol. 21, no. 2. С. 95—109.
37. Григорьев И. В., Рудов С. Е. Особенности эксплуатации колёсных лесных машин в сложных почвенно-грунтовых и рельефных условиях // Forest engineering: Материалы научно-практич. конф. с междунар. участием. Якутск, 2018. С. 67—71.
38. Григорьев И. В., Куницкая О. А., Рудов С. Е., Давтян А. Б. Пути повышения эффективности работы лесных машин // Энергия: экономика, техника, экология. 2020. № 1. С. 55—63.
39. Рудов С. Е., Григорьев И. В. Пути повышения эффективности работы систем машин для сортиментной заготовки древесины // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Седьмой Всерос. национальной научно-практич. конф. с междунар. участием. Петрозаводск, 2021. С. 168—169.
40. Григорьев И. В., Куницкая О. А., Рудов С. Е. Использование методов теории управления качеством для повышения эффективности работы транспортно-технологических комплексов на заготовке древесины // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Междунар. научно-технич. конф. / Отв. ред. Н. С. Захаров. Тюмень, 2020. С. 130—133.
41. Григорьев И. В., Куницкая О. А., Просужих А. А., Давтян А. Б., Рудов С. Е. Перспективы создания лесозаготовительных комплексов на базе отечественных строительных и сельскохозяйственных машин // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2020. № 10. С. 3—10.
42. Бухтояров Л. Д., Абрамов В. В., Просужих А. А., Рудов С. Е., Куницкая О. А., Григорьев И. В. Анализ конструкций и технологий работы форвардеров на лесозаготовках // Resources and Technology. 2020. Т. 17, № 3. С. 1—35.
43. Морозов Е. В., Шегельман И. Р., Будник П. В. Вероятностно-статистический анализ процесса заготовки сортиментов // Перспективы науки. 2011. № 7 (22). С. 183—185.
44. Шегельман И. Р., Будник П. В. Обоснование вылета манипулятора и режимов работы валочно-трелёвочно-процессорной машины // Учёные записки Петрозаводского государственного университета. 2011. № 4 (117). С. 81—83.
45. Будник П. В., Скрыпник В. И. Обоснование масс и объёмов пачек деревьев, трелюемых валочно-трелёвочно-процессорной машиной с учётом природно-производственных условий и районов лесозаготовок // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2010. № 27. С. 3—6.
46. Grigorev I., Kunickaya O., Tikhonov E., Hertz E., Khakhina A., Burmistrova O., Sukhomlinova N., Zhuk A. Methodology for assessing and managing the environmental performance of skidding and feller buncher tractors // Forests. 2021. Vol. 12, no. 12.
47. Рудов С. Е., Григорьев И. В., Григорьев М. Ф., Степанова Д. И. Повышение эффективности работы колёсных лесных машин на оттаивающих почвогрунтах //

- Актуальные проблемы развития лесного комплекса: Материалы XVII Междунар. научно-технич. конф. / Отв. ред. Ю. М. Авдеев. Вологда, 2019. С. 223—225.
48. Бурмистрова О. Н., Просужих А. А., Рудов С. Е., Куницкая О. А., Григорьев И. В. Экспериментальные исследования производительности форвардера с учётом его эксплуатационных характеристик, параметров лесосеки и физико-механических свойств почвогрунта // *Resources and Technology*. 2021. Т. 18, № 1. С. 94—124.
49. Григорьев И. В., Рудов С. Е., Каляшов В. А. Транспортно-технологические комплексы на базе лесных машин и самоходных лебёдок для проведения рубок леса на склонах // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Междунар. научно-технич. конф. / Отв. ред. Н. С. Захаров. Тюмень, 2021. С. 59—62.
50. Рудов С. Е., Куницкая О. А., Григорьев И. В., Григорьева О. И., Каляшов В. А., Нгуен Т. Н. Современные системы машин для освоения лесосек на склонах // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2021. № 1. С. 35—42.
51. Kunickaya O., Hertz E., Kruchinin I., Tikhonov E., Ivanov N., Dolmatov N., Zorin M., Grigorev I. Pressure control systems for tyre preservation in forestry machinery and forest soils // *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*. 2021. Vol. 18, no. 3. P. 95—102.
52. Grigorev I., Kunickaya O., Burgonutdinov A., Tikhonov E., Makuev V., Egipko S., Hertz E., Zorin M. Modeling the effect of wheeled tractors and skidded timber bunches on forest soil compaction // *Journal of Applied Engineering Science*. 2021. Vol. 19, no. 2. P. 439—447.
53. Grigorev I., Kunickaya O., Burgonutdinov A., Burmistrova O., Druzyanova V., Dolmatov N., Voronova A., Kotov A. Assessment the effect of skidding techniques on the ecological efficiency of the skidding tractor // *Diagnostyka*. 2020. Vol. 21, no. 3. P. 67—75.
54. Grigorev I., Kunickaya O., Burgonutdinov A., Ivanov V., Shuvalova S., Shvetsova V., Stepanishcheva M., Tikhonov E. Theoretical studies of dynamic soil compaction by wheeled forestry machines // *Diagnostyka*. 2020. Vol. 21, no. 4. P. 3—13.
55. Rudov S., Kunickaya O., Grigorev I., Burgonutdinov A., Kruchinin I., Prosuzhih A., Dolmatov N., Dmitrieva N. The mathematical model of forestry machines impact on cryolitozone forest soils // *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*. 2020. Vol. 17, no. 4. P. 89—95.
56. Черных А. С., Абрамов В. В., Бондаренко А. В. Лесоводственно-экологическая оценка технологического процесса первичной транспортировки древесины в горных условиях лесозаготовок // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Vol. 3, no. 8-3 (19-3). С. 60—63.
57. Абрамов В. В., Черных А. С., Бондаренко А. В. Моделирование природно-производственных условий в задачах исследования процесса первичной транспортировки древесины в горной местности // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Vol. 2, no. 2-1 (7-1). С. 19—26.
58. Morkovina S. S., Kunickaya O., Dolmatova L., Markov O., Nguyen V. L., Baranova T., S. Shadrina S., Grin'Ko O. Comparative analysis of economic aspects of growing seedlings with closed and open root systems: the experience of Russia // *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*. 2021. Vol. 18, no. 2. P. 19—26.
59. 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. Vol. 8, no. 4. P. 1385—1393.
60. Сабо Е. Д. Изменение плотности почвы на вырубках // Труды СПбНИИЛХ: Гидромелиорация: наука — производству. СПб., 1996. С. 21—22.

61. Мясичев Д. Г. Потенциал малой механизации в лесохозяйственных технологических процессах // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2018. № 1 (361). С. 70—79.
62. Сафин Р. Р., Григорьев И. В., Григорьева О. И., Разумов Е. Ю. Технология и машины лесовосстановительных работ. М.: Редакция журнала «Деревообрабатывающая промышленность», 2015. 230 с.
63. 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.
64. Копытков В. В., Коновалов В. Н. Исследования технологии получения дражированных семян с использованием композиционных полимерных препаратов // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2016. № 4 (352). С. 30—39.
65. Николаев А. И., Иванова Р. И., Шигапов Д. С. Прорастание семян древесных растений в субстратах с применением влагоудерживающих веществ // Лесохозяйственная информация. 2016. № 4. С. 93—101.
66. Червяков А. В., Курзенков С. В., Михеев Д. А. Способы дражирования семян // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2014. С. 67—70.
67. Кухарев О. Н., Гришин Г. Е., Сёмов И. Н. Теоретическое обоснование барабанного дражирователя с вращающимся дном // Нива Поволжья. 2013. № 1 (26). С. 51—55.

References

1. Ryabukhin P. B., Abuzov A. V. To the mountain logging — medium-saving technological equipment. *Forestry*. 2008, no. 6, pp. 36—37. (In Russ.)
2. Ryabukhin P. B., Kovalev A. P., Kazakov N. V., Lutsenko E. V. *Logging in the Far East — status and prospects*. Khabarovsk, Izd-vo Dal'nii ILKh, 2010. 283 p. (In Russ.)
3. Ryabukhin P. B., Lutsenko E. V., Kravets A. D. Analysis of logging machinery systems for the development of mountain forests on the criteria of performance and economic efficiency. *Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University*, 2010, no. 10, pp. 148—155. (In Russ.)
4. Ryabukhin P. B., Lutsenko E. V., Kravets A. D. Effective volumes of logging production in the mountain forests of the Far East. *Actual problems of forestry complex. Collection of scientific papers on the results of international scientific and technical conference*. Bryansk, BGITA, 2010, issue 25, pp. 160—163. (In Russ.)
5. Abuzov A. V., Ryabukhin P. B. *Aerostat transport for mountain logging in conditions of the Far East*. Khabarovsk, Publishing house of the Pacific State University, 2013. 199 p. (In Russ.)
6. Ryabukhin P. B., Ryzhakov M. R. Efficiency of logging machine systems in forest and production conditions of the Far East. *Philosophy of modern nature management in the Amur River basin: Proceedings of an international ecological seminar (Khabarovsk, May 6—8, 2015)*. Edited by Prof. P. B. Ryabukhin. Khabarovsk, Publishing house of the Pacific State University, 2015, pp. 74—78. (In Russ.)
7. Ryabukhin P. B. *Assessment of the effectiveness of logging machines in the natural-production conditions of timber enterprises of the Far Eastern Federal District*: [monograph]. Khabarovsk, Publishing house of the Pacific State University, 2018. 176 p. (In Russ.)
8. Abuzov A. V., Kunitskaya O. A. Determination of weight of load-carrying shearing mechanism for aerial skidding system. *Lesotechnical journal*, 2020, vol. 10, no. 1 (37), pp. 96—104. (In Russ.)

9. Abuzov A. V., Grigorev I. V. Design features of rope forest transportation systems on soft pneumatic supports. *Forest Engineering Journal*, 2020, vol. 10, no. 1 (37), pp. 86—95. (In Russ.)
10. Abuzov A. V., Kazakov N. V., Dmitrieva I. N. Features of using a helicopter for logging operations. *Engineering Herald of the Don*, 2014, no. 3. Available at: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2014/2469>. Text. Image: electronic. (In Russ.)
11. Vinogorov G. K., Kalutsky K. K. Application of helicopters for forest transport in the mountains. *Proceedings of the Central Research Institute of Mining*. Khimki, 1971, vol. 118, pp. 116—125. (In Russ.)
12. Podzirey Y. S. Gas-dynamic control for the screenplane made according to the scheme «Flying wing». *Russian engineer*, 2020, no. 03 (68), pp. 18—22. (In Russ.)
13. Podzirey Y. S. Flying crane for construction and installation works. *Russian engineer*, 2021, no. 1 (70), pp. 16—19. (In Russ.)
14. Nechaev Y. N., Tarasov A. I. Pulsating detonation engine — a new type of engine for aviation. *Polet*, 1999, no. 4, pp. 13—18. (In Russ.)
15. Grigorev I. V. Features of operation and a choice of ropes for the rope skidders. *Business forest*, 2004, no. 2 (38), pp. 7—9. (In Russ.)
16. Berg L. V., Livanov A. P., Rodionov V. I. *Winches and skidding installations for mining conditions*. Moscow, Forest Industry, 1974. 136 p. (In Russ.)
17. Grigorev I. V., Zhukova A. I., Grigoreva O. I., Ivanov A. V. *Cutting technologies for logging in the North-West region of the Russian Federation*. Saint Petersburg, FTA, 2008. 175 p. (In Russ.)
18. Belaya N. M., Prokhorenko A. G. *Cable logging installations*. Moscow, Forest Industry, 1964. 300 p. (In Russ.)
19. Voznyy V. P., Vizner P. F. *Rope skids on forest clearing of mountain slopes*. Moscow, Central Research Institute of Timber Industry, 1965. 21 p. (In Russ.)
20. Kuzavkov V. M. *History of the forest industry of Russia*. Saint Petersburg, FTA, 1997. 117 p. (In Russ.)
21. Grigorev I. V., Valyazhonkov V. D. *Modern machines and technological processes of forestry work*. Saint Petersburg, FTA, 2009. 287 p. (In Russ.)
22. Grigorev I. V., Grigoreva O. I. Conservation of biodiversity during timber harvesting in mountain forests. *Biodiversity. Bioconservation. Biomonitoring. Proceedings of the II International Scientific-Practical Conference, dedicated to the 75th anniversary of Adygei State University*, 2015, pp. 134—135. (In Russ.)
23. Lavrishin V. V., Murashkin N. I., Patyakin I. I., Grigorev I. V., Tyukina O. N., Murashkin A. N., Tikhonov I. I. *Comprehensive economic assessment of the use of rope skidders at logging sites*. Saint Petersburg, FTA, 2006. 200 p. (In Russ.)
24. Zanezhin L. A., Voskoboynikov I. V., Eremeyev N. S. *Machines and mechanisms for the rope skidding*. Moscow, MSULE, 2004. Part 1. 446 p. (In Russ.)
25. Zanezhin L. A., Voskoboynikov I. V., Eremeyev N. S. *Machines and mechanisms for the rope skidding*. Moscow, MSULE, 2004. Part 2. 418 p. (In Russ.)
26. Azarenok V. A., Hertz E. F., Mekhrentsev A. V. Nature-saving technologies in the conditions of intensification of the forest complex. *Izvestiya vysokikh uchebnykh obucheniya. Forest journal*, 2005, no. 3, pp. 64—68. (In Russ.)
27. Goncharov A. V., Grigorev I. V., Kunitskaya O. A., Grigorev M. F. Main mistakes of woodcutters, leading to the failure of gasoline-powered saws. *Repair. Restoration. Modernization*, 2018, no. 10, pp. 17—21. (In Russ.)

28. Grigorev I. V. Tree felling with gasoline-powered saws. *Business Forest*, 2003, no. 12, pp. 7—9. (In Russ.)
29. Stepanova D. I., Grigorev I. V., Kunitskaya O. A., Grigorev M. F. Operational reasons of failure of gasoline-powered saws. *Energy efficiency and energy saving in modern production and society. Proc. of International Scientific-Practical Conference*. Under the general editorship of V. A. Gulevsky. Voronezh, 2018, pp. 266—271. (In Russ.)
30. Kunitskaya O. A., Grigorev I. V. Assessment of forest machine operators' efficiency. *Transport and transport-technological systems. Materials of the International Scientific and Technical Conference*. Ed. by N. S. Zakharov. Tyumen, 2019, pp. 184—188. (In Russ.)
31. Kunitskaya O. A., Grigorev I. V., Nguyen T.N. Modern methods and forms of training forest machine operators. *Innovations in the chemical and forestry complex: trends and prospects for development. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference*. Responsible Editors: Yu. A. Bezrukikh, E. V. Melnikova. Krasnoyarsk, 2020, pp. 277—280. (In Russ.)
32. Grigorev I. V., Kunitskaya O. A. Prospective directions of development work in forest engineering. *Increasing the efficiency of the forestry complex. Materials of the third All-Russian scientific-practical conference with international participation*. Petrozavodsk, 2017, pp. 53—56. (In Russ.)
33. Kunitskaya O. A., Chernutsky N. A., Derbin M. V., Rudov S. E., Grigorev I. V., Grigoreva O. I. *Machine logging of wood by Scandinavian technology*. Saint Petersburg, Publishing and Printing Association of Higher Education Institutions, 2019. 192 p. (In Russ.)
34. Bogatova E. Yu., Grigorev I. V. Prospects for the development of forest engineering in Russia. *Forests of Russia in the XXI century. Materials of the 11th International Scientific and Technical Internet-Conference, dedicated to the 85th Anniversary of Forestry Engineering Faculty at St. Petersburg State Forestry Technological University and the 95th Anniversary of the Department of Land Transport of Forests*. Saint Petersburg, FTU, 2014, pp. 153—156. (In Russ.)
35. Grigorev I. V., Kunitskaya O. A., Pham N. L. Application of mobile technologies for monitoring, control and management of forest machine service processes. *Innovations in the chemical and forestry complex: trends and prospects for development. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference*. Responsible Editors: Yu. A. Bezrukikh, E. V. Melnikova. Krasnoyarsk, 2020, pp. 143—146. (In Russ.)
36. Grigorev I., Kunitskaya O., Prosuzhih A., Kruchinin I., Shakirzyanov D., Shvetsova V., Markov O., Egipko S. Efficiency improvement of forest machinery exploitation. *Diagnostyka*, 2020, vol. 21, no. 2, pp. 95—109.
37. Grigorev I. V., Rudov S. E. Features of operation of wheeled forest machines in complex soil and terrain conditions. *Forest engineering. materials of scientific-practical conference with international participation*. Yakutsk, 2018, pp. 67—71. (In Russ.)
38. Grigorev I. V., Kunitskaya O. A., Rudov S. E., Davtyan A. B. Ways to increase the efficiency of forest machines. *Energy: Economics, Technology, Ecology*, 2020, no. 1, pp. 55—63. (In Russ.)
39. Rudov S. E., Grigorev I. V. Ways to increase the efficiency of machine systems for assortment timber harvesting. *Increasing the efficiency of the forestry complex. Materials of the Seventh All-Russian National Scientific and Practical Conference with International Participation*. Petrozavodsk, 2021, pp. 168—169. (In Russ.)
40. Grigorev I. V., Kunitskaya O. A., Rudov S. E. The use of methods of quality control theory to improve the efficiency of transport technological complexes in timber harvesting. *Transport and transport-technological systems. Materials of the International Scientific and Technical Conference*. Editor N. S. Zakharov. Tyumen, 2020, pp. 130—133. (In Russ.)

41. Grigorev I. V., Kunitskaya O. A., Proshikh A. A., Davtyan A. B., Rudov S. E. Prospects for creating logging complexes based on domestic construction and agricultural machinery. *Repair. Restoration. Modernization*, 2020, no. 10, pp. 3—10. (In Russ.)
42. Bukhtoyarov L. D., Abramov V. V., Proshikh A. A., Rudov S. E., Kunitskaya O. A., Grigorev I. V. Analysis of designs and technologies of forwarders at logging operations. *Resources and Technology*, 2020, vol. 17, no. 3, pp. 1—35. (In Russ.)
43. Morozov E. V., Shegelman I. R., Budnik P. V. Probabilistic-statistical analysis of logging process. *Perspectives of Science*, 2011, no. 7 (22), pp. 183—185. (In Russ.)
44. Shegelman I. R., Budnik P. V. Justification of manipulator reach and operating modes of feller-tracking-processor machine. *Scientific Notes of Petrozavodsk State University*, 2011, no. 4 (117), pp. 81—83. (In Russ.)
45. Budnik P. V., Skrypnik V. I. Justification of weights and volumes of bundles of trees skidded by a feller-barker-processor machine with regard to natural-production conditions and logging areas. *Actual problems of forestry complex*, 2010, no. 27, pp. 3—6. (In Russ.)
46. Grigorev I., Kunickaya O., Tikhonov E., Hertz E., Khakhina A., Burmistrova O., Sukhomlinova N., Zhuk A. Methodology for assessing and managing the environmental performance of skidding and feller buncher tractors. *Forests*, 2021, vol. 12, no. 12.
47. Rudov S. E., Grigorev I. V., Grigorev M. F., Stepanova D. I. Increase of efficiency of wheeled forest machines on thawing soils. *Actual problems of forest complex development. Proceedings of the XVII International Scientific and Technical Conference*. Responsible Editor M. Avdeev. Vologda, 2019, pp. 223—225. (In Russ.)
48. Burmistrova O. N., Proshikh A. A., Rudov S. E., Kunitskaya O. A., Grigorev I. V. Experimental studies of forwarder productivity taking into account its operating characteristics, logging parameters, and physical and mechanical properties of soil. *Resources and Technology*, 2021, vol. 18, no. 1, pp. 94—124. (In Russ.)
49. Grigorev I. V., Rudov S. E., Kalyashov V. A. Transport-technological complexes based on forest machines and self-propelled winches for logging on slopes. *Transport and transport-technological systems. Materials of the International Scientific and Technical Conference*. Editor N. S. Zakharov. Tyumen, 2021, pp. 59—62. (In Russ.)
50. Rudov S. E., Kunitskaya O. A., Grigorev I. V., Grigoreva O. I., Kalyashov V. A., Nguyen T. N. Modern systems of machines for the development of forests on slopes. *Repair. Restoration. Modernization*, 2021, no. 1, pp. 35—42. (In Russ.)
51. Kunickaya O., Hertz E., Kruchinin I., Tikhonov E., Ivanov N., Dolmatov N., Zorin M., Grigorev I. Pressure control systems for tyre preservation in forestry machinery and forest soils. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 2021, vol. 18, no. 3, pp. 95—102.
52. Grigorev I., Kunickaya O., Burgonutdinov A., Tikhonov E., Makuev V., Egipko S., Hertz E., Zorin M. Modeling the effect of wheeled tractors and skidded timber bunches on forest soil compaction. *Journal of Applied Engineering Science*, 2021, vol. 19, no. 2, pp. 439—447.
53. Grigorev I., Kunickaya O., Burgonutdinov A., Burmistrova O., Druzyanova V., Dolmatov N., Voronova A., Kotov A. Assessment the effect of skidding techniques on the ecological efficiency of the skidding tractor. *Diagnostyka*, 2020, vol. 21, no. 3, pp. 67—75.
54. Grigorev I., Kunickaya O., Burgonutdinov A., Ivanov V., Shuvalova S., Shvetsova V., Stepanishcheva M., Tikhonov E. Theoretical studies of dynamic soil compaction by wheeled forestry machines. *Diagnostyka*, 2020, vol. 21, no. 4, pp. 3—13.
55. Rudov S., Kunickaya O., Grigorev I., Burgonutdinov A., Kruchinin I., Prosuzhih A., Dolmatov N., Dmitrieva N. The mathematical model of forestry machines impact on cryolitozone forest soils. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 2020, vol. 17, no. 4, pp. 89—95.

56. Chernykh A. S., Abramov V. V., Bondarenko A. V. Forest-ecological assessment of the technological process of primary wood transportation in the mountainous conditions of logging. *Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*, 2015, vol. 3, no. 8-3 (19-3), pp. 60—63. (In Russ.)
57. Abramov V. V., Chernykh A. S., Bondarenko A. V. Modeling of natural-production conditions in the research tasks of the process of primary wood transportation in mountainous areas. *Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*, 2014, vol. 2, no. 2-1 (7-1), pp. 19—26. (In Russ.)
58. Morkovina S. S., Kunickaya O., Dolmatova L., Markov O., Nguyen V. L., Baranova T., Shadrina S., Grin'ko O. Comparative analysis of economic aspects of growing seedlings with closed and open root systems: the experience of Russia. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 2021, vol. 18, no. 2, pp. 19—26.
59. 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, vol. 8, no. 4, pp. 1385—1393.
60. Sabo E. D. Changes in soil density on clearcuts. *Proceedings of SPbNIILKh: Hydromelioration: science-production*. Saint Petersburg, 1996, pp. 21—22. (In Russ.)
61. Myasishev D. G. Potential of small-scale mechanization in forestry technological processes. *Proceedings of higher educational institutions. Forest Journal*, 2018, no. 1 (361), pp. 70—79. (In Russ.)
62. Safin R. R., Grigorev I. V., Grigoreva O. I., Razumov E. Yu. Technology and machinery of reforestation. Moscow, Editorial board of the journal «Woodworking industry», 2015. 230 p. (In Russ.)
63. Lysych M. N., Bukhtoyarov L. D., Chernyshov V. V., Nagaitsev V. M. Review of modern technologies of aerial seeding of forest crops using unmanned aerial vehicles. *Uspekhi sovremennogo naukovstva*, 2021, no. 10, pp. 37—42. (In Russ.)
64. Kopytkov V. V., Konovalov V. N. Researches of technology of preparation of drained seeds with the use of composite polymeric preparations. *Proceedings of higher educational institutions. Forest Journal*, 2016, no. 4 (352), pp. 30—39. (In Russ.)
65. Nikolaev A. I., Ivanova R. I., Shigapov D. S. Germination of seeds of woody plants in substrates with moisture retaining agents. *Forest Information*, 2016, no. 4, pp. 93—101. (In Russ.)
66. Chervyakov A. V., Kurzenkov S. V., Mikheev D. A. Methods of dragging seeds. *Innovative solutions in technology and mechanization of agricultural production*. Gorki, Belarusian State Agricultural Academy, 2014, pp. 67—70. (In Russ.)
67. Kukharev O. N., Grishin G. E., Semov I. N. Theoretical justification of the drum-loader with a rotating bottom. *Niva Povolzhya*, 2013, no. 1 (26), pp. 51—55. (In Russ.)

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6243

УДК 621.797:629.114.41

Статья

Снижение удельного простоя лесозаготовительной техники в техническом обслуживании и ремонте

Букреев Вадим Юрьевич

аспирант, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I» (Российская Федерация), vadimbukreev@gmail.com

Козлов Вячеслав Геннадиевич

доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I» (Российская Федерация), vyu-kozlov@yandex.ru

Скрыпников Алексей Васильевич

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (Российская Федерация), skrypnikovvsafe@mail.ru

Мануковский Андрей Юрьевич

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова» (Российская Федерация), manu1964@mail.ru

Получена: 21 марта 2022 / Принята: 22 апреля 2022 / Опубликовано: 26 апреля 2022

Аннотация: Одной из актуальных областей научного поиска, связанной с системным анализом технических и экономических аспектов производства машин и их эксплуатации, является задача определения оптимальной долговечности. От долговечности зависит величина норм амортизационных отчислений, планирование соотношений затрат на производство новых машин и запасных частей. В настоящее время наметилась тенденция к повышению оптимального срока службы машин лесопромышленного комплекса на основе разработки и обеспечения научно обоснованных нормативов реализации ресурса, нормирования соотношений затрат между сферами производства и эксплуатации лесозаготовительной техники, а также текущего расхода материальных, трудовых и денежных средств. Это позволяет избежать неоправданных потерь и обеспечивает максимальную реализацию свойств надёжности машин с минимальными затратами в эксплуатации. В связи с этим анализ существующих методов определения оптимальной долговечности имеет большое значение

для дальнейшего совершенствования и повышения эффективности эксплуатации лесозаготовительной техники на основе её нормирования и прогнозирования с учётом особенностей функционирования лесопромышленных предприятий. Цель работы состоит в совершенствовании процессов поддержания работоспособности и повышения надёжности деталей и узлов лесозаготовительных и лесотранспортных машин в процессе эксплуатации за счёт снижения удельных простоев машины по причине отказов и неисправностей. В статье представлено математическое обоснование влияния зависимости ресурса технологических машин от уровня суммарных удельных затрат. Приведённая математическая модель представляет собой методологию выявления объективно имеющихся резервов и разработки научно обоснованных мероприятий по повышению надёжности лесозаготовительной и лесотранспортной техники в результате совершенствования процессов поддержания её работоспособности и оптимизации мощности подсистемы.

Ключевые слова: ресурс машин; работоспособность; удельные затраты; долговечность

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6243

Article

Reduction of specific downtime of logging equipment in maintenance and repair

Vadim Bukreev

postgraduate student, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great (Russian Federation), vadimbukreev@gmail.com

Vyacheslav Kozlov

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

Alexey Skrypnikov

D. Sc. in engineering, professor, Voronezh State University of Engineering Technologies (Russian Federation), skrypnikovvsafe@mail.ru

Andrey Manukovsky

D. Sc. in engineering, professor, Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov (Russian Federation), mayu1964@mail.ru

Received: 21 March 2022 / Accepted: 22 April 2022 / Published: 26 April 2022

Abstract: One of the relevant tasks of scientific research related to the systematic analysis of technical and economic aspects of machines manufacture and operation is to determine their optimal durability. Machine durability affects depreciation rates and the cost ratio planning for new machines and spare parts manufacture. Currently, there is a tendency to increase the optimal service life of machines of the timber industry complex based on the development and provision of scientifically sound standards for resource realization, normalization of cost ratios between the areas of logging equipment manufacture and operation, as well as on the current expenditure of material, labor and money. Thus, extra expenses might be avoided and maximum realization of machine reliability properties with minimal operating costs might be ensured. In this regard, the analysis of existing methods for determining optimal durability is of great importance to improve the efficiency of logging equipment service on the basis of its normalization, forecasting, and customizing to individual timber enterprises operation. The purpose of the work is to improve the processes of maintaining operability and increasing the reliability of parts and assemblies of logging and timber transport machines during operation by reducing the specific downtime of the machine caused by failures and

malfunctions. The article presents a mathematical justification of the influence of technological machines resource dependence on the level of total cost per unit. The mathematical model presents a methodology for identifying objectively available reserves and developing scientifically-based measures to improve the reliability of logging and forest transportation equipment as a result of improving the processes of maintaining its operability and optimizing the power of the subsystem.

Keywords: the resource of machines; efficiency; cost per unit; durability

1. Введение

Анализ выполненных исследований показывает, что реализация свойств лесозаготовительной и лесотранспортной техники существенно зависит от эффективности использования всех видов производственных ресурсов, требующихся для поддержания машин в работоспособном состоянии.

Наметившаяся тенденция увеличения концентрации однотипной техники в специализированных лесозаготовительных организациях создала благоприятные предпосылки для значительного снижения удельного веса затрат на поддержание надёжности и повышения эффективности использования машин.

Всё это вызывает необходимость совершенствования методов управления реализацией свойств надёжности лесозаготовительных и лесотранспортных машин и методов их технической эксплуатации в лесозаготовке. При этом целью является достижение максимального эффекта с минимальными затратами.

Эффективность и качество реализации потенциальных свойств машин при их эксплуатации оцениваются достигнутым ресурсом, а также коэффициентом технического использования и технической готовности. Повышение этих показателей представляет собой в настоящее время одно из актуальных направлений научных исследований и производственной деятельности лесозаготовительных предприятий, обеспечивающих высокую эффективность эксплуатации лесозаготовительных и лесотранспортных машин [1].

2. Материалы и методы

Для решения этой задачи в качестве исходных положений приняты следующие ограничения:

— машина не создаёт новых стоимостей, а только переносит свою стоимость на производимую с её помощью продукцию;

— величина стоимости зависит от трёх групп затрат: затраты связанные с амортизацией и реновацией, стоимость технического обслуживания, а также затраты на поддержание надёжности, обеспечивающие выполнение работ с заданной производительностью.

Рациональный период эксплуатации определяется ресурсом машины, который по критерию недопустимого снижения эффективности суммарных средних удельных затрат оценивается по соотношению

$$C_{уд} = \frac{C_0}{t} + C_{пн.ср}(t) + C_{то} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где C_0 — стоимость машины; $C_{пн.ср}(t)$ — средние удельные затраты на поддержание надёжности за наработку t ; $C_{то}$ — средние удельные затраты ТО.

Если средние удельные затраты на техническое обслуживание $C_{то} = \text{const}$, а стоимость удельных интервальных затрат на поддержание надёжности по мере увеличения наработки t возрастает по степенной зависимости с параметрами b и n :

$$C_{\text{пн.ин.}}(t) = bt^n, \quad (2)$$

то оптимальная величина ресурса определится равенством

$$t_p = \left[\frac{C_0(n+1)}{b \cdot n} \right]^{\frac{1}{n+1}}. \quad (3)$$

Средние удельные затраты (1) на поддержание надёжности за наработку можно представить в следующем виде:

$$C_{\text{пн.ср.}}(t) = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^k C_i \Omega_i(t) \rightarrow \frac{b}{n+1} t^n, \quad (4)$$

где C_i — средняя стоимость устранения отказа i -го конструктивного элемента машин; $\Omega_i(t)$ — математическое ожидание числа отказов i -го конструктивного элемента при наработке t ; k — число конструктивных элементов, лимитирующих надёжность.

Из соотношения (4) видно, что параметры функции нарастания затрат на поддержание надёжности b и n зависят от числа конструктивных элементов, а также средней стоимости устранения их отказов.

Стоимость устранения отказов зависит от четырёх составляющих затрат: затраты на запасные части C_{34i} , трудовые затраты $C_{\text{тр}i}$, затраты на материалы $C_{\text{м}i}$ и стоимость компенсации простоев машины $C_{\text{прост}i}$:

$$C_i = C_{34i} + C_{\text{тр}i} + C_{\text{м}i} + C_{\text{прост}i} \quad (5)$$

или $C_i = C_{34i}(1 + A_i + B_i + C_i)$,

где $A_i = \frac{C_{\text{тр}i}}{C_{34i}}$; $B_i = \frac{C_{\text{м}i}}{C_{34i}}$; $C_i = \frac{C_{\text{прост}i}}{C_{34i}}$.

В определённых условиях эксплуатации для ремонтируемых конструктивных элементов существует тесная корреляционная связь между затратами на запасные части и другими составляющими затрат на поддержание их надёжности. В связи с этим можно считать, что $1 + A_i + B_i + C_i = \text{const}$.

В этом случае соотношение (4) примет следующий вид:

$$C_{\text{пн.ср.}}(t) = \frac{b_{34}}{n+1} (1 + A + B + C) t^n, \quad (6)$$

где $A = \frac{C_{\text{тр}}(t)}{C_{34}(t)}$; $B = \frac{C_{\text{м}}(t)}{C_{34}(t)}$; $C = \frac{C_{\text{прост}}(t)}{C_{34}(t)}$; b_{34} — коэффициент функции изменения затрат на запасные части по интервалам наработки; $C_{34}(t)$, $C_{\text{тр}}(t)$, $C_{\text{м}}(t)$, $C_{\text{прост}}(t)$ — затраты соответственно на запасные части, оплату труда ремонтным рабочим, материалы и компенсацию простоев машины за наработку t .

Затраты на компенсацию простоев $C_{\text{прост}}(t)$ определяются по соотношению

$$C_{\text{прост}}(t) = \frac{C_0}{t} \left(1 - \frac{K_{\text{ти.сд}}}{K_{\text{ти.мах}}} \right) \quad (7)$$

и существенно зависят от среднего значения коэффициента технического использования $K_{\text{ти}}$ за наработку t .

Анализ исходных положений показывает, что сокращение простоев машин в процессе восстановления их работоспособности существенно влияет как на величину ресурса t_p , так и на коэффициент технического использования.

Из выражения (6) следует, что ресурс машины может быть увеличен в результате снижения значений коэффициентов b_{34} , A , B и C .

Коэффициенты A и C во многом обусловлены эффективностью процессов поддержания их работоспособности в эксплуатации. Вместе с тем, как показал выполненный анализ, вопрос повышения ресурса машины t_p и коэффициента технического использования $K_{\text{ти}}$ совершенствованием указанных процессов исследован недостаточно. Ввиду этого решение данной задачи представляет значительный интерес [2—4].

В результате целенаправленных воздействий на составляющие этих процессов достигается эффект от снижения затрат $C_{\text{тр}}(t)$ и $C_{\text{прост}}(t)$, что приведёт к снижению уровня суммарных средних удельных затрат $C_{\text{уд}}$ и повышению ресурса машины за счёт сокращения коэффициентов A и C .

Для удобства последующего анализа обозначим через K_A и K_C следующие соотношения:

$$K_A = \frac{A'}{A}; K_C = \frac{C'}{C}, \quad (8)$$

где A', C' — соответственно значения коэффициентов A и C после совершенствования процессов поддержания работоспособности машины.

При фиксированном значении A и C , если $K_A < 1$, $K_C < 1$, то, как следует из формулы (3), ресурс машины увеличивается по следующей зависимости:

$$t_p' = \left[\frac{C_0(n+1)}{b_{34}(1+A \cdot K_A + B + C \cdot K_C) \cdot n} \right]^{\frac{1}{(n+1)}}. \quad (9)$$

Увеличение оптимального ресурса обусловлено снижением минимума суммарных средних удельных затрат $C_{\text{уд}min}$, определяющегося из выражения (1). Зависимость ресурса от уровня затрат $C_{\text{уд}}$ представлена на рисунке. При этом кривой 1 показано изменение удельных интервальных затрат на поддержание надёжности $C_{\text{пн.ин.}}(t) = b \cdot t^n$ до совершенствования процессов поддержания работоспособности машин, а кривой 2 — изменение удельных интервальных затрат $C'_{\text{пн.ин.}}(t) = b' \cdot t^n$ после совершенствования этих процессов. Кривой 3 показано геометрическое место точек минимальных суммарных средних удельных затрат $C_{\text{уд}}$ при постоянных значениях n и C_0 .

Определим аналитические зависимости для оценки влияния существенных факторов на величину коэффициентов K_A и K_C . Для этого рассмотрим затраты $C_{\text{тр}}(t)$ и $C_{\text{прост}}(t)$.

В условиях значительного сосредоточения однотипных машин в лесозаготовительных организациях поддержание их надёжности осуществляется ремонтными участками, состоящими из двух подсистем: подсистемы по обслуживанию машин на лесосеках и подсистемы по обслуживанию машин на базе лесозаготовительной организации [5], [10].

Первая подсистема представляет собой бригады ремонтных рабочих, закреплённые за машинами технической помощи, а вторая — бригады, объединённые группой

стационарных постов ремонтной базы лесозаготовительной организации, на которых рабочими выполняются ремонтные работы и комплекс ТО. Для удобства дальнейшего изложения присвоим этим подсистемам соответственно индексы «а» и «б».

Рассматривая поступления заявок на ремонт в указанные подсистемы как поступление требований на обслуживание, суммарные входящие потоки которых могут быть приняты простейшими [6—9], затраты $C_{\text{тр}}(t)$ и $C_{\text{прост}}(t)$ удобно представить в виде следующих выражений:

$$\begin{aligned} C_{\text{тр}}(t) &= [t_6 \cdot m_6 \cdot N_6(t) + (t_0 + t_{\text{мтп}}) \cdot m_0 \cdot N_0(t)] \cdot C_p; \\ C_{\text{прост}}(t) &= [(t_{\text{ож}} + t_6 + t_{\text{пер}}) \cdot N_6(t) + t_{\text{пр.о.}} \cdot N_0(t)] \cdot C_{\text{пр}}, \end{aligned} \quad (10)$$

где t_6, t_0 — среднее время восстановления работоспособности машины в соответствующих подсистемах; m_6, m_0 — среднее число ремонтных рабочих, обслуживающих требования в подсистемах; $t_{\text{мтп}}$ — среднее время транспортировки машины технической помощи с базы на лесосеку и обратно; $t_{\text{ож}}$ — среднее время ожидания требованием начала обслуживания на базе; $t_{\text{пер}}$ — среднее время доставки машины с объекта на базу и обратно; $t_{\text{пр.о.}}$ — среднее время пребывания требования в подсистеме по обслуживанию машин на лесосеке; C_p — средняя стоимость труда ремонтного рабочего за смену; $C_{\text{пр}}$ — средняя стоимость компенсации простоя машины в течение смены; $N_6(t), N_0(t)$ — среднее число требований, поступающих от машины в соответствующие подсистемы за наработку t .

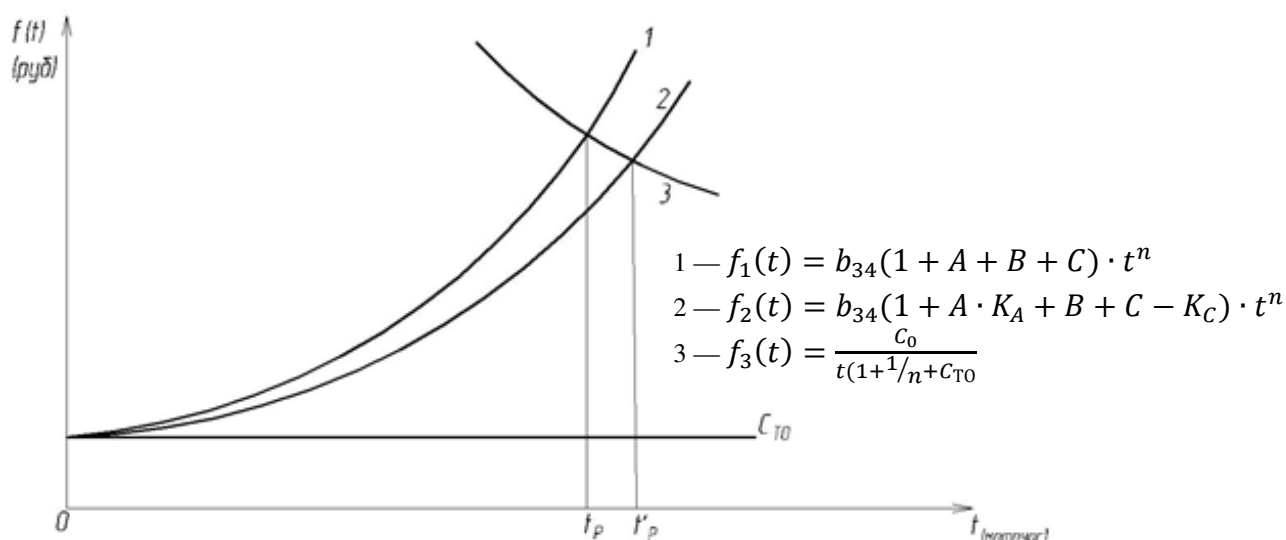


Рисунок. Зависимость ресурса машин от уровня суммарных средних удельных затрат

Figure. The dependence of the machines resource on the level of total average costs per unit

При этом $N_6(t) = \lambda_6 \cdot t$; $N_0(t) = \lambda_0 \cdot t$, здесь λ_6, λ_0 — средние интенсивности поступления требований в подсистемы.

Если в приведённом выражении $m_6 = const, m_0 = const$, то снижение затрат $C_{тр}(t)$ и $C_{прост}(t)$ обеспечивается сокращением простоев машин в любой из вышеупомянутых подсистем.

3. Результаты

Рассмотрим задачу сокращения указанных затрат в результате совершенствования работы подсистемы по обслуживанию машин на производственной базе лесозаготовительной организации.

Допустим, в результате совершенствования процессов поддержания работоспособности машин в подсистеме «б» среднее время восстановления t_6 и среднее время пребывания требований в подсистеме $t_{пр.б.}$ сократились до значений t'_6 и $t'_{пр.б.}$.

В этом случае экономия затрат $C_{тр}(t)$ и $C_{прост}(t)$ составит:

$$\Delta_{тр}(t) = (t_6 - t'_6) \cdot m_6 \cdot C_p \cdot \lambda_6 \cdot t \quad (11)$$

$$\Delta_{прост}(t) = (t_{пр.б.} - t'_{пр.б.}) \cdot C_p \cdot \lambda_6 \cdot t. \quad (12)$$

Тогда с учётом выражения (8) коэффициенты K_A и K_C определяются следующим образом:

$$K_A = 1 - \frac{\Delta_{тр}(t)}{C_{тр}(t)} = 1 - \frac{(t_6 - t'_6) \cdot m_6 \cdot \lambda_6}{t_6 \cdot m_6 \cdot \lambda_6 + (t_0 + t_{мтп}) m_0 \lambda_0}. \quad (13)$$

$$K_C = 1 - \frac{\Delta_{прост}(t)}{C_{прост}(t)} = 1 - \frac{(t_{пр.б.} - t'_{пр.б.}) \cdot \lambda_6}{(t_{пр.б.} + t_{пер}) \lambda_6 + t_{пр.о.} \cdot \lambda_0}. \quad (14)$$

Как следует из выражения (9), ресурс машины тем больше, чем меньше коэффициенты K_A и K_C , что зависит от того, насколько сократятся параметры t_6 и $t_{пр.б.}$. Таким образом, полученные выражения для определения величины коэффициентов K_A и K_C позволяют произвести количественную оценку влияния эффективности процессов поддержания работоспособности машин на величину их ресурса.

Это позволяет перейти к рассмотрению изменения коэффициентов $K_{ти}$ и $R_{и}$ в результате совершенствования работы подсистемы «б».

Коэффициент технического использования определяется по формуле

$$K_{ти} = \frac{1}{1 + Dt_{cc}}, \quad (15)$$

где t_{cc} — среднесуточная наработка; D — удельный простой машины в ТО и ремонте.

Рассмотрим величину удельного простоя машины D в виде следующих составляющих:

$$D = D_{кр} + D_6 + D_0. \quad (16)$$

Здесь

$$D_{кр} = \frac{t_{пр.кр.}}{t_p}; D_{б} = \frac{t_{пр.б.}}{t_{пр.}};$$

$$D_o = \frac{t_{пр.о.}}{t_{н.о.}} + \frac{t_{0.1}}{t_1}(1 - a_1) + \frac{t_{0.2}}{t_2}(1 - a_2) + \frac{t_{о.со.}}{t_{со.}}, \quad (17)$$

где $D_{кр}$, $D_{б}$, D_o — соответственно удельные простои машины в капитальном ремонте, текущих ремонтах, выполняемых подсистемой «б», а также при устранении отказов, СО, прохождении ТО-1 и ТО-2 в подсистеме «0»; $t_{пр.кр.}$ — средняя продолжительность простоя машины в капитальном ремонте; $t_{пр.б.}$, $t_{пр.о.}$ — средние продолжительности простоев машины в подсистемах; $t_{н.о.}$ — средняя наработка машины на отказ, устраняемый на объекте; $t_{0.1}$, $t_{0.2}$, $t_{о.со.}$ — соответственно средние продолжительности простоя машины в ТО-1, ТО-2, СО; t_1 , t_2 , $t_{со}$ — соответственно наработки машины до очередных ТО-1, ТО-2 и СО; $t_{пр}$ — средняя наработка машины до ТР; a_1 , a_2 — частоты совпадений соответственно ТО-1 с ТО-2, ТО-2 с текущим ремонтом.

При этом $a_1 = \frac{t_1}{t_2}$; $a_2 = \frac{t_2}{t_{пр}}$.

Удельные простои $D_{кр}$, $D_{б}$ и D_o обуславливают потери коэффициента технического использования:

$$\varphi = 1 - K_{ти}. \quad (18)$$

Величина φ характеризует все возможные резервы повышения коэффициента $K_{ти}$. Как следует из формул (16) и (17), увеличение ресурса машины и сокращение времени пребывания требования в подсистеме $t_{пр.б.}$ обеспечивает снижение удельных простоев $D_{кр}$ и $D_{б}$:

$$D'_{кр} = \frac{t_{пр.кр.}}{t'_p}; D'_{б} = \frac{t'_{пр.б.}}{t_{пр.}}. \quad (19)$$

Этим достигается увеличение коэффициента $K_{ти}$, относительную величину приращения которого $\Delta K_{ти}$ можно вычислить по соотношению

$$\Delta K_{ти} = \frac{K'_{ти} - K_{ти}}{K_{ти}} = \frac{[t_{пр.кр.}(\frac{1}{t_p} - \frac{1}{t'_p}) + \frac{1}{t_{пр.}}(t_{пр.б.} - t'_{пр.б.})]t_{сс}}{1 + [\frac{t_{пр.кр.}}{t'_p} + \frac{t'_{пр.б.}}{t_{пр.}} + D_o] \cdot t_{сс}}. \quad (20)$$

Из приведённого выражения очевидно, что коэффициент технического использования возрастает за счёт реализации потерь φ . Оценку снижения потерь коэффициента $K_{ти}$ при увеличении ресурса t_p и сокращении времени пребывания в подсистеме «б» удобно производить с помощью коэффициентов реализации потерь $\varphi_{кр}$ и $\varphi_{б}$. Если принять $\varphi = 100\%$, то коэффициенты $\varphi_{кр}$ и $\varphi_{б}$ определяются в процентах реализации потерь $K_{ти}$ по следующим зависимостям:

$$\varphi_{кр} = \frac{D_{кр} - D'_{кр}}{D} \cdot 100; \quad \varphi_{б} = \frac{D_{б} - D'_{б}}{D} \cdot 100. \quad (21)$$

При $\varphi_{кр} > 0$ и $\varphi_6 > 0$ величина коэффициента технического использования будет равна:

$$K'_{ти} = [1 + (\frac{t_{пр.кр.}}{t'_p} + \frac{t'_{пр.б.}}{t_{мр}} + D_0)t_{cc}]^{-1} \quad (22)$$

Уменьшение параметра t_6 обеспечивает снижение удельных простоев машины по причине отказов и неисправностей ρ в выражении (19), величина которых определится как

$$\rho' = t'_{пр.б.} \cdot \lambda_6 + t_{пр.о.} \cdot \lambda_0, \text{ где } \lambda_6 = \frac{t_{cc}}{t_{мр}}; \lambda_0 = \frac{t_{cc}}{t_{н.о.}} \quad (23)$$

В связи с этим величина коэффициента готовности повысится:

$$K'_Г = [1 + (t'_{пр.б.} \cdot \lambda_6 + t_{пр.о.} \cdot \lambda_0)]^{-1} \quad (24)$$

4. Обсуждение и заключение

Анализ зависимостей (9), (13), (14), (17), (22), (23) и (24) показывает, что для повышения параметров t_p , $K_{ти}$ и K_G необходимо определить имеющиеся резервы сокращения среднего времени восстановления t_6 и времени пребывания $t_{пр.б.}$.

Приведённая математическая модель совместно с моделью, изложенной ранее, представляет методологию выявления объективно имеющихся резервов и разработки научно обоснованных мероприятий по повышению надёжности лесозаготовительной и лесотранспортной техники в результате совершенствования процессов поддержания её работоспособности и оптимизации мощности подсистемы.

Список литературы

1. Букреев В. Ю., Козлов В. Г., Скрыпников А. В., Бойков П. А., Левушкин Д. М., Бурмистров В. А. Влияние технологических факторов на предельно допустимую плотность тока и толщину осадка при восстановлении корпусных деталей // Строительные и дорожные машины. 2022. № 1. С. 40—48.
2. Комаров В. А., Григорьев А. В. Анализ свойств упрочнённых поверхностей деталей узлов ремонтно-технологического оборудования // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 10. С. 44—46.
3. Инженерные методы повышения надёжности машин и технологического оборудования / И. Н. Кравченко, А. И. Адилходжаев, В. И. Кондращенко, М. Н. Ерофеев, С. А. Величко. Ташкент, 2021.
4. Прибылов Д. О., Колотов А. С. Повышение эксплуатационной надёжности транспортно-технологических машин // Наука молодых — будущее России: Сб. науч. ст. 6-й Междунар. науч. конф. перспективных разработок молодых учёных. Курск, 2021. С. 160—163.
5. Komarov V. A., Nuyanzin E. A., Burlankov S. P., Sedova N. V., Burlankov P. S. Formation of professional competencies in agro-engineering areas of training in National Research University // International Journal of Management. 2020. Vol. 11, issue 9. P. 336—344.

6. Henner E. K. Professional knowledge and professional competencies in higher education // *Obrazovaniye i nauka = Education and Science*. 2018. No. 20 (2). P. 9—31. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.17853/1994-5639-2018-2-9-31.
7. Oleinik V. V., Samoilenko A. N., Batsurovskaya I. V., Dotsenko N. A. Formation of professional competencies of future agricultural engineers in a computer-oriented environment of higher education institutions // *Informatsionnyye tekhnologii i sredstva obucheniya = Information technologies and teaching aids*. 2018. No. 68 (6). P. 140—154. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36762568> (accessed 27.01.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
8. Kovalev I., Loginov V., Zelenkov P. Practice-oriented model of engineering education // *Turkish Online Journal of Educational Technology*. 2016. P. 231—238. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29466230> (accessed 28.01.2020). (In Eng.)
9. Ilyashenko L. K., Vaganova O. I., Smirnova Z. V., Prokhorova M. P., Gladkova M. N. Forming the competence of future engineers in the conditions of context training // *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2018. No. 9 (4). P. 1001—1007. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35479617> (accessed 28.01.2020). (In Eng.)
10. Vaganova O. I., Bulaeva M. N., Shagalova O. G. Methods and technologies of education in practice-oriented learning // *Azimut nauchnykh issledovaniy: Pedagogika i psikhologiya = Azimuth of scientific research: Pedagogy and psychology*. 2019. No. 8 (1). P. 289—292. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26140/anip-2019-0801-0071. (In Eng.)

References

1. Bukreev V. Yu., Kozlov V. G., Skrypnikov A. V., Bojkov P. A., Levushkin D. M., Burmistrov V. A. Vliyanie tekhnologicheskikh faktorov na predel'no-dopustimuyu plotnost' toka i tolshchinu osadka pri vosstanovlenii korpusnykh detalej. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2022, no. 1, pp. 40—48. (In Russ.)
2. Komarov V. A., Grigor'ev A. V. Analiz svoystv uprochnennykh poverhnostey detalej uzlov remontno-tekhnologicheskogo oborudovaniya. *Traktory i sel'hozmashiny*, 2012, no. 10, pp. 44—46. (In Russ.)
3. Kravchenko I. N., Adilhodzhaev A. I., Kondrashchenko V. I., Erofeev M. N., Velichko S. A. *Inzhenernye metody povysheniya nadezhnosti mashin i tekhnologicheskogo oborudovaniya*. Tashkent, 2021. (In Russ.)
4. Pribylov D. O., Kolotov A. S. Povyshenie ekspluatatsionnoy nadezhnosti transportno-tekhnologicheskikh mashin. *Nauka molodyh — budushchee Rossii. sbornik nauchnykh statej 6-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii perspektivnykh razrabotok molodyh uchenykh*. Kursk, 2021, pp. 160—163. (In Russ.)
5. Komarov V. A., Nuyanzin E. A., Burlankov S. P., Sedova N. V., Burlankov P. S. Formation of professional competencies in agro-engineering areas of training in National Research University. *International Journal of Management*, 2020, vol. 11, issue 9, pp. 336—344.
6. Henner E. K. Professional knowledge and professional competencies in higher education. *Obrazovaniye i nauka = Education and Science*, 2018, no. 20 (2), pp. 9—31. (In Russ., abstract in Eng.). doi: 10.17853/1994-5639-2018-2-9-31.
7. Oleinik V. V., Samoilenko A. N., Batsurovskaya I. V., Dotsenko N. A. Formation of professional competencies of future agricultural engineers in a computer-oriented environment of higher education institutions. *Informatsionnyye tekhnologii i sredstva obucheniya = Information technologies and teaching aids*, 2018, no. 68 (6), pp. 140—154. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36762568> (accessed 27.01.2020). (In Russ., abstract in Eng.)

8. Kovalev I., Loginov V., Zelenkov P. Practice-oriented model of engineering education. *Turkish Online Journal of Educational Technology*, 2016, pp. 231—238. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29466230> (accessed 28.01.2020). (In Eng.)
9. Ilyashenko L. K., Vaganova O. I., Smirnova Z. V., Prokhorova M. P., Gladkova M. N. Forming the competence of future engineers in the conditions of context training. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 2018, no. 9 (4), pp. 1001—1007. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35479617> (accessed 28.01.2020). (In Eng.)
10. Vaganova O. I., Bulaeva M. N., Shagalova O. G. Methods and technologies of education in practice-oriented learning. *Azimuth nauchnykh issledovaniy: Pedagogika i psikhologiya = Azimuth of scientific research: Pedagogy and psychology*, 2019, no. 8 (1), pp. 289—292. (In Russ., abstract in Eng.). doi: 10.26140/anip-2019-0801-0071. (In Eng.)

© Букреев В. Ю., Козлов В. Г., Скрыпников А. В., Мануковский А. Ю., 2022

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6123

УДК 630*742

Статья

О возможных направлениях международного сотрудничества России и Финляндии: результаты опроса поставщиков лесохозяйственных услуг

Соколов Антон Павлович

доктор технических наук, профессор, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация), a_sokolov@petrsu.ru

Сюнёв Владимир Сергеевич

доктор технических наук, профессор, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация), siounev@petrsu.ru

Галактионов Олег Николаевич

доктор технических наук, доцент, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация), galakt@petrsu.ru

Пойконен Паси

Институт природных ресурсов Финляндии (Финляндия), pasi.poikonen@luke.fi

Селиверстов Александр Анатольевич

кандидат технических наук, доцент, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация), alexander@petrsu.ru

Лукашевич Виктор Михайлович

кандидат технических наук, доцент, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация), lvm-dov@mail.ru

Получена: 24 января 2022 / Принята: 23 марта 2022 / Опубликовано: 26 марта 2022

Аннотация: В статье представлены результаты исследования, выполненного с целью оценки ситуации и определения перспективных направлений развития международного сотрудничества в сфере лесного хозяйства и лесной промышленности на примере Республики Карелия, имеющей протяжённую границу с Финляндией. При этом приоритетным направлением являлось развитие малого и среднего бизнеса в сфере оказания услуг лесного хозяйства и лесозаготовок. Исследование выполнялось в форме опроса, который проводился

на всей территории Республики Карелия. Всего было опрошено 53 респондента, среди которых 34 являлись подрядчиками-поставщиками лесохозяйственных услуг, а остальные 19 — компаниями-арендаторами лесных участков. Настоящая статья посвящена анализу результатов опроса поставщиков лесохозяйственных услуг. По результатам анкетирования было определено, что на сегодняшний день около 15 % опрошенных поставщиков лесохозяйственных услуг имеют опыт работы на территории Финляндии. Одновременно с этим 50 % респондентов выразили заинтересованность в предоставлении услуг в Финляндии в будущем. Такое направление деятельности видится им привлекательным, несмотря на то, что 73,5 % опрошенных оценили спрос на их услуги в России как высокий. Большинство опрошенных в качестве препятствий для роста международного сотрудничества называют различия в принятых нормах, правилах, технологиях, документации, языковой барьер, удалённость, визовый режим и таможенные ограничения. Опрошенные проявили большую заинтересованность в получении информации о новых технике, технологиях, методах производства работ в рамках тренингов и курсов повышения квалификации. В качестве наиболее перспективных тем профессиональных тренингов опрошенные назвали эффективную эксплуатацию автопоездов-сортиментовозов, проектирование, строительство, ремонт и содержание лесных дорог, уход за технологическим оборудованием и качество продукции, логистическое управление лесозаготовительным производством, интеллектуальные системы управления лесозаготовительными машинами, мониторинг, инвентаризацию и управление лесными ресурсами, рубки ухода для операторов лесозаготовительных машин, прореживания и проходные рубки.

Ключевые слова: лесная промышленность; лесное хозяйство; международное сотрудничество; оказание услуг; обучение; повышение квалификации

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6123

Article

Potential areas of international cooperation between Russia and Finland: survey of forestry services suppliers

Anton Sokolov

*D. Sc. in engineering, professor, Petrozavodsk State University (Russian Federation),
a_sokolov@petrsu.ru*

Vladimir Syunev

*D. Sc. in engineering, professor, Petrozavodsk State University (Russian Federation),
siounnev@petrsu.ru*

Oleg Galaktionov

*D. Sc. in engineering, associate professor, Petrozavodsk State University (Russian Federation),
galakt@petrsu.ru*

Pasi Poikonen

Natural Resources Institute Finland (Finland), pasi.poikonen@luke.fi

Alexander Seliverstov

*Ph. D. in engineering, associate professor, Petrozavodsk State University (Russian Federation),
alexander@petrsu.ru*

Viktor Lukashevich

*Ph. D. in engineering, associate professor, Petrozavodsk State University (Russian Federation),
lvm-dov@mail.ru*

Received: 24 January 2022 / Accepted: 23 March 2022 / Published: 26 March 2022

Abstract: The article presents the results of research carried out to describe the present situation and identify the improvement directions for the international cooperation in the field of forestry and forest industries on the example of the Republic of Karelia, which has a long border with Finland. The key research priority was the development of small and medium-sized forest businesses. The research was conducted in the form of a survey on the territory of the Republic of Karelia. A total of 53 respondents were interviewed, 34 were contractors-suppliers of forestry services, and the remaining 19 were companies-forest leaseholders. The results of a survey of suppliers of forestry services are described in this article. According to results of the survey, about 15% of

the surveyed suppliers of forestry services have experience of operation in Finland today. At the same time, 50% of respondents were interested in operating in Finland in the future. This activity seems attractive despite the fact that 73.5% respondents considered the demands for their services in Russia as high. Most of the respondents qualified the differences in the adopted norms, rules, technologies, documentation, language barrier, remoteness, visa regime and customs restrictions as the barriers hindering the international cooperation. The respondents showed a great interest in information on new equipment, technologies, and production methods provided through trainings and educational courses. As the most promising topics of professional trainings, respondents identified: efficient operation of timber trucks, construction and maintenance of forest roads, maintenance of technological equipment and product quality, logistic management of wood harvesting and forestry, intelligent management systems of forest machinery, forest monitoring, inventory and management, thinning technologies for operators of forest machines.

Keywords: forest industry, forestry, international cooperation, forestry services, trainings, education

1. Введение

Главные цели развития лесного хозяйства и лесной промышленности России установлены в Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года, утверждённой Правительством Российской Федерации 20 сентября 2018 г. [7]. В соответствии с этим документом в области лесного хозяйства целью является достижение устойчивого лесопользования, инновационного и эффективного развития, использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов, обеспечивающих опережающий рост лесного сектора экономики, социальную и экологическую безопасность страны, безусловное выполнение международных обязательств России в части лесов. В области лесной промышленности целью является повышение долгосрочной конкурентоспособности лесной промышленности и вклада лесного комплекса в социально-экономическое развитие России.

В Стратегии указано, что достижение обеих этих целей неразрывно связано с решением задачи повышения научно-технического, технологического и кадрового потенциала лесной отрасли. Кроме того, определяется, что для достижения цели научно-технологического развития лесного сектора экономики Российской Федерации в числе прочего необходимо способствовать формированию модели международного научно-технического сотрудничества и международной интеграции в области лесных исследований и технологического развития, позволяющей защитить идентичность российской научной сферы и государственные интересы в условиях интернационализации науки и повысить эффективность российской лесной науки за счёт взаимовыгодного международного взаимодействия.

Таким образом, научные исследования, выполняющиеся с целью оценки ситуации и определения путей развития международного сотрудничества в сфере лесного хозяйства и лесной промышленности, могут способствовать достижению целей Стратегии и являются актуальными.

Результаты исследования, приведённые в данной статье, получены в рамках международного проекта «Продвижение малого и среднего бизнеса в лесном секторе между Карелиями в России и Финляндии», являющегося частью Программы приграничного сотрудничества «Карелия» на 2014—2020 годы, которая призвана укрепить российско-финляндское межрегиональное сотрудничество при поддержке Европейского союза, Российской Федерации и Финляндии [1], [5], [6], [8], [11], [12]. Европейский союз финансирует Программу из средств Европейского инструмента соседства (ЕИС), а её выполнение регламентируется Совместным программным документом [16].

Одним из главных приоритетов Программы является создание привлекательного делового климата в приграничных регионах, развитие и создание возможностей для ведения трансграничного бизнеса. Задача состоит в создании новых рабочих мест, как для проживающих на территории Программы, так и для тех людей, которые хотели бы переехать в данный регион. Особой целевой группой является молодёжь.

В качестве потенциальных сфер для приграничного сотрудничества в рамках этого приоритета Программа обозначает лесную промышленность, возобновляемые источники энергии, информационные технологии, туризм, экологически чистые технологии, обеспечение социального благополучия, а также горнодобывающую промышленность.

Целью проекта «Продвижение малого и среднего бизнеса в лесном секторе между Карелиями в России и Финляндии» является рост эффективности взаимодействия российских и финляндских компаний, работающих в сфере лесного комплекса, а также повышение привлекательности лесного бизнеса путём продвижения инновационных технологий, передовых знаний и навыков, в т. ч. в рамках новых совместных образовательных программ повышения квалификации и переподготовки.

Целевыми группами являются сотрудники предприятий малого и среднего бизнеса, занятые в сфере лесного хозяйства, лесозаготовок, деревообработки и лесной биоэнергетики, исследователи, преподаватели и студенты вузов и учреждений среднего профессионального образования.

В конечном итоге, в выигрыше от реализации всей Программы должно оказаться население приграничных территорий, заинтересованное в большей социальной интеграции, появлении новых рабочих мест, повышении финансового благосостояния территорий, привлечении инвестиций, лучше использовании имеющихся ресурсов.

2. Материалы и методы

Целью исследования являлась оценка ситуации и определение перспективных направлений развития международного сотрудничества в сфере лесного хозяйства и лесной промышленности на примере Республики Карелия, имеющей протяжённую границу с Финляндией. При этом приоритетным направлением было выбрано развитие малого и среднего бизнеса в сфере оказания услуг лесного хозяйства и лесозаготовок.

Для достижения поставленной цели необходимо было определить:

- текущий уровень и основные направления сотрудничества российских и финляндских компаний, работающих в лесном комплексе;
- общие проблемы, с которыми сотрудничающие компании и предприниматели сталкиваются в текущей работе;
- мнение компаний и предпринимателей относительно перспективности налаживания и расширения международного сотрудничества;
- перспективные направления международного сотрудничества;
- потребности в обучении и повышении квалификации, в т. ч. с привлечением технологий и опыта сопредельного государства.

Для более широкого охвата заинтересованных лиц и компаний было принято решение провести данное исследование в форме опроса по специально разработанным анкетам [3], [4], [13], [15], [17].

Опрос проводился на всей территории Республики Карелия силами Петрозаводского государственного университета при участии сотрудников Карельского научного центра Российской академии наук (КарНЦ РАН). Всего было опрошено 53 респондента, среди которых 34 являлись подрядчиками-поставщиками лесохозяйственных услуг, а остальные 19 — компаниями-арендаторами лесных участков.

Анкеты, разработанные для арендаторов, отличались по составу вопросов от анкет подрядчиков. Результаты опроса арендаторов подробно описываются в работе [10], а данная статья будет полностью посвящена анализу результатов опроса поставщиков лесохозяйственных услуг. В анкету поставщиков услуг были включены следующие вопросы:

1. Достаточно ли велик в настоящее время в России спрос на предлагаемые Вами услуги?
2. Предлагаете ли Вы услуги в сфере лесного хозяйства и лесозаготовок в Финляндии?
3. Заинтересованы ли Вы в предоставлении услуг в Финляндии в будущем?
4. Какие проблемы и сложности возникают у Вас при предоставлении услуг в Финляндии?
5. Хотите узнать больше о возможностях ведения бизнеса в Финляндии?
6. Вы хотели бы узнать больше о лесных технологиях, пройти профессиональные тренинги или отправить на них своих сотрудников?
7. В какой тематике тренингов Вы больше всего заинтересованы?
8. Как долго Вы работаете в лесном комплексе?
9. Вы работаете только в лесном комплексе?
10. В скольких других сферах бизнеса Вы работаете?
11. Оказываете ли Вы лесохозяйственные услуги по заказу государственных (муниципальных) служб?

3. Результаты

Всего было опрошено 34 респондента, 53 % из них работают в лесном комплексе более 10 лет, 35 % — от 5 до 10 лет и только 12 % — менее 5 лет. Большинство из опрошенных (около 65 %) осуществляют свою деятельность только в лесном комплексе; 35 % совмещают работу в лесном комплексе с оказанием услуг в других отраслях. По заказу государственных (муниципальных) служб лесохозяйственные услуги оказывают только 6 респондентов из 34 (17,6 %).

Первый раздел опроса был посвящён оценке текущего объёма международного взаимодействия в сфере оказания лесохозяйственных услуг, а также перспектив и возможных направлений роста этого объёма. Раздел предваряется вопросом о наличии спроса на предлагаемые подрядчиками услуги, который носит общий характер.

Наблюдаемый в последнее время в России рост объёмов лесохозяйственных работ, в особенности различных видов рубок ухода, нашёл своё отражение в полученных

результатах: более 73 % респондентов дали положительный ответ на вопрос «Достаточно ли велик в настоящее время в России спрос на предлагаемые Вами услуги?».

Текущий уровень международного взаимодействия в сфере оказания лесохозяйственных услуг на приграничной территории Россия — Финляндия иллюстрируется тем, что на вопрос «Предлагаете ли Вы услуги в сфере лесного хозяйства и лесозаготовок в Финляндии?» положительно ответили около 15 % респондентов. Только 5 из 34 подрядчиков имеют опыт работы на территории Финляндии.

С другой стороны, 17 из 34 опрошенных (50 %) проявили заинтересованность в предоставлении услуг в Финляндии в будущем, что говорит о перспективности расширения объёмов международного сотрудничества в сфере лесного хозяйства и лесозаготовок на приграничной территории. Это подтверждается также и тем, что около 62 % опрошенных выразили желание узнать больше о возможностях ведения бизнеса в Финляндии.

Для выявления факторов, препятствующих увеличению объёмов международного сотрудничества, в анкету был добавлен вопрос «Какие проблемы и сложности возникают у Вас при предоставлении услуг в Финляндии?». Всего ответы респондентов позволили выявить 5 различных факторов (рисунок 1).



Рисунок 1. Факторы, препятствующие увеличению объёмов международного сотрудничества

Figure 1. Barriers hindering international cooperation development

Больше всего опрошенных (23,5 %) отметили в качестве проблемы наличие различий в принятых нормах, технологиях и документации, связанных с организацией выполнения работ в другом государстве. Второе место с результатом 17,6 % занимают проблемы, связанные с потерями времени при ожидании пропуска на пограничных переходах и прохождении таможенных формальностей. Кроме того, назывались такие проблемы, как наличие конкуренции со стороны финляндских компаний и предпринимателей, языковой барьер, а также необходимость получения рабочей визы.

В числе прочего в анкету был включён лист, на котором респонденты могли оставить любые комментарии в свободной форме. Анализ этого раздела позволил выявить, что при продаже лесопроductии и оказании услуг транспортировки возникают следующие сложности:

- трудности с получением квот на вывоз продукции на экспорт;
- ограничения по весу транспортных средств при перевозке лесопроductии по федеральным и региональным дорогам общего пользования (действующие нормы зачастую делают нерентабельными автомобильные перевозки с учётом действующих расценок);
- отсутствие на рынке труда квалифицированных кадров (особенно руководителей среднего звена);
- завышение стоимости запасных частей и ремонтных работ со стороны компаний, занимающихся обслуживанием лесозаготовительной и специальной техники.

Третий раздел опроса был посвящён выявлению потребностей предпринимателей, занимающихся оказанием услуг в сфере лесного хозяйства и лесозаготовок, в обучении и повышении квалификации, а также выявлению перспективной тематики проводящихся курсов и тренингов.

Подавляющее большинство опрошенных, а именно 70,6 %, выразили желание пройти профессиональные тренинги или отправить на них своих сотрудников.

Опрос о востребованной тематике тренингов был разбит на три направления:

- 1) лесное хозяйство;
- 2) заготовка и транспортировка древесины;
- 3) логистика.

В группе «Лесное хозяйство» ответы разделились следующим образом (рисунок 2).

Больше всего опрошенные заинтересованы в получении новой информации и обучении по теме «Мониторинг и инвентаризация лесных ресурсов». Эту тематику указали в качестве перспективной 45,8 % респондентов. Второе место разделили курсы повышения квалификации, связанные с управлением лесными ресурсами и выполнением прореживаний и проходных рубок (по 41,7 %). На третьем месте оказалась лесная сертификация (37,5 %). Немного от неё отстают курсы на тему «Многоцелевое использование лесов». В этой тематике заинтересована треть всех опрошенных.

Сравнительно меньший интерес вызывают тренинги, связанные с лесовосстановлением, уходом за молодняками и использованием беспилотных летательных аппаратов.

Таким образом, можно заключить, что наибольший интерес у опрошенных специалистов вызывают вопросы, связанные с организацией и рациональным ведением лесного хозяйства с учётом всех современных норм и требований [2], [14], [20]. В целом, с одной стороны, это говорит о наличии на предприятиях и у предпринимателей понимания в необходимости и целесообразности перехода к интенсивной модели лесного хозяйства. С другой стороны, это сигнализирует о нехватке актуальной и достоверной информации, знаний и навыков, которые бы позволили предприятиям успешно внедрять указанные новые подходы.



Рисунок 2. Перспективная тематика тренингов по направлению «Лесное хозяйство»

Figur 2. Topics of future-oriented trainings in "Forestry"

Распределение ответов в группе «Заготовка и транспортировка древесины» показано на рисунке 3. Почти 80 % опрошенных считают важным обеспечение эффективной эксплуатации автопоездов-сортиментовозов и желают получить современные сведения, а также пройти тренинги по данной тематике. Такую ситуацию можно связать с наметившимся в последнее время увеличением итак уже большой доли транспортных расходов в издержках лесозаготовительных компаний. Увеличение расходов связывается

с ужесточением требований к полной массе автопоездов, осуществляющих движение по дорогам общего пользования. Это ещё больше усугубляет ситуацию с постоянно растущим средним расстоянием транспортировки лесоматериалов, вызванным истощением участков леса, сравнительно близко расположенных к предприятиям-потребителям круглых лесоматериалов.

Две трети опрошенных считают очень важным повышать квалификацию своих сотрудников в вопросах повышения качества выпускаемой продукции путём правильного и своевременного ухода за технологическим оборудованием лесозаготовительных машин. Актуальность этого вопроса связана с большой технической сложностью технологического оборудования современных лесозаготовительных машин. Чаще всего здесь речь идёт о харвестерных головках, правильная настройка которых практически полностью определяет качество получаемых сортиментов и процент брака. К сожалению, в настоящее время ещё не все российские операторы подобного рода машин в достаточной мере осведомлены обо всех возможностях настройки головок и не всегда чётко соблюдают регламенты их обслуживания. По этой причине лесозаготовительные компании несут достаточно ощутимые убытки.

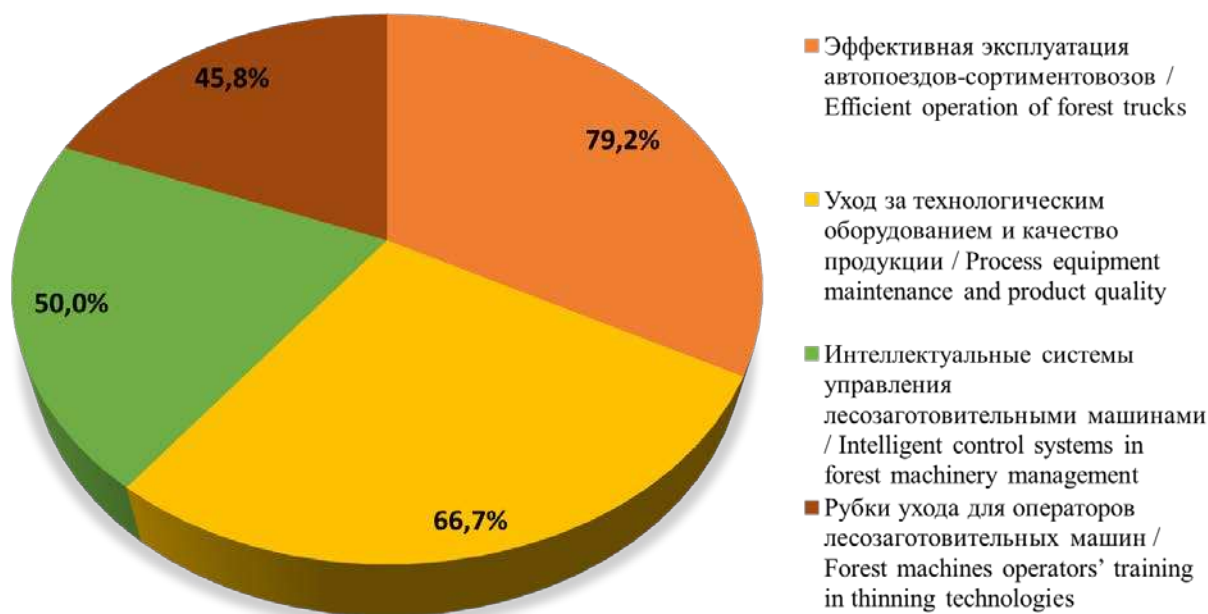


Рисунок 3. Перспективная тематика тренингов по направлению «Заготовка и транспортировка древесины»

Figure 3. Topics of future-oriented trainings in "Wood harvesting and timber transport"

Также существенно повысить производительность и качество заготовки древесины можно с помощью тонкой настройки интеллектуальных систем управления сложным технологическим оборудованием [9]. Правильное представление обо всех возможностях, связанных с этим, имеет ещё меньшая доля операторов. Опрос показал, что в компаниях знают об этом; 50 % опрошенных указали эту тематику в качестве актуальной.

Меньше всего респондентов отметили тематику, связанную с особенностями управления лесозаготовительными машинами при выполнении рубок ухода, хотя и здесь процент достаточно большой — 45,8 %.

В группе «Логистика» абсолютным лидером по заинтересованности потенциальных слушателей являются курсы повышения квалификации на тему «Проектирование, строительство, ремонт и содержание лесных дорог». Эту тематику выбрали три четверти всех опрошенных. Подобный результат ещё раз подтверждает, что одной из самых насущных проблем лесозаготовительной отрасли на сегодняшний день является катастрофически низкая плотность лесных дорог на территории России. Этой проблемой озабочены 99 % субъектов, ведущих хозяйство на лесных участках. Строительство и содержание лесных дорог сопряжено с большими затратами, и компании заинтересованы в применении любых инновационных средств и методов, которые бы позволили сократить эти издержки.

Кроме того, в группе «Логистика» две трети респондентов указали тематику, связанную с логистическим управлением лесозаготовительным производством. Специалисты понимают, что применение современных методов оптимального планирования производства с применением достижений информационных технологий и компьютерных систем поддержки принятия решений может существенно повысить эффективность функционирования производства. Подобные системы используются в большинстве отраслей промышленности и отлично себя зарекомендовали [18], [19]. Лесная отрасль несколько отстаёт в этом вопросе. Именно поэтому в последнее время ощущается рост интереса специалистов к этим вопросам и появляются предложения от IT-компаний, разрабатывающих подобное программное обеспечение.

Таким образом, можно рекомендовать образовательным организациям, предоставляющим услуги по организации тренингов и курсов повышения квалификации по лесной тематике, скорректировать состав и содержание своих программ для учёта выявленных потребностей предприятий.

4. Обсуждение и заключение

Проведённая оценка перспектив международного сотрудничества России и Финляндии в сфере оказания услуг лесного хозяйства и лесозаготовок позволяет утверждать, что такое сотрудничество может быть эффективным и взаимовыгодным. Исследование выявило текущий уровень сотрудничества, а также основные направления его интенсификации в будущем.

По результатам анкетирования было определено, что на сегодняшний день около 15 % опрошенных поставщиков лесохозяйственных услуг имеют опыт работы на территории Финляндии. Одновременно с этим 50 % респондентов выразили заинтересованность в предоставлении услуг в Финляндии в будущем. Такое направление деятельности видится им привлекательным, несмотря на то, что 73,5 % оценили спрос на их услуги в России как высокий.

Большинство опрошенных в качестве препятствий для роста международного сотрудничества называют различия в принятых нормах, правилах, технологиях и документации, языковой барьер, удалённость, визовый режим и таможенные ограничения.

Опрошенные проявили большую заинтересованность в получении информации о новых технике, технологиях, методах производства работ в рамках тренингов и курсов повышения квалификации. В качестве наиболее перспективных тем профессиональных тренингов опрошенные назвали эффективную эксплуатацию автопоездов-сортиментовозов, проектирование, строительство, ремонт и содержание лесных дорог, уход за технологическим оборудованием и качество продукции, логистическое управление лесозаготовительным производством, интеллектуальные системы управления лесозаготовительными машинами, мониторинг, инвентаризацию и управление лесными ресурсами, рубки ухода для операторов лесозаготовительных машин, прореживания и проходные рубки.

Список литературы

1. *Алексеев А. С., Чубинский А. Н., Чубинский М. А.* Опыт международного сотрудничества Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии имени С. М. Кирова // Современное образование: содержание, технологии, качество. 2010. Т. 1. С. 254—255.
2. Перспективы применения новых информационных технологий в лесном комплексе / Ю. Ю. Герасимов, Г. А. Давыдков, С. А. Кильпеляйнен, А. П. Соколов, В. С. Сюнёв // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2003. № 5. С. 122—129.
3. *Дроздова В. А.* Особенности применения массового опроса как метода социологических исследований // Психология, социология и педагогика. 2014. № 6 (33). С. 21.
4. *Касьяненко Л. В., Мышанская А. В.* Анкетный опрос как метод маркетингового исследования // Стратегия предприятия в контексте повышения его конкурентоспособности. 2015. № 4. С. 133—136.
5. *Костяная А. А., Зиновьева И. С.* Международное сотрудничество в области экономики природопользования и охраны окружающей среды // Успехи современного естествознания. 2012. № 4. С. 189—190.
6. *Лукашевич В. М., Суханов Ю. В., Катаров В. К., Пеккоев А. Н.* Организация и совершенствование образовательного процесса на лесоинженерном факультете государственного университета в рамках международного сотрудничества // Alma mater (Вестник высшей школы). 2014. № 2. С. 59—63.
7. Распоряжение Правительства РФ от 20 сентября 2018 г. № 1989-р // Собрание законодательства Российской Федерации. М.: Юридическая литература, 2018. № 40, ст. 6147. С. 16413—16458.

8. Рудаков М. Н., Шегельман И. Р. Приграничное экономическое сотрудничество: необходимость новой парадигмы // Глобальный научный потенциал. 2013. № 2 (23). С. 76—77.
9. Селиверстов А. А., Сюнёв В. С., Герасимов Ю. Ю., Соколов А. П. Повышение эффективности использования харвестеров // Системы. Методы. Технологии. 2010. № 4 (8). С. 133—139.
10. Соколов А. П., Карвинен С., Шаин В. А., Кузнецов А. В. О возможных направлениях международного сотрудничества России и Финляндии: результаты опроса арендаторов лесных участков // Resources and Technology. 2021. № 18 (3). С. 1—16.
11. Соколов А. П., Пойконен П. Опыт международного сотрудничества в области лесного образования // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 2-3 (7-3). С. 334—338.
12. Соколов А. П., Сюнёв В. С., Питухин А. В. Международный проект «Новые трансграничные решения в области интенсификации ведения лесного хозяйства и повышения степени использования топливной древесины в энергетике» // Классический университет в пространстве трансграничности на Севере Европы: стратегия инновационного развития: Материалы Междунар. форума / Петрозаводский государственный университет. Петрозаводск, 2014. С. 96—98.
13. Campanelli P. C. Testing survey questions: New directions in cognitive interviewing // Bulletin de Méthodologie Sociologique. 1997. No. 55. P. 5—17. DOI: 10.1177/075910639705500103.
14. Gerasimov Y., Sokolov A., Syunev V. Development trends and future prospects of cut-to-length machinery // Advanced Materials Research. 2013. Vol. 705. P. 468—473. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.705.468.
15. Jones T., Baxter M., Khanduja V. A quick guide to survey research // The Annals of the Royal College of Surgeons of England. 2013. No. 95 (1). P. 5—7. DOI: 10.1308/003588413X13511609956372.
16. Karelia CBC Joint Operational Programme 2014—2020 // Информационно-справочный портал Karelia CBC. URL: <https://kareliacbc.fi/sites/default/files/assets/images/Updated%20JO%20Karelia%20CBC%2019.2.2019.pdf>. Текст: электронный.
17. Saris W. E., Revilla M. Correction for measurement errors in survey research: necessary and possible // Social Indicators Research. 2015. No. 127 (3). P. 1005—1020. DOI: 10.1007/s11205-015-1002-x.
18. Shabaev A. I., Sokolov A. P., Urban A. R., Pyatin D. S. Optimal Planning of Wood Harvesting and Timber Supply in Russian Conditions // Forests. 2020. No. 11 (6). P. 1—17. DOI: 10.3390/f11060662.
19. Shain V. A., Sokolov A. P., Stankevich T. B. Formal and functional description of international timber transportation logistical system // Proceedings of the 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018. Albena, Bulgaria, 2018. Vol. 18, no. 5.3. P. 401—406. DOI: 10.5593/sgem2018/5.3/S28.051.
20. Sukhanov Y., Lukashevich V., Sokolov A., Pekkoiev A. Application of forest management decision support program MOTTI in conditions of the Republic of Karelia (Russia) // Advanced Materials Research. 2014. Vol. 962—965. P. 663—667. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.962-965.663.

References

1. Alekseev A. S., Chubinsky A. N., Chubinsky M. A. Experience of Saint Petersburg State Forest Technical University in international cooperation. *Modern education: content, technology, quality*, 2010, vol. 1, pp. 254—255. (In Russ.)
2. Gerasimov Y. Y., Davydkov G. A., Kil'pelyajnen S. A., Sokolov A. P., Syuney V. S. Prospects for the application of new information technologies in the forest sector. *Forestry Journal*, 2003, no. 5, pp. 122—129. (In Russ.)
3. Drozdova V. A. Features of the use of mass survey as a method of sociological research. *Psychology, Sociology and Pedagogy*, 2014, no. 6 (33), p. 21. (In Russ.)
4. Kas'yanenko L. V., Myshanskaya A. V. Questionnaire as a method of marketing research. *Enterprise strategy in the context of increasing its competitiveness*, 2015, no. 4, pp. 133—136. (In Russ.)
5. Kostyanaya A. A., Zinov'eva I. S. International cooperation in the field of environmental economics and environmental protection. *The successes of modern natural sciences*, 2012, no. 4, pp. 189—190. (In Russ.)
6. Lukashevich V. M., Suhanov Y. V., Katarov V. K., Pekkoiev A. N. Organization and improvement of the educational process at the Forest Engineering Faculty of the State University in the framework of international cooperation. *Alma mater*, 2014, no. 2, pp. 59—63. (In Russ.)
7. Order of the Government of the Russian Federation of 2018 September 20 no. 1989-p. *Legal literature publishing*. Moscow, Legal literature, 2018, no. 40, p. 6147, pp. 16413—16458. (In Russ.)
8. Rudakov M. N., Shegelman I. R. Cross-border economic cooperation: the need for a new paradigm. *Global scientific potential*, 2013, no. 2 (23), pp. 76—77. (In Russ.)
9. Seliverstov A. A., Syuney V. S., Gerasimov Y. Y., Sokolov A. P. Increasing Harvester Use Efficiency. *Systems. Methods Technology*, 2010, no. 4 (8), pp. 133—139. (In Russ.)
10. Sokolov A. P., Karvinen S., Shain V. A., Kuznetsov A. V. Potential areas of international cooperation between Russia and Finland: results of forest leaseholders' survey. *Resources and Technology*, 2021, no. 18 (3), pp. 1—16. (In Russ.)
11. Sokolov A. P., Poikonen P. Experience in international cooperation in the field of forest education. *Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*, 2014, vol. 2, no. 2-3 (7-3), pp. 334—338. (In Russ.)
12. Sokolov A. P., Syuney V. S., Pituhin A. V. International project «Novel cross-border solutions for intensification of forestry and increasing energy wood use». *Classical University in the Transboundary Space in the North of Europe: Innovation Development Strategy: Materials of the International Forum*. Petrozavodsk, PetrSU, 2014, pp. 96—98. (In Russ.)
13. Campanelli P. C. Testing survey questions: New directions in cognitive interviewing. *Bulletin de Méthodologie Sociologique*, 1997, no. 55, pp. 5—17. doi: 10.1177/075910639705500103.
14. Gerasimov Y., Sokolov A., Syuney V. Development trends and future prospects of cut-to-length machinery. *Advanced Materials Research*, 2013, vol. 705, pp. 468—473. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.705.468.
15. Jones T., Baxter M., Khanduja V. A quick guide to survey research. *The Annals of the Royal College of Surgeons of England*, 2013, no. 95 (1), pp. 5—7. doi: 10.1308/003588413X13511609956372.
16. Karelia CBC Joint Operational Programme 2014—2020. Information and reference portal Karelia CBC. URL: <https://kareliacbc.fi/sites/default/files/assets/images/Updated%20JOP%20Karelia%20CBC%2019.2.2019.pdf>. Text. Image : electronic.

17. Saris W. E., Revilla M. Correction for measurement errors in survey research: necessary and possible. *Social Indicators Research*, 2015, no. 127 (3), pp. 1005—1020. doi: 10.1007/s11205-015-1002-x.
18. Shabaev A. I., Sokolov A. P., Urban A. R., Pyatin D. S. Optimal Planning of Wood Harvesting and Timber Supply in Russian Conditions. *Forests*, 2020, no. 11 (6), pp. 1—17. doi: 10.3390/f11060662.
19. Shain V. A., Sokolov A. P., Stankevich T. B. Formal and functional description of international timber transportation logistical system. *Proceedings of the 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018*. Albena, Bulgaria, 2018, vol. 18, no. 5.3, pp. 401—406. doi: 10.5593/sgem2018/5.3/S28.051.
20. Sukhanov Y., Lukashevich V., Sokolov A., Pekkoiev A. Application of forest management decision support program MOTTI in conditions of the Republic of Karelia (Russia). *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 962—965, pp. 663—667. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.962-965.663.

© Соколов А. П., Сюнёв В. С., Галактионов О. Н., Пойконен П., Селиверстов А. А., Лукашевич В. М., 2022

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6203

УДК 630*378.33

Статья

Расчёт прочности гибкого водонепроницаемого материала плоских плоточных единиц со стабилизированным запасом плавучести

Васильев Владимир Викторович

кандидат технических наук, Филиал АО «УК ЭФКО» в г. Алексеевке
(Российская Федерация), vasiliev.vladimir87@mail.ru

Афоничев Дмитрий Николаевич

доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», г. Воронеж (Российская Федерация),
dmafonichev@yandex.ru

Получена: 3 марта 2022 / Принята: 26 мая 2022 / Опубликовано: 29 мая 2022

Аннотация: Современное развитие водного транспорта лесоматериалов на территории Российской Федерации требует выполнения ряда условий, одним из которых является обеспечение экологической безопасности эксплуатируемых водных объектов. Реализуемые мероприятия по обеспечению экологической безопасности эксплуатируемых водных объектов повлекли отмену молевого сплава древесины, который являлся ключевым на реках с малыми глубинами. Альтернативой возобновления сплава древесины на малых и средних реках послужила разработка современных плоточных единиц с высокими транспортно-эксплуатационными показателями. Предложена конструкция плоской плоточной единицы со стабилизированным запасом плавучести, основной отличительной особенностью которой является обёртывание в гибкий водонепроницаемый материал. Данным материалом также могут обёртываться и другие разработанные плоские плоточные единицы для обеспечения стабилизации плавучести. Гибкий водонепроницаемый материал препятствует прямому контакту древесины с водой, что придаёт плоской плоточной единице малую осадку, стабилизированный запас плавучести и сохраняет качество поставляемой древесины. Обеспечение высоких транспортно-эксплуатационных показателей плоских плоточных единиц стабилизированной плавучести регламентируется правильным выбором гибкого водонепроницаемого материала. Приведена методика расчёта требуемой

прочности гибкого водонепроницаемого материала, где особое внимание уделено вариантам укладки круглых лесоматериалов в плоских сплоточных единицах и действию на них внешних сил при транспортировке по водному объекту, а также при перемещениях их на береговых складах и рейдах приплавов. Полученные условия прочности гибкого водонепроницаемого материала и основные зависимости по определению сил, действующих на плоские сплоточные единицы при их эксплуатации в различных условиях, дают возможность определить механические и геометрические характеристики материала, требуемого для обёртывания сплоточных единиц. Внедрение конструкций современных плоских сплоточных единиц со стабилизированным запасом плавучести на сплав круглых лесоматериалов с обязательным использованием представленной методики расчёта прочности гибкого водонепроницаемого материала позволит осуществлять эффективное выполнение сплава данных плоских сплоточных единиц самосплавом или в составе плота.

Ключевые слова: круглые лесоматериалы; плоская сплоточная единица; гибкий водонепроницаемый материал; стабилизированный запас плавучести; осадка, максимальное напряжение; допускаемое напряжение; предел прочности

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6203

Article

Calculation of a flexible waterproof material strength for flat float units with a stabilized buoyancy reserve

Vladimir Vasiliev

*Ph. D. in engineering, Branch of JSC «UK EFKO» in Alekseevka (Russian Federation),
vasiliev.vladimir87@mail.ru*

Dmitry Afonichev

*D. Sc. in engineering, professor, Federal State Budget Education Institution of Higher Education
«Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great», Voronezh (Russian
Federation), dmafonichev@yandex.ru*

Received: 3 March 2022 / Accepted: 26 May 2022 / Published: 29 May 2022

Abstract: The development of timber products water transportation on the territory of the Russian Federation should comply with a number of conditions, one of which is to ensure the environmental safety of operational water bodies. Log drifting has been prohibited on shallow rivers to ensure ecological safety of these rivers. Development of modern float units with high transportation and operational indicators presents an alternative solution for log drifting on small and medium-sized rivers. The authors propose a design of a flat float unit with a stabilized buoyancy reserve that is wrapped in a flexible waterproof material. The flexible waterproof material prevents direct contact of wood with water, provides light draft to the flat-float unit, a stable buoyancy reserve and preserves the quality of the supplied wood. Ensuring high transportation and operational performance of flat float units of stabilized buoyancy is regulated by the correct choice of flexible waterproof material. The authors present a method of calculating the required strength of a flexible waterproof material, where special attention is paid to the options for laying round timber in flat float units. The method accounts for action of external forces on units during their transportation through a water body and moving to coastal warehouses and logs receiving ports. The obtained strength indicators of the flexible waterproof material and the main dependences for determining the forces acting on the flat float units during their operation in various conditions make it possible to determine the mechanical and geometric characteristics of the material required for wrapping the float units. The introduction of modern flat float units design with a stabilized buoyancy reserve for round log drifting with the mandatory use of the presented methodology for calculating flexible waterproof

material strength will make it possible to effectively drift these flat float units independently or as part of a raft.

Keywords: round timber; flat float unit; flexible waterproof material; stabilized buoyancy reserve; draft, maximum stress; allowable stress; tensile strength

1. Введение

Для обеспечения экологической безопасности водных объектов, эксплуатируемых в качестве транспортных путей, по которым сплавается древесина, было принято решение о прекращении молевого сплава древесины на всей территории Российской Федерации [1], [2]. Запрет молевого сплава древесины повлёк за собой сокращение объёмов заготовки спелой древесины в эксплуатационных лесах, где сеть автомобильных дорог и железнодорожных путей отсутствует или имеет низкий уровень развития. То есть малые и средние реки были выведены из эксплуатации, а береговые склады переместились на крупные реки и стали выполнять функцию формировочных и погрузочных рейдов. Соответственно, снизилось качество поставляемой древесины, а стоимость поставки заготовленной продукции увеличилась.

Решением данной проблемы, связанной с отменой молевого сплава древесины и выводом из эксплуатации малых и средних рек, является разработка новых конструкций сплотовых единиц, характеризующихся малой осадкой и стабилизированным запасом плавучести. Новыми конструкциями сплотовых единиц, удовлетворяющими предъявленным требованиям, стали современные конструкции плоских сплотовых единиц, которые были разработаны для использования на реках с малыми глубинами [3—19]. Отличительной особенностью данных плоских сплотовых единиц является то, что круглые лесоматериалы в сплотовой единице укладываются рядами параллельно или перпендикулярно друг другу, а каждый из рядов может помещаться в специальные изготовленные рамки или между пакетами круглых лесоматериалов повышенной плавучести [1], [5], [8], [9], [12]. При этом усовершенствованные плоские сплотовые единицы при необходимости дополнительно обёртываются в гибкий водонепроницаемый материал для стабилизации запаса плавучести [1], [5], [7], [10], [11], [13], [14]. Все указанные плоские сплотовые единицы могут сплаваться вольницей или в составе плота.

Укладка круглых лесоматериалов в плоских сплотовых единицах рядами параллельно или перпендикулярно друг другу позволяет достичь две цели [1], [5], [9], [10], [15], [20—22]. Первая цель — уменьшение осадки плоской сплотовой единицы, что даёт возможность использовать их на малых и средних реках, где ранее проводился молевой сплав древесины. Вторая цель — это максимальное использование габаритов сплавного хода, что обеспечивает содержание в плоской сплотовой единице большого объёма древесины. В свою очередь, обёртывание плоской сплотовой единицы в гибкий водонепроницаемый материал обеспечивает плоские сплотовые единицы не только стабилизированным запасом плавучести, но и малой осадкой, а также сохранение качества древесины из-за отсутствия контакта её с водой [1], [7], [10], [11], [13].

Сохранение стабилизации плавучести плоских сплотовых единиц и обеспечение их малой осадкой в большей степени зависит от правильности выбора гибкого водонепроницаемого материала. При этом выбор гибкого водонепроницаемого материала

осуществляется на основании расчёта максимального напряжения, возникающего в данном материале от действия внешних сил, которое не должно превышать допустимого напряжения в гибком водонепроницаемом материале. В настоящее время полноценная методика расчёта требуемой прочности гибкого водонепроницаемого материала, которая позволяет осуществлять правильный выбор соответствующего материала, присутствует частично и не позволяет учесть всех основных внешних сил, действующих на него во время сплава плоских сплотовых единиц самосплавом или в составе плота, а также при перемещении их на береговых складах и рейдах приплава [13]. В результате этого применение плоских сплотовых единиц на сплаве древесины ограничено. На основании вышесказанного сформулирована цель работы: разработать методику расчёта требуемой прочности гибкого водонепроницаемого материала, предназначенного для обёртывания усовершенствованных плоских сплотовых единиц с учётом их эксплуатации в различных условиях.

2. Материалы и методы

Плоская сплотовая единица со стабилизированным запасом плавучести, разработанная для использования на реках с малыми глубинами, обладающая малой осадкой, представлена на рисунках 1 и 2.

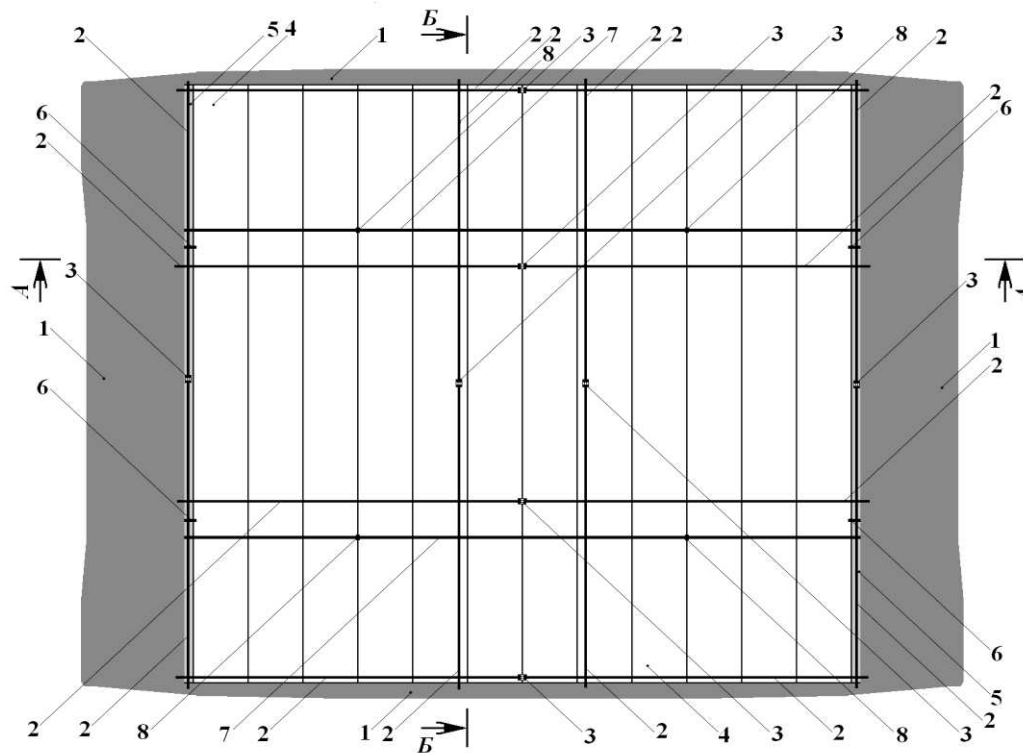


Рисунок 1. Плоская сплотовая единица со стабилизированным запасом плавучести [14]

Figure 1. A flat float unit with a stabilized buoyancy reserve [14]

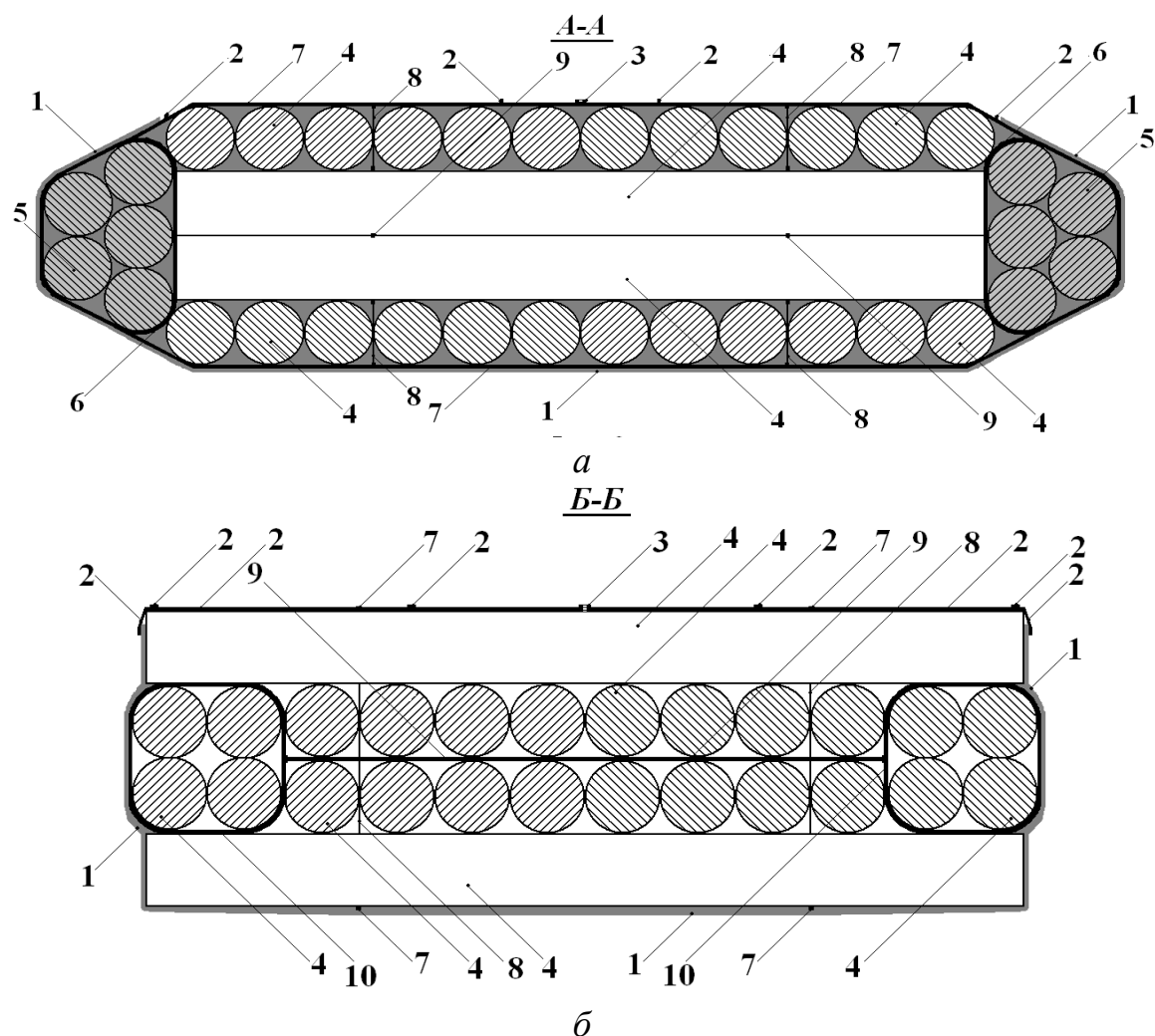


Рисунок 2. Плоская сплоточная единица со стабилизированным запасом плавучести [14]: *a* — разрез А-А на рисунке 1; *б* — разрез Б-Б на рисунке 1

Figure 2. A flat float unit with a stabilized buoyancy reserve [14]: *a* — section A-A in Figure 1; *b* — section B-B in Figure 1

Сплоточная единица [7], [14] состоит из листа гибкого водонепроницаемого материала 1, по краям которого закреплены стропы 2 с соединительными устройствами 3 на свободных концах, круглых лесоматериалов ограниченной плавучести 4, уложенных в поперечные верхний и нижний ряды и продольные средние ряды, круглых лесоматериалов повышенной плавучести 5, объединённых гибкими обвязками 6 в пакеты, расположенные в головной и хвостовой частях сплоточной единицы, гибких внешних обвязок 7, охватывающих снаружи пакеты круглых лесоматериалов повышенной плавучести 2 и ряды круглых лесоматериалов ограниченной плавучести 1, вертикальных стяжек 8, соединяющих гибкие внешние обвязки 7 и гибкие внутренние связи 9, которые вместе с гибкими внутренними обвязками 10 соединяют круглые лесоматериалы ограниченной плавучести 4 средних продольных рядов.

Сборка сплочной единицы осуществляется только на берегу на предварительно разостланном на плотбище листе из гибкого водонепроницаемого материала 1 в соответствии с процессом сборки сплочной единицы, описанным в прототипе [15]. После сборки сплочной единицы заворачивают продольные края листа из гибкого водонепроницаемого материала 1, накладывая их на продольные борта сплочной единицы, натягивают стропы 2 и соединяют их соединительными устройствами 3, при помощи которых также регулируется натяжение строп 2. Заворачивают поперечные края листа из гибкого водонепроницаемого материала 1, накладывая их на поперечные борта (торцы) сплочной единицы, при этом угловые складки листа из гибкого водонепроницаемого материала 1 заворачивают во внутрь и укладывают вдоль поперечных бортов (торцов) сплочной единицы, натягивают стропы 2 и соединяют их соединительными устройствами 3.

В лист из гибкого водонепроницаемого материала 1 могут заворачиваться по вышеописанной методике другие усовершенствованные плоские сплочные единицы, изготовленные по патентам РФ № 2456199 [16], № 2456200 [17], № 2460679 [18] и № 2525498 [19]. Для выполнения данной процедуры необходимо на предварительно разостланный лист из гибкого водонепроницаемого материала 1 уложить собранную плоскую сплочную единицу при помощи крана или другого грузоподъемного устройства.

3. Результаты

Расчёт прочности, предъявляемой к гибкому водонепроницаемому материалу, выполняется по трём условиям. Первое условие [13] — плоская сплочная единица находится на воде, скорость течения которой равна нулю, на неё действуют две силы: гидростатическое давление воды и архимедова сила [23—28], причём архимедова сила действует на дно сплочной единицы, выталкивая её, а гидростатическое давление — на борта. Второе условие [13] связано с движением сплочной единицы в жидкости, когда скорость её больше или меньше скорости течения реки. В данном случае, кроме гидростатического давления воды и архимедовой силы, на неё дополнительно действует сила сопротивления движению [23—28], т. е. гидродинамическое давление воды. Третье условие регламентирует то, что плоскую сплочную единицу транспортируют, а также спускают на воду и выгружают из воды за гибкий водонепроницаемый материал, т. е. он воспринимает усилие от веса плоской сплочной единицы. При этом следует отметить, что в плоских сплочных единицах гибкий материал не по всей площади дна и бортов контактирует с лесоматериалами, в результате чего наибольшая вероятность разрыва гибкого материала будет в местах, где отсутствует его контакт с лесоматериалами. Значит, расчёт усилия, создаваемого от воды на гибкий материал, необходимо выполнять именно для таких мест при максимальной осадке. При этом все расчёты, производимые по определению требуемой прочности гибкого водонепроницаемого материала, должны учитывать основные условия прочности [29—39], предъявляемые для всех видов материала.

Для более подробного анализа мест с наибольшей вероятностью разрыва гибкого водонепроницаемого материала, которым могут обёртываться современные конструкции плоских сплочных единиц, были разработаны схемы расчёта прочности материала для различных вариантов укладки рядов круглых лесоматериалов в сплочных единицах. Данные схемы представлены на рисунке 3. Схема, изображённая на рисунке 3а, основывается на укладке рядов круглых лесоматериалов параллельно друг другу, с присутствием дополнительной нижней прокладки. Вторая схема, приведённая на рисунке 3б, опирается на укладку рядов круглых лесоматериалов перпендикулярно друг другу. Третья схема, представленная на рисунке 3в, учитывает укладку рядов круглых лесоматериалов параллельно друг другу, но укладка каждого ряда осуществляется по принципу, приведённому в патенте РФ № 2456199 [16].

Согласно первому условию, на гибкий водонепроницаемый материал действуют гидростатическое давление воды и архимедова сила. При действии гидростатического давления воды на борта плоской сплочной единицы с учётом основ расчёта гибких нитей [29], [30], [39] условие прочности гибкого водонепроницаемого материала запишем следующим образом:

$$\sigma_{\max ГДВ} = \frac{H_{\max ГГВМ}}{F_{ГВМ}} \leq [\sigma_{ГВМ}], \quad (1)$$

где $\sigma_{\max ГДВ}$ — максимальное напряжение, возникающее в гибком водонепроницаемом материале от гидростатического давления воды, Па; $H_{\max ГГВМ}$ — максимальное составляющее усилие, одинаковое во всех сечениях, в данном случае — натяжение гибкого водонепроницаемого материала от действия гидростатического давления воды, Н; $F_{ГВМ}$ — площадь поперечного сечения гибкого водонепроницаемого материала, м²; $[\sigma_{ГВМ}]$ — допускаемое напряжение в гибком водонепроницаемом материале, Н/м².

Так как наибольшая вероятность разрыва гибкого водонепроницаемого материала от гидростатического давления воды возникает между круглыми лесоматериалами, то на основании рисунка 3 реакции опор R_A и R_B будут присутствовать соответственно в точках A и B , в местах непосредственного контакта гибкого материала с круглыми лесоматериалами. При этом точки A и B находятся в одной плоскости, а сила, возникающая от гидростатического давления воды, будет действовать равномерно на всю поверхность гибкого водонепроницаемого материала. На основании вышесказанного с учётом рисунка 3 и концепции расчёта гибких нитей [29], [30], [39] запишем зависимость для определения натяжения гибкого водонепроницаемого материала:

$$H_{\max ГГВМ} = \frac{q_{ГГВМ} l_{ГВМ}^2}{8 f_{ГВМ}}, \quad (2)$$

где $q_{ГГВМ}$ — погонная нагрузка от гидростатического давления воды, действующая на гибкий водонепроницаемый материал, Н/м; $l_{ГВМ}$ — расчётная длина гибкого

водонепроницаемого материала, по которой действует погонная нагрузка, м; $f_{ГВМ}$ — стрела провисания гибкого водонепроницаемого материала, м.

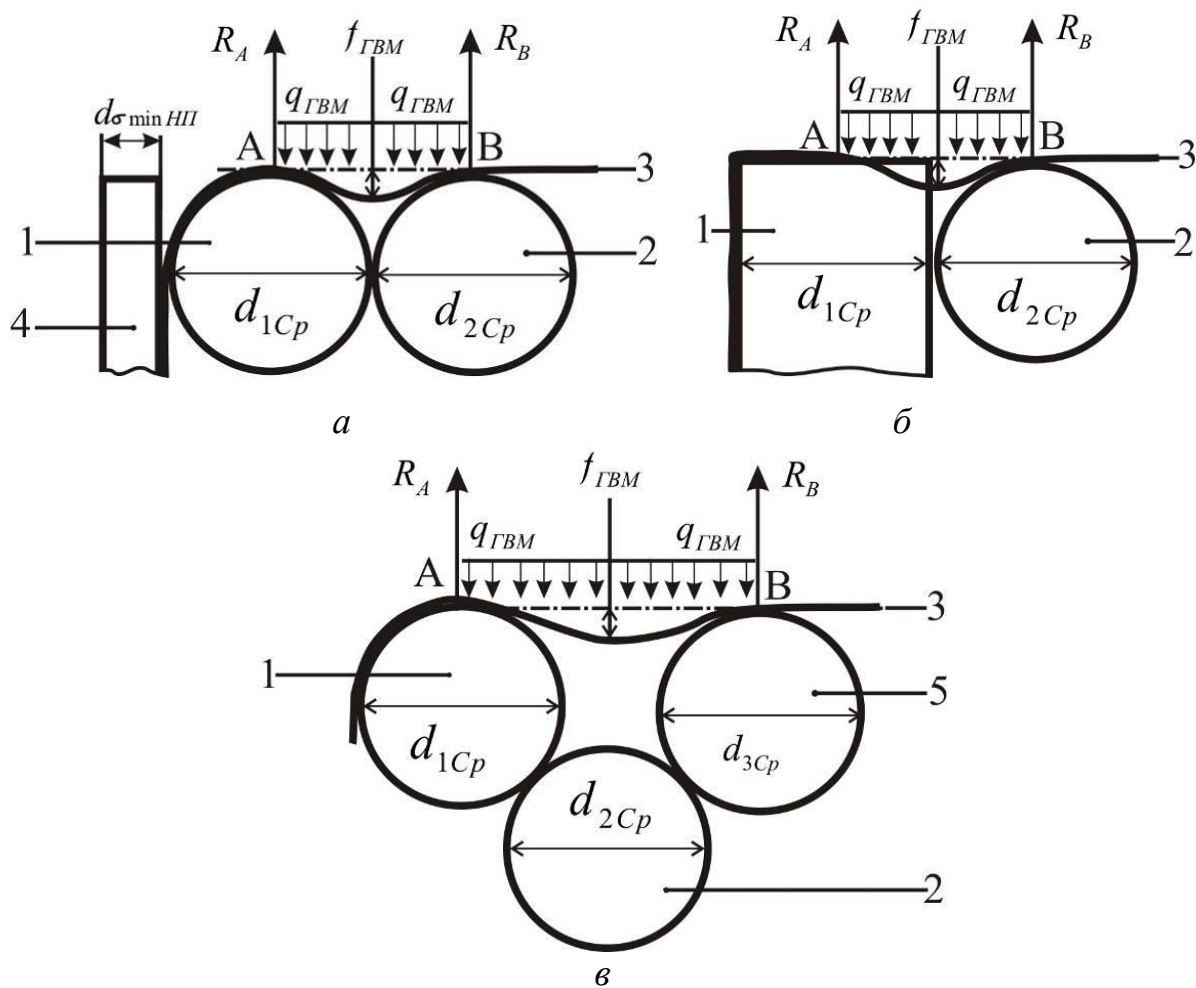


Рисунок 3. Схемы для расчёта прочности гибкого водонепроницаемого материала:
 а — параллельное расположение рядов круглых лесоматериалов;
 б — перпендикулярное расположение рядов круглых лесоматериалов;
 в — параллельное расположение рядов круглых лесоматериалов со смещением их относительно друг друга; 1 — круглый лесоматериал первого (нижнего) ряда; 2 — круглый лесоматериал второго ряда; 3 — гибкий водонепроницаемый материал; 4 — нижняя прокладка; 5 — круглый лесоматериал третьего ряда

Figure 3. Schemes for calculating the strength of flexible waterproof material:
 а — parallel arrangement of rows of round timber; б — perpendicular arrangement of rows of round timber; в — parallel arrangement of rows of round timber with their displacement relative to each other; 1 — round timber of the first (lower) row; 2 — round timber of the second row; 3 — flexible waterproof material; 4 — bottom interliner; 5 — round timber of the third row

Погонная нагрузка $q_{ГВМ}$, действующая на гибкий водонепроницаемый материал, будет складываться из гидростатического давления жидкости, которое воспринимает материал при максимальной осадке плоской сплottedной единицы. Таким образом, используя основной закон гидростатики [13], [23], [33], получим формулу расчёта погонной нагрузки:

$$q_{ГВМ} = \frac{P_{ГСД}}{l_{ГВМ}} = \frac{g \rho_B h_{\max Ц} b_{ГВМ} l_{ГВМ}}{l_{ГВМ}} = g \rho_B h_{\max Ц} b_{ГВМ}, \quad (3)$$

где $P_{ГСД}$ — гидростатическая сила, Н; g — ускорение свободного падения, м/с²; ρ_B — плотность воды, кг/м³; $h_{\max Ц}$ — максимальная глубина погружения центра тяжести смоченной части плоской поверхности, на которой гидростатическое давление жидкости в наибольшей степени действует на гибкий водонепроницаемый материал, м; $b_{ГВМ}$ — ширина гибкого водонепроницаемого материала, м.

В формуле (3) максимальная глубина погружения центра тяжести смоченной части плоской поверхности, на которой гидростатическое давление жидкости в наибольшей степени действует на гибкий водонепроницаемый материал, для каждой схемы, представленной на рисунке 3, определяется по-разному. Для схемы, изображённой на рисунке 3а, при условии, что нижние прокладки не обёртываются в гибкий водонепроницаемый материал, $h_{\max Ц}$, имеем:

$$h_{\max Ц} = T_{ПСЕ} - d_{1Cp} - d_{\sigma \min НП}, \quad (4)$$

где $T_{ПСЕ}$ — максимальная осадка плоской сплottedной единицы, м; d_{1Cp} — средний диаметр круглых лесоматериалов первого (нижнего) ряда, м; $d_{\sigma \min НП}$ — минимально допустимый диаметр в верхнем отрезе нижней прокладки, м.

Минимально допустимый диаметр в верхнем отрезе нижней прокладки $d_{\sigma \min НП}$ определяется с учётом максимальной погонной нагрузки, действующей на прокладку:

$$d_{\sigma \min НП} = \sqrt[3]{[k_{3ПП}] k_{ВД} \frac{2G_{ПСЕ} l_{PK}}{\pi \sigma_{Ипрд}}}, \quad (5)$$

где $[k_{3ПП}]$ — коэффициент запаса прочности при изгибе для прокладок, учитывающий дополнительные внешние нагрузки, действующие на плоскую сплottedную единицу; $k_{ВД}$ — коэффициент учёта влажности древесины прокладки; $G_{ПСЕ}$ — вес плоской сплottedной единицы, Н; l_{PK} — расстояние, равное сумме диаметров круглых лесоматериалов первого (нижнего) ряда, м; π — число пи, постоянное, приблизительно равное 3,14; $\sigma_{Ипрд}$ — предельно допускаемое напряжение при изгибе, Н/м².

В формуле (5) коэффициент запаса прочности при изгибе $[k_{3ПП}]$ для прокладок, учитывающий дополнительные внешние нагрузки, действующие на плоскую сплottedную единицу, предусматривает обеспечение дополнительного запаса прочности, например, при спуске плоской сплottedной единицы на воду, выгрузке её из воды, когда возникает

дополнительная сила при отрыве от зеркала воды, а также при транспортировке лесотранспортных единиц по водным путям, т. к. данный процесс является нестабильным, с постоянно изменяющимися действующими внешними силами на сплотовые единицы. Поэтому $[k_{зшт}]$ вводится при расчёте предельно допустимого напряжения в прокладках и для данных условий устанавливается экспериментальным путём. Коэффициент учёта влажности древесины прокладки принимается тогда, когда предельно допускаемое напряжение при изгибе берётся при одной влажности, а фактическая влажность верхней прокладки другая. Например, предел прочности при влажности древесины 12 % больше, чем при влажности 30 % и более. Таким образом, коэффициент учёта влажности древесины прокладки принимается равным 1,7—1,8, если значение предельно допускаемого напряжения при изгибе взято для влажности 12 %, а фактическая влажность древесины больше 30 %. В свою очередь, данный коэффициент принимается равным 0,5—0,6, если значение предельно допускаемого напряжения при изгибе взято для влажности больше 30 %, а фактическая влажность древесины составляет 12 %. В том случае, когда предельно допускаемое напряжение при изгибе, например, взято для влажности 12 % и влажность древесины верхней прокладки составляет 12 %, коэффициент $k_{вд} = 1,0$.

Вес плоской сплотовой единицы $G_{ПСЕ}$ и её максимальная осадка $T_{ПСЕ}$ рассчитываются по методике, приведённой в работах [1], [11].

Максимальная глубина погружения центра тяжести смоченной части плоской поверхности, на которой гидростатическое давление жидкости в наибольшей степени действует на гибкий водонепроницаемый материал, для схемы, представленной на рисунке 3б, определяется из выражения

$$h_{\max Ц} = T_{ПСЕ} - \frac{d_{1Cp} + d_{2Cp}}{2}, \quad (6)$$

где d_{2Cp} — средний диаметр круглых лесоматериалов второго ряда, м.

Для схемы, изображённой на рисунке 3в, $h_{\max Ц}$ следует рассчитывать по формуле

$$h_{\max Ц} = T_{ПСЕ} - \frac{d_{1Cp}}{2} - l_{1,2ЦХ} - l_{2,1ЦХ}, \quad (7)$$

где $l_{1,2ЦХ}$ — расстояние от центра круглого лесоматериала в первом (нижнем) ряду до хорды, которая является прямой, соединяющей точки контакта круглого лесоматериала из первого ряда с двумя круглыми лесоматериалами из второго ряда, м; $l_{2,1ЦХ}$ — расстояние от центра круглого лесоматериала, находящегося во втором ряду, до прямой (хорды), соединяющей точки контакта круглого лесоматериала из второго ряда с двумя круглыми лесоматериалами из первого ряда, м.

В равенстве (7) $l_{1,2ЦХ}$ и $l_{2,1ЦХ}$ рассчитываются соответственно:

$$l_{1,2ЦХ} = \sqrt{\left(\frac{d_{1Cp}}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_{1Cp}d_{2Cp}}{2(d_{1Cp} + d_{2Cp})}\right)^2}; \quad (8)$$

$$l_{2,1ЦХ} = \sqrt{\left(\frac{d_{2Cp}}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_{1Cp}d_{2Cp}}{2(d_{1Cp} + d_{2Cp})}\right)^2}. \quad (9)$$

Ширина гибкого водонепроницаемого материала $b_{ГВМ}$ принимается равной для схем, изображённых на рисунках 3а и 3в, при длине $L_{ДКЛ}$ используемых круглых лесоматериалов, т. е. длине плоской сплотовой единицы $L_{ПСЕ}$. Для схемы, приведённой на рисунке 3б, ширина гибкого водонепроницаемого материала $b_{ГВМ}$ равна ширине плоской сплотовой единицы $B_{ПСЕ}$, когда $B_{ПСЕ} > L_{ПСЕ}$, если это условие не выполняется, то $b_{ГВМ} = L_{ПСЕ}$. В практических условиях при расчёте погонной нагрузки $q_{ГВМ}$ ширина гибкого водонепроницаемого материала $b_{ГВМ}$ принимается равной ширине, для которой производителем материала осуществлялось определение прочности на разрыв. Например, если производитель гибкого водонепроницаемого материала указывает в его технических характеристиках, что для материала толщиной 1,0 мм допустимая нагрузка на 1,0 м составляет n ньютонов, то $b_{ГВМ}$ принимается равным 1,0 м.

Расчётная длина гибкого водонепроницаемого материала, на которую действует погонная нагрузка, относящаяся к схемам, изображённым на рисунках 3а и 3б, устанавливается из выражения

$$l_{ГВМ} = \frac{d_{1Cp}}{2} + \frac{d_{2Cp}}{2}. \quad (10)$$

Расчётная длина гибкого материала, на длине которой действует погонная нагрузка, для схемы, представленной на рисунке 3в, определяется следующим образом:

$$l_{ГВМ} = l_{1,2ЦХ} + l_{2,1ЦХ} + l_{2,3ЦХ} + l_{3,2ЦХ}. \quad (11)$$

где $l_{2,3ЦХ}$ — расстояние от центра круглого лесоматериала, находящегося во втором ряду, до прямой (хорды), соединяющей точки контакта круглого лесоматериала из второго ряда с двумя круглыми лесоматериалами из третьего ряда, м; $l_{3,2ЦХ}$ — расстояние от центра круглого лесоматериала, находящегося в третьем ряду, до прямой (хорды), соединяющей точки контакта круглого лесоматериала из третьего ряда с двумя круглыми лесоматериалами из второго ряда, м.

Из формулы (11) $l_{2,3ЦХ}$ и $l_{3,2ЦХ}$ рассчитываются соответственно:

$$l_{2,3ЦХ} = \sqrt{\left(\frac{d_{2Cp}}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_{2Cp}d_{3Cp}}{2(d_{2Cp} + d_{3Cp})}\right)^2}; \quad (12)$$

$$l_{3,2ЦХ} = \sqrt{\left(\frac{d_{3Cp}}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_{2Cp}d_{3Cp}}{2(d_{2Cp} + d_{3Cp})}\right)^2}, \quad (13)$$

где d_{3Cp} — средний диаметр круглых лесоматериалов второго ряда, м.

Стрела провисания гибкого водонепроницаемого материала $f_{ГВМ}$ в различных источниках рассчитывается по-разному [13], [40]. Например, в источнике [40] рекомендуется $f_{ГВМ}$ принимать равной $0,2l_{ГВМ}$.

В практических условиях для обеспечения меньшей осадки плоских сплочных единиц необходимо обеспечивать минимальный показатель стрелы провисания гибкого водонепроницаемого материала $f_{\min ГВМ}$, что не всегда возможно. При этом максимальная стрела провисания гибкого водонепроницаемого материала $f_{\max ГВМ}$ для схем, изображённых на рисунках 3а и 3б, определяется по зависимости

$$f_{\max ГВМ} = \frac{d_{1Cp} + d_{2Cp}}{2} - 2\sqrt{\left(\frac{d_{1Cp} + d_{2Cp}}{4}\right)^2 - \left(\frac{(0,5(d_{1Cp} + d_{2Cp}))^2}{2(d_{1Cp} + d_{2Cp})}\right)^2}. \quad (14)$$

Максимальная стрела провисания гибкого водонепроницаемого материала **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.** для схемы, представленной на рисунке 3в, рассчитывается по формуле

$$f_{\max ГВМ} = \sqrt{\left(\frac{d_{2Cp}}{2}\right)^2 - (l_{2,1ЦХ})^2} = \frac{d_{1Cp}d_{2Cp}}{2(d_{1Cp} + d_{2Cp})}. \quad (15)$$

В равенстве (1) площадь поперечного сечения гибкого водонепроницаемого материала определяется следующим образом:

$$F_{ГВМ} = b_{ГВМ}h_{ГВМ}, \quad (16)$$

где $h_{ГВМ}$ — толщина гибкого водонепроницаемого материала, м.

Допускаемое напряжение в гибком водонепроницаемом материале $[\sigma_{ГВМ}]$ устанавливается из выражения

$$[\sigma_{ГВМ}] = \frac{\sigma_{ГВМ \text{ нр\o}}}{[k_{ГВМ}]}, \quad (17)$$

где $\sigma_{ГВМ\text{ прд}}$ — предельно допускаемое напряжение при растяжении гибкого водонепроницаемого материала, Па; $[k_{ГВМ}]$ — коэффициент запаса прочности при растяжении гибкого водонепроницаемого материала.

Коэффициент запаса прочности $[k_{ГВМ}]$, согласно публикациям [13], [40], принимается равным 2,0.

Подставим зависимости (2), (16), (17) в неравенство (1), в результате получим:

$$\frac{q_{ГВМ} l_{ГВМ}^2}{8 f_{ГВМ} b_{ГВМ} h_{ГВМ}} \leq \frac{\sigma_{ГВМ\text{ прд}}}{[k_{ГВМ}]} \quad (18)$$

Если условие (18) выполняется, то предлагаемый гибкий водонепроницаемый материал, технические характеристики которого использовались при расчётах, пригоден для обёртывания плоских сплочных единиц. Невыполнение условия (18) предполагает осуществить выбор другого гибкого водонепроницаемого материала и выполнить его расчёт на прочность или рассчитать минимально допустимую толщину гибкого водонепроницаемого материала $h_{\min ГВМ}$, которая будет обеспечивать его прочность. Таким образом, на основании неравенства (18) минимальная допустимая толщина гибкого водонепроницаемого материала определяются по зависимости

$$h_{\min ГВМ} = \frac{[k_{ГВМ}] q_{ГВМ} l_{ГВМ}^2}{8 f_{ГВМ} b_{ГВМ} \sigma_{ГВМ\text{ прд}}} \quad (19)$$

Архимедова сила действует на дно плоских сплочных единиц, а следовательно, и на гибкий водонепроницаемый материал, который обёртывает донную часть сплочных единиц. Условие прочности гибкого водонепроницаемого материала при действии архимедовой силы запишется следующим образом:

$$\sigma_{\max AC} = \frac{H_{\max АГВМ}}{F_{ГВМ}} \leq [\sigma_{ГВМ}], \quad (20)$$

где $\sigma_{\max AC}$ — максимальное напряжение, возникающее в гибком водонепроницаемом материале от действия архимедовой силы, Па; $H_{\max АГВМ}$ — максимальное составляющее усилие, одинаковое во всех сечениях, и в данном случае — натяжение гибкого водонепроницаемого материала от действия архимедовой силы, Н.

В условии (20) натяжение гибкого водонепроницаемого материала от действия архимедовой силы рассчитывается по формуле

$$H_{\max АГВМ} = \frac{q_{АГВМ} l_{ГВМ}^2}{8 f_{ГВМ}}, \quad (21)$$

где $q_{АГВМ}$ — погонная нагрузка от архимедовой силы, действующая на гибкий водонепроницаемый материал, Н/м.

Погонная нагрузка q_{AGBM} равна:

$$q_{AGBM} = \frac{P_A}{l_{GBM}} = \frac{g \rho_B W_{ППСЕ}}{l_{GBM}}, \quad (22)$$

где $W_{ППСЕ}$ — погруженный объём плоской сплотноной единицы, m^3 .

В зависимостях (21) и (22) $l_{GBM} = d_{1CP}$, а f_{GBM} рассчитывается по формулам (14) и (15). При этом погруженный объём плоской сплотноной единицы рассчитывается по зависимости

$$W_{ППСЕ} = \frac{K_{ППСЕ} (V_{ППК} \rho_{ППК} + V_{ОПК} \rho_{ОПК} + m_{СТ} + m_{GBM})}{k_{GBM} \rho_B}, \quad (23)$$

где $K_{ППСЕ}$ — коэффициент полнодревесности плоской сплотноной единицы; $V_{ППК}$ — объём лесоматериалов повышенной плавучести с учётом коры, m^3 ; $\rho_{ППК}$ — плотность лесоматериалов повышенной плавучести с учётом коры, $кг/м^3$; $V_{ОПК}$ — объём лесоматериалов ограниченной плавучести с учётом коры, m^3 ; $\rho_{ОПК}$ — плотность лесоматериалов ограниченной плавучести с учётом коры, $кг/м^3$; $m_{СТ}$ — масса сплотноного такелажа, $кг$; m_{GBM} — масса гибкого водонепроницаемого материала, $кг$; k_{GBM} — коэффициент, учитывающий увеличение геометрического объёма плоских сплотноных единиц за счёт обёртывающего материала.

Подставим зависимости (16)—(17) и (21) в неравенство (20) и получим следующее условие:

$$\frac{q_{AGBM} l_{GBM}^2}{8 f_{GBM} b_{GBM} h_{GBM}} \leq \frac{\sigma_{GBM \text{ нр\o}}}{[k_{GBM}]}. \quad (24)$$

При расчётах выполнение данного условия указывает на то, что выбранный гибкий водонепроницаемый материал с определёнными техническими характеристиками пригоден для эксплуатации, а в противном случае необходимо подобрать другой водонепроницаемый материал и выполнить его расчёт на прочность или рассчитать минимально допустимую толщину гибкого водонепроницаемого материала $h_{\min GBM}$, которая будет обеспечивать его прочность. Из неравенства (24) $h_{\min GBM}$ равно:

$$h_{\min GBM} = \frac{[k_{GBM}] q_{AGBM} l_{GBM}^2}{8 f_{GBM} b_{GBM} \sigma_{GBM \text{ нр\o}}}. \quad (25)$$

Так как в соответствии с первым условием на гибкий водонепроницаемый материал действуют гидростатическое давление воды и архимедова сила, то выбор гибкого водонепроницаемого материала следует осуществлять по максимальному напряжению, возникающему в гибком водонепроницаемом материале от действия гидростатического давления или архимедовой силы, т. е. если $\sigma_{\max ГДВ} \geq \sigma_{\max AC}$, то выбор гибкого водонепроницаемого материала осуществляется по условию (18), а если $\sigma_{\max ГДВ} < \sigma_{\max AC}$, то выбор гибкого водонепроницаемого материала следует выполнять по условию (24).

По первому условию плоские сплоточные единицы эксплуатируются только тогда, когда их скорость равна скорости течения воды. В практических условиях при транспортировке плоских сплоточных единиц их скорость больше скорости течения реки, где кроме гидростатического давления воды на её борта дополнительно действует сила сопротивления движению, т. е. гидродинамическое давление воды. Таким образом, в соответствии со вторым условием запишем условие прочности гибкого водонепроницаемого материала при действии гидростатического и гидродинамического давления воды:

$$\sigma_{\max ГГДВ} = \frac{H_{\max ГГТВМ}}{F_{ГВМ}} \leq [\sigma_{ГВМ}], \quad (26)$$

где $\sigma_{\max ГДВ}$ — максимальное напряжение, возникающее в гибком водонепроницаемом материале от гидростатического и гидродинамического давления воды, Па; $H_{\max ГГТВМ}$ — максимальное составляющее усилие, одинаковое во всех сечениях, в данном случае — натяжение гибкого водонепроницаемого материала от действия гидростатического и гидродинамического давления воды, Н.

В неравенстве (26) натяжение гибкого водонепроницаемого материала от действия гидростатического и гидродинамического давления воды следует рассчитывать по зависимости

$$H_{\max ГГТВМ} = \frac{q_{ГГТВМ} l_{ГВМ}^2}{8 f_{ГВМ}}, \quad (27)$$

где **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.** — погонная нагрузка от гидростатической и гидродинамической сил, действующих на гибкий водонепроницаемый материал, Н/м.

Для рассматриваемого условия погонная нагрузка от гидростатической $P_{ГСД}$ и гидродинамической $P_{ГДД}$ сил рассчитывается по формуле

$$q_{ГГТВМ} = \frac{P_{ГСД} + P_{ГДД}}{l_{ГВМ}}. \quad (28)$$

Силы $P_{ГСД}$ и $P_{ГДД}$ рассчитываются соответственно по формулам

$$P_{ГСД} = g \rho_B h_{\max Ц} b_{ГВМ} l_{ГВМ}; \quad (29)$$

$$P_{ГДД} = v_{ПСЕ}^2 \rho_B b_{ГВМ} l_{ГВМ}, \quad (30)$$

где $v_{ПСЕ}$ — скорость плоской сплоточной единицы относительно жидкости, м/с.

В формулах (27)—(30) такие показатели, как $l_{ГВМ}$, $f_{ГВМ}$, $h_{\max Ц}$ и $b_{ГВМ}$, определяются для каждой схемы согласно вышеприведённым методикам. При этом, используя выражения (16), (17) и (27), подставим их в неравенство (26) и получим условие прочности гибкого

водонепроницаемого материала при действии на него гидростатического и гидродинамического давления жидкости:

$$\frac{q_{ГГВМ} l_{ГВМ}^2}{8 f_{ГВМ} b_{ГВМ} h_{ГВМ}} \leq \frac{\sigma_{ГВМ прд}}{[k_{ГВМ}]} \quad (31)$$

Практическое выполнение условия (31) регламентирует о том, что выбор гибкого водонепроницаемого материала выполнен верно, а следовательно, плоские сплотовые единицы могут оборачиваться в данный материал, который будет обеспечивать стабилизированный запас их плавучести. Если условие (31) не выполняется, то необходимо осуществить подбор другого водонепроницаемого материала или рассчитать минимально допустимую толщину материала $h_{\min ГВМ}$, при которой выполнение условия (31) обеспечено. Таким образом, выразим из неравенства (31) минимально допустимую толщину материала $h_{\min ГВМ}$:

$$h_{\min ГВМ} = \frac{[k_{ГВМ}] q_{ГГВМ} l_{ГВМ}^2}{8 f_{ГВМ} b_{ГВМ} \sigma_{ГВМ прд}} \quad (32)$$

Выбор гибкого водонепроницаемого материала необходимо осуществлять по максимальному напряжению, возникающему в гибком водонепроницаемом материале от действия выталкивающей силы, и от действия в совокупности гидростатического и гидродинамического давления воды. Когда $\sigma_{\max ГГДВ} \geq \sigma_{\max АС}$, то выбор гибкого водонепроницаемого материала осуществляется по условию (31), а если $\sigma_{\max ГГДВ} < \sigma_{\max АС}$, то выбор гибкого водонепроницаемого материала необходимо выполнять по условию (24).

Существует необходимость транспортировки плоских сплотовых единиц по суше от сплотовых машин к водному объекту, спуска их на воду и выгрузки из воды, перегрузки с воды на баржи (суда), а также транспортировки на рейдах приплава от места складирования до расформировочной машины. Перемещение может осуществляться с помощью специальных транспортных машин или, например, кранами за гибкий водонепроницаемый материал. В результате этого гибкий водонепроницаемый материал воспринимает нагрузку от веса сплотовой единицы, что регламентирует последнее условие эксплуатации. На основании вышесказанного запишем условие прочности гибкого водонепроницаемого материала следующим образом:

$$\sigma_{\max ВПЧЕ} = \frac{N_{\max ГВМ}}{F_{ГВМ}} \leq [\sigma_{ГВМ}], \quad (33)$$

где $\sigma_{\max ВПЧЕ}$ — максимальное напряжение, возникающее в гибком водонепроницаемом материале от веса плоской сплотовой единицы, Па; $N_{\max ГВМ}$ — максимальная продольная растягивающая сила, возникающая в поперечном сечении гибкого водонепроницаемого материала, Н.

В неравенстве (33) $[\sigma_{ГВМ}]$ определяется по формуле (17), а максимальная продольная растягивающая сила, возникающая в поперечном сечении гибкого водонепроницаемого материала, будет равна весу плоской сплottedной единицы $G_{ПСЕ}$. При этом $F_{ГВМ}$ в данном случае имеет свои особенности расчёта в зависимости от того, каким образом будут подниматься плоские сплottedные единицы за гибкий водонепроницаемый материал. Если планируется поднимать лесотранспортную единицу за две части гибкого водонепроницаемого материала, которые контактируют с её правым и левым бортами или с задней и передней частями, то расчёт площади поперечного сечения гибкого водонепроницаемого материала будет осуществляться соответственно по формулам

$$F_{ГВМ} = 2h_{ГВМ} B_{ПСЕ}; \quad (34)$$

$$F_{ГВМ} = 2h_{ГВМ} L_{ПСЕ}. \quad (35)$$

Для обеспечения более надёжной эксплуатации плоских сплottedных единиц рационально их поднимать за четыре части гибкого водонепроницаемого материала, чтобы нагрузка от веса сплottedной единицы распределялась на всю площадь поперечного сечения материала. На основании этого $F_{ГВМ}$ будет определяться по зависимости

$$F_{ГВМ} = h_{ГВМ} (2L_{ПСЕ} + 2B_{ПСЕ}). \quad (36)$$

Учитывая, что $N_{\max КРП} = G_{ПСЕ}$, и подставив зависимости (17) и (36) в условие (33), получим следующее неравенство:

$$\frac{G_{ПСЕ}}{h_{ГВМ} (2L_{ПСЕ} + 2B_{ПСЕ})} \leq \frac{\sigma_{ГВМ \text{ нр\o}}}{[k_{ГВМ}]}. \quad (37)$$

Из неравенства (37) минимальная допустимая толщина $h_{\min ГВМ}$ гибкого водонепроницаемого материала составит:

$$h_{\min ГВМ} = \frac{[k_{ГВМ}] G_{ПСЕ}}{h_{ГВМ} (2L_{ПСЕ} + 2B_{ПСЕ})}. \quad (38)$$

Реализация неравенства (37) указывает на то, что выбор гибкого водонепроницаемого материала выполнен верно, а его технические характеристики способны обеспечивать надёжную эксплуатацию плоских сплottedных единиц. В противном случае необходимо подобрать другой материал и произвести аналогичные расчёты или с помощью зависимости (38) определить его минимально допустимую толщину.

В случае, когда при выполнении сплавных работ планируется поднимать и опускать плоские сплottedные единицы за гибкий водонепроницаемый материал, то перед тем, как осуществлять проверку условия прочности (37), следует провести проверку по максимальному напряжению, возникающему в гибком водонепроницаемом материале, от действия выталкивающей силы, гидростатического и гидродинамического давления воды,

а также от действия растягивающей силы, возникающей от веса сплottedной единицы. Когда выполняются следующие неравенства $\sigma_{\max AC} \leq \sigma_{\max ГГДВ} \leq \sigma_{\max ВПСЕ}$ или $\sigma_{\max ГГДВ} \leq \sigma_{\max AC} \leq \sigma_{\max ВПСЕ}$, то проверку на прочность необходимо реализовывать по условию (37), а расчёт минимальной толщины гибкого водонепроницаемого материала — по формуле (38). Если происходит выполнение неравенств $\sigma_{\max ВПСЕ} \leq \sigma_{\max AC} \leq \sigma_{\max ГГДВ}$ или $\sigma_{\max AC} \leq \sigma_{\max ВПСЕ} \leq \sigma_{\max ГГДВ}$, то проверку на прочность следует осуществлять по условию (31), при этом расчёт минимальной толщины гибкого водонепроницаемого материала надо выполнить по формуле (32). В последнем случае, когда $\sigma_{\max ВПСЕ} \leq \sigma_{\max ГГДВ} \leq \sigma_{\max AC}$ или $\sigma_{\max ГГДВ} \leq \sigma_{\max ВПСЕ} \leq \sigma_{\max AC}$, все проверочные расчёты на прочность будут выполняться по условию (24). В свою очередь, минимальная толщина гибкого водонепроницаемого материала при необходимости определится из выражения (25). Важно отметить, что при проведении проверочных расчётов по максимальному напряжению, возникающему в гибком водонепроницаемом материале от действия вышеописанных сил, необходимо во всех расчётах использовать одинаковую площадь поперечного сечения $F_{ГВМ}$.

Практическая реализация технологии транспортировки круглых лесоматериалов в плоских сплottedных единицах со стабилизированным запасом плавучести требует использовать синтетические гибкие водонепроницаемые материалы, которые хорошо себя зарекомендовали в промышленности [1], [13], [41], [42]. Например, для обёртывания современных плоских сплottedных единиц рекомендовано использовать материал типа 23-М или брезент повышенной прочности и водоупорности, которые применяются при изготовлении пневматических строительных конструкций [1], [13]. Из данных материалов с помощью сварки [43] можно изготавливать различного рода комбинированные гибкие водонепроницаемые элементы, удовлетворяющие всем требованиям, предъявляемым к водонепроницаемым тканям, для использования на сплаве лесоматериалов [13]. Особое внимание необходимо обратить на современные [1], [41], [42] гибкие водонепроницаемые материалы (армированные брезенты повышенной прочности, тарпаулин и т. д.), которые в настоящее время характеризуются высокими физико-механическими свойствами и широкой областью применения в различных отраслях. При этом следует отметить, что для обеспечения полной сохранности гибкого материала необходимо приходить к обёртыванию внутренней части сплottedных единиц, где круглые лесоматериалы, находящиеся на дне и по бортам сплottedных единиц, будут сохранять водонепроницаемый материал от внешних повреждений.

4. Обсуждение и заключение

Предлагаемые мероприятия по обёртыванию современных плоских сплottedных единиц в гибкий водонепроницаемый материал дали возможность достичь существенных результатов, повышающих их транспортно-эксплуатационные показатели. К данным показателям относятся: малая осадка и стабилизированный запас плавучести. Обеспечение

плоских сплоточных единиц малой осадкой и стабилизированным запасом плавучести осуществляется не только за счёт гибкого водонепроницаемого материала, но и за счёт правильного его выбора с учётом всех внешних сил, действующих на сплоточные единицы в различных условиях плавания.

Предложенная методика расчёта требуемой прочности гибкого водонепроницаемого материала, предназначенного для обертывания усовершенствованных плоских сплоточных единиц, учитывает два основных фактора. Первый фактор — это особенности расположения круглых лесоматериалов в плоских сплоточных единицах, которые способны обёртываться в гибкий водонепроницаемый материал, он выражен в схемах для расчёта прочности гибкого водонепроницаемого материала. Второй фактор учитывает действие всех внешних сил на плоскую сплоточную единицу при сплаве её самосплавом или в составе плота, а также при транспортировке её на береговых складах, перемещениях на формировочных и погрузочных рейдах и рейдах приплава. Данный фактор выражен основными зависимостями по расчёту прочности гибкого водонепроницаемого материала.

Практическое использование приведённой методики расчёта требуемой прочности гибкого водонепроницаемого материала позволит полноценно обеспечить современные плоские сплоточные единицы малой осадкой и стабилизированным запасом плавучести, а также поставку высококачественной древесины потребителям. При этом плоские сплоточные единицы с постоянным стабилизированным запасом плавучести дают возможность возобновить транспортировку круглых лесоматериалов на реках, где ранее проводился молевой сплав древесины.

Список литературы

1. *Васильев В. В., Афоничев Д. Н.* Усовершенствованные системы плотового сплава лесоматериалов: [монография]. Saarbrücken (Германия): LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 284 с.
2. Водный кодекс Российской Федерации: текст с последними изменениями и дополнениями на 2022 г. М.: Эксмо, 2022. 64 с. (Законы и кодексы).
3. *Васильев В. В.* Обоснование параметров транспортно-технологической схемы поставки древесины в плоских сплоточных единицах по принципу плот (линейка) – плот // *Resources and Technology*. 2021. № 2, т. 18. С. 48—78. DOI: 10.15393/j2.art.2021.5603.
4. *Васильев В. В., Афоничев Д. Н.* Использование плоских сплоточных единиц на первоначальном сплаве лесоматериалов // *Известия вузов. Лесной журнал*. 2022. № 1. С. 128—142. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-1-128-142.
5. *Васильев В. В., Аксенов И. И.* Анализ конструкций перспективных плоских сплоточных единиц // *Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции — новые технологии и техника нового поколения для АПК: сб. науч. докл. XX междунар. научно-практич. конф., г. Тамбов, 26—27 сентября 2019 г.* Тамбов: Студия печати Галины Золотовой, 2019. С. 188—191.
6. *Митрофанов А. А.* Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. 492 с.

7. *Афоничев Д. Н., Папонов Н. Н., Васильев В. В.* Сплоточная единица стабилизированной плавучести // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. Архангельск: САФУ, 2010. № 6. С. 114—120.
8. *Васильев В. В.* Изменение осадки плоской плоточной единицы // Лесотехнический журнал. Воронеж: ВГЛТА, 2013. № 1 (9). С. 78—86.
9. *Васильев В. В.* Плоская плоточная единица для первоначального и магистрального плотового сплава круглых лесоматериалов // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: Материалы междунар. научно-технич. конф. Вологда: ВоГТУ, 2015. С. 66—68.
10. *Васильев В. В.* Модернизированный плот для рек с малыми глубинами // Вестник ПГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2015. № 1. С. 45—58.
11. *Васильев В. В.* Особенности формирования осадки плоских плоточных единиц при полном и частичном обертывании в гибкий водонепроницаемый материал // Современные машины, оборудование и IT-решения лесопромышленного комплекса: теория и практика: Материалы Всерос. научно-практич. конф., Воронеж, 17 июня 2021 г. Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», 2021. С. 34—39. URL: <https://vgtu.ru/universitet/fakultety/lesopromyshlennyj-fakultet/sovremennye-ashiny-oborudovanie-i-it-resheniya-lesopromyshlennogo-kompleksa-teoriya-i-praktika/>. Текст: электронный.
12. *Васильев В. В.* Особенности формирования осадки плоской плоточной единицы // Лесотехнический журнал. 2014. № 1 (13). С. 79—84.
13. *Афоничев Д. Н., Папонов Н. Н., Васильев В. В.* Выбор гибкого водонепроницаемого материала для стабилизации плавучести плоточных единиц // Лесотехнический журнал. Воронеж: ВГЛТА, 2011. № 1 (1). С. 95—99.
14. Патент № 2381949 РФ, МПК В 63 В 35/62, 35/58. Сплоточная единица / Д. Н. Афоничев, Н. Н. Папонов, В. В. Васильев; заявитель и патентообладатель ВГЛТА. № 2008146180/11; заявл. 21.11.2008; опубл. 20.02.2010. Бюл. № 5. 7 с.
15. Патент № 2043255 РФ, МПК В 63 В 35/62. Сплоточная единица / А. А. Митрофанов, Г. Я. Суров, М. Н. Фоминцев; заявитель и патентообладатель Архангельский ЛТИ. № 4928310/11; заявл. 18.04.1992; опубл. 10.09.1995 г. Бюл. № 25. 4 с.
16. Патент № 2456199 РФ, МПК В 63 В 35/62. Сплоточная единица / Д. Н. Афоничев, В. В. Васильев, Н. Н. Папонов; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия». № 2011107805/11; заявл. 28.02.2011; опубл. 20.07.2012. Бюл. № 20. 7 с.
17. Патент № 2456200 РФ, МПК В 63 В 35/62. Сплоточная единица / В. В. Васильев; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия». № 2011108194/11; заявл. 02.03.2011; опубл. 20.07.2012. Бюл. № 20. 6 с.
18. Патент № 2460679 РФ, МПК В 65 G 69/20, В 65 В 27/10. Плоская плоточная единица / В. В. Васильев, Д. Н. Афоничев; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия». № 2011109353/13; заявл. 11.03.2011; опубл. 10.09.2012. Бюл. № 25. 7 с.
19. Патент № 2525498 РФ, МПК В 63 В 35/62. Плоская плоточная единица / В. В. Васильев, Д. Н. Афоничев, В. А. Морковин, Н. Н. Папонов; заявитель и патентообладатель ВГЛТА. № 2013122624/11; заявл. 16.05.2013, опубл. 20.08.2014. Бюл. № 23. 11 с.

20. Brevet 1286734 FR, Int. CI. B 65 g. Procédé de flottage des bois en grumes et dispositif d'attache pour la mise en oeuvre de se procédé / M. Roger Jandin résidant en France; la date de la demandé 23.01.1961; la date de publié 29.01.1962. 4 p.
21. Brevet 2882723 FR, Int. CI.8 B 63 B 35/00, 3/08, 7/02. Embarcation modulaire pour le transport des grumes par voie d'eau / demandeur Roumengas Jonsa Guy; Mandataire SCHMITT. № 0502132; la date de la demande 03.03.05; la date de parution 21.10.2005, bulletin 06/36. 14 p.
22. Brevet 1461583 FR, Int. CI. B 63 b, B 65 g. Remorquage de billes de bois / société anonyme dite: compagnie maritime des chargeurs réunis résidant en France (Seine). № 36, 157; la date de la demandé 26.10.1965; la date de publié 02.10.1966. 4 p.
23. *Smits Alexander J.* A physical introduction to fluid mechanics. Copyright A. J. Smits, 2019. 336 p.
24. *Modi Dr. P. N., Seth Dr. S. M.* Hydraulics and fluid mechanics including hydraulics mechanics. STANDART BOOK HOUSE (SINCE 1960), 2018. 1403 p.
25. *Brater Ernest F., King Horace Williams, Lindell James E., Wei C. Y.* Handbook of hydraulics. New York: McGraw-Hill Professionsl, 1996. 313 p.
26. *Walker Jearl, Halliday David, Resnick Robert.* Fundamentals of physics. Wiley, 2014. 1450 p.
27. *Bettini Alessandro.* A course in classical physics 2 — fluids and thermodynamics. Springer, 2016. 248 p.
28. *Khurmi R. S.* Hydraulics, fluid mechanics and hydraulics mechanics. Springer, 2000. 671 p.
29. *Belyayev N. M.* Problems in strength of materials. Elsevier, 1966. 539 p.
30. *Stephens R. C.* Strength of materials. Theory and examples. Edward Arnold, 1970. 314 p.
31. *Vitor Dias da Silva.* Mechanics and strength of materials. Springer, 2006. 531 p.
32. *Patnaik Surya, Hopkins Dale.* Strength of aterials: a new unified theory for the 21st century. Butterworth; Heinemann (Elsevier), 2004. 771 p.
33. *Boresi Arthur P., Schmidt Richard J., Sidebottom Omar M.* Advanced mechanics of materials. Wiley, 1993. 827 p.
34. Strength of Materials and Structures, Fourth Edition / Carl T. F. Ross BSc PhD DSc CEng FRINA, The late John Case, A. Chilver. Arnold, 1999. 719 p.
35. *Broutman L.* Interfaces in composites. New York: ASTM, 1968. 198 p.
36. *Den Hartog J. P.* Strength of materials. Dover Publications, 1961. 346 p.
37. *Skalmierski Bogdan.* Mechanics and strength of materials. Academic Press, Elsevier, 1979. 435 p.
38. *Komarovsky Anatoly A., Astakhov Viktor P.* Physics of strength and fracture control: adaptation of engineering materials and structures. CRC Press, 2002. 629 p.
39. *Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В.* Справочник по сопротивлению материалов. 2-е изд., перераб. и доп. Киев: Наукова думка, 1988. 736 с.
40. *Пашевский Л. И.* Переносная тросо-спицевая плотина для лесосплава. М.: Лесбумиздат, 1947. 39 с.
41. Advances in civil engineering and building materials IV / Shuenn-Yih Chang, Suad Khalid Al Bahar, Adel Abdulmajeed M. Husain, Jingying Zhao. CRC Press, 2015. 424 p.
42. *Haimei Zhang.* Building materials in civil engineering. Woodhead Publishing, 2011. 452 p.
43. *Арзуманов А. А., Васильев В. В.* Сварные соединения синтетических тканей мягких оболочек лесной отрасли. Воронеж: ВГЛТА, 2008. 32 с. Деп. в ВИНТИ 04.05.08, № 384-B2008.

References

1. Vasiliev V. V., Afonichev D. N. *Improved systems of raft timber alloy: [monograph]*. Saarbrücken (Germany), Publishing house of LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 284 p. (In Russ.)
2. The Water Code of the Russian Federation: the text with the latest amendments and additions for 2022. Moscow, Eksmo, 2022. 64 p. (Laws and Codes). (In Russ.)
3. Vasiliev V. V. Justification of the parameters of the transport and technological scheme for the supply of wood in flat raft units according to the raft (ruler) — raft principle. *Resources and Technology*, 2021, no. 2, vol. 18, pp. 48—78. URL: <https://rt.petsru.ru/journal/article.php?id=5603>. doi: 10.15393/j2. art. 2021.5603. Text. Image: electronic. (In Russ.)
4. Vasiliev V. V., Afonichev D. N. The use of flat splice units on the initial timber alloy. *Izv. vuzov. Lesn. zhurn.*, 2022, no. 1, pp. 128—142. doi: 10.37482/0536-1036-2022-1-128-142. (In Russ.)
5. Vasiliev V. V., Aksenov I. I. Analysis of the structures of promising flat splice units. *Improving the efficiency of resource use in the production of agricultural products-new technologies and equipment of a new generation for the agro-industrial complex: collection of scientific reports of the XX international scientific and practical conference; Tambov, September 26—27, 2019*. Tambov, Publishing house «Printing Studio of Galina Zolotova», 2019, pp. 188—191. (In Russ.)
6. Mitrofanov A. A. *Lesosplav. New technologies, scientific and technical support*. Arkhangelsk, Publishing house of AGTU, 2007. 492 p. (In Russ.)
7. Afonichev D. N., Paponov N. N., Vasiliev V. V. A cohesive unit of stabilized buoyancy. *Izvestia of higher educational institutions. Forest Journal*. Arkhangelsk, SAFU, 2010, no. 6, pp. 114—120. (In Russ.)
8. Vasiliev V. V. Change in the precipitation of a flat flat unit. *Forestry journal*. Voronezh, VGLTA, 2013, no. 1 (9), pp. 78—86. (In Russ.)
9. Vasiliev V. V. A flat cohesive unit for the initial and main raft alloy of round timber. *Actual problems of the development of the forest complex: mater. international Scientific and Technical conference*. Vologda, VoGTU, 2015, pp. 66—68. (In Russ.)
10. Vasiliev V. V. Modernized raft for rivers with shallow depths. *Vestnik PSTU. Series: Forest. Ecology. Environmental management*, 2015, no. 1, pp. 45—58. (In Russ.)
11. Vasiliev V. V. Features of the formation of precipitation of flat cohesive units with full and partial wrapping in a flexible waterproof material. *Modern machines, equipment and IT solutions of the timber industry complex: theory and practice: materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Voronezh, June 17, 2021*. Voronezh, Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov, 2021, pp. 34—39. URL: <https://vgltu.ru/universitet/fakultety/lesopromyshlennyy-fakultet/sovremennye-ashiny-oborudovanie-i-it-resheniya-lesopromyshlennogo-kompleksa-teoriya-i-praktika/>. Text. Image: electronic. (In Russ.)
12. Vasiliev V. V. Features of the formation of the precipitation of a flat flat unit. *Forestry journal*. 2014, no. 1 (13), pp. 79—84. (In Russ.)
13. Afonichev D. N., Paponov N. N., Vasiliev V. V. The choice of a flexible waterproof material for stabilizing the buoyancy of cohesive units. *Forestry journal*. Voronezh, VGLTA, 2011, no. 1 (1), pp. 95—99. (In Russ.)
14. Afonichev D. N., Paponov N. N., Vasiliev V. V. Patent No. 2381949 of the Russian Federation, IPC B 63 B 35/62, 35/58. A cohesive unit; applicant and patent holder of VGLTA. No. 2008146180/11; application 21.11.2008; publ. 20.02.2010. Bul. No. 5. 7 p. (In Russ.)

15. Mitrofanov A. A., Surov G. Ya., Fomintsev M. N. Patent No. 2043255 of the Russian Federation, IPC In 63 In 35/62. A cohesive unit; applicant and patent holder Arkhangelsk LT. No. 4928310/11; application 18.04.1992; publ. 10.09.1995. Bul. No. 25. 4 p. (In Russ.)
16. Afonichev D. N., Vasiliev V. V., Paponov N. N. Patent No. 2456199 of the Russian Federation, IPC B 63 B 35/62. Cohesive unit; applicant and patent holder of the Voronezh State Forestry Academy. No. 2011107805/11; application 28.02.2011; publ. 20.07.2012. Bul. No. 20. 7 p. (In Russ.)
17. Vasiliev V. V. Patent No. 2456200 RF, IPC B 63 B 35/62. Cohesive unit; applicant and patent holder of the Voronezh State Forestry Academy. No. 2011108194/11; application 02.03.2011; publ. 20.07.2012. Bul. No. 20. 6 p. (In Russ.)
18. Vasiliev V. V., Afonichev D. N. Patent No. 2460679 RF, IPC B 65 G 69/20, B 65 B 27/10. Flat cohesive unit; applicant and patent holder of the Voronezh State Forestry Academy. No. 2011109353/13; application 11.03.2011; publ. 10.09.2012. Bul. No. 25. 7 p. (In Russ.)
19. Vasiliev V. V., Afonichev D. N., Morkovin V. A., Paponov N. N. Patent No. 2525498 of the Russian Federation, IPC B 63 B 35/62. Flat cohesive unit; applicant and patent holder of VGLTA. No. 2013122624/11; application No. 16.05.2013, publ. 20.08.2014. Byul. No. 23. 11 p. (In Russ.)
20. Brevet 1286734 FR, Int. CI. B 65 g. Procédé de flottage des bois en grumes et dispositif d'attache pour la mise en oeuvre de se procédé, M. Roger Jandin résidant en France; la date de la demandé 23.01.1961; la date de publié 29.01.1962. 4 p.
21. Brevet 2882723 FR, Int. CI.8 B 63 B 35/00, 3/08, 7/02. Embarcation modulaire pour le transport des grumes par voie d'eau, demandeur Roumengas Jonsa Guy; Mandataire SCHMITT. № 0502132; la date de la demande 03.03.05; la date de parution 21.10.2005, bulletin 06/36. 14 p.
22. Brevet 1461583 FR, Int. CI. B 63 b, B 65 g. Remorquage de billes de bois, société anonyme dite: compagnie maritime des chargeurs réunis résidant en France (Seine). № 36, 157; la date de la demandé 26.10.1965; la date de publié 02.10.1966. 4 p.
23. Smits Alexander J. *A physical introduction to fluid mechanics*. Copyright A. J. Smits, 2019. 336 p.
24. Modi Dr. P. N., Seth Dr. S. M. *Hydraulics and fluid mechanics including hydraulics mechanics*. STANDART BOOK HOUSE (SINCE 1960), 2018. 1403 p.
25. Brater Ernest F., King Horace Williams, Lindell James E., Wei C. Y. *Handbook of hydraulics*. New York, McGraw-Hill Professional, 1996. 313 p.
26. Walker Jearl, Halliday David, Resnick Robert. *Fundamentals of physics*. Wiley, 2014. 1450 p.
27. Bettini Alessandro. *A course in classical physics 2 — fluids and thermodynamics*. Springer, 2016. 248 p.
28. Khurmi R. S. *Hydraulics, fluid mechanics and hydraulics mechanics*. Springer, 2000. 671 p.
29. Belyayev N. M. *Problems in strength of materials*. Elsevier, 1966. 539 p.
30. Stephens R. C. *Strength of materials. Theory and examples*. Edward Arnold, 1970. 314 p.
31. Vitor Dias da Silva. *Mechanics and strength of materials*. Springer, 2006. 531 p.
32. Patnaik Surya, Hopkins Dale. *Strength of aterials: a new unified theory for the 21st century*. Butterworth; Heinemann (Elsevier), 2004. 771 p.
33. Boresi Arthur P., Schmidt Richard J., Sidebottom Omar M. *Advanced mechanics of materials*. Wiley, 1993. 827 p.
34. Carl T. F. Ross BSc PhD DSc CEng FRINA, The late John Case, A. Chilver. *Strength of Materials and Structures, Fourth Edition*. Arnold, 1999. 719 p.
35. Broutman L. *Interfaces in composites*. New York, ASTM, 1968. 198 p.
36. Den Hartog J. P. *Strength of materials*. Dover Publications, 1961. 346 p.

37. Skalmierski Bogdan. *Mechanics and strength of materials*. Academic Press, Elsevier, 1979. 435 p.
38. Komarovskiy Anatoly A., Astakhov Viktor P. *Physics of strength and fracture control: adaptation of engineering materials and structures*. CRC Press, 2002. 629 p.
39. Pisarenko G. S., Yakovlev A. P., Matveev V. V. *Handbook on the resistance of materials: 2nd ed., revised supplement*. Kiev, Naukova dumka, 1988. 736 p. (In Russ.)
40. Pashevsky L. I. *Portable rope-spoke dam for timber melting*. Moscow, Lesbumizdat, 1947. 39 p. (In Russ.)
41. Shuenn-Yih Chang, Suad Khalid Al Bahar, Adel Abdulmajeed M. Husain, Jingying Zhao. *Advances in civil engineering and building materials IV*. CRC Press, 2015. 424 p.
42. Haimei Zhang. *Building materials in civil engineering*. Woodhead Publishing, 2011. 452 p.
43. Arzumanov A. A., Vasiliev V. V. Welded joints of synthetic fabrics of soft shells of the forest industry. Voronezh, VGLTA, 2008. 32 p. Dep. in VINITI 04.05.08, no. 384-V2008. (In Russ.)

© Васильев В. В., Афоничев Д. Н., 2022

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6223

УДК 372.881.111.1

Статья

Аннотация к статье в области технических наук и её машинный перевод

Добрынина Оксана Леонидовна

кандидат педагогических наук, доцент, Институт иностранных языков, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация), oksdobr@mail.ru

Получена: 14 марта 2022 / Принята: 27 мая 2022 / Опубликовано: 31 мая 2022

Аннотация: Аннотации на русском и английском языках пишутся по определённым правилам. Аннотация на английском языке является единственным средством информирования мирового научного сообщества о результатах исследований авторов русскоязычной статьи. Однако далеко не всегда качество аннотаций на русском языке и их перевод на английский язык удовлетворяет критериям удобочитаемости и соответствует грамматическим, лексическим и стилистическим правилам английского языка. Для перевода аннотаций на английский язык авторы часто используют системы машинного перевода (МП), однако далеко не всегда учитывают требования к качеству исходного текста и ограничения, присущие этим системам. Автор статьи проанализировала структуру аннотаций к эмпирическим статьям, опубликованным в журнале *Resources and Technologies*, и выявила основные структурные нарушения, грамматические, лексические и терминологические ошибки. Автор приходит к выводу, что эффективное использование систем МП для перевода аннотаций на английский язык возможно, если исследователи владеют русским и английским языками на уровне, достаточном для выражения своих мыслей в соответствии с нормами научного стиля. Процесс МП текста аннотации должен включать три этапа: предпереводческую подготовку исходного русскоязычного текста, сам перевод и постпереводческое редактирование полученного текста на английском языке. Для проверки качества МП текста авторы могут воспользоваться инструментами, доступными в Интернете.

Ключевые слова: структура аннотации; машинный перевод, предредактирование, постредактирование, грамматические, стилистические и терминологические ошибки

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6223

Article

Abstract of an article in engineering sciences and its machine translation

Oksana Dobrynina

*Ph. D. in pedagogy, associate professor, Institute of Foreign Languages,
Petrozavodsk State University(Russian Federation), oksdobr@mail.ru*

Received: 14 March 2022 / Accepted: 27 May 2022 / Published: 31 May 2022

Abstract: Abstracts in Russian and English are written according to certain rules. For articles written in Russian, an abstract in English is the only means of informing the global scientific community about the authors' research results. However, the quality of abstracts in Russian and their translation into English do not always meet the readability criteria and comply with the grammatical, lexical and stylistic rules of the English language. To translate abstracts into English, authors often use machine translation (MT) systems, but they do not always take into account the requirements to the source text quality and limitations inherent in these systems. The author of the article analyzed the structure of abstracts to empirical articles published in the journal *Resources and Technologies* and identified the main structural violations and grammatical, lexical and terminological errors. The author comes to the conclusion that the effective use of MT systems for translating abstracts into English is possible if researchers' command of the Russian and English languages is at the level sufficient for a concise and unambiguous expression of their thoughts and ideas in accordance with the scientific discourse. The process of the abstract machine translation should include three stages: pre-editing of the original Russian-language text, the translation itself and post-editing of the target text in English. To check the quality of the target text authors can use the tools available on the Internet.

Keywords: abstract structure; machine translation, pre-editing, post-editing, grammatical, lexical and stylistic errors

1. Введение

Аннотация на русском и английском языках является обязательным элементом пакета документов, подаваемых автором в редакцию научного журнала. Согласно ГОСТ Р 7.0.99-2018 (ИСО 214:1976), аннотация создаётся в процессе «аналитико-синтетической обработки информации», содержащейся в первичном документе. В аннотации следует указывать только «существенные признаки содержания документа, т. е. те, которые позволяют выявить его научное и практическое значение и новизну, отличить документ от других, близких ему по тематике и целевому назначению». Следовательно, аннотация должна включать сведения о содержании и типе документа, об основной теме, о проблемах, об объекте исследования, о цели работы и её результатах, а также о новизне и достоинстве документа (научной статьи), его научном и практическом значении для целевой аудитории [1].

Редакционная коллегия каждого научного журнала определяет свои требования к содержанию, объёму и структуре аннотации. Например, в указаниях «Автору» в разделе «10 шагов к публикации статьи» редакторы журнала Resources and Technologies пишут: «Аннотация должна кратко (150—250 слов) описывать цели исследования, методы, результаты, главные выводы. Цитаты и сноски в аннотации не допускаются» [2]. Однако опыт показывает, что таких кратких указаний недостаточно и не все авторы понимают, какова должна быть структура аннотации на русском и английском языках и каким образом пишется этот документ. Более того, многие авторы прибегают к помощи систем машинного перевода (МП) и высылают в редакцию аннотацию на английском языке, содержащую многочисленные терминологические, грамматические и лексические ошибки.

В данной статье мы рассмотрим значение и функции аннотации на русском и английском языках, их структуру, возможности современных систем машинного перевода и необходимые действия автора для получения качественного МП своей аннотации на английский язык.

2. Значение и функции аннотации

Основная цель аннотации — дать читателю представление о содержании статьи без ознакомления с её полным текстом и быстро принять решение о необходимости получения полного текста статьи.

Аннотация является независимым от статьи источником информации и вместе с названием статьи служит для быстрого поиска статей по интересующей читателя теме в различных электронных базах данных. Для расширения возможностей информационного поиска рекомендуется включать в текст аннотации дополнительные ключевые слова.

Наряду с сопроводительным письмом, аннотация является первым документом, с которым знакомится редактор журнала и по которому он может судить о качестве предлагаемой к печати рукописи. В практике работы редакций зарубежных журналов возможен следующий порядок действий по организации рецензирования рукописи: сначала

потенциальный рецензент получает аннотацию к рукописи статьи, и только в том случае, если он считает аннотацию заслуживающей его внимания и времени, он соглашается работать с полным текстом будущей статьи.

Аннотация на английском языке является единственным источником информации о содержании статьи для иностранного читателя. Если аннотация заинтересует читателя, он может запросить перевод русскоязычной статьи на свой родной язык. То же самое относится и к редакторам зарубежных научных журналов: если аннотация на английском языке к статье, опубликованной в русскоязычном журнале, заинтересует редактора журнала, то он может связаться с русскоязычным автором и предложить ему прислать в редакцию журнала рукописи новых, ещё не опубликованных статей. Следовательно, автор должен быть заинтересован в том, чтобы аннотация на английском языке к его статье была качественной и информативной.

3. Структура аннотации к эмпирической статье

В зависимости от требований журнала структура аннотации может включать различные элементы, которые могут либо составлять целый неделимый на абзацы текст, либо иметь подразделы с указанием названий этих подразделов в так называемой «структурированной аннотации». Такой тип аннотации характерен для статей в области медицины и биологии. Согласно указаниям для автора в журнале *Resources and Technologies*, в аннотации, которая пишется в один абзац, должно присутствовать описание целей исследования, методов и результатов исследования, а также основных выводов.

Структура аннотации обычно повторяет структуру статьи: актуальность и постановка задачи (введение), описание объекта и процесса исследования (материалы и методы), решение задачи (результаты), научное и практическое значение исследования (выводы). Основное отличие аннотации состоит в том, что обычно каждому из этих разделов статьи в аннотации уделяется 1—2 предложения. При этом не допускается прямое копирование предложений из статьи в текст аннотации.

Обычно текст аннотации начинается с введения, т. е. с объяснения актуальности исследования, обозначения пробела в научном знании, дающего основания для проведения описываемого в статье исследования и формулировки его цели. Согласно рекомендациям, эта вводная часть не должна превышать одно или два предложения. К сожалению, наша практика редактирования присылаемых в редакцию журнала аннотаций показывает, что далеко не все авторы способны кратко и чётко обосновать актуальность исследуемой проблемы. В некоторых случаях авторы описывают необходимость проведения своего исследования на протяжении половины или более текста аннотации, что, конечно, совершенно недопустимо.

Далее в аннотации описываются методология исследования и используемые автором методы и процедуры. Здесь не рекомендуется описывать частные детали и приводить конкретные цифры. Объём этого раздела обычно составляет два-три предложения.

При описании результатов исследования следует выделить самые значимые и привлекательные для читателя и научного сообщества результаты. Этот раздел аннотации может быть самым объёмным. Здесь приводятся основные экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные связи и закономерности. При этом не стоит писать, что «качество / точность / производительность «существенно / значительно» улучшилось / повысилось» и т. д. Для читателя важно узнать, на сколько в процентном выражении или в конкретных цифрах улучшилось качество, точность, производительность и т. д.

В заключительных предложениях аннотации автор отмечает значимость и практическое применение полученных результатов.

Мы проанализировали структуру и относительный объём отдельных разделов аннотаций к статьям, опубликованным в журнале *Resources and Technologies* за 2020 и 2021 гг. (см. таблицу). Всего за это время в журнале была опубликована 41 эмпирическая статья, ещё одна статья имела обзорный характер, и аннотация к ней не рассматривалась. Количество слов в аннотациях варьировалось от 84 до 319, при среднем количестве 204 слова. В ходе анализа структуры аннотаций отмечались наличие её разделов, а также их удельный объём относительно общего количества слов в аннотации. Для этого сначала определялись предложения, относящиеся к тому или иному разделу аннотации, подсчитывалось количество слов в разделе и определялось процентное соотношение количества слов в разделе к общему количеству слов в аннотации.

Анализ структуры аннотаций к статьям, опубликованным в журнале *Resources and Technologies* за 2020 и 2021 гг., показал, что только несколько аннотаций содержат все необходимые разделы. Практически все аннотации (40 из 41) содержат раздел, описывающий актуальность и постановку проблемы, из них только 12 аннотаций по своему объёму соответствуют рекомендациям, т. е. содержат 20 % слов от общего объёма аннотации. К сожалению, очень многие авторы (25 % аннотаций) слишком многословно и подробно пишут об актуальности рассматриваемой проблемы, объём этого раздела превышает 50 % всех слов в аннотации. Одна из аннотаций целиком посвящена только описанию актуальности проблемы, однако цель, материалы и методы исследования и его результаты в аннотации никак не отражены.

Только 8 аннотаций содержат формулировку цели исследования, и только половина из аннотаций (19) отражают материалы и методы, используемые в исследовании.

Раздел «Результаты» представлен в аннотациях достаточно часто (34 из 41), это самый детально описываемый авторами раздел, что соответствует рекомендациям по структуре аннотации. Однако стоит заметить, что в 25 % рассмотренных аннотаций этот раздел является слишком обширным и содержит более 50 % слов из всего объёма аннотации.

Авторы уделяют мало внимания формулировке выводов и вопросам практического применения результатов исследования. Менее половины (19) из анализируемых текстов содержат эту очень важную для читателя информацию.

Таблица. Анализ структуры аннотаций

Table. Abstract structure analysis

Раздел аннотации	Количество аннотаций, содержащих данный раздел	Удельный объём раздела относительно общего количества слов в аннотации					
		< 20 % слов	20 % слов	30 % слов	40 % слов	50 % слов	> 50 % слов
Актуальность, постановка проблемы (background, rationale)	40	5	12	8	2	1	12
Цель (purpose)	8	7	1	—	—	—	—
Материалы и методы (materials and methodology)	19	7	6	4	2	—	—
Результаты (results)	34	4	3	7	5	5	10
Выводы и практическое значение (conclusions and implications)	19	8	9	1	—	—	1

В результате анализа структуры рассмотренных аннотаций можно сделать вывод, что многие авторы не соблюдают требования к структурированию её текста и не включают в него обязательные разделы (цель исследования, материалы и методы, выводы). Объём некоторых разделов (актуальность проблемы) в большом количестве аннотаций превышает половину текста. В подобных случаях этот раздел является слишком многословным и неконкретным, содержит общеизвестные факты и рассуждения.

4. Характеристики и язык аннотации

Язык аннотации должен быть простым и понятным для широкого круга специалистов. В тексте аннотации рекомендуется избегать узкоспециальных терминов, сокращений и символов, кроме общеизвестных и общепринятых сокращений. Если автору необходимо использовать в тексте сокращение повторяющегося термина, то при его первом

употреблении следует написать термин полностью, затем в скобках привести его сокращение, которое и будет использоваться далее по тексту.

Аннотация к статьям в области технических наук является довольно стандартизированным текстом, поэтому автор может использовать различные клише, характерные для текстов научного стиля. Например, при использовании пассивного залога автор может написать: «в статье рассмотрены / изучены / проанализированы результаты исследования...». Если аннотация пишется в активном залоге, то обычно авторы используют следующие клише: «В данной статье авторы рассматривают задачу повышения...». Согласно рекомендациям многих русскоязычных и зарубежных научных журналов, предложения в аннотации на английском языке следует формировать в активном залоге [3], [4]. Например, редакция журнала «Известия Транссиба» указывает на то, что в аннотации на английском языке «необходимо использовать активный, а не пассивный залог, например, “The study tested”, но не “It was tested in the study”» [5].

Текст аннотации должен обладать следующими качествами: быть кратким и чётким, в нём не должно быть второстепенной или малозначащей информации. Например, авторам следует отказаться от таких вводных слов, как «Автор статьи рассматривает...», «в данной статье говорится о...», «следует отметить, что...», «как известно». Текст аннотации также должен быть точным, т. е. в нём не должно быть информации, которая отсутствует в тексте статьи. В аннотации не должно быть оценочных слов, таких как, например, «убедительные доказательства», «автор убеждён», «нет сомнения в том, что...», «интересно отметить, что...», «как нельзя лучше подходит для...». Текст аннотации должен соответствовать структуре статьи, быть логичным и последовательным. Для этого следует использовать вводные слова и словосочетания, например, «во-первых», «во-вторых», «следовательно» и др. Кроме того, следует избегать алогичности в тексте аннотации, как, например, это делают авторы в следующем предложении: «...интенсивное колееобразование приводит к негативному экологическому воздействию леса, в результате чего замедляются лесовосстановительные процессы».

При чтении и редактировании текстов аннотаций к статьям, присылаемым в редакцию журнала, у автора данной статьи создаётся впечатление, что некоторые исследователи либо не вычитывают свои аннотации, либо слабо владеют родным русским языком. Авторы пропускают слова в предложении: «Полученные результаты исследования не могут в полной мере применены», «...появился термин “Биоэкономика”, который имеет достаточно большое различных определений», «А общая закономерность сводится, что при увеличении глубины воздействия, интенсивность давлений уменьшается...». Слабое владение русским языком проявляется в таких предложениях, как, например: «Современные лесовозные автопоезда являются техникой высоких эксплуатационных параметров», «Энергетические лесные плантации как нельзя лучше подходят и к задачам глобального энергетического перехода в экономике Российской Федерации...».

Написание аннотации на английском языке, как правило, является трудной задачей для многих авторов. Для того чтобы полученный текст аннотации на английском языке был написан в соответствии с грамматическими, лексическими и стилистическими правилами языка перевода, авторы должны владеть иностранным языком на достаточном для выполнения этой работы уровне. Можно порекомендовать авторам писать короткие (не более 15—20 слов) предложения в активном залоге и использовать различные клише, т. е. устойчивые выражения и фразы, характерные для описания разделов аннотации. Очень полезной практикой является отбор таких фраз из аннотаций к статьям на английском языке, написанным по тематике автора, и формирование собственного словарика готовых фраз и выражений. В том случае, когда написание аннотации на английском языке представляется авторам невыполнимой задачей, они могут воспользоваться системами МП.

5. Машинный перевод: плюсы и минусы

Как было сказано выше, для статей, написанных на русском языке, аннотация на английском языке является единственным средством информирования мирового научного сообщества о результатах исследований авторов статьи. Однако далеко не всегда качество аннотаций на русском языке и их перевод на английский удовлетворяют критериям удобочитаемости и соответствуют принятым международным академическим и публикационным конвенциям. По нашему мнению, массовое использование авторами систем МП происходит вследствие неосведомлённости авторов о возможностях и ограничениях современных систем МП, а также без учёта требований к качеству исходного текста и необходимости постпереводческого редактирования полученного текста.

Авторы могут использовать системы МП вследствие:

- недостаточного уровня владения английским языком. Статьи и аннотации к ним пишут исследователи, имеющие, как правило, степень кандидата или доктора наук и владеющие английским языком в рамках подготовки и сдачи экзамена кандидатского минимума. Однако, скорее всего, отсутствие практики и неизбежное со временем падение уровня умений и навыков, необходимых для создания грамотных текстов на английском языке, заставляет авторов использовать системы МП;

- неуверенности в своих знаниях и стремления избежать ошибок в английском языке. Авторы прибегают к помощи онлайн-систем автоматического перевода, которые далеко не совершенны. Ошибки, выдаваемые такими системами, не всегда осознаются пользователями [6];

- недостаточного понимания авторами значения аннотации на английском языке. Как отмечалось выше, аннотация на английском языке является единственным источником информации о научных достижениях автора для тех читателей, которые не владеют русским языком. Если этот документ написан неграмотно и не содержит необходимой информации о целях, методах и результатах исследования, то такая публикация в русскоязычном журнале пройдёт незамеченной для международного научного сообщества;

– нехватки времени на написание аннотации в соответствии с нормами русского и английского языков. Эти тексты обычно пишутся в последнюю очередь при подготовке рукописи, сроки подачи рукописи в редакцию журнала требуют быстрее оформления всех её обязательных элементов и авторам может не хватать времени на редактирование аннотаций.

В настоящее время работы по созданию и развитию систем МП ведутся во всём мире. Существуют системы МП, основанные на использовании примеров (example-based machine translation, EBMT), на статистическом анализе результатов МП (statistical machine translation, SMT), на применении нейронных сетей для МП (neural machine translation, NMT). Одной из наиболее востребованных систем МП является Google Translate, с её помощью в мире ежегодно переводится более 30 трлн предложений с более чем ста языков. Л. Зиганшина с соавт. [7] исследовали качество МП; на первое место они поставили систему Google Translate, показавшую наилучшие результаты по качеству и адекватности перевода, второе место заняла система DeepL. По мнению авторов, качество МП, выполненное системой Microsoft Translator, оказалось довольно низким, и текст перевода потребовал наибольшее количество времени на постредактирование.

К положительным характеристикам практики использования систем МП можно отнести быстроту перевода с одного языка на другой, что делает доступными для понимания и изучения миллионы документов, написанных на различных языках. Системы МП помогают экономить время для получения первичного представления о содержании документов, написанных на иностранных языках. В повседневной жизни возможности систем МП нашли применение для быстрого перевода при коммуникации людей разной национальности. Сегодня появляются системы МП, адаптированные под определённые области науки и техники, включающие терминологический глоссарий и позволяющие получать перевод текстов в конкретной области науки и техники и обеспечивающие единство терминологии (consistent terminology use) [8]. Системы МП востребованы в повседневной жизни, в переводе рекламных документов, в создании черновых (draft) вариантов перевода с одного языка на другой. Такие электронные переводчики работают намного быстрее по сравнению с переводчиком-человеком и помогают экономить время для получения первичного представления о содержании того или иного документа.

Однако использование систем МП имеет и существенные недостатки, учитывать которые следует каждому пользователю этих систем. Во-первых, качество МП несравнимо ниже качества перевода, сделанного профессиональным переводчиком; во-вторых, постпереводческое редактирование текста иногда требует больше времени, чем «ручной» перевод; в-третьих, возможные терминологические погрешности могут иметь серьёзные нежелательные последствия в таких областях, как здравоохранение или юриспруденция. Кроме того, существенным недостатком современных систем МП является то, что они только формально анализируют грамматическую структуру высказывания и нацелены

на расширение вокабуляра, но не определяют смысловой или логический центр высказывания.

Как отмечает Chi-Chiang Shei [9], системы МП имеют следующие структурные ограничения:

1) при переводе длинных и сложных предложений система МП делит эти предложения на отдельные фрагменты, переводит их и затем соединяет в одно предложение. Такой подход неизбежно ведёт к появлению грамматических и логических ошибок в тексте перевода;

2) система МП рассматривает каждое предложение отдельно и не отслеживает логические и лексические связи по всему переводимому тексту. Отсюда возникают такие ошибки в переводе, как, например, отсутствие единства терминологии;

3) сложные и длинные фразы, состоящие из нескольких существительных в родительном падеже (явление номинализации, характерное для русского языка), являются трудными для адекватного перевода системами МП.

Машинная переводимость научно-технических текстов с русского языка на английский язык рассматривается в исследовании О. И. Бабиной [10]. Автор приводит перечень маркеров в русскоязычном тексте, которые могут отрицательно влиять на переводимость текста, например: длина предложения более 20 слов; наличие лексической и грамматической омонимии; наличие предлогов «при», «от», «из», которые по-разному могут переводиться на английский язык.

Анализ перечисленных «узких» мест в работе систем МП приводит нас к выводу, что для получения адекватного МП текста необходимо проводить как предпереводческую подготовку текста, так и его постпереводческое редактирование [11].

6. Предпереводческая подготовка исходного текста

При подготовке текста для МП с русского языка на английский язык требуется специальная адаптация исходного текста, т. е. его предпереводческая подготовка для получения адекватного грамотного текста на языке перевода с наименьшими затратами времени на его последующее редактирование. Как было сказано выше, аннотация на английском языке является очень важным и самостоятельным документом, позволяющим зарубежным учёным познакомиться с основными результатами научной работы, выполненной автором статьи. Отсюда следует вывод, что аннотация на английском языке не должна быть буквальным и дословным переводом текста с русского языка на английский. Она должна быть написана в соответствии с грамматическими и стилистическими правилами английского языка.

В данной ситуации следует понимать, что автор аннотации не переводит чужой текст с родного языка на английский язык, а самостоятельно создаёт такой текст, который мог бы наиболее полно удовлетворять тем требованиям, которые предъявляются к текстам, подготовленным для МП. Следовательно, он сам редактирует русскоязычный текст своей аннотации, соблюдая следующие рекомендации:

– писать простые по конструкции предложения, при этом длинные предложения, содержащие несколько мыслей, следует разбивать на несколько более простых. Например, авторы очень часто просто перечисляют выполненные в ходе исследования действия: «В этой связи в статье обозначена необходимость скорейшей ликвидации очагов горения при возникновении лесных пожаров; определены причины неэффективности доставки наземных сил и средств пожаротушения к очагам возгорания; отмечены возможные рычаги повышения эффективности наземной охраны лесов; указана роль оптимального месторасположения пожарно-химических станций в процессе достижения эффективности функционирования системы охраны и защиты лесов от пожаров...». При МП этого текста каждый фрагмент был переведён с использованием разных грамматических конструкций, а затем фрагменты были сведены в единое предложение. Полученное в итоге предложение было абсолютно неудобочитаемо: «In this regard, the article: indicates the need for the earliest possible elimination of combustion centers in the event of forest fires; the reasons for the ineffectiveness of the delivery of ground forces and fire extinguishing means to the fires are determined; possible levers for increasing the efficiency of land-based forest protection are noted; the role of the optimal location of fire-chemical stations in the process of achieving the effectiveness of the functioning of the system of protection and protection of forests from fires is indicated...». Если бы авторы разбили это перечисление действий на несколько простых предложений, написанных в активном («Авторы определили причины...») или пассивном залоге («Была указана роль...»), то перевод таких предложений был бы выполнен по законам английского языка. Авторам также следовало бы обратить внимание на то, как были переведены термины «системы охраны и защиты лесов от пожаров» через повторение слов «protection», но этот этап работы относится уже к постпереводческому редактированию полученного МП текста;

– писать предложения в активном залоге там, где это уместно, например, при описании актуальности проблемы и определении цели исследования, при формулировке выводов о значимости исследования, использовать предложения в пассивном залоге при описании методов и результатов исследования;

– исключать из текста ненужные слова и фразы, не несущие информационной нагрузки (например, «как известно», «следует отметить»). Например, вместо «Имеются экспериментальные данные, свидетельствующие о том, что...» можно написать «Эксперименты показали, что...»; а вместо «В данной статье представлены результаты эксперимента по определению зависимости информационной ёмкости...» можно написать «Информационная ёмкость... зависит от...». Предпереводческое упрощение подобных фраз позволит автору получить ясный и понятный текст аннотации на английском языке.

Однако наиболее важной, по нашему мнению, является способность автора чётко и грамотно выражать свои мысли на родном русском языке. Например, ни одна система МП не переведёт адекватно следующее выражение в предложении: «Эффективным средством исключения травматизма при валке деревьев является использование специальных брьюк от порезов». Мы, русскоязычные читатели, можем догадаться, что имел в виду автор, однако

для любой системы МП это является невыполнимой задачей. Поэтому в присланном авторами тексте аннотации, переведённом с помощью МП, это выражение звучало как «special trousers from cutting», которое в лучшем случае вызвало бы недоумение у зарубежного читателя, а в худшем — недоверие ко всему тексту статьи. Авторам следовало бы продумать, каким образом выразить свою мысль на русском языке. Например, это могли бы быть фразы «брюки, защищающие ноги от порезов» или «брюки, изготовленные из материала, устойчивого к разрезанию». В таком случае варианты перевода включали бы выражения «special trousers to protect the legs from cuts» или «cut-resistant trousers», которые бы чётко и понятно выражали бы мысль автора на английском языке.

7. Постпереводческое редактирование текста

При постпереводческом редактировании полученного МП текста аннотации авторам следует выполнить следующие действия:

- выявить грамматические ошибки в переводе, например, отсутствие согласования между подлежащим и сказуемым, ошибки в использовании видовременных форм глагола, например, использование глагола в настоящем времени вместо прошедшего при описании результатов исследования;

- выявить лексические ошибки; как правило, они возникают при неправильном выборе перевода многозначных слов. Например, в МП текста аннотации встречается неправильный перевод термина «хлыстовая заготовка древесины». Системы МП переводят слово «хлыстовая» как «whip», что обозначает «хлыст для лошадей». Правильным переводом данного термина является фраза «tree-length harvesting»;

- выявить нарушение единства терминологии. Например, в одной из аннотаций автор на протяжении всего текста использовал термин «осадки сточных вод», и только в конце текста написал слово «осадки». Как уже было отмечено выше, системы МП не отслеживают контекстное значение слова и не «понимают», что в данном случае автор имел в виду также «осадки сточных вод». Поэтому последний термин был переведён как «precipitation», т. е. «атмосферные осадки»;

- проверить по электронным словарям и базам данных («Мультитран», Google Scholar) правильность перевода терминов;

- найти и исправить стилистические погрешности; например, повторение одного и того же слова в предложении, чрезмерное и неоправданное использование предложений в пассивном залоге, ненужные и неинформативные слова, номинализация (цепочки существительных в родительном падеже, которые переводятся с помощью многочисленных предлогов «of»).

В настоящее время в помощь авторам появились доступные в Интернете инструменты для постпереводческого редактирования полученного текста на английском языке. Это, например, Grammark <http://grammark.org/dist/#/>, который позволяет самостоятельно редактировать полученный перевод текста, отмечая такие маркеры удобочитаемости, как слишком длинные и сложные для восприятия предложения, избыточное использование

предложений в пассивном залоге, многословность (wordiness), номинализация и др. Ещё одним полезным инструментом является Grammarly (<https://www.grammarly.com>), позволяющий редактировать не только грамматику перевода, но и лексику, и стиль текста на английском языке.

Заключение

Проведённый анализ текстов аннотаций к статьям, опубликованным в журнале Resources and Technologies показал, что авторы далеко не всегда соблюдают требования редакции журнала к структуре и содержанию аннотаций на русском языке. Анализ ошибок, допускаемых в МП текстов аннотаций, присылаемых в редакцию, свидетельствует о том, что не все авторы умеют чётко и кратко формулировать на русском языке основные положения, приводимые в тексте аннотации. Бóльшая часть аннотаций (более 70 %) переводится авторами с помощью систем МП. Однако при этом авторы не проводят постпереводческое редактирование полученного текста на английском языке, что приводит к большому количеству ошибок грамматического, терминологического и стилистического характера.

Анализ возможностей систем МП показал, что грамотный и адекватный МП текстов аннотаций, которые являются в достаточной степени стандартизированными текстами, вполне возможен, однако потребует от авторов дополнительных усилий [12], [13].

Эффективное использование систем МП для написания аннотаций на английском языке возможно при выполнении следующих условий:

1) авторы должны владеть русским языком на уровне, достаточном для формулирования своих мыслей в соответствии с научным стилем изложения, а также владеть английским языком на уровне, достаточном для грамотного редактирования полученного текста МП;

2) на этапе предредактирования (саморедактирования) текста аннотации на русском языке авторы должны помнить о том, что их задача — сделать собственный текст «понятным» для системы МП. Для этого им следует соблюдать следующие правила:

- писать простые предложения, состоящие из 15—20 слов и выражающие одну мысль;
- чаще использовать глаголы в активном залоге;
- выбирать существительные, выражающие конкретное понятие;
- избегать цепочек существительных в родительном падеже, заменяя их, если это возможно, на глаголы;
- исключать из текста ненужные слова, которые усложняют предложение;

3) на этапе постредактирования полученного МП текста на английском языке авторам следует проверить полученный текст на наличие грамматических, лексических и терминологических ошибок. При этом большую помощь могут оказать имеющиеся в свободном доступе в Интернете инструменты, позволяющие не только отредактировать полученный МП текста, но и приобрести навыки самостоятельного редактирования.

Список литературы

1. ГОСТ Р 7.0.99-2018 (ИСО 214:1976) Реферат и аннотация. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160041>. Текст: электронный.
2. Resources and technologies. URL: <https://rt.petsu.ru/info/page.php?id=188>. Текст: электронный.
3. Кузнецова Л. Б., Сучкова С. А. Актив или пассив? «Я» или «Мы»? // Высшее образование в России. 2015. № 8-9. С. 143—148.
4. Journal of marketing. Submission guidelines. URL: <https://www.ama.org/submission-guidelines-journal-of-marketing/>. Text. Image: electronic.
5. Известия Транссиба. Рекомендации к аннотациям. URL: <http://izvestia-transsiba.ru/to-authors/recommendations-for-annotations>. Текст: электронный.
6. Информационные технологии и академическое письмо на английском языке / С. О. Шереметьева, О. И. Бабина, А. Ю. Зиновьева, Е. Д. Неручева // Вестник ЮУрГУ. Серия: Лингвистика. 2019. Т. 16, № 2. С. 36—43. DOI: 10.14529/1r^190205.
7. Assessing Human Post-Editing Efforts to Compare the Performance of Three Machine Translation Engines for English to Russian Translation of Cochrane Plain Language Health Information: Results of a Randomised Comparison / L. Ziganshina L. et al. // Informatics. 2021. No. 8 (1). P. 9. URL: <https://doi.org/10.3390/informatics8010009>. Text. Image: electronic.
8. The importance of consistent terminology in technical translation // N. Axunbabayeva et al. // The scientific heritage. 2020. No. 49. P. 31—33. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/the-importance-of-consistent-terminology-in-technical-translation/>. Text. Image: electronic.
9. Chi-Chiang Shei. Teaching MT Through Pre-editing: Three Case Studies. URL: <https://aclanthology.org/2002.eamt-1.10.pdf>. Text. Image: electronic.
10. Бабина О. И. Проблема переводимости научно-технического текста на русском языке // Bulletin of the South Ural State University Series «Linguistics». 2014. Vol. 11, no. 3. P. 5—14.
11. Добрынина О. Л. Академическое письмо для публикационных целей и машинный перевод: возможен ли симбиоз? // Высшее образование в России. 2021. Т. 30, № 12. С. 87—101. DOI: 10.31992/0869-3617-2021-30-12-87-101.
12. Post-editing in practice — Process, product and networks / Lucas Nunes Vieira et al. // The Journal of Specialised Translation. 2019. Issue 31. URL: https://www.jostrans.org/issue31/art_introduction.pdf. Text. Image: electronic.
13. Albina Silva Loureiro. Linguistic challenges in translating, revising , post-editing and editing academic publications. 2019. URL: <https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/15142/1/Linguistic%20Challenges.pdf>. Text. Image: electronic.

References

1. GOST Р 7.0.99-2018 (ISO 214:1976). Essay and abstract. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160041>. Text. Image: electronic. (In Russ.)
2. Resources and technologies. URL: <https://rt.petsu.ru/info/page.php?id=188>. Text. Image: electronic. (In Russ.)
3. Kuznetsova L. B., Suchkova S. A. Active or passive? «I» or «WE»? *Vysshee obrazovanie v Rossii = Higher Education in Russia*, 2015, no. 8-9, pp. 143—148. (In Russ.)
4. Journal of marketing. Submission guidelines. URL: <https://www.ama.org/submission-guidelines-journal-of-marketing/>. Text. Image: electronic.
5. Izvestia Transsiba. Recommendations to authors for annotations. URL: <http://izvestia-transsiba.ru/to-authors/recommendations-for-annotations>. Text. Image: electronic. (In Russ.)

6. Sheremetyeva S. O., Babina O. I., Zinoveva A. Yu., Nerucheva E. D. Information Technology For Academic Writing in the English Language. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Linguistics*, 2019, vol. 16, no. 2, pp. 36—43. (In Russ.)
7. Ziganshina L. et al. Assessing Human Post-Editing Efforts to Compare the Performance of Three Machine Translation Engines for English to Russian Translation of Cochrane Plain Language Health Information: Results of a Randomised Comparison. *Informatics*, 2021, no. 8 (1), p. 9. URL: <https://doi.org/10.3390/informatics8010009>. Text. Image: electronic.
8. Axunbabayeva N. et al. The importance of consistent terminology in technical translation. *The scientific heritage*, 2020, no. 49, pp. 31—33. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/the-importance-of-consistent-terminology-in-technical-translation/>. Text. Image: electronic.
9. Chi-Chiang Shei. *Teaching MT Through Pre-editing: Three Case Studies*. URL: <https://aclanthology.org/2002.eamt-1.10.pdf>. Text. Image: electronic.
10. Babina O. I. Machine translatability of Russian scientific texts. *Bulletin of the South Ural State University Series «Linguistics»*, 2014, vol. 11, no. 3, pp. 5—14. (In Russ.)
11. Dobrynina O. L. Academic Writing for Publication Purposes and Machine Translation: Is the Symbiosis Possible?. *Vysshee obrazovanie v Rossii = Higher Education in Russia*, 2021, vol. 30, no. 12, pp. 87—101. doi: 10.31992/0869-3617-2021-30-12-87-101. (In Russ., abstract in Eng.).
12. Lucas Nunes Vieira et al. Post-editing in practice — Process, product and networks. *The Journal of Specialised Translation*, 2019, issue 31. URL: https://www.jostrans.org/issue31/art_introduction.pdf. Text. Image: electronic.
13. Albina Silva Loureiro. *Linguistic challenges in translating, revising, post-editing and editing academic publications*. 2019. URL: <https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/15142/1/Linguistic%20Challenges.pdf>. Text. Image: electronic.

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6263

УДК 630*65.011.54

Статья

Исследование параметров новой конструкции мультиблока для ресурсосберегающего восстановления дубрав

Зимарин Сергей Викторович

кандидат технических наук, доцент, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова (Российская Федерация), sezimarin@yandex.ru

Хрипченко Михаил Сергеевич

кандидат технических наук, доцент, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова (Российская Федерация), at-conf@yandex.ru

Четверикова Ирина Владимировна

кандидат технических наук, доцент, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова (Российская Федерация), chivles@rambler.ru

Получена: 23 марта 2022 / Принята: 17 июня 2022 / Опубликовано: 22 июня 2022

Аннотация: В статье исследуется влияние технологических параметров конструкции мультиблока для ресурсосберегающего восстановления дубрав на нераскорчёванных вырубках на качественные показатели. Ресурсосберегающие технологии лесовосстановления, позволяющие избегать корчёвки пней, наносят наименьший вред экологии вырубки и экономят материальные средства. Дисковые орудия в условиях нераскорчёванных вырубок значительно превосходят другие в плане обеспечения требуемой проходимости. Достоинством волновых дисков является низкое сопротивление и, следовательно, небольшое тяговое усилие, что создаёт широкие возможности для снижения энергетических затрат. Исследована конструкция волнового диска, обеспечивающая на нераскорчёванных вырубках требуемое качество образования посевной канавки и обработки почвы в ней. Качество выполнения посевной бороздки определялось равномерностью её глубины. Глубину обработки почвы проверяли в нескольких местах по длине гона по всей ширине захвата агрегата. Представлено описание конструкции и принципа работы энергосберегающего мультиблока. Волновой диск повышает технический уровень современных лесных почвообрабатывающих орудий, что улучшит их конкурентные

преимущества среди прочих лесных машин, используемых для обработки почвы. В результате проведённых экспериментальных исследований получена регрессионная модель влияния скорости агрегата и глубины хода волнового диска на образование посевной бороздки, позволяющая определять его оптимальные параметры, обеспечивающие качественный технологический процесс обработки почвы с наименьшими энергозатратами. Установлено, что снижение затрат при внедрении новой технологии осуществляется за счёт уменьшения числа технологических операций, количества применяемых для этого машин, орудий и оборудования и расхода посевного материала.

Ключевые слова: лесное хозяйство; вырубка леса; ресурсосберегающие технологии; волновой диск; почвообрабатывающие орудия

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6263

Article

Investigation of the parameters of a new multiblock design for resource-saving restoration of oak forests

Sergey Zimarin

PhD in engineering, associate professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov (Russian Federation), sezimarin@yandex.ru

Michael Khripchenko

PhD in engineering, associate professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov (Russian Federation), chivles@rambler.ru

Irina Chetverikova

PhD in engineering, associate professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov (Russian Federation), chivles@rambler.ru

Received: 23 March 2022 / Accepted: / Published:

Abstract: The article examines the influence of technological parameters of the multiblock designed for resource-saving restoration of oak forests in non-uprooted felling on quality indicators. Resource-saving reforestation technologies that avoid uprooting of stumps cause the least harm to the environment and save resources. Disc tools used on non-uprooted clearings ensure the best vehicle cross-country ability. The advantage of wave discs is low resistance and, consequently, low tractive effort thus creating ample opportunities for reducing energy costs. The design of the wave disk, which provides the required quality of a sowing furrow formation and its tillage has been studied. The quality of the sowing furrow was determined by its depth evenness. The depth of tillage was checked in several places along the furrow length and tool operating width. The paper describes the design and principle of operation of an energy-saving multiblock. The wave disk improves the performance standards of modern forestry tillage tools and will allow their competitive advantage enhancement against other forestry tillage machines. As a result of the experimental studies, a regression model of the influence of the unit speed and the depth of the wave disk on the formation of a seed furrow was obtained. The model makes it possible to determine optimal parameters that ensure a high-quality technological process of tillage with the lowest energy costs. The authors have established that the new technology leads to costs

reduction if number of technological operations, machines, tools and equipment is decreased as well as seed expenditure.

Keywords: forestry; deforestation; resource-saving technologies; wave disk; tillage tools

1. Введение

Наиболее ценными лесными насаждениями, произрастающими на территории Российской Федерации и Европы, являются дубравы, имеющие важное хозяйственное значение.

Древесина дуба имеет очень высокий спрос, т. к. является одной из самых лучших для производства столярных изделий, паркета, современной мебели, деревянной посуды и пр.: сочетание таких свойств, как влагоустойчивость, высокая прочность, эстетичность и экологичность, делают дуб одной из ценнейших пород.

Лесоводы ценят дуб за высокую биологическую устойчивость, засухоустойчивость и солевыносливость, поэтому насаждения дуба наилучшим образом выполняют почвозащитные, водоохранные и мелиоративные функции. В XVIII столетии дуб был заслуженно признан незаменимой древесной породой при степном и защитном лесоразведении.

Кроме того, дубравы являются мощнейшими поглотителями углекислого газа на занимаемых ими и прилегающих площадях.

Процесс естественного возобновления дуба даёт недостаточный прирост лесных насаждений, поэтому восстановление и выращивание дубрав необходимо активизировать искусственным путём.

В настоящее время восстановление и выращивание дубрав осуществляется, в основном, посадкой, которая имеет низкую эффективность из-за большого количества технологических операций. Данным исследованиям посвящены работы [1], [2], [3]. Высокую степень энергосбережения может обеспечить лесовосстановление методом посева [4], [5].

Следуя жёстким энергетическим требованиям, мы разработали новую технологию лесовосстановления и multifunctional устройство [6]. Технология учитывает особенности роста и развития дуба, существующие научные наработки и лесокультурный опыт, а также отвечает современным требованиям экономичности, экологичности, технологичности и безопасности. Уменьшение затрат при внедрении новой технологии осуществляется за счёт уменьшения числа технологических операций и применяемых для этого машин, орудий, оборудования и снижения расхода посевного материала (жёлудей).

2. Материалы и методы

Предлагаемый способ [7] включает последовательное выполнение ряда технологических операций одним агрегатом: образование борозды, оборота задерненного почвенного пласта и его укладки в виде сплошной ленты рядом с бороздой сферическим диском с отвалом (рисунок 1); фрезерование и рыхление посевной канавки волновым диском (рисунок 2), высева жёлудей высевающим аппаратом и заделку бороздки катком (рисунок 3).

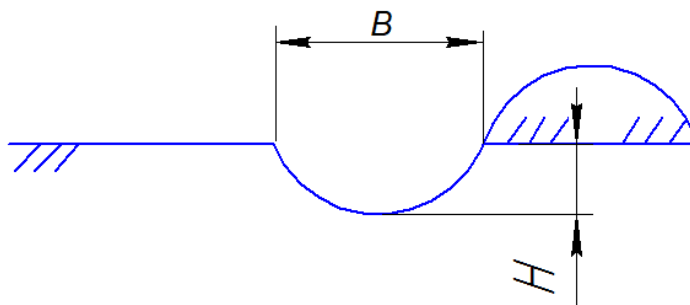


Рисунок 1. Укладка сферическим диском с отвалом

Figure 1. Laying with a spherical disk with a blade

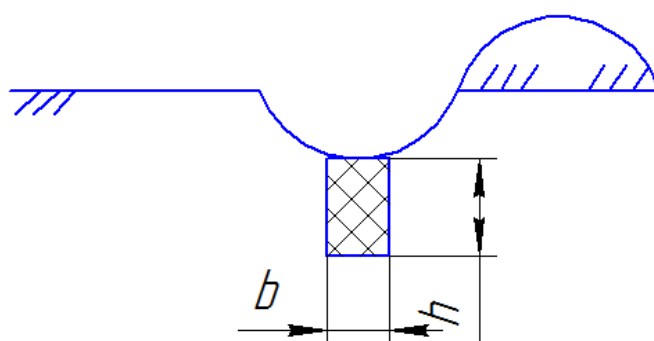


Рисунок 2. Фрезерование и рыхление посевной канавки волновым диском

Figure 2. Rotary cultivation and tillage of the seed furrow with a wave disk

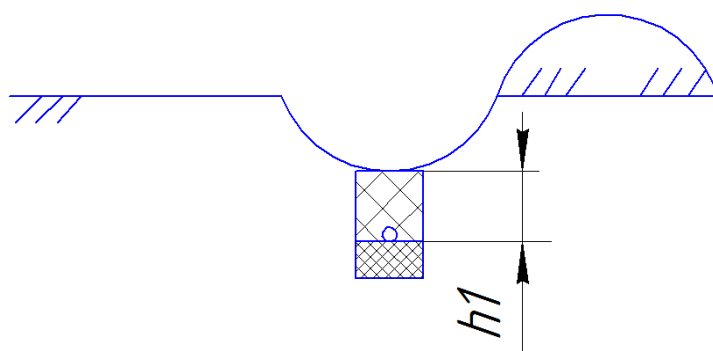


Рисунок 3. Высев и заделка бороздки катком

Figure 3. Seeding and damming of furrows with a roller

Обработка включает подрезание и снятие дернины сферическим диском на глубину $h = 60 \div 80$ мм с образованием бороздки, фрезерование посевной канавки волновым диском глубиной $h = 80 \div 100$ мм и высев семян на расстоянии $h_1 = 20 \div 30$ мм от дна канавки.

Предлагаемое орудие для реализации вышеописанной технологии изображено на рисунке 4. Устройство может агрегатироваться с трактором малой мощности и использоваться в ручном варианте.

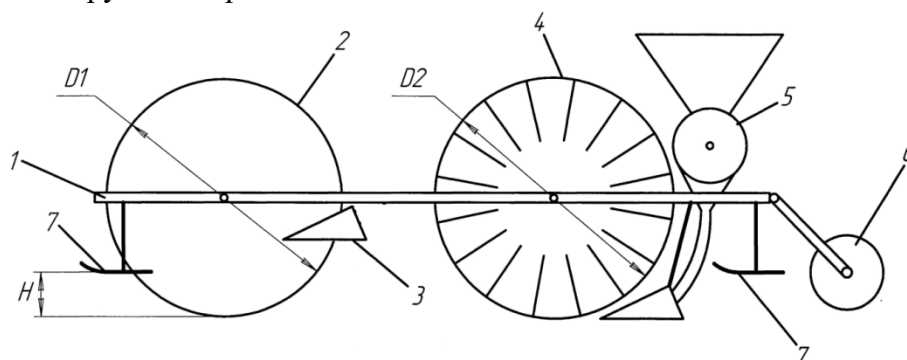


Рисунок 4. Орудие для подрезания и снятия дернины с образованием бороздки, фрезерования посевной канавки: 1 — рама, 2 — сферический диск, 3 — отвал, 4 — волновой диск, 5 — высеваящий аппарат, 6 — прикатывающий каток, 7 — полозья-опоры

Figure 4. The tool for sod cutting and removing with the formation of a furrow, rotary cultivation of the sowing furrow: 1 - frame, 2 - spherical disk, 3 - blade, 4 - wave disk, 5 - seeding machine, 6 - rolling roller, 7 - runners-supports

По условию надёжного оборота почвенного пласта для сферических дисков, работающих без перекрытия, диаметр диска определяют по выражению [8]: $D = \frac{B^2 \cos \beta}{4H \sin^2 \alpha} + \frac{H}{\cos \beta}$, где B , H , α , β — соответственно ширина и глубина бороздки, углы атаки и наклона относительно вертикали сферического диска.

Принимая во внимание описанную выше технологию посева (при $B = 3b$, где b — ширина посевной канавки), диаметр сферического диска определим по выражению $D_1 = (6,7 \div 7,2)H$, а диаметр волнового диска D_2 найдём из соотношения $D_2 = (1,30 \div 1,37)D_1$.

Качество обработки почвы в посевной бороздке является важнейшим показателем, влияющим на процесс лесовосстановления в целом (качество высева жёлудей, их всхожесть, рост и развитие растений). На качество обработки почвы существенное влияние оказывают её технологические свойства: связность, пластичность, липкость и влажность. Обработка почвы в оптимальном интервале влажности позволяет получить лучшее качество крошения, рыхления и перемешивания, обеспечивая высокую степень приживаемости семян, требует меньших тягово-энергетических усилий и затрат [3].

Волновой диск (фото 1), предназначенный для рыхления посевной бороздки, представляет собой металлический диск с гофрированной периферийной поверхностью. Диск, изготовленный из углеродистой стали, установлен на ступице для обеспечения вращения. Диаметр диска составляет 520 мм, а ширина «волн» по периферии равна 30 мм.

Рабочая кромка волнового диска заострена для снижения усилия вхождения в почву.



Фото 1. Волновой диск

Photo 1. The wave disk

Качество выполнения посевной бороздки определялось равномерностью её глубины [9]. Глубину обработки почвы проверяли в нескольких местах по длине гона по всей ширине захвата агрегата. Замеры производили линейкой (фото 2), путём погружения её в рыхлый слой до дна, после выравнивания двух соседних бороздок. Влажность почвы 10 %. При различных поступательных скоростях движения агрегата производили пробные проходы на экспериментальном участке. После прохода измеряли глубину бороздки по описанной выше методике в 10 точках участка. По результатам полученных данных вычисляли среднюю глубину посевной бороздки.



Фото 2. Профиломер-координатор

Photo 2. Profilometer-coordinator

Исследования предполагали построение регрессионной модели влияния скорости агрегата и глубины хода волнового диска на образование посевной бороздки [9]. Для решения поставленной задачи был реализован полный факторный эксперимент.

За варьируемые факторы были приняты: скорость агрегата (v) и глубина хода волнового диска (h) дискового корпуса, обозначение факторов и их уровни представлены в таблице 1. Функция отклика (y) — глубина посевной бороздки.

Таблица 1. Определение уровней и интервалов варьирования факторов

Table 1. Determination of levels and intervals of factors variation

Фактор			Уровни факторов, град.			Интервал варьирования
Наименование	Обозначение					
	Натуральное	Нормализованное	Верхний	Основной	Нижний	
Скорость агрегата, м/с	v	x_1	1,0	0,6	0,2	0,4
Глубина хода волнового диска, мм	h	x_2	120	100	80	20

Для проверки нормальности распределения выходной величины была проведена серия из 30 опытов при $v = 0,6$ м/с, $h = 100$ мм. Результаты этой серии представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты серии опытов

Table 2. The results of a series of experiments

№ опыта	Нв, Вт	№ опыта	Нв, Вт	№ опыта	Нв, Вт
1	86	11	89	21	89
2	88	12	87	22	92
3	87	13	83	23	85
4	88	14	90	24	89
5	86	15	88	25	85
6	89	16	86	26	85
7	88	17	89	27	89
8	90	18	94	28	87
9	88	19	87	29	90
10	93	20	88	30	86

3. Результаты

Статистическая обработка результатов этой серии была проведена с использованием программы Excel (таблица 3), расчётные значения $A_{\text{расч}} = 0,471$, $E_{\text{расч}} = 0,684$.

Таблица 3. Результаты расчёта в Excel

Table 3. Results calculation in Excel

Среднее	88
Стандартная ошибка	0,432
Медиана	88
Стандартное отклонение	2,399
Дисперсия выборки	5,757
Эксцесс	0,684
Асимметричность	0,471
Минимум	83
Максимум	94
Уровень надёжности (95 %)	0,896

Табличные критические значения по абсолютной величине больше расчётных $A_{\text{крит}} > A_{\text{расч}}$ и $E_{\text{крит}} > E_{\text{расч}}$ ($0,865 > 0,684$; $0,661 > 0,471$), что свидетельствует в пользу гипотезы о нормальном распределении выходной величины.

Для уточнения гипотезы о нормальности распределения функции отклика проведём проверку по критерию χ^2 Пирсона. Для этого разбиваем выборку на шесть интервалов (таблица 4).

Расчётное значение критерия χ^2 Пирсона составило 5,19. Табличное значение критерия χ^2 Пирсона для данной выборки при трёх степенях свободы равно 7,815, исходя из ($7,815 > 5,19$), принимаем гипотезу нормального распределения случайной величины.

Определим необходимое количество дублированных опытов (n) по выражению $n = t^2 s^2 / \Delta^2 = 4,24 \approx 5$, где S^2 , Δ , t — соответственно дисперсия, доверительный интервал и критерий Стьюдента.

Матрица планирования основного эксперимента по определению мощности вращения диска и результаты опытов представлены в таблице 5, где \bar{y}_j , S_j^2 — соответственно среднее значение отклика и дисперсия.

Таблица 4. Расчёт критерия Пирсона

Table 4. Calculation of the Pearson criterion

Интер-вал	Левый конец интер- вала	Правый конец интер- вала	Середина интер- вала	Частота (p_i)	$p_i(y_i - y_{cp})^2$	Частоты теоретические ($p_{i\text{теор}}$)	$(p_i - p_{i\text{теор}})^2 / p_{i\text{теор}}$
1	83	84,9	83,95	1	18,547378	1,502269	0,16792897
2	84,9	86,8	85,85	7	40,544311	5,676917	0,30836247
3	86,8	88,7	87,75	10	2,5671111	10,10804	0,00115484
4	88,7	90,6	89,65	9	17,4724	8,480303	0,03184856
5	90,6	92,5	91,55	1	10,846044	3,352319	1,65062038
6	92,5	94,4	93,45	2	53,941422	0,624409	3,0304657

Таблица 5. Матрица планирования эксперимента

Table 5. Experiment planning matrix

№ опыта	x_1	x_2	x_1x_2	y_1 , см	y_2 , см	y_3 , см	y_4 , см	y_5 , см	y_i	s_i
1	-1	-1	1	67	65	68	67	69	67,2	2,2
2	1	-1	-1	72	73	72	75	70	72,4	3,3
3	-1	1	-1	104	106	106	101	104	104,2	4,2
4	1	1	1	113	112	114	114	113	113,2	0,7

По критерию Кохрена проводим проверку однородности дисперсий опытов. Наибольшая дисперсия четвёртого опыта $S_4^2 = 4,2$. Отсюда $G_{расч} = 0,4038$.

По таблице распределения критерия Кохрена для нашего случая находим $G_{табл} = 0,72$. Неравенство $G_{расч} < G_{табл}$ позволяет сделать вывод об однородности дисперсий опытов. Регрессионную модель тягового усилия будем искать в виде многочлена $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2$. Расчётные коэффициенты регрессионной модели представлены в таблице 6.

Таблица 6. Коэффициенты регрессии математической модели

Table 6. Regression coefficients of the mathematical model

b_0	b_1	b_2	b_{12}
89,25	3,55	19,45	0,95

Предварительно определяем дисперсии коэффициентов регрессии: $S^2\{b_i\} = 0,13$.

Для каждого коэффициента регрессии среднееквадратичное отклонение составляет: $S\{b_i\} = 0,36$.

Оценку значимости коэффициентов регрессии проводим, рассчитывая неравенство $|b_i| \leq t_{табл} S\{b_i\}$.

Из таблиц t -распределения Стьюдента выбираем значение $t_{табл}$ при уровне значимости $q = 0,01$ и числе степеней свободы $f_y = 4$. Тогда $t_{табл} = 2,92$, следовательно, $t_{табл} S\{b_i\} = 1,05$.

Вышеуказанное соотношение не выполняется для коэффициентов b_{12} ($0,95 < 1,05$), поэтому этот коэффициент будем считать не значимым, а член $b_{12}x_1x_2$ исключаем из выражения.

Отбросив незначимые члены, получим регрессионную модель в следующем виде:

$$Y = 89,25 + 3,55 x_1 + 19,45 x_2. \quad (1)$$

Адекватность полученной модели проверим по F -критерию Фишера ($F_{табл}$), если $F_{расч} < F_{табл}$, то модель считается адекватной. В нашем случае расчётное значение $F_{расч} = 6,94$, а $F_{табл} = 8,53$, условие $F_{расч} < F_{табл}$ ($6,94 < 8,53$) выполняется, следовательно, модель адекватна и может быть использована для описания объекта исследования.

Используя выражение $x_i = \frac{\tilde{x}_i - \tilde{x}_{i0}}{I_i}$, где \tilde{x}_i , x_i — соответственно натуральное и нормализованное значение фактора; I_i — интервал варьирования; \tilde{x}_{i0} — натуральное значение основного уровня, определим:

$$x_1 = (v - 0,6) / 0,4, \quad (2)$$

$$x_2 = (h - 100) / 20. \quad (3)$$

Подставив выражения (2), (3) в формулу (1) и выполнив преобразования, получим уравнение регрессии в натуральном виде:

$$y (mm) = -13,33 + 8,87v + 0,973h. \quad (4)$$

Проведён графический анализ полученной модели (4), представленный на рисунках 5, 6, 7.

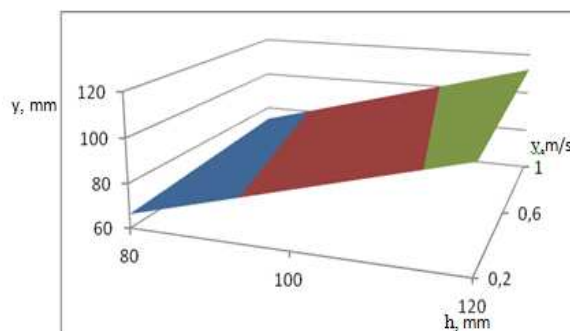


Рисунок 5. График зависимости глубины посевной бороздки от скорости орудия и глубины хода волнового диска

Figure 5. Graph of the seeding furrow depth dependence on the tool speed and wave disk digging depth

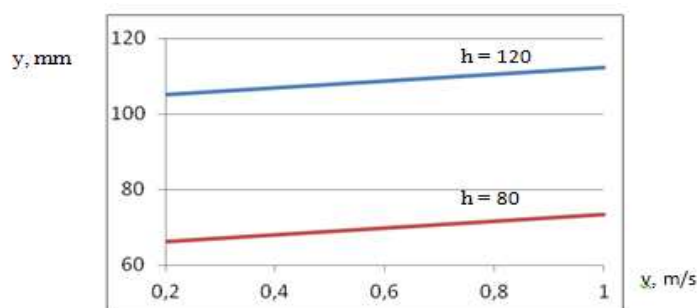


Рисунок 6. Графики зависимости глубины посевной бороздки от скорости орудия

Figure 6. Graphs of the seed furrow depth dependence on the tool speed

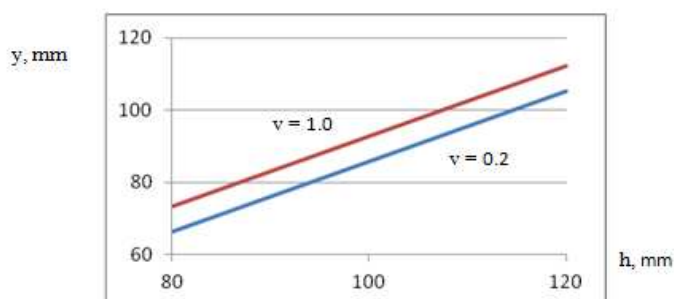


Рисунок 7. График зависимости глубины посевной бороздки от глубины хода волнового диска

Figure 7. Graph of the seed furrow depth dependence on the wave disk digging depth

Проанализировав результаты, можно отметить, что наиболее значимое влияние на глубину посевной бороздки оказывает изменение глубины хода волнового диска, менее сильное — изменение скорости орудия. С увеличением глубины хода волнового диска и скорости орудия глубина посевной бороздки повышается.

4. Заключение

Исследования позволили обосновать новую ресурсосберегающую технологию для восстановления дубрав посевом [7], разработать конструкцию орудия для реализации данной технологии, которая обеспечит требуемое качество высева и приживаемости сеянцев на лесных площадях; построить математическую модель влияния скорости агрегата и глубины хода волнового диска на образование посевной бороздки, позволяющую рекомендовать оптимальную глубину посевной бороздки для лесовосстановления посевом [10], [11], [12]. В результате проведённых исследований установлено, что в целях обеспечения требуемой глубины посевной бороздки необходимо установить глубину хода волнового диска больше минимальной величины глубины посевной бороздки. В процессе проведённой оптимизации выявлено, что оптимальной глубиной хода волнового диска является глубина, равная 10 см. При значениях глубины хода менее 10 см не будет обеспечиваться образование необходимой глубины посевной бороздки. Глубина хода волнового диска более 10 см нецелесообразна, т. к. ведёт к существенным энергопотерям, причём глубина рыхления посевной бороздки колеблется в пределах $\pm 6,2\%$ в зависимости от неровностей поверхности почвы. По результатам влияния скорости движения орудия на глубину посевной бороздки установлено, что происходит незначительное линейное увеличение средней глубины. Полученная регрессионная модель влияния скорости агрегата и глубины хода волнового диска на образование посевной бороздки, которая в дальнейшем может быть использована при разработке почвообрабатывающих машин.

С увеличением скорости движения орудия происходит незначительное линейное увеличение средней глубины посевной бороздки. Таким образом, скорость движения агрегата оказывает малое влияние на глубину посевной бороздки, образуемой волновым диском.

Список литературы

1. Direct Seeding Black Spruce and Jack Pine: A Field Guide for Northern Ontario / M. J. Adams [et al.]. 2005. 528 p.
2. *Kushnaryov A. S.* Disk cutter is a new soil-processing tool, providing the transition from the traditional agricultural production technology to the energy-saving technology of No-till. 2010.
3. Study of static and dynamic ploughing mechanisms by establishing generalized model with static milling forces / M. Wan M [et al.] // International Journal of Mechanical Sciences 114. 2016. P. 120—131. DOI: 10.1016/j.ijmecsci.2016.05.010.
4. *Grossnickle S. C., Ivetić V.* Direct Seeding in Reforestation // A Field Performance Review Reforesta 4. 2017. P. 94—142. DOI: 10.21750/REFOR.4.07.46.

5. Wennström U. Direct seeding of *Pinussylvestris* (L.) in the boreal forest using orchard or stand seed: PhD Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. 2001.
6. Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019 / M. S. Khripchenko, A. I. Novikov, A. Goncharov, E. V. Snyatkov // Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020. 33, Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020. 2019. P. 2438—2445.
7. Патент на изобретение 2727834 C1, 24.07.2020 / С. В. Зимарин, М. В. Драпалюк, М. С. Хрипченко, И. В. Четверикова. Заявл. № 2019144354 от 24.12.2019.
8. Нартов П. С. Дисковые почвообрабатывающие орудия. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1972. 181 с.
9. Chaudhary A. Testing of tillage implements: disc plough, mouldboard plough and disc harrow. 2019. DOI: 10.13140/RG.2.2.25608.67840.
10. Evaluating the success of direct seeding for tropical forest restoration over ten years' / M. G. Freitas [et al.]. // Forest Ecology and Management 438. 2019. P. 224—232. DOI: 10.1016/j.foreco.2019.02.024.
11. Chaudhary A. 2019 Testing of tillage implements: disc plough mouldboard plough and disc harrow. 2019. DOI: 10.13140/RG.2.2.25608.67840.
12. Зимарин С. В., Четверикова И. В. К обоснованию параметров корпуса дискатора для нераскорчёванных вырубков // Resources and Technology. 2020. № 3 (17). С. 97—110. DOI: 10.15393/j2.art.2020.5382.

References

1. Adams M. J. et al. *Direct Seeding Black Spruce and Jack Pine: A Field Guide for Northern Ontario*, 2005. 528 p.
2. Kushnaryov A. S. *Disk cutter is a new soil-processing tool, providing the transition from the traditional agricultural production technology to the energy-saving technology of No-till*. 2010.
3. Wan M. et al. Study of static and dynamic ploughing mechanisms by establishing generalized model with static milling forces. *International Journal of Mechanical Sciences* 114, 2016, pp. 120—131. doi: 10.1016/j.ijmecsci.2016.05.010.
4. Grossnickle S. C., Ivetić V. Direct Seeding in Reforestation. *A Field Performance Review Reforesta* 4, 2017, pp. 94—142. doi: 10.21750/REFOR.4.07.46.
5. Wennström U. *Direct seeding of Pinussylvestris* (L.) in the boreal forest using orchard or stand seed: PhD Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. 2001.
6. Khripchenko M. S., Novikov A. I., Goncharov A., Snyatkov E. V. Reducing the impact of transport machinery and equipment on the environment during reforestation 2019 An innovative approach Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference IBIMA 2019. *Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020*, 2019, pp. 2438—2445 (In Russ.)
7. Zimarin S. V., Drapalyuk M. V., Khripchenko M. S., Chetverikova, I. V. RU Patent no. 2727834 C1, 24 december 2019. (In Russ.)
8. Nartov P. S. Disk tillage equipment [Diskovye pochvoobrabatyvayushchie orudiya]. Voronezh, VSU Publishing House, 1972. (In Russ.)
9. Chaudhary A. *Testing of tillage implements: disc plough, mouldboard plough and disc harrow*, 2019. doi: 10.13140/RG.2.2.25608.67840.
10. Freitas M. G. et al. Evaluating the success of direct seeding for tropical forest restoration over ten years'. *Forest Ecology and Management* 438, 2019, pp. 224—232. doi: 10.1016/j.foreco.2019.02.024.

11. Chaudhary A. *Testing of tillage implements: disc plough mouldboard plough and disc harrow*. 2019. doi: 10.13140/RG.2.2.25608.67840.
12. Zimarin S. V., Chetverikova I. V. The study of the process of the turnover of soil layer body of the disc cutter on proscaronline clearings. *Resources and Technology*, 2020, no. 3 (17), pp. 97—110. doi: 10.15393/j2.art.2020.5382. (In Russ.)

© Зимарин С. В., Хрипченко М. С., Четверикова И. В., 2022

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6303

УДК 630.2

Статья

Регрессионный анализ и оценка факторов ремонтпригодности лесных машин

Шиловский Вениамин Николаевич

доктор технических наук, профессор, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация), shisvetnik@yandex.ru

Скобцов Игорь Геннадьевич

доктор технических наук, доцент, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация), iskobtsov@mail.ru

Конанов Дмитрий Геннадьевич

старший преподаватель кафедры транспортных и технологических машин и оборудования, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация), konanovdmity17@gmail.com

Получена: 6 апреля 2022 / Принята: 17 июня 2022 / Опубликовано: 23 июня 2022

Аннотация: Работа посвящена оценке влияния эксплуатационных факторов на ремонтпригодность лесных машин. Цель работы заключается в обосновании и апробации порядка оценки факторов, определяющих ремонтпригодность транспортно-технологических машин, с использованием методов корреляции и регрессии. В первой части статьи представлен краткий обзор статистических методов анализа факторов эксплуатационной технологичности. Вторая часть статьи посвящена построению уравнения регрессии и определению значений коэффициентов в модели. В качестве факторов, определяющих продолжительность технических воздействий, приняты длительность эксплуатации лесных машин, стаж работы ремонтных рабочих и техническая оснащённость ремонтной базы. Связь между факторами и продолжительностью технических воздействий представлена в виде множественной линейной модели. В качестве показателей тесноты связи между исследуемыми переменными величинами использованы парные коэффициенты корреляции. Для определения коэффициентов регрессии линейной модели использована система нормальных уравнений. В третьей части статьи проведён анализ полученного уравнения регрессии. В качестве критерия правильности и полноты отбора факторов использован коэффициент детерминации. По полученной величине критерия был

сделан вывод о достаточно высоком уровне полноты учёта совокупности факторов, влияющих на продолжительность технического обслуживания и ремонта машин. Проведена проверка значимости коэффициентов уравнения регрессии с использованием критерия Стьюдента. По результатам проверки все рассматриваемые факторы признаны значимыми для оценки продолжительности технических воздействий. Наибольшее влияние на продолжительность технических воздействий оказывает техническое состояние машины, зависящее от длительности её эксплуатации. Влияние стажа работы (квалификации) исполнителей и уровня оснащённости ремонтно-обслуживающей базы незначительно отличаются друг от друга, однако уровень оснащённости ремонтной базы является более значимым.

Ключевые слова: эксплуатационная технологичность; линейная модель; регрессионный анализ; коэффициент детерминации; лесная машина

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6303

Article

Regression Analysis and Evaluation of Forest Machine Maintainability Factors

Veniamin Shilovsky

*D. Sc. in engineering, professor, Petrozavodsk State University (Russian Federation),
shisvetnik@yandex.ru*

Igor Skobtsov

*D. Sc. in engineering, associate professor, Petrozavodsk State University (Russian Federation),
iskobtsov@mail.ru*

Dmitriy Konanov

*senior lecturer of the department of transport and technological machines and equipment,
Petrozavodsk State University (Russian Federation), konanovdmitry17@gmail.com*

Received: 4 April 2022 / Accepted: 17 June 2022 / Published: 23 June 2022

Abstract: The paper deals with the estimation of operational factors affecting forest machine maintainability. The main goal of this study is to substantiate and test the order of operational factors estimation using correlation and regression methods. A brief description of statistical methods of operational factor analysis is presented in the first part of the paper. The second part of the paper presents the obtained multiple regression equation and determined values of beta coefficients. Operation time of forest machine, staff employment period and servicing base technological infrastructure are accepted as independent variables determining servicing time. The interaction between independent variables and servicing time is presented as a multiple equation of linear regression. Pair correlation coefficients are used as indices of close linkage among the analyzed variable quantities. The system of normal equations is used to determine the regression coefficients of the linear model. The analysis of the obtained regression equation is given in the final part of the paper. The coefficient of determination is used as the accuracy and completeness criterion of factor selection. According to the obtained value of the criterion, it was concluded that the level of completeness of factor selection is sufficiently high. The statistical significance of regression coefficients is verified using Student's test. All considered factors are recognized as significant for servicing time estimation according to the results of verification. Furthermore, operation time of forest machine is recognized as the general maintenance factor affecting the duration

of technical impacts. The effects of the staff employment period and the servicing base technological infrastructure differ slightly from each other; however, the servicing base technological infrastructure factor is more significant.

Keywords: operational efficiency; linear model; regression analysis; coefficient of determination; forest machine

1. Введение

Технологичность конструкций лесных машин является функцией целого ряда факторов: конструктивных, производственных и эксплуатационных. Влияние этих факторов на характеристики эксплуатационной технологичности (ЭТ) определяется как назначением и конструктивными особенностями, так и условиями эксплуатации, технического обслуживания (ТО) и ремонта машин. Оценка влияния данных факторов на ремонтпригодность как одного из показателей ЭТ лесных машин является актуальной задачей, связанной с минимизацией затрат на их техническую эксплуатацию и, следовательно, снижением себестоимости получаемой продукции [1], [2]. Решение данной задачи возможно путём аналитического обобщения данных эксплуатации с использованием методов теории вероятностей и математической статистики [3—5].

Для оценки степени влияния эксплуатационных факторов на ремонтпригодность находят применение методы анализа корреляции и регрессии, имеющие глубокую историю своего развития [6], [7]. В задачи регрессионного анализа входит получение статистической модели, устанавливающей связь между, например, ремонтпригодностью как признаком ЭТ и факторами, определяющими величины показателей ремонтпригодности [8]. Значение интервала изменения рассматриваемых параметров определяет вид (порядок): при снижении величины интервала целесообразно применение линейного уравнения связи [9]. В линейном случае в качестве показателей тесноты связи между исследуемыми случайными величинами используются парные коэффициенты корреляции. При этом следует учитывать, что некоторые коэффициенты парной корреляции между факторами могут быть достаточно велики и даже близки по абсолютной величине к единице. Это свидетельствует о том, что проводится изучение не самих факторов, определяющих изменчивость признака, а зависимых от них случайных величин. В связи с этим представляется целесообразным отбрасывать один из таких коррелированных факторов [6]. В то же время значения коэффициентов регрессии зависят от полноты учёта совокупности факторов, определяющих изменчивость признака. Одним из критериев правильности и полноты отбора факторов является коэффициент детерминации R^2 [7]. При этом, если значение R^2 достаточно велико (например, $R^2 > 0,5$), то это значит, что влияющие факторы учтены с необходимой полнотой и значения оценок коэффициентов регрессии близки к истинным значениям [10].

Важным в статистических исследованиях является анализ полученного уравнения регрессии. Для этого необходимо проведение проверки гипотезы о соответствии построенной модели результатам наблюдений. Критерием проверки гипотезы об адекватности уравнения регрессии, как правило, служит F-критерий Фишера (критерий дисперсионного отношения), а для проверки значимости коэффициентов модели — t-критерий Стьюдента [11]. Таким образом, цель работы заключается в обосновании и апробации порядка оценки факторов ЭТ, определяющих ремонтпригодность лесных машин с использованием методов анализа корреляции и регрессии.

2. Материалы и методы

Рассмотрим факторы ЭТ на примере лесозаготовительных машин (ЛЗМ), представив их в виде Древа целей и задач оценки и улучшения ЭТ и повышения эффективности ЛЗМ (см. рисунок, где приняты следующие обозначения: ТСМ — топливно-смазочные материалы; ПЦТО — пункт централизованного технического обслуживания; ППТО — передвижной пункт технического обслуживания; РММ — ремонтно-механические мастерские; РМЗ — ремонтно-механический завод; СТО — станция технического обслуживания; ЗПЧ — запасные части).

Для проведения исследования и оценки влияния эксплуатационных факторов на ремонтпригодность объекта методом регрессионного анализа определим номенклатуру факторов (X_i), определяющих продолжительность технических воздействий на транспортно-технологические машины:

- длительность эксплуатации машин (X_1);
- стаж работы ремонтных рабочих (X_2);
- техническая оснащённость ремонтной базы (X_3).

Определим влияние данных факторов на продолжительность технического обслуживания и текущего ремонта (Y) машин. Статистические характеристики исследуемых факторов, полученные по результатам 175 наблюдений ($n = 175$), приведены в таблице 1.

Таблица 1. Величины среднестатистических значений исследуемых параметров

Table 1. The statistical values of research parameters

Исследуемые параметры	Обозначение	Среднее значение	Среднее квадратическое отклонение
Срок эксплуатации машин, 10^{-3} , ч	X_1	12,90	3,00 [$S(X_1)$]
Стаж работы ремонтных рабочих, 10^{-2} , лет	X_2	0,05	0,01 [$S(X_2)$]
Техническая оснащённость ремонтной базы, 10^{-7} , тыс. руб	X_3	0,09	0,02 [$S(X_3)$]
Продолжительность технических воздействий, ч	Y	3,10	0,70 [$S(Y)$]

Связь между продолжительностью технических воздействий Y и факторами исследуем в виде множественной линейной модели

$$Y = C_0 + C_1 \cdot X_1 + C_2 \cdot X_2 + C_3 \cdot X_3 + E, \quad (1)$$

где C_0 , C_i — неизвестные параметры (коэффициенты) модели, значения которых оцениваются в ходе обработки опытных данных; E — остаток, характеризующий ошибку эксперимента и ошибку выбора модели.

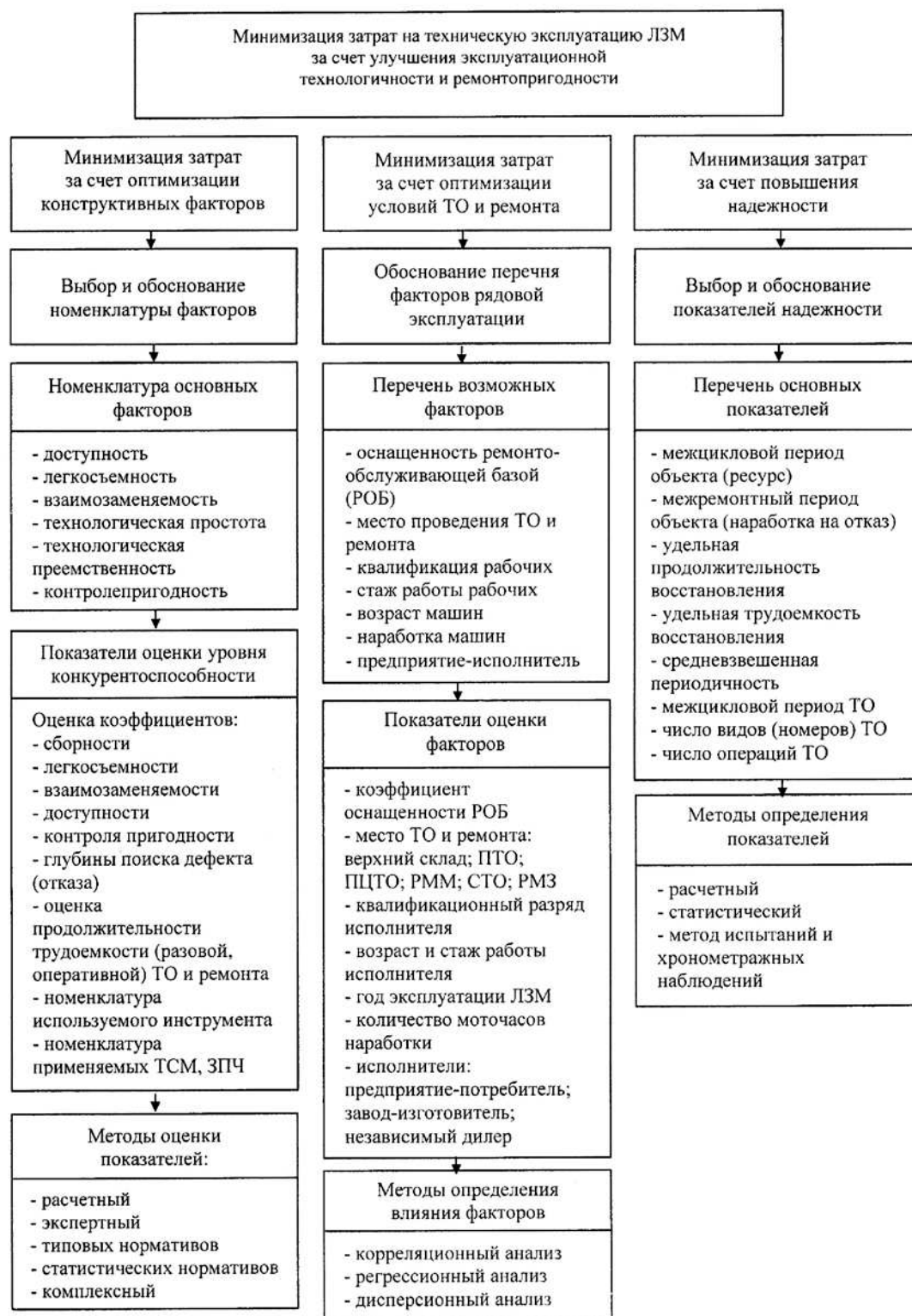


Рисунок. Дерево целей и задач по повышению эксплуатационной технологичности ЛЗМ

Figure. Aims and tasks tree for increasing forest machine operational efficiency

Статистические значения парных коэффициентов корреляции между величинами X_i и Y определяются по формуле [6]

$$r_{YX_i} = \frac{1}{nS(X)S(Y)} \sum_{u=1}^n (x_{iu} - \bar{X}_i)(y_u - \bar{Y}). \quad (2)$$

Коэффициенты корреляции между величинами X_i и X_j определяются по формуле

$$r_{X_i X_j} = \frac{1}{nS(X_i)S(X_j)} \sum_{u=1}^n (x_{iu} - \bar{X}_i)(x_{ju} - \bar{X}_j), \quad (3)$$

где n — число наблюдений (объём выборки); $\bar{Y}, \bar{X}_i, \bar{X}_j$ — выборочные средние случайных величин Y, X_i и X_j ;

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_u y_u, \quad \bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_u x_{iu}, \quad \bar{X}_j = \frac{1}{n} \sum_u x_{ju}; \quad (4)$$

$S(Y), S(X_i), S(X_j)$ — оценки средних квадратических отклонений случайных величин Y, X_i и X_j ;

$$S(Y) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{u=1}^n (y_u - \bar{Y})^2},$$

$$S(X_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{u=1}^n (x_{iu} - \bar{X}_i)^2}, \quad (5)$$

$$S(X_j) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{u=1}^n (x_{ju} - \bar{X}_j)^2}.$$

3. Результаты

В результате расчётов получены значения коэффициентов парной корреляции, представленные в таблице 2.

Таблица 2. Величины коэффициентов парной корреляции

Table 2. Values of pair correlation coefficients

Факторы	Y	X_1	X_2	X_3
X_1	0,56	1,00	0,03	0,18
X_2	0,30	0,03	1,00	0,33
X_3	0,37	0,18	0,33	1,00
Y	1,00	0,56	0,30	0,37

В стандартизированном масштабе уравнение регрессии имеет вид [10]:

$$t_Y = d_1 \cdot t_{X_1} + d_2 \cdot t_{X_2} + d_3 \cdot t_{X_3}, \quad (6)$$

где $t_Y = \frac{Y - \bar{Y}}{S(Y)}$; $t_{X_i} = \frac{X_i - \bar{X}_i}{S(X_i)}$.

Система нормальных уравнений, используемая для определения значений коэффициентов регрессии, имеет вид: [7]

$$\begin{aligned} r_{YX_1} &= d_1 + d_2 \cdot r_{X_2X_1} + d_3 \cdot r_{X_3X_1}, \\ r_{YX_2} &= d_1 \cdot r_{X_1X_2} + d_2 + d_3 \cdot r_{X_3X_2}, \end{aligned} \quad (7)$$

$$r_{YX_3} = d_1 \cdot r_{X_1X_3} + d_2 \cdot r_{X_2X_3} + d_3.$$

Значения оценок d_i находятся методом определителей, для чего вычисляем определитель $\Delta(R_m)$, когда $m = 4$ ($m = k + 1$, где $k = 3$, т. е. отражает число факторов) [10].

Определитель системы нормальных уравнений:

$$\Delta(R_4) = \begin{vmatrix} 1,00 & 0,03 & 0,18 \\ 0,03 & 1,00 & 0,33 \\ 0,18 & 0,33 & 1,00 \end{vmatrix} = 0,86. \quad (8)$$

Значения определителей $\Delta_1(R_4)$, $\Delta_2(R_4)$, $\Delta_3(R_4)$:

$$\begin{aligned} \Delta_1(R_4) &= \begin{vmatrix} 0,56 & 0,03 & 0,18 \\ 0,30 & 1,00 & 0,33 \\ 0,37 & 0,33 & 1,00 \end{vmatrix} = 0,44; \\ \Delta_2(R_4) &= \begin{vmatrix} 1,00 & 0,56 & 0,18 \\ 0,03 & 0,30 & 0,33 \\ 0,18 & 0,37 & 1,00 \end{vmatrix} = 0,19; \\ \Delta_3(R_4) &= \begin{vmatrix} 1,00 & 0,03 & 0,56 \\ 0,03 & 1,00 & 0,30 \\ 0,18 & 0,33 & 0,37 \end{vmatrix} = 0,18. \end{aligned} \quad (9)$$

Значения оценок стандартизированных коэффициентов:

$$d_1 = \frac{\Delta_1(R_4)}{\Delta(R_4)} = \frac{0,44}{0,86} = 0,51; \quad d_2 = \frac{\Delta_2(R_4)}{\Delta(R_4)} = \frac{0,19}{0,86} = 0,22; \quad d_3 = \frac{\Delta_3(R_4)}{\Delta(R_4)} = \frac{0,18}{0,86} = 0,21. \quad (10)$$

Определим величины коэффициентов регрессии в натуральном масштабе [6]:

$$\begin{aligned} b_1 &= d_1 \frac{S(Y)}{S(X_1)} = 0,51 \cdot \frac{0,70}{3,00} = 0,12; \\ b_2 &= d_2 \frac{S(Y)}{S(X_2)} = 0,22 \cdot \frac{0,70}{0,01} = 15,40; \\ b_3 &= d_3 \frac{S(Y)}{S(X_3)} = 0,21 \cdot \frac{0,70}{0,02} = 7,35; \end{aligned} \quad (10)$$

$$b_0 = \bar{Y} - b_1 \bar{X}_1 - b_2 \bar{X}_2 - b_3 \bar{X}_3 = 3,1 - 0,12 \cdot 12,90 - 15,40 \cdot 0,05 - 7,35 \cdot 0,09 = 0,12.$$

Таким образом, уравнение регрессии, учитывающее три рассматриваемых фактора, приобретает вид:

$$Y = 0,12 + 0,12 \cdot X_1 + 15,40 \cdot X_2 + 7,35 \cdot X_3. \quad (11)$$

Для оценки полноты отобранных факторов определим величину множественного коэффициента корреляции и коэффициента детерминации [6].

Коэффициент корреляции

$$R_{Y \times X_1 X_2 X_3} = \sqrt{d_1 \cdot r_{YX_1} + d_2 \cdot r_{YX_2} + d_3 \cdot r_{YX_3}} = \sqrt{0,51 \cdot 0,56 + 0,22 \cdot 0,30 + 0,21 \cdot 0,37} = 0,65. \quad (12)$$

Коэффициент детерминации

$$R_{Y \times X_1 X_2 X_3}^2 = 0,65^2 = 0,43. \quad (13)$$

Следовательно, изменчивость продолжительности ремонта обусловлена действием рассматриваемых факторов на 43 %, а остальная часть — действием неучтённых факторов. Для оценки значимости рассматриваемых факторов проведём дисперсионный анализ [12]:

Определим дисперсии коэффициентов регрессии:

$$S(b_0) = \frac{S(Y)}{\sqrt{n}} = \frac{0,70}{\sqrt{175}} = 0,053. \quad (14)$$

Для вычисления значений $S(b_1)$, $S(b_2)$ и $S(b_3)$ определяем величины $R_{X_1 \times X_2 X_3}$, $R_{X_2 \times X_1 X_3}$, $R_{X_3 \times X_1 X_2}$:

$$\begin{aligned} R_{X_1 \times X_2 X_3} &= \frac{r_{X_1 X_2}^2 + r_{X_1 X_3}^2 - 2r_{X_1 X_2} \cdot r_{X_1 X_3} \cdot r_{X_2 X_3}}{1 - r_{X_2 X_3}^2} = \frac{0,03^2 + 0,18^2 - 2 \cdot 0,03 \cdot 0,18 \cdot 0,33}{1 - 0,33^2} = 0,033; \\ R_{X_2 \times X_1 X_3} &= \frac{r_{X_1 X_2}^2 + r_{X_2 X_3}^2 - 2r_{X_1 X_2} \cdot r_{X_1 X_3} \cdot r_{X_2 X_3}}{1 - r_{X_1 X_3}^2} = \frac{0,03^2 + 0,33^2 - 2 \cdot 0,03 \cdot 0,18 \cdot 0,33}{1 - 0,18^2} = 0,11; \end{aligned} \quad (15)$$

$$R_{X_3 \times X_1 X_2} = \frac{r_{X_1 X_3}^2 + r_{X_2 X_3}^2 - 2r_{X_1 X_2} \cdot r_{X_1 X_3} \cdot r_{X_2 X_3}}{1 - r_{X_1 X_2}^2} = \frac{0,18^2 + 0,33^2 - 2 \cdot 0,03 \cdot 0,18 \cdot 0,33}{1 - 0,33^2} = 0,14.$$

Тогда значения средних квадратичных отклонений коэффициентов регрессии равны:

$$\begin{aligned} S(b_1) &= \frac{S(Y)}{\sqrt{n}S(X_1)} \cdot \frac{\sqrt{1 - R_{Y \times X_1 X_2 X_3}^2}}{\sqrt{1 - R_{X_1 \times X_2 X_3}^2}} = \frac{0,70}{\sqrt{175} \cdot 3,00} \cdot \frac{\sqrt{1 - 0,65^2}}{\sqrt{1 - 0,033^2}} = 0,014; \\ S(b_2) &= \frac{S(Y)}{\sqrt{n}S(X_2)} \cdot \frac{\sqrt{1 - R_{Y \times X_1 X_2 X_3}^2}}{\sqrt{1 - R_{X_2 \times X_1 X_3}^2}} = \frac{0,70}{\sqrt{175} \cdot 0,01} \cdot \frac{\sqrt{1 - 0,65^2}}{\sqrt{1 - 0,11^2}} = 4,03; \\ S(b_3) &= \frac{S(Y)}{\sqrt{n}S(X_3)} \cdot \frac{\sqrt{1 - R_{Y \times X_1 X_2 X_3}^2}}{\sqrt{1 - R_{X_3 \times X_1 X_2}^2}} = \frac{0,70}{\sqrt{175} \cdot 0,02} \cdot \frac{\sqrt{1 - 0,65^2}}{\sqrt{1 - 0,14^2}} = 1,61. \end{aligned} \quad (16)$$

Значимость коэффициентов регрессии проверим по критерию Стьюдента при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $f = n - 1 = 174$. Значение квантиля распределения Стьюдента $t_{0,95;174} = 1,97$ [10].

Тогда

$$\begin{aligned} t_{b_0} &= \frac{b_0}{S(b_0)} = \frac{0,12}{0,053} = 2,26 > t_{0,95;174} = 1,97; \\ t_{b_1} &= \frac{b_1}{S(b_1)} = \frac{0,12}{0,014} = 8,57 > t_{0,95;174} = 1,97; \\ t_{b_2} &= \frac{b_2}{S(b_2)} = \frac{15,40}{4,03} = 3,82 > t_{0,95;174} = 1,97; \\ t_{b_3} &= \frac{b_3}{S(b_3)} = \frac{7,35}{1,61} = 4,57 > t_{0,95;174} = 1,97. \end{aligned} \quad (17)$$

4. Обсуждение и заключение

1. Получена множественная линейная модель, связывающая продолжительность технических воздействий с рядом факторов: длительностью эксплуатации лесных машин, стажем работы ремонтных рабочих и технической оснащённостью ремонтной базы.

2. Все рассматриваемые факторы являются значимыми для оценки продолжительности технического обслуживания и ремонта лесных машин. Наибольшее влияние на продолжительность технических воздействий оказывает длительность эксплуатации

лесных машин. Влияние стажа работы (квалификации) исполнителей и уровня оснащённости ремонтно-обслуживающей базы незначительно отличаются друг от друга, однако уровень оснащённости ремонтной базы является более значимым.

Список литературы

1. Сравнительная оценка эксплуатационной технологичности лесозаготовительных машин / В. Н. Шиловский, А. В. Питухин, В. А. Кяльвийнен, В. М. Костюкевич. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2014. 104 с.
2. Gulyarenko A. A. Calculation Method of the Reasonable Reliability Level Based on the Cost Criteria // *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2018. Vol. 47, is. 1. P. 96—103.
3. Shilovsky V. N., Skobtsov I. G., Pitukhin E. A. Mathematical model of Multi- item Spare Parts Reservation // *Safety in Aviation and Space Technologies. Lecture Notes in Mechanical Engineering* Springer, Cham. 2022. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-85057-9-48>. Text. Image: electronic.
4. Shilovsky V. N., Pitukhin E. A., Skobtsov I. G. Technigue for Improving the Organization of Maintenance of Transport and Technological Science // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 666. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/666/6/062089>. Text. Image: electronic.
5. Shilovsky V. N., Pitukhin E. A., Skobtsov I. G. Algorithm for the Development and Delivery of a Multi-Item Set of Spare Parts and Maintenance Supplies for Geographically Dispersed Consumers // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 753. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/753/8/082031>. Text. Image: electronic.
6. Lawley D., Maxwell A. Factor analysis as a statistical method. London: Butterworths Publ., 1963. 144 p.
7. Hahn G., Shapiro S. Statistical models in engineering. New York: John Wiley & Sons Publ., 1967. 395 p.
8. Амиров Ю. Д., Алферова Т. К., Волков П. Н. Технологичность конструкции изделия: Справочник. М.: Машиностроение, 1990. 768 с.
9. Волков П. Н., Аристов А. И. Ремонтпригодность машин. М.: Машиностроение, 1975. 368 с.
10. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высш. шк., 2003. 479 с.
11. Питухин А. В. Основы научных исследований. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2017. 72 с.
12. Шиловский В. Н., Скобцов И. Г. Оценка влияния эксплуатационных факторов на ремонтпригодность машин лесного комплекса // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2019. Vol. 229. С. 164—175.

References

1. Shilovsky V. N., Pitukhin A. V., Kyalviyaynen V. A., Kostyukevich V. M. *Comparative assessment of exploitation technological efficiency of forest machines*. Petrozavodsk, PetrSU Publ., 2014. 104 p. (In Russ.)
2. Gulyarenko A. A. Calculation Method of the Reasonable Reliability Level Based on the Cost Criteria. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 2018, vol. 47, is. 1, pp. 96—103.
3. Shilovsky V. N., Skobtsov I. G., Pitukhin E. A. Mathematical model of Multi- item Spare Parts Reservation. *Safety in Aviation and Space Technologies. Lecture Notes in Mechanical*

Engineering Springer, Cham, 2022. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-85057-9-48>. Text. Image: electronic.

4. Shilovsky V. N., Pitukhin E. A., Skobtsov I. G. Technique for Improving the Organization of Maintenance of Transport and Technological Science. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 666. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/666/6/062089>. Text. Image: electronic.
5. Shilovsky V. N., Pitukhin E. A., Skobtsov I. G. Algorithm for the Development and Delivery of a Multi-Item Set of Spare Parts and Maintenance Supplies for Geographically Dispersed Consumers. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 753. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/753/8/082031>. Text. Image: electronic.
6. Lawley D., Maxwell A. *Factor analysis as a statistical method*. London, Butterworths Publ., 1963. 144 p.
7. Hahn G., Shapiro S. *Statistical models in engineering*. New York, John Wiley & Sons Publ., 1967. 395 p.
8. Amirov Y. D., Alferova T. K., Volkov P. N. *Technological efficiency of product design: reference book*. Moscow, Mashinostroenie, 1990. 768 p. (In Russ.)
9. Volkov P. N., Aristov A. I. *Maintainability of machines*. Moscow, Mashinostroenie, 1975. 368 p. (In Russ.)
10. Gmurman V. E. *Probability theory and mathematical statistics*. Moscow, Vyssh. shk., 2003. 479 p. (In Russ.)
11. Pituhin A. V. *Fundamentals of scientific research*. Petrozavodsk, PetrSU Publ., 2017. 72 p. (In Russ.)
12. Shilovsky V. N., Skobtsov I. G. The estimation of operational factors affecting forest machine maintainability. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*, 2019, vol. 229, pp. 164—175. (In Russ.)