

БГТУ - базовая организация
государств-участников СНГ
по образованию в области
лесного хозяйства
и лесной промышленности



“ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ”

*материалы II Международной
научно-технической конференции,
посвященной 90-летию юбилею БГТУ*

“LOGGING INDUSTRY: PROBLEMS AND SOLUTIONS”

*materials II of International
scientific-technical conference
to celebrate the 90th Anniversary of BSTU*



Минск, БГТУ 2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

MINISTRY OF EDUCATION OF THE REPUBLIC OF BELARUS
BELARUSIAN STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY



ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

**Материалы II Международной научно-технической конференции,
посвященной 90-летию юбилею БГТУ**

LOGGING INDUSTRY: PROBLEMS AND SOLUTIONS

**Materials of II International scientific-technical conference
to celebrate the 90th Anniversary of BSTU**



13–15 мая 2020 г.

г. Минск

УДК 630*31(06)
ББК 65.34
Л50

Лесозаготовительное производство: проблемы и решения : материалы II Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 13–15 мая 2020 г. – Минск : БГТУ, 2021. – 167 с. – ISBN 978-985-530-961-2.

Сборник составлен по материалам докладов II Международной научно-технической конференции «Лесозаготовительное производство: проблемы и решения», посвященной 90-летию юбилею БГТУ, которые отражают актуальные проблемы в области технологии и оборудования лесозаготовительного производства, рационального использования древесных ресурсов. Рассмотрены вопросы проектирования, эксплуатации и обслуживания лесозаготовительных машин и оборудования, совершенствования ресурсосберегающих технологий лесозаготовок и первичной обработки древесного сырья, транспортного освоения лесных массивов, проектирования и эксплуатации лесных автомобильных дорог, а также использования вторичных древесных ресурсов в энергетических целях и экологической совместимости лесозаготовок с лесной средой.

Сборник рассчитан на использование работниками и научными сотрудниками, занимающимися вопросами в области лесопромышленного производства, лесного машиностроения, строительства и эксплуатации дорог, аспирантами и студентами соответствующих специальностей.

Белорусский государственный технологический университет – базовая организация государств-участников СНГ по образованию в области лесного хозяйства и лесной промышленности.

	Редакционная коллегия:
Главный редактор	<i>И. В. Войтов</i> , ректор, д-р техн. наук, проф.;
Члены редколлегии:	<i>С. П. Мохов</i> , зав. кафедрой ЛМДиТЛП, канд. техн. наук, доцент; <i>П. А. Протас</i> , доц. кафедры ЛМДиТЛП, канд. техн. наук

ISBN 978-985-530-961-2

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2021

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

- Председатель конференции:** **Войтов И. В.** – ректор Белорусского государственного технологического университета, профессор, д.т.н.
- Сопредседатели:** **Креч В. И.** – заместитель Министра лесного хозяйства Республики Беларусь
Шакутин А. В. – председатель Совета директоров ОАО «Амкодор – управляющая компания холдинга»
Дормешкин О. Б. – проректор по научной работе Белорусского государственного технологического университета, профессор, д.т.н.
- Члены оргкомитета:** **Александрович В. М.** – генеральный директор Республиканской лесопромышленной ассоциации
Бакай Б. Я. – зав. кафедрой лесопромышленного производства и лесных дорог Национального лесотехнического университета Украины, доцент, к.т.н. (Украина)
Борз С. А. – профессор кафедры лесозаготовок, лесопромышленного и земельных измерений Трансильванского университета в Брашове, д.н. (Румыния)
Вавилов А. В. – зав. кафедрой «Механизация и автоматизация дорожно-строительного комплекса» Белорусского национального технического университета, профессор, д.т.н.
Герасимович А. В. – начальник управления деревообработки концерна «Беллесбумпром»
Игнатчик В. В. – глава Представительства фирмы «Andreas Stihl Ag&Co. KG» (Германия) в Республике Беларусь, к.т.н.
Кацадзе В. А. – зав. кафедрой технологических процессов и машин лесного комплекса СПбГЛТУ, доцент, к.т.н. (Россия)
Коробкин В. А. – главный конструктор специального производства ОАО «Минский тракторный завод», д.т.н.
Кунтыш В. Б. – профессор кафедры энергосбережения, гидравлики и теплотехники Белорусского государственного технологического университета, д.т.н.
Лой В. Н. – декан ф-та лесной инженерии, материаловедения и дизайна Белорусского государственного технологического университета, доцент, к.т.н.
Мерганич Я. – зав. кафедрой лесозаготовок, логистики и мелиорации Технического университета в Зволене, доцент, к.т.н. (Словакия)
Москалик Т. – зав. кафедрой лесопользования Варшавского университета естественных наук, профессор, д. н. (Польша)
Мохов С. П. – зав. кафедрой лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства Белорусского государственного технологического университета, доцент, к.т.н.
Протас П. А. – доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства Белорусского государственного технологического университета, доцент, к.т.н.
Родионов С. Л. – глава Представительства фирмы «Vimek AB» (Королевство Швеция) в Республике Беларусь (Беларусь)
Сисенис Л. – декан лесного факультета Латвийского университета естественных наук и технологий, доцент, д.с.-х.н. (Латвия)
Сюнёв В. С. – проректор Петрозаводского государственного университета, директор института рационального природопользования на Европейском Севере ПетрГУ, профессор, д.т.н. (Россия)
Туомикоски М. – директор по экспорту компании «Комацу Форест Ою» (Финляндия)
Шмелёв А. В. – зам. ген. директора по научной работе Объединенного института машиностроения НАН РБ, к.т.н. (Беларусь)
Янушко В. В. – зам. коммерческого директора ОАО «МАЗ» – управляющая компания холдинга «БЕЛАВТОМАЗ», к.т.н. (Беларусь)
Черник Е. О. – нач. отдела ОНТМ, НИиНИРС БГТУ

ORGANIZING COMMITTEE

**Conference
chairman:**

Voitau I. V. – BSTU rector, professor, D.Sc. (Engineering)

Co-chairmen:

Krech V. I. – Deputy Minister of Forestry of the Republic of Belarus

Shakutin A. V. – Chairman of the Board of Directors, JSC Amkodor – holding managing company

Dormeshkin O. B. – Vice-rector for Research, BSTU, professor, D.Sc. (Engineering)

**Organizing
committee
members:**

Aleksandrovich V. M. – Director-General, Republican Forest Industry Association

Bakay B. Ya. – Head of Department of Forest Industry and Forest Roads, National Forest Engineering University of Ukraine, associate professor, PhD (Engineering) Ukraine

Borz S. A. – Professor of Department of Logging, Forest Management and Land Measurement, Transylvania University in Brasov, D.Sc. (Romania)

Vavilov A. V. – Head of Department of Mechanization and Automation of Road Construction Industry, BNTU, professor, D.Sc. (Engineering)

Gerasimovich A. V. – Head of Woodworking Department, “Bellesbumprom” Concern

Ignatchik V. V. – Director of Belarusian Office of Andreas Stihl Ag&Co. KG (Germany), PhD (Engineering)

Kacadze V. A. – Head of Department of Technological Processes and Machines for Forestry, Saint-Petersburg State Forestry Engineering University, associate professor, PhD (Engineering) (Russia)

Korobkin V. A. – Chief Designer of Special Manufacturing, OJSC Minsk Tractor Works, D.Sc. (Engineering)

Kuntysh V. B. – Professor of Department of Energy-Saving, Hydraulics and Heat Engineering, BSTU, professor, D.Sc. (Engineering)

Loy V. N. – Dean, Forest Engineering, Materials Science and Design Faculty, BSTU, associate professor, PhD (Engineering)

Merganič J. – Head of Department of Forest Harvesting, Logistics and Ameliorations, Technical University in Zvolen, doc. Ing., PhD (Engineering) (Slovakia)

Moskalik T. – Head of Department of Forest Utilization, Warsaw University of Life Sciences, professor, PhD (Poland)

Mokhov S. P. – Head of Department of Forest Machinery, Road and Logging Technology, BSTU, associate professor, PhD (Engineering)

Protas P. A. – Department of Forest Machinery, Road and Logging Technology, BSTU, associate professor, PhD (Engineering)

Rodionov S. L. – Director of Belarusian Office of Vimek AB (Sweden)

Sisenis L. – Dean, Faculty of Forest, Latvia University of Life Sciences and Technologies, associate professor, D.Sc. (Agriculture)

Syunev V. S. – Vice-Rector for Scientific Research, Petrozavodsk State University, professor, D.Sc. (Engineering) (Russia)

Tuomikoski M. – Director for Export Sales of Komatsu Forest (Finland)

Shmialiou A. V. – Deputy Director General for Research, Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus, PhD (Engineering)

Yanushko V. V. – Deputy Commercial Director, OJSC “MAZ” – managing company of holding “BELAUTOMAZ”, PhD (Engineering)

Chernik E. O. – Head of Research Information Support Office, BSTU

УДК 330:502.15(476)

**СОСТОЯНИЕ РАЗВИТИЯ ЛЕСНОЙ ОТРАСЛИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ И ЗАДАЧИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРОМЫШЛЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОТРАСЛИ НА БЛИЖАЙШУЮ
ПЕРСПЕКТИВУ**

**Креч В. И., зам. министра, Хорошун Н. В., нач. отдела промышленного производства
управления производства и реализации продукции, м.э.н., м.т.н.**

Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: mail@ministry.mlh.by, kharashun@ministry.mlh.by

**THE DEVELOPMENT OF THE FOREST INDUSTRY OF THE REPUBLIC OF
BELARUS AT THE PRESENT STAGE AND TASKS TO IMPROVE THE EFFICIENCY
OF INDUSTRIAL ACTIVITY IN THE NEAR FUTURE**

**Krech V. I., Deputy Minister, Khoroshun N. V., Head of the Industrial Production De-
partment of the Production and Sales Department, M. S. (Economic), M. S. (Engineering)**
Ministry of Forestry of the Republic of Belarus
(Minsk, The Republic of Belarus,)

Аннотация. Описана роль Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь для выполнения прогноза социально-экономического развития всей страны. Исследуются состояние и различные аспекты развития промышленной деятельности лесной отрасли Республики Беларусь. Дана характеристика промышленной деятельности лесной отрасли Республики Беларусь и достигнутые результаты на современном этапе.

На основании статистических данных приведен анализ структуры заготовки и вывозки древесины областными государственными производственными лесохозяйственными объединениями, динамики работы деревообрабатывающих цехов отрасли, производства важнейших видов изделий из древесного сырья. Обозначены основные направления технического переоснащения деревообрабатывающих производств отрасли. Приведены основные показатели их деятельности. Приведен анализ структуры и развития машинотракторного парка отрасли.

Обозначены приоритеты ведения единой экономической политики в области лесного хозяйства, обеспечивающей создание необходимых условий для эффективной работы находящихся в ведении Министерства юридических лиц и ключевые задачи Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь в промышленной деятельности на 2020 год.

Ключевые слова: лесное хозяйство; отрасль; эффективность; промышленная деятельность; развитие

Abstract. The role of the Ministry of forestry of The Republic of Belarus for the implementation of the forecast of socio – economic development of the entire country is described. The state and various aspects of the development of industrial activity in the forest sector of The Republic of Belarus are studied. The article describes the industrial activity of the forest industry of the Republic of Belarus and the results achieved at the present stage.

Based on statistical data, made the analysis of the structure of wood harvesting and export by regional state industrial forestry associations, the dynamics of the work of woodworking workshops in the industry, the production of the most important types of products from wood raw materials is given. The main directions of technical re-equipment of woodworking industries are outlined. The main indicators of their activity are given. The analysis of the structure and development of the machine and tractor fleet of the industry is given.

The priorities of the unified economic policy in the field of forestry, which provides the necessary conditions for the effective work of legal entities under the jurisdiction of the Ministry,

and the key tasks of the Ministry of forestry of The Republic of Belarus in industrial activities for 2020, are outlined.

Key words: forestry; industry; efficiency; industrial activity; development

Введение. Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь является республиканским органом государственного управления и подчиняется Правительству Республики Беларусь (далее – Минлесхоз). Минлесхоз координирует деятельность других республиканских органов государственного управления, местных исполнительных и распорядительных органов, юридических лиц, ведущих лесное хозяйство, независимо от формы собственности, в области использования, охраны, защиты государственного лесного фонда и воспроизводства лесов. К таким юридическим лицам относятся государственные лесохозяйственные учреждения Минлесхоза, лесхозы и лесничества Министерства обороны Республики Беларусь, экспериментальные лесные базы Национальной академии наук Республики Беларусь, учебно-опытные лесхозы Министерства образования Республики Беларусь, государственные природоохранные учреждения, осуществляющие управление заповедниками и национальными парками, лесохозяйственные предприятия Управления делами Президента Республики Беларусь, Минское лесопарковое хозяйство.

Основной целью Минлесхоза является обеспечение рационального и неистощающего использования лесов, их охрана, защита и воспроизводство, исходя из принципов устойчивого управления лесами и сохранения биологического разнообразия лесных экосистем, сохранения и усиления средообразующих, водоохраных, защитных, санитарно-гигиенических, рекреационных и иных функций лесов, повышения их ресурсного потенциала, удовлетворения потребностей общества в лесных ресурсах на основе научно обоснованного, многоцелевого лесопользования.

Основная часть. За прошлый год в системе Минлесхоза из всех видов рубок заготовлено 20,9 млн. куб. м ликвидной древесины при запланированном объеме 18,2 млн. куб. м, что составило 115% к доведенному заданию (таблица 1).

Таблица 1 – Выполнение плановых объемов заготовки древесины по всем видам рубок в 2019 году

Наименование ГПЛХО	Фактически заготовлено, тыс. куб. м	Выполнение, %
Брестское	2733,0	126,2
Витебское	2799,4	93,6
Гомельское	4925,2	123,1
Гродненское	2458,2	111,1
Минское	4373,2	114,7
Могилевское	3624,7	120,7
Всего по Минлесхозу:	20913,7	115,0

Из общего объема заготовленной древесины 6,55 млн. куб. м заготовлено сторонними организациями путем оказания услуг, что составляет 121,3% к 2018 году.

По состоянию на 1 января 2020 г. в организациях Минлесхоза имеется 294 харвестера, 350 форвардеров, 817 сортиментовозов, 1285 машин погрузочно-транспортных, 60 рубильных мобильных машин и др. техника (рисунок 1).

В рамках реализации Программы обновления и развития машинно-тракторного парка за 2019 год приобретено 20 харвестеров и 35 форвардеров, 98 машин погрузочно-транспортных, 92 сортиментовоза, 15 рубильных машин и другая лесозаготовительная техника и оборудование на сумму порядка 66,5 млн. руб.

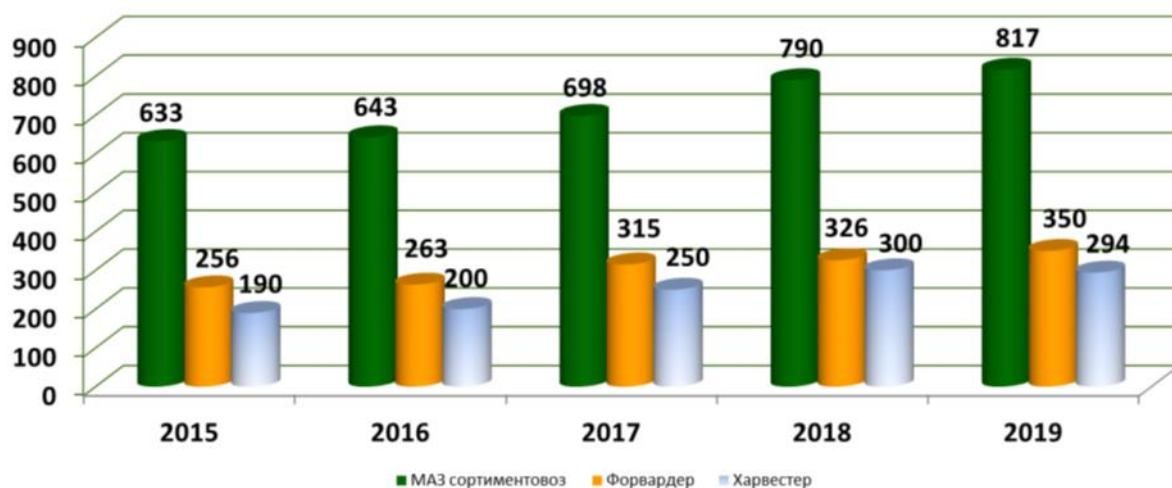


Рисунок 1 – Наличие лесозаготовительной техники в лесхозах отрасли, ед.

Объем заготовки древесины механизированным способом за 2019 год выполнен на уровне 9,6 млн. куб. метров и составил 46% от общего объема заготовки древесины.

За 2019 год предприятиями Минлесхоза обеспечена вывозка древесины в размере 16,1 млн. куб. м, что составляет 105,8% к 2018 году (таблица 2).

Таблица 2 – Выполнение объемов вывозки древесины в 2019 году

Наименование ГПЛХО	Фактически вывезено, тыс. куб. м	Выполнение, %
Брестское	1991,6	107,9
Витебское	2345,2	93,7
Гомельское	3780,8	105,8
Гродненское	1675,5	114,9
Минское	3377,5	106,1
Могилевское	2928,1	110,6
Всего по Минлесхозу:	16098,7	105,8

В настоящее время в системе Минлесхоза осуществляет деревообрабатывающую деятельность 88 производств.

В рамках выполнения отраслевой Программы промышленного развития деревообрабатывающих производств Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь на 2015–2020 годы, утвержденной постановлением коллегии Министерства лесного хозяйства от 24 декабря 2014 г., на техническое переоснащение деревообрабатывающих производств в 2019 году направлено денежных средств в сумме 54,3 млн. рублей. Реализован 61 проект, в том числе по направлениям: модернизация лесопильных производств – 25 проектов; установка линии сортировки древесины – 1 проект, ленточнопильное оборудование – 4 проектов, установка позиционного оборудования – 25 проектов; создание производств по выпуску сушеной продукции – 4 проекта, установка оборудования по выпуску пиломатериалов на базе углопильно-круглопильных станков – 2 проекта. Кроме того, Копыльским опытным лесхозом приобретено производство по выпуску пеллет. Планируется, после завершения модернизации технологического оборудования, получать порядка 14,5 тыс. тонн пеллет ежегодно.

По итогам работы деревообрабатывающих цехов Минлесхоза в 2019 году переработано 5,47 млн. куб. м древесины, или 112,4% к уровню прошлого года, в том числе крупной

775,8 тыс. куб. м (136,2 %), средней 1,08 млн. куб. м (126,6%), мелкой – 221,8 (100%), дров – 2,1 млн. куб. м. (88,5%).

За 2019 год в цехах выпущено пиломатериалов 1322,6 тыс. куб. м (120,6%). Объем высушенной продукции увеличился на 18,2 тыс. куб. м и составил 140,1 тыс. куб. м, или 123,8% к уровню 2018 года.

Объем выпуска товарной продукции в деревообрабатывающих производствах (цехах) Минлесхоза в 2019 году увеличился по сравнению с 2018 годом на 117,4% (с 263,4 до 309,2 млн. руб.). Рентабельность выпущенной продукции по итогам работы за 2019 год составила 16,8% (снижение на 5,5%).

Среднесписочная численность в цехах деревообработки составила 4231 человек, что на 648 человек больше, чем в 2018 году.

На основании протокола поручений Президента Республики Беларусь А.Г. Лукашенко от 05.07.2019 № 16 в настоящее время в стадии реализации находятся 6 проектов по созданию пеллетных производств (Пружанский, Житковичский, Мозырский опытный, Новогрудский, Борисовский опытный, Кличевский лесхозы), ввод которых запланирован в 2020 году.

Производственная мощность данных производств составит 156 тыс. тонн в год, большая часть произведенной продукции планируется реализовывать на внешний рынок.

За отчетный год в лесном фонде Минлесхоза построено и введено в эксплуатацию 17 лесохозяйственных дорог общей протяженностью 102,5 км.

На их строительство затрачено 19 149,6 тыс. рублей инвестиций, в том числе по источникам: собственные средства лесхозов – 2 574,0 тыс. рублей; отчисления от таксовой стоимости – 16 575,6 тыс. рублей.

Заключение. Ключевыми задачами в промышленной деятельности на 2020 год являются:

- выполнение утвержденных плановых заданий социально – экономического развития отрасли;
- проведение технического перевооружения отрасли в соответствии с отраслевой Программой обновления и развития машинно-тракторного парка организациями лесного хозяйства Республики Беларусь и Программой развития деревообрабатывающих производств на 2020 год;
 - строительство лесохозяйственных дорог общей протяженностью не менее 100 км в год;
 - эффективная загрузка производственных мощностей цехов и мастерских участков;
 - ввод в эксплуатацию шести пеллетных производств;
 - наращивание мощностей по выпуску сушеной пилопродукции путем создания новых и модернизации действующих производств;
 - выполнение заданий облисполкомов по заготовке древесного топлива;
 - дальнейшее развитие рынка услуг;
 - выполнение государственного заказа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 16 марта 2004 г. № 298 «Вопросы Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь».

**ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МОДЕЛЬНОГО РЯДА
И КОНСТРУКЦИЙ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ МАШИН АМКОДОР**

**Герман А. А.¹, 1-ый зам. ген. конструктора, Голякевич С. А.², доц., к.т.н.,
Мохов С. П.², зав. каф., к.т.н.**

¹ОАО «Амкодор – управляющая компания холдинга»

²Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: gsa@belstu.by

**CURRENT STATUS AND PROSPECTS OF MODEL DEVELOPMENT AND DESIGNS
OF FORESTRY MACHINES AMKODOR**

**German A. A.¹, first deputy general designer, Golyakevich S. A.², Assoc. Prof., PhD,
Mokhov S. P.², Head of Dep., Phd**

¹Amkodor Holding Management Company OJSC

²Belarusian State Technological University
(Minsk, Republic of Belarus)

Аннотация. Рассмотрены основные этапы развития холдинга Амкодор в сфере создания машин для лесного хозяйства и лесной промышленности. Отмечены основные модели лесопромышленных машин и их модификации. Дана техническая характеристика лесопромышленных машин Амкодор. Отмечен опыт предприятий холдинга в направлении унификации конструкций и импортозамещения.

Получены корреляционные зависимости между основными характеристиками для машин отечественного и зарубежного производства. Установлены их преимущества, недостатки и тенденции дальнейшего совершенствования. Обоснованы отличия в подходах к проектированию машин в Республике Беларусь и за рубежом. Даны предложения по дальнейшему развитию модельного ряда лесохозяйственных и лесопромышленных машин «Амкодор».

Ключевые слова: харвестер; форвардер; рубильная машины; мульчировать; погрузчик; корреляция; энерговооруженность; производительность; себестоимость; конструкция.

Abstract. The main stages of the development of the Amkodor holding in the field of creating machines for forestry and the forest industry are considered. The main models of forestry machines and their modifications are noted. The technical characteristics of Amkodor forestry machines are given. The experience of holding enterprises in the direction of unification of structures and import substitution is noted.

Correlation dependencies between the main characteristics for machines of domestic and foreign production are obtained. Their advantages, disadvantages and trends for further improvement are identified. Differences in approaches to the design of machines in the Republic of Belarus and abroad are substantiated. Suggestions are given for the further development of the model range of Amkodor forestry and forestry machines.

Key words: harvester; forwarder; chippers; mulch; loader; correlation; power ratio; performance; prime cost; design.

Введение. На сегодняшний день холдинг Амкодор по праву является ведущим производителем лесопромышленных машин на территории стран СНГ имея в своем составе 19 заводов со списочным количеством сотрудников более 6800 человек и производящим более 120 моделей специальной техники. Более 70% деталей, узлов и агрегатов машин холдинга – собственного производства. В линейке модельном ряду лесопромышленных машин насчитывается более 18 моделей и модификаций. Холдинг обладает соб-

ственными развитыми сетями сервисного обслуживания и учебных центров. За последние годы более 1000 лесопромышленных машин холдинга реализуются в 9 странах мира.

Холдинг ведет постоянную работу по созданию новой конкурентоспособной лесной техники в кооперации с Белорусским государственным технологическим университетом. При конструкторском бюро «лесопромышленных машин» завода Дормаш действует постоянный филиал кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. За последние годы совместными усилиями созданы рубильная машина Амкодор 2904 и мульчирователь Амкодор 2021, модернизированы несущие конструкции харвестера Амкодор 2551, и форвардеров Амкодор 2662-01, Амкодор 2682-01, Амкодор 2631. В данной статье остановимся на обзоре модельного ряда и конструктивных особенностей лесопромышленных машин Амкодор и сравним их с техникой зарубежных производителей.

Материалы и методы. Модельный ряд лесопромышленных машин Амкодор представлен техникой, предназначенной для работы в условиях лесосек, погрузочных пунктов и лесных складов. Для проведения лесосечных и лесотранспортных работ выпускаются машины, реализующие технологию заготовки древесины в виде сортиментов, сортиментов и щепы. Машины для сортиментной заготовки представлены харвестерами (2531, 2541, 2551, 2561 и 2561-01) и форвардерами (2631, 2641, 2661-01, 2662-01, 2682-01) (рисунок 1). Они образуют соответствующие системы машин (комплексы) для проведения работ на рубках главного и промежуточного пользования, в том числе на прочистках и прореживаниях молодняков и средневозрастных древостоев. Машины значительно отличаются между собой конструктивно, имеют существенные различия в массово-габаритных и энергетических характеристиках, оснащены разным технологическим оборудованием (таблицы 1 и 2).



а – харвестеры Амкодор; *б* – форвардеры Амкодор

Рисунок 1 – Специализированные машины для реализации сортиментной технологии лесозаготовительных работ

С 2020 года на всех харвестерах устанавливается единая система управления харвестерной головкой Prolog. Она предоставляет расширенные (в сравнении с системой Motomit IT) возможности по передаче данных о заготовленной древесине и позволяет настраивать параметры производительности и энергопотребления гидравлической системы машины.

В дополнение к указанным машинам для подвозки сортиментов в условиях повогрунтов I и II типов производится полуприцеп Амкодор 2310, который может агрегатироваться с базовыми лесными тракторами МТЗ 82Л и 1221Л. Полуприцеп имеет несущую конструкцию хребтового типа, что позволило существенно снизить его массу при неизменных показателях прочности и грузоподъемности (рисунок 2).

Таблица 1 – Технические характеристики харвестеров «Амкодор»

Наименование харвестера	АМКОДОР 2531	АМКОДОР 2551	АМКОДОР 2541	АМКОДОР 2561	АМКОДОР 2561-01
Манипулятор	KESLA 671H	KESLA 1395H			Kesla 1609H
Вылет стрелы манипулятора, м	7.13	9.5			9
Харвестерная головка	KESLA 18RH	KESLA 25RH II	KESLA 20RH II	KESLA 25RH II	KESLA 27RH
Максимальный диаметр (раскрытие роликов/распила), мм	400/450	580/670	450/540	580/670	700/750
Дизель	Д-245.2S2	Д-260.9	Д-260.9S2	Д-262S2	
Мощность номинальная, кВт (л.с.)	90 (122)	132 (180)		220.6 (300)	
Ширина по колесам, мм	2300	2900	2725	3000	2875
Масса эксплуатационная, кг	9700	15700	13100	18200	18000
Трансмиссия	гидромеханическая (на основе гидростатического звена)		гидромеханическая (на основе гидротрансформатора)		

Таблица 2 – Технические характеристики форвардеров «Амкодор»

Наименование форвардера	АМКОДОР 2631	АМКОДОР 2541	АМКОДОР 2661-01	АМКОДОР 2662-01	АМКОДОР 2682-01
Колесная формула	6К6	4К4	6К6	6К6	8К8
Грузоподъемность, кг	9000	7700	12000	14000	15000
Масса эксплуатационная, кг	13400	14250	15500	18430	20600
Длина грузового отсека, м	4.4	4.1	4800	4950	
Ширина по колесам, мм	2400	2900	2870		
Дизель	Д-245.2S2	Д-260.1S2	Д-260.1	Д-260.9S2	
Мощность номинальная, кВт (л.с.)	90 (122)	116 (158)	114 (155)	132 (180)	
Манипулятор	KESLA 304	KESLA 600	Kesla 600.1	KESLA 702	KESLA 700 или 700Т
Грузоподъемность на максимальном вылете стрелы (без учета веса ротатора и захвата), кг	580	530		500	840/500
Вылет стрелы манипулятора, м	6.9	8.2		10.3	8.2/10.3
Трансмиссия	гидромеханическая (на основе гидротрансформатора)				


Манипулятор	PALMS 3.67/ PALMS 4.70	
Максимальный вылет, м	6.7/ 7	
Длина грузового отсека, м	5.0-5.9	
Грузоподъемность на максимальном вылете, кг	410/ 520	
Грузоподъемность, кг	10000	
Масса эксплуатационная, кг	4100	

Рисунок 2 – Технические характеристики и общий вид полуприцепа лесовозного «Амкодор 2310»

На предприятиях Минлесхоза и Минэнерго активно внедряются рубильные машины Амкодор 2904 (рисунок 3). Особенностью рубильной машины «Амкодор 2904» является ее высокая проходимость и высокая унификация с форвардером «Амкодор 2641», что способствует сокращению базы запасных частей и повышает техническую готовность машины. Безусловно такая конструкция уступает рубильным машинам выполненным на автомобильном шасси по скорости передвижения (оперативной мобильности), но существенно превосходит

их в случае необходимости освоения ветровально-буреломных лесосек, переработки крупномерной фаутной древесины в условиях лесосек, работы в качестве мобильной рубильной установки в рамках лесопромышленного склада с изменяющимися площадками хранения исходного сырья и готовой щепы. При этом для эффективной погрузки щепы разработан Фронтальный универсальный лесной погрузчик Амкодор 371АС с номинальной мощностью двигателя 220,6 кВт (300 л.с.) и вместимостью ковшей для щепы 3,8 м³ или 5 м³.

Производительность максимальная, нас. м ³ /ч	130
Масса эксплуатационная, кг	21500
Ширина загрузочного окна, мм	600
Высота загрузочного окна, мм	450
Базовое шасси	Амкодор 2641
Рубильный модуль	KESLA C645
Двигатель рубильного модуля	Deutz TCD 2013L06 4V
Мощность номинальная, кВт	238
Манипулятор	KESLA 600.1
Вылет стрелы манипулятора, м	8.2



Рисунок 3 – Технические характеристики и общий вид машины рубильной «Амкодор 2904»

Обеспечив машинами лесопромышленное производство холдинг поэтапно переходит к освоению машин, предназначенных для ведения работ лесохозяйственного профиля: уборки лесосек, подготовки площадей к посадке леса и проведения лесовосстановительных работ. Налажен выпуск специального лесохозяйственного оборудования и быстросъемных органов (рисунок 4), агрегируемых с трелевочными тракторами Амкодор 2243 и 2243В.



а

б

в

а – плуг лесной ПКЛ-70; *б* – грабли лесные; *в* – фреза почвообрабатывающая активная
Рисунок 4 – Быстросъемные рабочие органы для проведения лесохозяйственных работ

Совместно с кафедрой лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства проведены научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы и в настоящее время внедряется мульчирователь Амкодор 2021 (рисунок 5). Помимо предприятий министерства лесного хозяйства данная машина пользуется спросом на предприятиях Минэнерго, где с ее помощью эффективно выполняются работы по поддержанию в требуемом состоянии минерализованных полос под линиями электропередач.

Рассмотренные машины постоянно совершенствуются, повышаются их технологические возможности и надежность, разрабатываются новые конструкции. В перспективе до 2023 года планируется завершить проведение НИОКР и создать многофункциональный шарнирно сочлененный базовый лесохозяйственный трактор имеющий гидрофицированный привод ВОМ, возможности агрегирования с существующим и перспективным лесохозяйственным и лесопромышленным технологическим оборудованием.

Базовое шасси	Шарнирно-сочлененное
Диаметр срезаемого дерева (пня), мм, не более	300
Глубина вспашки, мм, не менее	50
Модель двигателя	Д-260.4S3A
Номинальная мощность двигателя, кВт (л.с.)	156 (210)
Тип трансмиссии	Гидрообъемная
Максимальные скорости движения, км/ч, не более:	5 (рабочая) 0-29 (транспортная)
Габаритная ширина, мм	2600
Базовый орган сменного рабочего оборудования	Фреза MIDIFORST dt hyd
Масса эксплуатационная, кг	13500

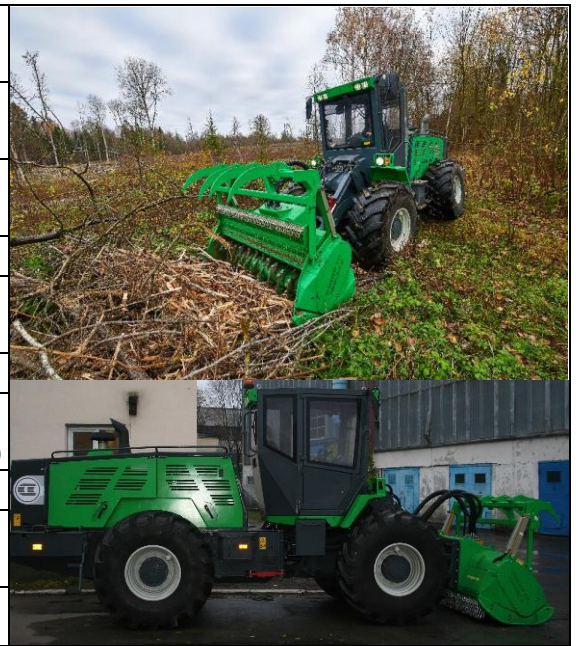
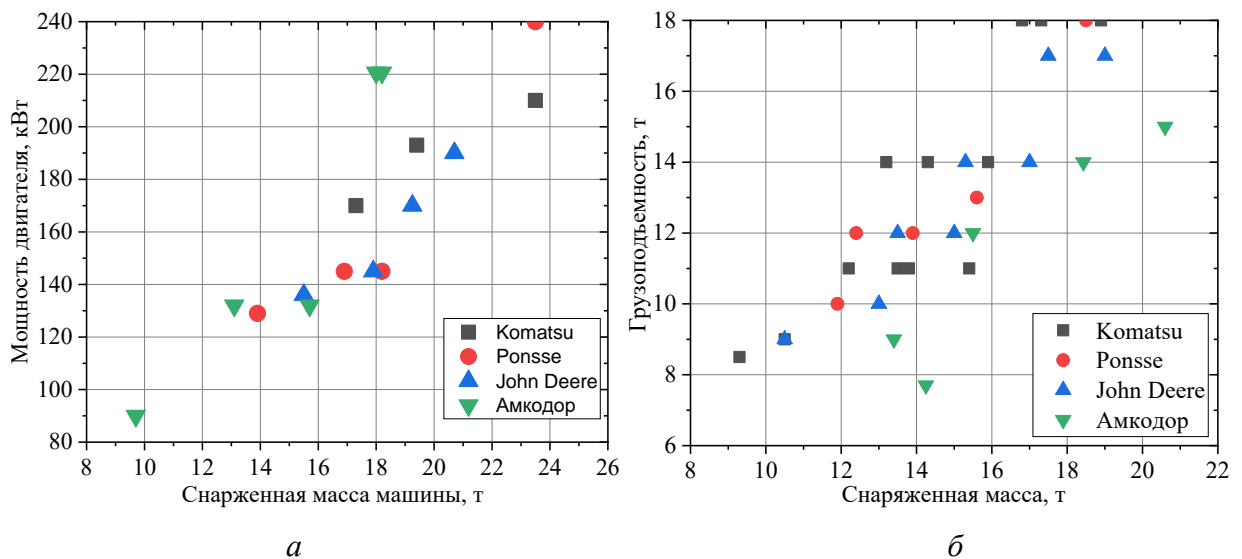


Рисунок 5 – Технические характеристики и общий вид мульчирователя «Амкодор 2021»

Результаты. Сравнительный анализ технических характеристик и тенденций развития модельного ряда машин был реализован на примере машин для заготовки сортиментов «Амкодор» и других ведущих мировых производителей: Ponsse, Komatsu, John Deere (рисунок 6). В результате исследований были установлены корреляционные зависимости [1], отражающие общие тенденции и технический уровень машин различных производителей.



а – харвестеры; *б* – форвардеров
Рисунок 6 – Корреляционные зависимости

Следует отметить, что согласно отображенному на рисунке 6 а корреляционным связям производители Ponsse и Амкодор имеют по одному харвестеру которые явно выходят за рамки общей корреляции между массами машин и их энерговооруженностью. При подробном рассмотрении установлено, что данные машины представляют собой старое поколение техники данных производителей и, либо уже сняты с производства (Ponsse Fox), либо будут сняты с него в скором времени (Амкодор 2551). Разница в корреляционных связях между машинами различных производителей объясняется различным целевым рынком для них. Для Амкодор это прежде всего Республика Беларусь и европейская часть

Российской Федерации. В эксплуатационных условиях данных регионов часто встречаются грунты с низкой несущей способностью и относительно малые уклоны местности. Поэтому харвестеры с низкой массой реализуют лучшие показатели проходимости. Зарубежные производители напротив склонны разрабатывать свою технику для работы на сильно холмистой местности, где для обеспечения устойчивости машин требуется более низкий центр тяжести машины и ее большая масса для создания момента сопротивления опрокидыванию при работе манипуляторного оборудования.

Наиболее характерной корреляционной связью для форвардеров помимо связи массы и энерговооруженности является соотношение между массой машины и ее грузоподъемностью (рисунок 6 б). Анализом зависимостей в данной корреляции установлено, что в новых поколениях машин зарубежные производители в новых поколениях форвардеров достигли существенных успехов в снижении удельной массы форвардеров при сохранении грузоподъемности и ресурса машин. Достижение значительно меньшей собственной массы в сравнении с отечественными образцами машин обусловлено сразу несколькими факторами. Во-первых, номенклатура используемых конструкционных сталей в отечественном машиностроении весьма ограничена. Используемая в несущих конструкциях форвардеров сталь 09Г2С обладает низкими усталостными характеристиками и не может обеспечивать должные показатели прочности и долговечности при меньшей собственной массе рамы. При этом, сталь 09Г2С относительно дешевая и обеспечивает значительное конкурентное преимущество отечественным харвестерам в цене от 1,5 до 2,5 раз. Во-вторых, зарубежные форвардеры в отличие от отечественных имеют конструкции трансмиссий в основе которых лежит гидростат. Это позволяет более «гибко» подходить к общей компоновке улов и агрегатов и добиваться лучшего распределения нагрузок на раму. Соответственно появляется возможность снизить ее массу [2].

Заключение. За последние 10 – 15 лет холдинг «Амкодор» не только создал широкую номенклатуру лесопромышленных и лесохозяйственных машин, но и преступил к постепенному обновлению их конструкций. Также в холдинге на достаточном уровне отрабатаны вопросы сервисного обслуживания машин. Первичный сравнительный анализ конструкций машин и их типажей позволяет утверждать, что харвестеры Амкодор не уступают лучшим мировым аналогам по основным техническим характеристикам. Однако форвардеры отечественного производителя существенно уступают зарубежным у относительной грузоподъемности. Указать на необходимость их модернизации не представляется возможным, т.к. каждое из направлений повлечет за собой рост себестоимости производства машин, что для отечественных потребителей не всегда приемлемо. Однозначный ответ на поставленный вопрос можно дать только на основе глубокого совместного анализа достигаемых технологических характеристик машин, их себестоимости и стоимости владения конечным потребителем. Такой подход, безусловно требует проведения дальнейших исследований.

В современном лесозаготовительном производстве важную роль играет не только номинальная производительность и экономичность машин, но и квалификация операторов. В качестве перспективного направления развития следует также отметить диверсифицированность подготовки операторов, в том числе на конкурентной основе. Это позволит улучшить показатели в лесопромышленном производстве при относительно небольших общих затратах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голякевич С. А., Гороновский А.Р. Основы проектирования лесных машин и системы автоматизированного проектирования. Минск: БГТУ, 2016. 139 с.
2. Голякевич С. А. Энергетические аспекты функционирования многооперационных лесозаготовительных машин // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы междунар. науч.-техн. конф. Минск, 26–28 апреля 2017. Минск: БГТУ, 2017. С. 64–68.

**ОСОБЕННОСТИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ
ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА В БГТУ**

**Цыганов А. Р.¹, проф., д.с.-х.н., академик, Пищов С. Н.¹, доц., к.т.н.,
Флейшер В. Л.¹, доц., к.т.н., Паал К.²**

¹Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: ipk@belstu.by

²Компания «Аddenда ОО»

(Таллинн, Эстонская Республика), e-mail: addenda@addenda.ee

**SPECIAL FEATURES OF SUPPLEMENTARY EDUCATION FOR PROFESSIONALS
OF THE FOREST COMPLEX**

**Tsyganov A. R.¹, Prof., D.Sc., Pishchou S. N.¹, Assoc. Prof., PhD.,
Fleisher V. L.¹, Assoc. Prof., PhD., Paal K.²**

¹"Belarusian State Technological University"

(Minsk, Belarus)

²Company «Addenda OU»

(Tallinn, Republic of Estonia)

Аннотация. Приведены актуальные проблемы и опыт учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» в подготовке высококвалифицированных специалистов для лесного хозяйства, лесной, деревообрабатывающей промышленности с учетом современных требований организаций-заказчиков кадров, передового европейского опыта и необходимости усиления практической направленности образовательного процесса.

Ключевые слова: непрерывное образование; переподготовка; повышение квалификации; практическая направленность

Abstract. The article highlights current problems and experience in training highly qualified professionals in the fields of forestry and woodworking industry at the educational institution "Belarusian State Technological University" taking into account modern requirements of the customers in enhancing of practical focus of teaching process.

Key words: lifelong learning; retraining; professional development; practical focus

Введение. Лесной комплекс Республики Беларусь включает в себя валообразующие отрасли, связанные с эффективным ведением лесного хозяйства (лесоведение и лесоводство, лесоустройство, защита и охрана лесных ресурсов, лесохозяйственное хозяйство и побочное пользование лесными ресурсами) и производства, осуществляющие заготовку древесины, деревообработку, химическую переработку древесного сырья и отходов (лесная, деревообрабатывающая, мебельная, целлюлозно-бумажная, лесохимическая промышленность).

В настоящее время в Республике Беларусь активно проводятся мероприятия по повышению конкурентоспособности продукции организаций лесного комплекса, разработка и внедрение новых инновационных технологий и производств, современных машин и оборудования отечественного и зарубежного производства. Результатом модернизации лесохозяйственных и деревообрабатывающих предприятий является производство и реализация новых видов продукции с высокой добавленной стоимостью на внутреннем и внешних рынках, что приводит к повышению экономической независимости и уровня благосостояния нашей страны. Также перед организациями лесного комплекса поставлена задача по повышению эффективности деятельности, направленной на диверсификацию рынков сбыта продукции и увеличение объемов экспорта, а также импортозамещения. В

связи с этим значительно повысились требования к компетенциям руководящих работников и специалистов организаций лесного комплекса, осуществляющих лесохозяйственную и лесозаготовительную деятельность, а также производство изделий из древесины, деревянных строительных конструкций, продуктов химической переработки древесины с высокой добавленной стоимостью, в области профессиональной и организационно-управленческой, инновационной деятельности.

Основная часть. Ведущим учреждением образования, осуществляющем на протяжении 90 лет подготовку, переподготовку и повышение квалификации кадров для организаций лесного комплекса Республики Беларусь и зарубежных стран является Белорусский государственный технологический университет (далее – БГТУ). Ряд выпускников БГТУ занимают ключевые посты в Правительстве Республики Беларусь, успешно работают в лесохозяйственных учреждениях и деревообрабатывающих предприятиях страны и в своем большинстве являются руководящими работниками и высококвалифицированными специалистами.

Подготовка высококвалифицированных кадров для организаций лесного и деревообрабатывающего комплексов страны является одной из приоритетных задач БГТУ. Для достижения поставленных целей в БГТУ проводится подготовка специалистов со средним специальным образованием (на базе филиалов-колледжей), подготовка специалистов с высшим образованием на первой и второй ступенях (магистратура), переподготовка и повышение квалификации руководящих работников и специалистов, имеющих высшее и среднее специальное образование, обучающие курсы, семинары тренинги, стажировки.

Дополнительное образование руководящих работников и специалистов лесного комплекса проводится по следующим основным направлениям:

- переподготовка руководящих работников и специалистов организаций лесного комплекса с непрофильным высшим (средним специальным) образованием;

- повышение квалификации специалистов по актуальным программам в области изучения и внедрения инновационных отечественных и зарубежных технологий, результатов научно-исследовательской деятельности научных работников и преподавателей БГТУ и других организаций;

- дополнительное обучение студентов старших курсов инженерных специальностей, трудоустраиваемых после окончания БГТУ в организации лесного комплекса, для получения новых компетенций в области эффективной организации бизнес-процессов и производств, менеджмента, внедрения цифровых технологий, использования современной техники и оборудования;

- повышение квалификации преподавателей БГТУ путем направления их на стажировки в ведущие организации лесного комплекса, проектные организации, ведущие зарубежные учреждения образования по соответствующему профилю с целью внедрения полученной новой информации в учебный процесс подготовки, переподготовки, повышения квалификации.

Для организации переподготовки руководящих работников и специалистов организаций лесного комплекса с высшим непрофильным образованием в БГТУ открыты специальности, которые охватывают практически все направления деятельности данных организаций: «Лесоведение и лесоводство», «Лесоохотничье хозяйство и побочное пользование лесом», «Механическая обработка древесины и производство деревянных строительных изделий», «Охрана труда в лесном хозяйстве и производстве изделий из древесины». На базе филиалов-колледжей БГТУ открыта переподготовка руководящих работников и специалистов со средним специальным образованием: «Лесное хозяйство» (на базе филиала БГТУ «Полоцкий государственный лесной колледж»), «Механическая обработка древесины и производство деревянных строительных изделий» (на базе филиала БГТУ «Бобруйский государственный лесотехнический колледж»). Специальности переподготовки в БГТУ открыты по заказу лесохозяйственных учреждений Министерства лесного хозяй-

ства Республики Беларусь и организаций концерна «Беллесбумпром», с которыми в установленном порядке согласованы образовательные стандарты и типовые учебные планы.

Переподготовку в БГТУ по указанным выше специальностям проходят в подавляющем большинстве руководящие работники и специалисты организаций лесного комплекса, не имеющие профильного образования, но имеющие опыт работы в данных организациях на соответствующих должностях. За неполные два года обучения в заочной форме данные специалисты получают необходимые профессиональные компетенции и соответствующую квалификацию, позволяющие им в полном объеме и на высоком уровне выполнять возложенные на них должностные обязанности. Качество образовательного процесса переподготовки контролируется преподавателями БГТУ при проведении зачетов и экзаменов, а также руководящими работниками и специалистами Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь и концерна «Беллесбумпром», привлекаемыми для проведения итоговой аттестации в форме государственного экзамена или защиты дипломного проекта (работы). Организациями-заказчиками кадров для лесного комплекса отмечаются высокий уровень подготовки слушателей переподготовки, актуальность рассматриваемых вопросов в рамках дисциплин специальностей.

Для совершенствования образовательного процесса переподготовки БГТУ постоянно проводит ряд мероприятий, среди которых можно выделить следующие:

- подбор высококвалифицированных преподавателей, имеющих опыт проведения занятий для специалистов организаций лесного комплекса, а также принимающих участие в выполнении научно-исследовательских работ в соответствующих областях;

- привлечение для проведения занятий, при необходимости, специалистов-практиков, имеющих опыт организации эффективных производственных процессов в организациях лесного комплекса;

- постоянные (не реже 1 раза в 2 года) пересмотр и утверждение учебно-программной документации с целью актуализации преподаваемого материала;

- увеличение объема практических занятий и стажировок, проводимых в организациях лесного комплекса, с привлечением в качестве руководителей стажировок ведущих специалистов-практиков;

- разработка по ряду дисциплин электронных учебно-методических комплексов для организации эффективной управляемой самостоятельной работы слушателей с использованием информационно-коммуникационных технологий.

В качестве перспективных направлений развития образовательных программ переподготовки руководящих работников и специалистов БГТУ считает необходимость более широкого внедрения информационно-коммуникационных технологий в образовательный процесс (проведение учебных занятий с помощью видеоконференцсвязи, вебинаров), а также обеспечение возможности переподготовки студентов старших курсов, позволяющей расширить перспективы их трудоустройства и дальнейшего карьерного роста.

Также в БГТУ проводится краткосрочное (1–2 недели) повышение квалификации и обучающие курсы для руководящих работников и специалистов лесного комплекса. Следует отметить, что значительная часть руководящих работников и специалистов лесохозяйственных учреждений проходят повышение квалификации в Государственном учреждении дополнительного образования взрослых «Республиканский центр повышения квалификации руководящих работников и специалистов лесного хозяйства», в котором для организации образовательного процесса также привлекаются преподаватели БГТУ. Вместе с тем в БГТУ разработана учебно-программная документация повышения квалификации по основным направлениям деятельности организаций лесного комплекса, которая на постоянной основе доводится до сведения заказчиков и потенциальных слушателей.

В результате развития новых направлений научно-исследовательской и образовательной деятельности БГТУ разрабатываются соответствующие образовательные программы повышения квалификации и обучающих курсов, в результате организации кото-

рых производится распространение новых направлений развития организаций лесного комплекса. Так, в настоящее время в БГТУ проводится ряд исследований в области эффективного использования в лесном комплексе беспилотных летательных аппаратов для перехода к так называемому интеллектуальному лесному хозяйству и решения задач по охране и защите леса. Данные исследования проводятся в рамках национальных и международных проектов и с целью распространения полученных результатов для организаций лесного комплекса проводятся обучающие курсы, которые включают теоретические занятия, тренажерную подготовку, практическое обучение на действующих беспилотниках. В рамках обучающих курсов, которые проводятся при поддержке Белорусской федерации беспилотной авиации, также рассматриваются вопросы обработки полученной информации для дальнейшего ее использования.

Следует отметить, что большинство программ повышения квалификации разрабатывается БГТУ по заказу конкретных организаций-заказчиков лесного комплекса и проводится на их базе или на базе филиала БГТУ «Негорельский учебно-опытный лесхоз». Например, для специалистов Государственной инспекции охраны животного и растительного мира при Президенте Республики Беларусь на протяжении последних нескольких лет организуется повышение квалификации по программе «Искусственное лесовосстановление и охрана леса» на базе филиала БГТУ «Негорельский учебно-опытный лесхоз». Некоторые программы повышения квалификации проводятся с использованием информационно-коммуникационных технологий, что позволяет принимать участие в обучении удаленно с частичным отрывом от производства (например программа повышения квалификации «Фитосанитарная обработка древесины»). За последние несколько лет в БГТУ были организованы стажировки и летние школы по актуальным вопросам ведения лесного хозяйства, первичной переработки древесины, лесного машиностроения для специалистов научных учреждений Казахстана, Узбекистана, Армении, Латвии и других стран. В рамках стажировок зарубежные партнеры также посетили ведущие организации лесного комплекса и машиностроительные предприятия Республики Беларусь.

Одним из приоритетных направлений развития деятельности БГТУ в области образовательной деятельности является организация дополнительного образования студентов старших курсов, с целью повышения их конкурентоспособности на постоянно изменяющемся рынке труда.

Одним из способов получения новых компетенций является организация в БГТУ для студентов и молодых специалистов образовательных программ дополнительного образования взрослых (переподготовка, обучающие курсы) по актуальным проблемам развития современной экономики, малого бизнеса, сферы услуг. В данном случае выпускники инженерно-технического профиля имеют дополнительные возможности карьерного роста и востребованность у работодателей.

В настоящее время студенты БГТУ инженерных специальностей имеют возможность пройти переподготовку в Институте повышения квалификации и переподготовки по специальностям «Экономика труда», «Маркетинг», «Логистика» и ряду других специальностей, что позволяет им получить новые профессиональные компетенции и открыть новые возможности для дальнейшего трудоустройства. Также для студентов есть возможность пройти переподготовку по другим специальностям в ведущих учреждениях образования нашей страны.

Для студентов организуются обучающие курсы, семинары, вебинары, на которые приглашаются ведущие специалисты (в том числе зарубежные) соответствующих отраслей экономики, имеющие опыт организации и управления производством.

БГТУ активно использует зарубежный опыт в проведении дополнительного образования взрослых. В настоящее время при поддержке компании Адденда ОО в БГТУ реализуется проект «Европейский опыт организации и развития малого бизнеса

выпускниками инженерных специальностей (на примере Эстонской Республики)», в рамках которого проводятся различные мероприятия, направленные на ознакомление студентов БГТУ и всех заинтересованных с опытом европейских организаций, осуществляющих работу в области дополнительного образования и трудоустройства нуждающихся граждан. Изучение европейского опыта происходит с помощью вебинаров, проводимых эстонскими и белорусскими экспертами во внеучебное время. Также производится обсуждение информации, полученной на вебинарах с преподавателями БГТУ. Участниками вебинаров отмечены актуальность тематики, высокий уровень подготовки экспертов, возможность обратной связи после окончания обучения, что позволяет положительно оценить работу, проведенную БГТУ в сотрудничестве с компанией Адденда ОО и необходимости развития образовательной деятельности БГТУ в области дополнительного образования студентов.

В БГТУ на базе Центра профессионального роста проводится консультирование студентов и молодых специалистов по актуальным вопросам трудоустройства. Консультирование (в том числе с применением дистанционных методов) проводится работниками БГТУ и специалистами ведущих предприятий соответствующих отраслей.

Значительное внимание в БГТУ уделяется подбору профессорско-преподавательского состава для организации на высоком уровне образовательного процесса подготовки, переподготовки и повышения квалификации специалистов для организаций лесного комплекса. Для реализации образовательного процесса подготовки специалистов на первой и второй ступенях высшего образования в БГТУ привлекается высококвалифицированный профессорско-преподавательский состав с учеными степенями и званиями. В рамках образовательных программ дополнительного образования взрослых также приглашаются специалисты ведущих предприятий, которые делятся опытом в решении важных производственных задач, что повышает практическую направленность образовательных программ.

Образовательный процесс подготовки специалистов для организаций лесного комплекса проводится с использованием материально-технической базы кафедр лесохозяйственного факультета и факультета лесной инженерии, материаловедения и дизайна, которые оснащены современным оборудованием и программным обеспечением производственных процессов. Значительная часть лесозаготовительных машин, деревообрабатывающего оборудования расположено в филиале БГТУ «Негорельский учебно-опытный лесхоз», в котором со студентами и слушателями проводятся выездные лабораторные занятия по специальным дисциплинам, учебные и производственные практики, стажировки и экскурсии.

С целью повышения уровня своих профессиональных компетенций в области современных технологий лесного хозяйства и деревообрабатывающей промышленности преподаватели лесохозяйственного факультета и лесной инженерии, материаловедения и дизайна БГТУ регулярно проходят стажировки на ведущих отечественных и зарубежных предприятиях, участвуют в Международных научно-технических и методических конференциях, результаты которых активно внедряют в образовательный процесс.

Заключение. Организация образовательного процесса подготовки, переподготовки и повышения квалификации кадров для лесного хозяйства и деревообрабатывающей промышленности в тесной взаимосвязи с организациями Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь и концерна «Беллесбумпром» позволяет БГТУ осуществлять выпуск востребованных специалистов для данных отраслей экономики страны и организовывать дополнительное образование руководящих работников и специалистов по изучению и внедрению в производство новых инновационных направлений с целью повышения эффективности и развития организаций лесного комплекса.

**РОБОТИЗАЦИЯ ЗАГОТОВКИ ДРЕВЕСИНЫ И СПОЛЬЗОВАНИЕМ
АЭРОСТАТИЧЕСКИХ РОБОТОВ**

Штолманн В., доц., к.т.н., Моронгова Я., PhDr.

Технический университет в Зволене

(Зволен, Словакия), e-mail: stollmannv@tuzvo.sk; janka.morongova@tuzvo.sk

ROBOTING LOGGING BASED ON AEROSTATIC ROBOTS

Stollmann V., Assoc. Prof, PhD., CSc., Morongova J., PhDr.

Technical university in Zvolen

(Zvolen, Slovakia)

Аннотация. Для реализации стратегии устойчивого развития в лесном секторе нам необходимо иметь адекватную технологию заготовки леса. Лесные роботы являются такой техникой. В начале статьи описаны преимущества лесных роботов и концептуальные подходы к решению проблемы. В центре внимания - плавающие лесные роботы, решением которых стала разработка в Техническом университете в Зволене. Эти роботы назывались дельтастатами. В статье описано их техническое описание и принцип действия.

Ключевые слова: лесные роботы; аэростатические системы; аэростатический процессор; аэростатический робот

Abstract. In order to implement the sustainable development strategy in the forestry sector we need to have adequate logging technology available. Forestry robots are such a technique. At the beginning of the article advantages of forestry robots are described and conceptual approaches to the solution. The focus of attention is floating forest robots, the solution of which was development at the Technical university in Zvolen. These robots were called deltastats. The article describes their technical description and principle of operation.

Key words: forest robots; aerostatic systems; aerostatic processor; aerostatic robot

Введение. На международной конференции в Рио-де-Жанейро в 1992-ом году лесоводы всего мира согласовали стратегию «устойчивого развития» для предотвращения неизбежной экологической катастрофы. Чтобы мы были способными реализовать эту стратегию и одновременно обеспечить достаточное количество древесного сырья для общества, нам необходимо развивать науку и технику. Принципиально не отступлением от использования лесной техники в лесном хозяйстве, а, скорее, усилением ее использования во всех видах деятельности – лесовосстановления, защиты леса, заготовки леса. В промышленных приложениях роботы уже нашли свое постоянное место. Сейчас они вступают в сельское и лесное хозяйство (рисунок 1).



Рисунок 1 – Коммерчески доступный шагающий харвестер – промежуточный этап на пути к лесозаготовительному роботу

Материалы и методы. Высший уровень техники в области заготовки леса сегодня представляют харвестеры. Харвестеры мы считаем по сравнению с трелевочными тракторами более экологической техникой. Однако факт остается фактом: более высокие эффекты достигаются в основном за счет изменения технологии работы, в то время как все недостатки колесных и гусеничных шасси остаются неизменными. Колесные и гусеничные шасси в горных условиях имеют свои пределы. Можно, например, теоретически доказать, что максимальная откосная доступность машины на колесном шасси приблизительно 27 градусов, которая при учёте аспектов безопасности уменьшается примерно на 12 градусов. Конечно, при помощи различных технических решений мы можем эту откосную доступность увеличить, но обратной стороной монеты является потом повышенный ущерб, наносимый окружающей среде, угроза безопасности труда, и т. д.

Мы считаем, что роботизация лесохозяйственной деятельности является неизбежной тенденцией. Её преимущества появятся не только в области окружающей среды, но и в других аспектах:

– Психология. Современная харвестерная техника избавила человека от тяжелой физической работы в лесозаготовочной деятельности. Освободила его от шума, вибраций и создала ему в многих отношениях даже комфортные условия труда, но все же операторам харвестеров приходится вращаться примерно через 2 часа работы. Это вызвано большой умственной нагрузкой из-за обработки больших объемов информации и необходимого постоянного внимания к работе. Результатом является усталость, истощение, стресс, проблемы со здоровьем. Наконец, приходит притупление внимания с возможными фатальными последствиями;

– Безопасность труда и технического оснащения. Работа людей и машин в сложных условиях местности опасна с точки зрения возможного опрокидывания, падения или разрушения компонентов вследствие высоких механических нагрузок;

Исходя из нашего анализа ущерба окружающей среды, около 40% идёт за счет технологий и 60% возникает в результате несоблюдения технологической дисциплины. Роботы устраняют этот фактор. Они работают точно по указанному технологическому процессу днем и ночью. Они не знают усталости, они не ищут причин, почему что-нибудь невозможно сделать. Можно сказать, что они являются средством будущего, так называемого прецизионного лесного хозяйства.

Проникновение роботов в лесное хозяйство можно ожидать в следующих областях:

- А) на нижних лесных складах для производства лесоматериалов;
- Б) в лесных питомниках для посадки семян и саженцев;
- В) для заготовки древесины.

Лесоводственная деятельность в лесных питомниках и лесоматериалы на нижних складах представляет подходящие условия для применения роботов. Они обусловлены:

- А) характером массового производства;
- Б) детерминированной рабочей средой;
- В) наличием электричества.

Это позволяет принять принципы проектирования, известные из области промышленных роботов. Ситуация намного сложнее в случае лесозаготовительных роботов. Ключевые вопросы, которые необходимо решить в этом случае, являются:

- А) сложная и неоднородная лесная среда;
- Б) суровые климатические условия;
- Г) крупногабаритные и тяжёлые грузы.

Для решения этих ключевых вопросов в Техническом университете в городе Зволен были разработаны аэростатические роботизированные системы, так называемые «deltastaty» [1]. Дельтастаты, в сущности, летающие роботизированные установки. Их основными конструктивными составляющими являются:

- аэростатическая система;

– роботизированная единица.

Аэростатическая система легче воздуха и представляет платформу для фиксации самостоятельной лесозаготовительной единицы. Её задачей является обеспечить прежде всего:

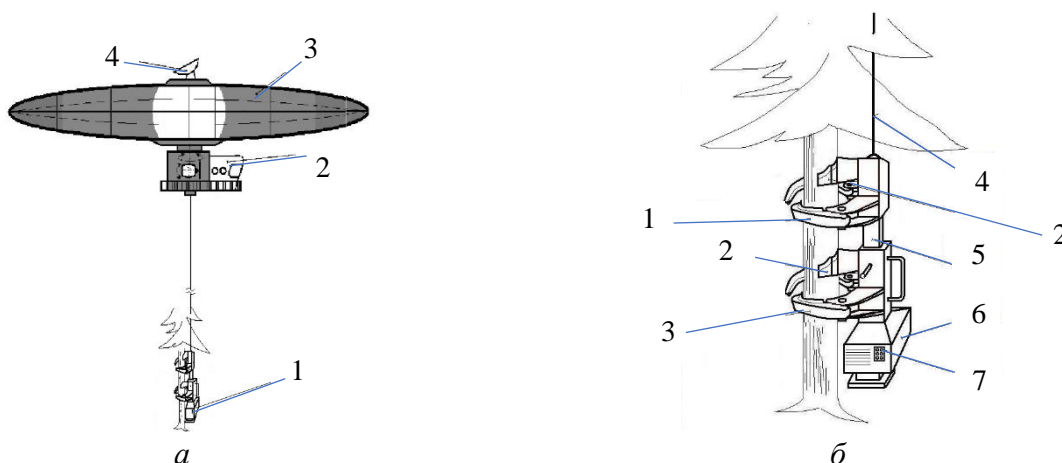
– компенсацию веса лесозаготовительной единицы;

– представляют локомоцию – систему движения для навигации дельтастата.

Аэростатические системы спроектированы как неармированные или полуармированные конструкции аэростатов типа термопланов и центропланов, полученные в результате аэрокосмических исследований Российской Федерации. Аэростаты имеют форму диска, чтобы уменьшить боковое сопротивление ветра и обеспечить движение во всех направлениях. Аэростатические системы созданы как дистанционно управляемые, чтобы была возможность их навигация как в целях лесозаготовки, так и для транспортировки заготовленной древесины.

Лесозаготовительная единица может быть спроектирована с различной степенью механизации и автоматизации. В принципе, она не должна быть только роботического типа. В качестве промежуточного этапа могут использоваться лесозаготовительные единицы процессорного или харвестерного типа.

Результаты. Возможным вариантом для начала роботизации лесозаготовительного процесса может стать применение лесозаготовительной единицы процессорного типа, использующей процессорную рабочую головку 1, которая укреплена на стальном канате (рисунок 2, а). Установка была названа аэростатическим процессором. Пиление дерева осуществляется рабочим при помощи мотопилы. Перспективное решение для головки процессорного типа показано на рисунке 2, б. Рабочий процесс с использованием данного оборудования начинается с того, что оператор включает двигатель и вручную помещает рабочую головку на комель дерева. При помощи дистанционного управления в автоматическом режиме начинается подъем рабочей головки вверх в направлении кроны дерева при одновременном обрезании ветвей ствола. Процесс обрезки сучьев выполняется циклично. Во время данного хода сначала нижние ножи 3 крепко схватывают ствол дерева, верхние 1 остаются свободными, телескоп 5 начинает выдвигаться и при данном движении верхние ножи 1 вместе с обрезочным ножом 2 обрезают ветви и сучья дерева. При завершении этой операции ствол схватывают верхние ножи 1, а нижние открываются и телескоп 5 поднимается вверх. Весь процесс циклически повторяется, рабочая головка поднимается в крону дерева и одновременно обрезает ветви и сучья ствола. Этот процесс автоматически останавливается на основании данных датчика диаметра ствола дерева. По окончании процесса дерево крепко захватывается верхними и нижними ножами 1 и 3 и вальщик выполняет раскряжевочный рез при помощи мотопилы.

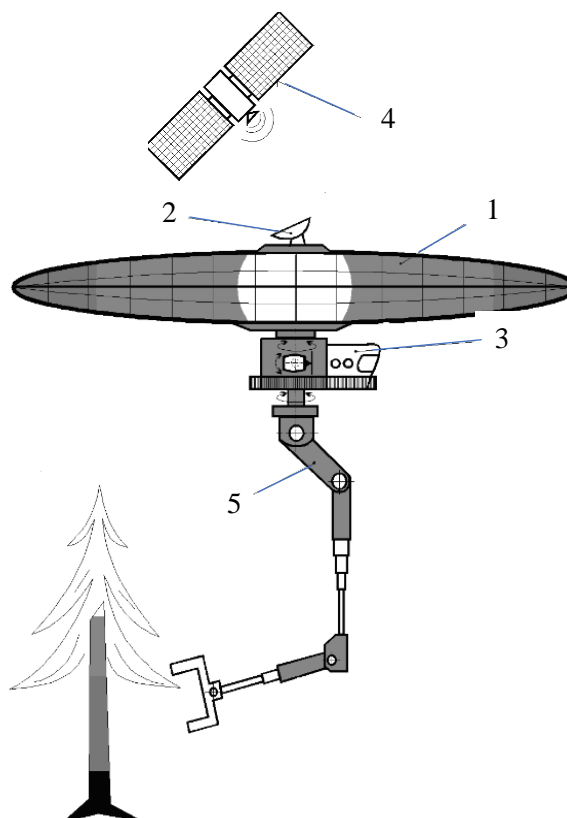


а – общий вид: 1 – процессорная рабочая головка; 2 – гондола; 3 – аэростат; 4 – приемник системы GPS; б – рабочая головка процессорного типа: 1 – верхний сучкорезный нож; 2 – сучкорезный нож; 3 – нижний сучкорезный нож; 4 – подъемный канат; 5 – телескопически выдвигаемая часть; 6 – силовая установка; 7 – панель управления

Рисунок 2 – Аэростатическая лесозаготовительная единица процессорного типа:

По похожему принципу работает аэростатический харвестер, который использует прикреплённую на канате головку харвестероного типа. Пиление деревьев в данном случае автоматизировано.

Наивысшая степень автоматизации достигается при использовании роботической лесозаготовительной единицы (рисунок 3). Аэростат и роботическая лесозаготовительная единица вместе образуют аэростатический робот. где: 6 -аэростат, 10 - приемник системы GPS, 11 - спутниковая антенна GPS, 7- гондола, 8 - канатная установка "Дельта", 9 - механическая часть робота.



1 – аэростат; 2 – приемник системы GPS; 3 – гондола; 4 – спутниковая антенна GPS;
5 – механическая часть робота

Рисунок 3 – Аэростатический робот

Заготовленное древесное сырьё может в первой фазе укладываться на грузовой контейнер (рисунок 4). Укладка сырья должна быть равномерной, чтобы центр тяжести приходился на середину платформы. После заполнения грузового контейнера транспортировка контейнера на нижний склад происходит воздушным путём при помощи аэростатического робота. Аэростатический робот может таким образом одновременно выполнять и транспортную функцию. В таком случае необходимо обеспечить грузоподъёмность приблизительно на 600 т.



Рисунок 4 – Грузовой контейнер

В случае реализации данной технологии можно говорить о большом прорыве в логистике производства древесины, потому что:

- сводятся к минимуму требования к прокладке лесных дорог;
- в комплексе решается проблема защиты окружающей среды;
- характеризуется точным соблюдением технологических процессов, это позволяет реализовать прецизионное хозяйствование в лесах;
- позволяет автоматизацию и роботизацию лесозаготовительной и транспортной деятельности.

Обсуждение и заключение. До реализации предложенной системы может пройти не одно десятилетие, с учетом развития и применения новых технологий и конструкций в лесозаготовительной отрасли. Однако со временем предложенная система и другие ей подобные, несомненно, выйдут на первый план по сравнению с существующими системами, так технический прогресс должен в первую очередь стремиться к неистощительному и средоохраняющему антропогенному воздействию.

Совершенствование лесного хозяйства и общества в целом возможно достичь только через технологии, которые не наносят вреда природе, а также с помощью образованного и квалифицированного персонала. Развитие техники направляется от бензиновых пил через тракторы, харвестеры и интегрированные канатные системы к лесозаготовительным роботам. Однако, помимо готовности, необходима и профессиональная компетентность. Робототехника больше не может работать таким образом как, например, бензопилы. Профессиональная подготовка персонала является ключевой задачей, и поэтому необходимо укреплять преподавание технических наук на всех уровнях лесных школ. Времени остается уже немного. Исходя из нашего анализа, начало роботизации лесного хозяйства – это вопрос 10–15 лет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Úrad priemyselného vlastníctva Slovenskej Republiky: *Lanové ťažbovodopravné zariadenie*. Изобретатель: Vladimír Štollmann, Katarína Belanová, Jozef Suchomel.: Int. Cl.: B66D 3/00, B66C 21/00, A01G 23/00, B64B 1/00. Патент № SK 287204, введен в 08. 03. 2010. На словацком языке.

Примечание. Статья создана при финансовой поддержке Министерства образования, науки, исследований и спорта Словацкой республики в рамках проекта KEGA, No. 007TU Z-4/2019.

**ПРИМЕНЕНИЕ ФРЕЗЕРНЫХ ОРУДИЙ PRINOTH (АНВИ)
В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

**Арико С. Е.¹, доц., к.т.н., Комарович М. Г.², гл. инж., м.т.н., Сисенис Л. З.³, доц., д.с.-х.н.,
Симанович В. А.¹, доц. к.т.н., Асмоловский М.К.¹, доц., к.т.н.,
Зимелис А.³, вед. спец., м.т.н., Кононович Д. А.¹, асс., Беляков А. А.¹, студ.**

¹Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: sergeyariko@mail.ru, lmitlz@belstu.by,
asmika59@mail.ru, denkon_92@mail.ru, vip.lehabel.2000.2000@mail.ru

²ЧП «Аммак-Бел» (Смолевичи, Республика Беларусь), e-mail: mihail_komarovic@mail.ru

³Латвийского университета естественных наук и технологий
(Елгава, Республика Латвия), e-mail: mfdek@llu.lv, agris.zimelis@llu.lv

**APPLICATION MILLING TOOLS OF PRINOTH (АНВИ)
IN THE REPUBLIC OF BELARUS**

**Ariko S. Ye.¹, Assoc. Prof., PhD (Engineering), Komarovich M. G.², Ch. Engineer, Mg.sc.ing.,
Sisenis L.³, Assoc. Prof., PhD (Agricultural), Simanovich V. A.¹, Assoc. Prof., PhD (Engineering),
Asmolovsky M. K.¹, Assoc. Prof., PhD (Engineering), Zimelis A.³, Lead. Specialist, Mg.sc.ing.,
Kononovich D. A.¹, Postgrad. Student, Belyakov A. A.¹, stud.**

¹Belarusian State Technological University
(Minsk, Republic of Belarus)

²Ammak-Bel

(Smolevichy, Republic of Belarus)

³Latvia University of Life Sciences and Technologies
(Jelgava, Republic of Latvia)

Аннотация. В статье представлены результаты работы компании Prinoth (АНВИ) в Республике Беларусь. Рассмотрены основные потребители фрезерных орудий (мульчеров и ротоваторов) в разрезе отраслей народного хозяйства и регионального их расположения. При этом рассмотрены основные проекты, реализованные с целью продвижения современных технологий и оборудования Prinoth для удаления пней при подготовке лесосек к последующему лесовосстановлению, измельчения древесно-кустарниковой растительности при строительстве и содержании дорог, газо-, нефтепроводов, линий электропередач, а также при проведении ряда лесохозяйственных мероприятий. Приведены конструктивные особенности как навесных, так и самоходных мульчеров, которые агрегируются на колесном и гусеничном шасси. Следует отметить, что, несмотря на эффективность применения гусеничных машин в ряде условий эксплуатации, около 95% данного оборудования в стране имеет колесный тип движителя, что связано с рядом ограничений, которые регламентируются нормативными правовыми актами. При этом опытная эксплуатация гусеничного мульчера Raptor 500 в ГОЛХУ «Копыльский опытный лесхоз» показала эффективности применения данной машины, а также назревшую необходимость корректировки параметров и показателей, ограничивающих распространение данного оборудования и гусеничного шасси в Республике Беларусь.

Ключевые слова: фрезерное орудие; мульчер; навесная система; базовое шасси; привод; древесно-кустарниковая растительность

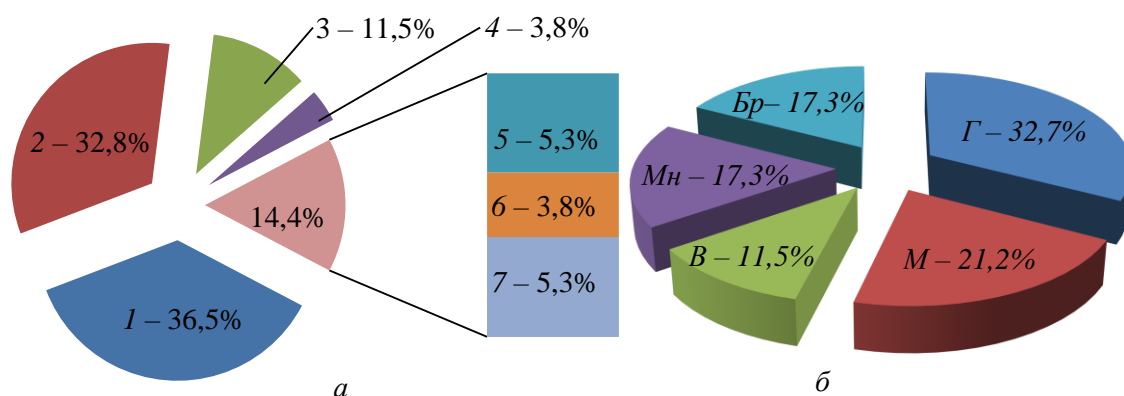
Abstract. The article presents the results of the work of the company Prinoth (АНВИ) in the Republic of Belarus. The main consumers of milling tool (mulchers and rotators) in the context of the sectors of the national economy and their regional location are considered. At the same time are considered, the main projects that were implemented with the aim of promoting modern technologies and Prinoth equipment for removing stumps during preparation of cutting areas for subsequent reforestation, shredding of wood and shrub vegetation during the construction and mainte-

nance of roads, gas-, oil pipelines, power lines, as well as for the implementation a series of forestry activities. Design features of mounted and self-propelled mulchers, which are aggregated on a wheeled and tracked chassis, are given. It should be noted that, despite the effectiveness of the use of tracked vehicles in some of operating conditions, about 95% of this equipment in the country has a wheeled type of mover, which is associated with a number of restrictions that are regulated by normative legal acts. At the same time, the trial operation of the Raptor tracked mulcher 500 at state experimental forestry institution «Kopilsky experienced forestry» confirmed the effectiveness of this machine and also the urgent need to adjust the parameters and indicators that limit the distribution of this equipment and the application tracked chassis in the Republic of Belarus.

Key words: milling tool; mulcher; hinged system; base chassis; drive; wood and shrub vegetation

Введение. В настоящее время перед рядом предприятий остро стоит вопрос повышения уровня механизации выполняемых работ. Это обеспечивается за счет внедрения передовых технологий и современного оборудования. Так на смену ручному труду на лесозаготовительных предприятиях начали применять харвестеры как на рубках главного, так и промежуточного пользования [1, 2]. При этом вопрос организации и выбора рациональных систем машин, обеспечивающих проведение с максимальной эффективностью осветлений и прочисток, а также осуществляющих очистку лесосек после проведения лесозаготовительных работ является открытым. В последние годы на смену привычным кусторезам и корчевателям [3] приходят фрезерные орудия (мульчеры и ротаваторы) [4], которые навешиваются на различные базовые шасси [5]. Выпуском данного технологического оборудования занимается ряд производителей, среди которых компания Prinoth. Приобретение в 2009 году канадского производителя гусеничных вездеходов Samoplast позволило диверсифицировать ассортимент продукции, что позволило в настоящее время PRINOTH обладать самым большим в мире ассортиментом снегоуплотнительных машин и гусеничных вездеходов. Расширить свою деятельность в направлении создания техники для мульчирования позволило приобретение немецкого производителя мульчерных и специальных машин и агрегатов ANWI в 2011 году. При этом оборудование ANWI в Республике Беларусь начало применяться с 2008 года, а в настоящий момент реализуется и обслуживается предприятием ЧП «Аммак-Бел», которая специализируется на продвижении современных технологий и технических решений в областях: лесозаготовки и лесовосстановления; мульчирования и рекультивации; гусеничных вездеходов; снегоуплотнения и снегопроизводства; сельском хозяйстве.

Материалы и методы. За последние 12 лет в Республике Беларусь было реализовано более 50 единиц мульчеров. Причем активное приобретение данного оборудования осуществлялось предприятиями Министерства энергетики, а в настоящий момент они имеются на предприятиях, осуществляющих уход за газо- и нефтепроводами, железными дорогами. Последние годы данное оборудование активно приобретается лесохозяйственными учреждениями. Так распределение техники PRINOTH в разрезе предприятий представлено на рисунке 1. Анализируя представленные данные следует отметить, что около 70% оборудования эксплуатируется на предприятиях министерств энергетики и лесного хозяйства, порядка 15% – в организациях, осуществляющих строительство и уход за газо-, нефтепроводами и мелиорационными системами, еще около 10% применяется при строительстве и уходе за автомобильными и железными дорогами. Следует также отметить существенную неравномерность распределения мульчеров по регионам Республики Беларусь (рис. 1, б). Более 50% реализованных самоходных и навесных мульчеров находится в Гомельской и Могилевской областях, где половина машин эксплуатируется на предприятиях министерства энергетики. При этом перспективным регионом продвижения продукции является Гродненская область, где фрезерные орудия Prinoth отсутствуют. Хотя в данном регионе эксплуатируются мульчеры других производителей.



а – между предприятиями министерства энергетики 1, лесного хозяйства 2, организациями, осуществляющими строительство и уход за газо- и нефтепроводами 3, мелиорационными системами 4, железными 5, и автомобильными 6 дорогами и другими 7;
б – по областям: В – Витебская, Br – Брестская, Г – Гомельская, М – Могилевская, Мн – Минская

Рисунок 1 – Распределение фрезерных орудий Prinoth

В рамках продвижения продукции, в зависимости от условий эксплуатации, имеющейся базы техники и требованиям к параметрам оборудования, на территории Республики реализовано 8 проектов по внедрению в эксплуатацию навесных и самоходных фрезерных орудий. При этом самым массовым исполнением является агрегатирование самого легкого навесного мульчера АНWI M450m-1900 (рисунок 2, *а*) на различные модификации тракторов BELARUS-1221 и BELARUS-82, а также M450m-2200 и M450m-2700 с тракторами BELARUS-1523 и BELARUS-2022В.3. Данные мульчеры имеют массу от 1410 кг до 1580 кг при диаметре ротора 450 мм и рабочей ширине 1900 мм, 2200 мм и 2700 мм соответственно. Они агрегируются с соответствующими энергетическими средствами при помощи 3-х точечной навески (КАТ II или КАТ III) и имеют механический привод от вала отбора мощности (ВОМ). Редуктор мульчера оснащается обгонной муфтой.



Рисунок 2 – Агрегатирование мульчеров АНWI M450m-1900 (*а*) и M550m-2410 (*б*) на базовое шасси BELARUS-1221В.2 и универсального энергетического средства УЭС-2-280А «ПАЛЕССЕ 2U280А» соответственно

Для навески на 3-х точечную навесную систему КАТ III и IV энергетических средств мощностью 100–180 кВт предназначен навесной мульчер АНWI M500-2300 оснащенный системой стабилизации карданного вала Z-кинематика.

Для ГЛХУ «Любаньский лесхоз» на универсальное энергетическое средство УЭС-2-280А «ПАЛЕССЕ 2U280А» (ОАО «Гомсельмаш» – управляющая компания холдинга), мощностью 220 кВт, осуществлена установка навесного мульчера АНWI M550m-2410 (рисунок 2, *б*), который имеет 60 режущих зубьев, расположенных на роторе диаметром

550 мм. Данный мульчер, как и АНWI М500-2300, оснащен системой стабилизации карданного вала Z-кинематика. Особенность данной конструкции является в наличии ременной передачи в приводе ВОМ, а также фрикционных муфт в навесном оборудовании, выполняющих функцию предохранительного устройства.

Кроме рассмотренных навесных мульчеров в Республике Беларусь эксплуатируются самоходные гусеничные мульчеры Raptor 300 (рисунок 3, а) и АНWI RT 400 (рисунок 3, б), получившие распространение на предприятиях, осуществляющих строительство и уход за нефте- и газопроводами, а также линиями электропередач. Это обусловлено необходимостью эксплуатации на грунтах с низкой несущей способностью. При этом Raptor 300 имеют мощность 275 кВт, массу 14850 кг, и способен измельчать древесину диаметром до 65 см. В отличие от данной самоходной машины RT 400 имеет более мощный двигатель в 300 кВт при эксплуатационной массе 16500 кг. RT 400 в Республике Беларусь эксплуатируется в двух исполнениях: с механизмом выброса измельчаемой древесины через щепопровод и без него. Первое исполнение позволяет осуществлять сбор измельчаемой древесины для последующего использования.



Рисунок 3 – Самоходные гусеничные мульчеры Raptor 300 (а) и АНWI RT 400 (б)

В апреле 2020 года в ГОЛХУ «Копыльский опытный лесхоз» осуществлена опытная эксплуатация самоходного мульчера Raptor 500 в сочетании с фрезой М700. Мульчер оснащен двигателем 320 кВт и имеет массу 19100 кг. Данная машина оснащена гусеничным шасси повышенной проходимости (ходовая часть – дельта), которое обеспечивает преодоление единичных неровностей высотой 50 см за счет особой конструкции установки задней приводной звездочки. Так треугольный тип гусениц обеспечивает высокое положение планетарной передачи, позволяет работать во влажных (тяжелых) условиях без повреждения или загрязнения ходового редуктора. Самоочищающееся действие гусениц значительно снижает износ элементов ходовой части и время на ежедневную очистку. Фреза М700 имеет диаметр 700 мм, 56 режущих неподвижных зубьев типа UPT, обеспечивающие возможность работы фрезы на глубину до 38,5 см, при этом габаритная ширина составляет 2,7 м, а рабочая ширина 2,3 м. Для защиты двигателя от перегрузок привод фрезы, как и у Raptor 300 и АНWI RT 400, включает гидравлическую муфту. Особенностью рассматриваемой конструкции является также конструкция фрезерного оборудования, обеспечивающая эффективный подъем ротора на высоту до 1,8 м. При этом карданный вал привода фрезы от ВОМ остается неподвижен ввиду особой кинематики движения рабочего органа.

Результаты. В результате анализа конструкций применяющихся в Республике Беларусь фрезерных орудий установлено, что они оснащаются двухсторонним приводом ротора, осуществляющегося через стационарную раздаточную коробку, высокопроизводительные эластичные ремни и боковые карданные валы с опциональным обеспечением крутящего. Ввиду преобладающего объема работ, связанного с измельчением древесины и необходимостью удаления пней, применяются роторы барабанного типа с фиксированными молотками с твердосплавными зубьями типов UPT и UPTs. Несмотря на повсеместное распространение привода фрезерного орудия от ВОМ, ряд конструкций (мульчер АНWI М450m) предусматривают возможность перехода на гидравлический привод (путем демонтажа карданов и установки 2-х

гидромоторов). Среди рассмотренных конструкций навесных и самоходных мульчеров около 86% (рисунок 4) составляют навесные M500 и M450m с различной рабочей шириной.



Рисунок 4 – Распределение фрезерных орудий Prinoth по типам и моделям

Обсуждение. Среди эксплуатирующихся в Республике Беларусь фрезерных орудий Prinoth (АНВИ) 83% имеют колесное шасси, а среди эксплуатирующихся в учреждениях министерства лесного хозяйства – 100%. Это связано с ограничениями по применению гусеничных машин. При этом существует значительное количество научных работ, утверждающих о целесообразности применения комбинированного (колесно-гусеничного) или гусеничного движителя в ряде условий эксплуатации. Учитывая, что при измельчении пней и порубочных остатков после проведения рубок осуществляется на всей площади челночными ходами без разворота шасси, то воздействие на почву от гусеничного шасси будет незначительно, а в случае измельчения валов лесосечных отходов образуется подушка мульчи толщиной до 10–12 см, которая защищает грунт от непосредственного контакта с движителем. Следует также отметить, что независимо от того колесное или гусеничное шасси применяется в качестве энергоносителя они оба осуществляют движение по относительно рыхлой почве смешанной с мульчей, где для оценки воздействия движителя на почву необходимо проведение дополнительных исследований.

Заключение. В настоящее время эффективность применения фрезерных орудий при измельчении древесно-кустарниковой растительности подтверждается практикой, что влечет за собой повсеместное их применение. При этом в Республике Беларусь, по предварительной оценке, эксплуатируется 130–140 единиц мульчеров и ротораротов. Среди них около 40% представлены орудиями Prinoth. При этом общая тенденция по распределению мульчеров аналогичного класса имеет схожий характер, в том числе и у других производителей данного оборудования. Так более 95% всех фрезерных орудий эксплуатируется на колесном шасси и около 90% имеет привод от ВОМ. При этом 100% мульчеров на гусеничном шасси – это орудия Prinoth, для более широкого распространения которых необходимо пересмотреть ряд нормативных актов и возможно провести ряд теоретических и экспериментальных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арико С.Е. [Анализ конструкций харвестерных машин](#) // Труды БГТУ. 2009. Сер. 2, Лесная и деревообаб. пром-сть. № 2. С. 76–81.
2. Strubergs A., Saveljevs A., Davidans M., Ariko S. [Estimating accuracy of measuring length of round timber produced in logging by working with harvester](#) // Engineering for rural development. 2018. pp. 910–914. DOI: [10.22616/erdev2018.17.n354](#)
3. Zimelis A., Sisenis L., Sarmulis Z., Ariko S. Technology and energy balance in stump harvesting with MCR 500 // Engineering for rural development. 2018. pp. 1395–1400. DOI: [10.22616/ERDEV2018.17.N162](#)
4. Арико С.Е., Мохов С.П., Симанович В.А., Дудко Е.М. Применение фрезерного оборудования в лесном комплексе Республики Беларусь // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии. Могилев: БПУ, 2017. С. 197–198.
5. Лой В.Н., Арико С.Е., Асмоловский М.К., Германович А.О., Дудко Е.М. [Разработка многофункционального шасси для проведения лесохозяйственных работ](#) // [Лесозаготовительное производство: проблемы и решения](#) материалы Международной научно-технической конференции. Минск: БГТУ, 2017. С. 124–126.

**ЗАПАС КРУПНЫХ ОСТАТКОВ ДРЕВЕСИНЫ В ЛЕСАХ СРЕДНЕЙ И
СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ТАЙГИ**

**Кузнецов А. А.¹, доц., к.б.н, Соколова В. А.¹, доц., к.т.н, Войнаш С. А.², инж.,
Арико С. Е.³, доц., к.т.н.**

¹Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
(Санкт-Петербург, Россия), e-mail: detrit@mail.ru, sokolova_vika@inbox.ru

²Новосибирский государственный аграрный университет
(Новосибирск, Россия), e-mail: sergey_voi@mail.ru

³Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: sergeyariko@mail.ru

**SUPPLY LARGE WOOD RESIDUES IN FORESTS OF MIDDLE AND
NORTHERN TAIGA**

**Kuznetsov A. A.¹, Assoc. Prof., PhD (Biology), Sokolova V. A.¹, Assoc. Prof., PhD (Engineering),
Voinash S. A.², Engineer, Ariko S. Ye.³, Assoc. Prof., PhD (Engineering)**

¹Saint Petersburg State Forest Technical University
(Saint Petersburg, Russia)

²Novosibirsk State Agrarian University
(Novosibirsk, Russia)

³Belarusian State Technological University
(Minsk, Republic of Belarus)

Аннотация. В статье представлены результаты исследований, целью которых являлось оценка запасов углерода в крупных древесных остатках (КДО) на природных территориях, которые развиваются без хозяйственной деятельности человека на примере коренных лесов средней и северной подзон тайги. В задачи исследования входили расчеты пулов углерода КДО, в биогеоценозах различных типов леса и сукцессионного состояния. Исследования проводились в период 2005–2009 гг. в среднетаежных ельниках резервата «Вепсский лес» природного парка «Вепсский лес» Ленинградской области, национального парка «Кенозерский», Архангельской области, а также в северотаежных ельниках Национального парка «Югыд Ва» Республики Коми. Научная новизна заключается в определении значений пулов углерода, связанных с КДО, в БГЦ (биогеоценоз) различных типа леса и сукцессионного состояния для лесов, развивающихся без воздействия хозяйственной деятельности человека. При этом впервые количественно оценено влияние различных факторов (лесорастительных условий, типа леса и сукцессионного состояния БГЦ, естественных нарушений) на пул углерода КДО и статистически оценено влияние различных факторов на запасы углерода КДО в коренных лесах, проведена сравнительная оценка роли КДО в круговороте углерода коренных лесов, находящихся в разных ландшафтно-экологических условиях. Результатом исследований стало получение значений запасов крупных древесных остатков, которые можно использовать при получении продуктов деревообработки и основных расчетах в лесной экологии.

Ключевые слова: запас; крупные древесные остатки; экология; древесиноведение; рациональное использование; низкосортная древесина

Abstract. The article presents the results of studies aimed at estimating carbon reserves in large wood residues (LWR) in natural areas that develop without human activity using the example of indigenous forests of the middle and northern taiga subzones. The objectives of the study included the calculation of carbon pools of LWR in the biogeocenoses of various types of forests and succession states. The researches were conducted in the period 2005-2009 in the middle taiga spruce forests of the Veps forest reserve of the Veps forest natural park of the Leningrad region, the Kenozersky national park, the Arkhangelsk region, as well as in the north taiga spruce forests

of the Yugyd Va National Park of the Komi Republic. The scientific novelty lies in determining the values of the carbon pools associated with LWR in the BGC (biogeocenosis) of various types of forests and succession states for forests that develop without the impact of human activities. The first quantitatively evaluated the influence of various factors (forest conditions, forest type and succession state of BGC, natural disturbances) on the LWR carbon pool and statistically evaluated the effect of various factors on LWR carbon reserves in indigenous forests, made a comparative assessment of the role of the LWR carbon of indigenous forests, located in different landscape and environmental conditions. The result of the research was to obtain reserve values of large wood residues that can be used to obtain wood products and basic calculations in forest ecology.

Key words: reserve; large wood residues; ecology; wood science; rational use; low-grade wood

Введение. Интерес к изучению КДО с каждым годом неуклонно растет. Это связано с недостаточной изученностью их роли в круговороте веществ в лесных биогеоценозах, биологическим разнообразием видов и биологической продуктивности лесов. Интерес со стороны научного сообщества к изучению КДО обострился в связи с несколькими фундаментальными проблемами: высвобождение в атмосферу большого количества углерода из ископаемого топлива при сжигании, увеличение продуктивности и устойчивости лесов с вовлечением КДО в биологический круговорот, накопление в лесах крупных древесных остатков и перспективы их использования в получении продуктов из низкосортной древесины. Лесные и другие природные экосистемы стали рассматриваться в совершенно новом для них аспекте. Сохранение и разведение лесов как способ связывания (депонирования) атмосферного углерода позволяет сбалансировать выбросы углекислого газа в атмосферу при сжигании природного топлива. Суммарные объемы депонирования углерода лесами России оцениваются в 261,64 миллиона тонн в год.

Количественная характеристика параметров круговорота углерода в лесных экосистемах необходима для оценки их роли в глобальном углеродном цикле, что особенно актуально в связи с широко обсуждаемыми в настоящее время проблемами сохранения биопродуктивности и биосферных функций лесов [1].

Материалы и методы. При исследовании резервата «Вепский лес» была использована база простых пробных площадей (ППП), заложенная С.А. Дыренковым и С.С. Савицким (1984). В национальных парках «Югыд Ва» (2008) и «Кенозерский» (2006) были заложены временные пробные площади (ВПП). Всего было обследовано 114 пробных площадей (2637 объектов КДО). Для определения запасов КДО на одной ПП было заложено по 4 трансекты длиной 50 метров и шириной 4 метра во взаимно перпендикулярных направлениях (крестом, направление С-Ю, 3-В, место пересечения – центр выдела). Для исследования подбирались участки леса (БГЦ), характеризующиеся различными типами леса, преобладающей древесной породой, возрастной структурой и сукцессионным состоянием. При инвентаризации крупные древесные остатки учитывали по породам, классам разложения и категориям (валеж, зависшие деревья, сухостой, пни и фрагменты КДО) на трансекте.

Для определения массы углерода крупных древесных остатков их объем по породам умножался на базисную плотность согласно разработанной системе классов разложения. Далее проводилась камеральная обработка и статистический анализ данных с использованием ковариационного анализа (ANCOVA), теста на гомогенность Дункана и непараметрического теста Краскела-Уоллиса (пакет программ Statistica 6.0) с целью установления влияния различных факторов (обобщенная фаза динамики, подзона тайги, фаза динамики, обобщенный тип леса, класс бонитета, порода) на запас КДО [2].

Запасы углерода связанные с КДО рассчитывались на основании инвентаризации 114 пробных площадей (2637 объектов КДО), расположенных в северной и средней подзонах тайги, приуроченным к различным лесорастительным условиям, типам леса и различным сукцессионным состояниям БГЦ, с естественными нарушениями, таким, как по-

жары, ветровалы и др. Во избежание субъективности при выборе пробных площадей в работе был использован метод трансект.

Результаты. Рассчитанные значения запасов углерода КДО варьировали от 0,4 до 54,4 тСга⁻¹ (рисунки 1–3). Наибольшие значения запасов углерода КДО характерны для фазы оконной динамики, характеризующей дигрессию условно-одновозрастных древостоев (резерват «Вепский лес»). Наименьшие значения отмечены для древостоев, находящихся в фазах нарастания и стабилизации запаса, в абсолютно-разновозрастном лишайниково-зеленомошниковом (резерват «Вепский лес») и относительно-разновозрастном долгомошно-сфагновом (национальный парк «Югыд Ва») типах леса, характеризующихся низким запасом и крайне низким приростом.

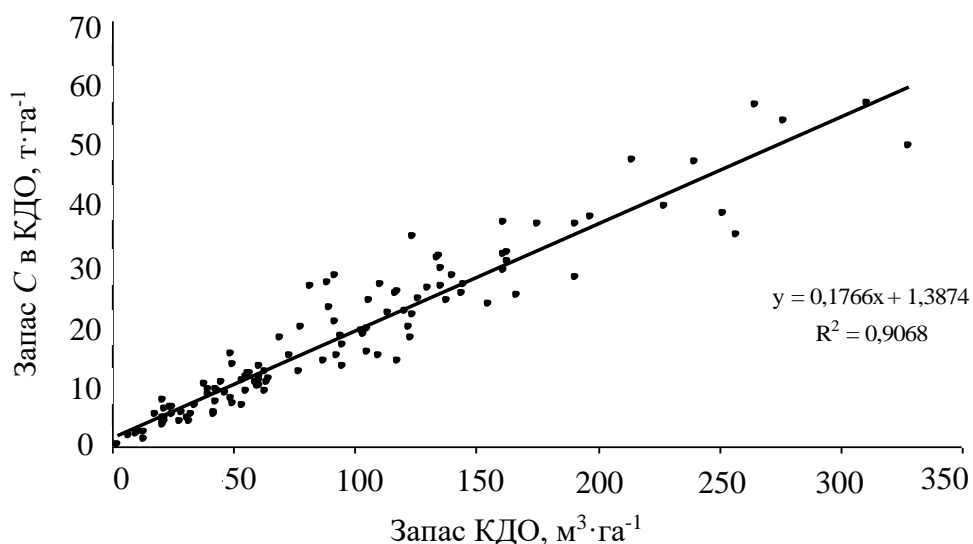


Рисунок 1 – Зависимость запасов чистого углерода от объемов древесины КДО

Распределение запаса углерода КДО не отличалось от нормального (критерий Колмогорова-Смирнова варьировал от 0,092 до 0,186, $p = n.s.$); Статистический анализ данных показал, что наиболее значимым фактором, влияющим на запас углерода КДО являлось сукцессионное состояние древостоя, выраженное как обобщенная фаза динамики древостоя ($F = 28,167$; $p < 0,001$). При этом запас углерода в КДО для фаз нарастания и стабилизации запаса достоверно не различался ($F = 3,227$; $p = 0,076$), а значимость факторов убывала в ряду: 1) природная зона; 2) преобладающая в древостое порода. Влияние класса бонитета, обобщенного типа леса, фазы динамики не выявлено.

Запас углерода КДО в древостоях, находящихся в фазе дигрессии, различался для: 1) условно-одновозрастных древостоев, ветровальных окон; 2) относительно- и абсолютно-разновозрастных древостоев, заболоченных участков. Влияние типа леса и класса бонитета не выявлено, а также возраста преобладающей породы и запаса древостоя на запас углерода КДО не выявлено. Запас углерода КДО имел линейную зависимость от запаса КДО в м³ ($y = 0,177x + 1,387$, $R^2 = 0,907$).

Наибольшее влияние фазы динамики древостоя на запасы углерода КДО объясняется тем, что максимальные запасы КДО, а, следовательно, и углерод накапливаются в результате естественных нарушений (в изучаемых БГЦ, в основном ветровалов и буреломов и т.д.), в старовозрастных древостоях, находящихся в фазе дигрессии. По мере разложения КДО запас углерода снижается. Древостои, находящиеся в фазах нарастания запаса в коренных лесах, восстанавливаются после нарушений, накопление углерода КДО в них незначительно (рисунок 2). В древостоях, находящихся в фазе стабилизации, происходят незначительные нарушения, связанные с вывалом одного или нескольких деревьев, не приводящие к массовому накоплению КДО. Различия в запасе углерода в КДО в зависимости от преобладающей породы связаны с биологическими и экологическими особенностями пород, определяющими различия в скорости отпада и ксилолиза.

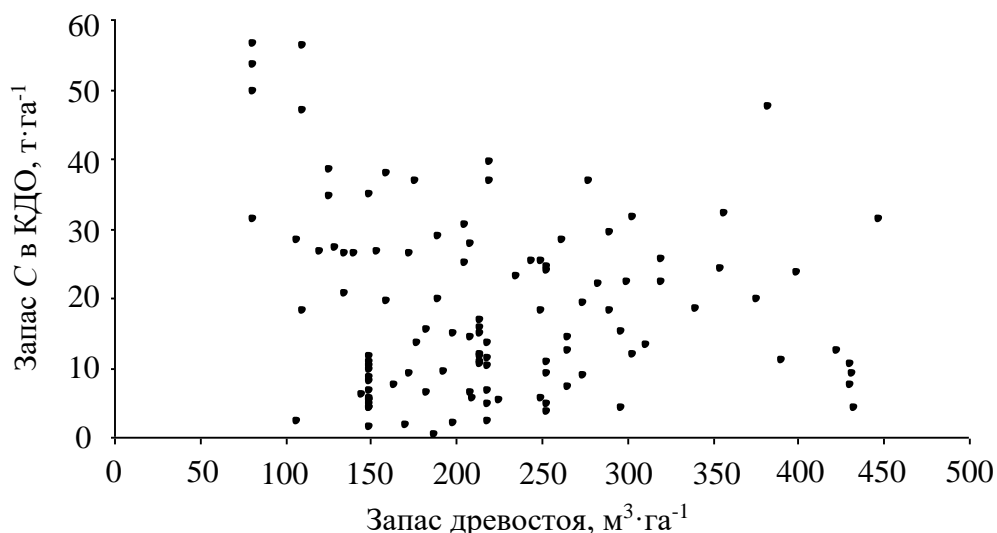


Рисунок 2 – Зависимость запасов чистого углерода от запасов древесины

На запас углерода КДО в древостоях, находящихся в фазе дигрессии, оказывала влияние только фаза динамики древостоя с учетом возрастной структуры (рисунок 3). Наибольшее количество углерода КДО наблюдалось в условно-одновозрастных древостоях и ветровальных окнах, а также в результате усыхания заболоченных ельников. Накопление КДО в относительно- и абсолютно-разновозрастных древостоях не различалось, т.к. отмирание деревьев не носило массового характера, происходя единично или небольшими группами.

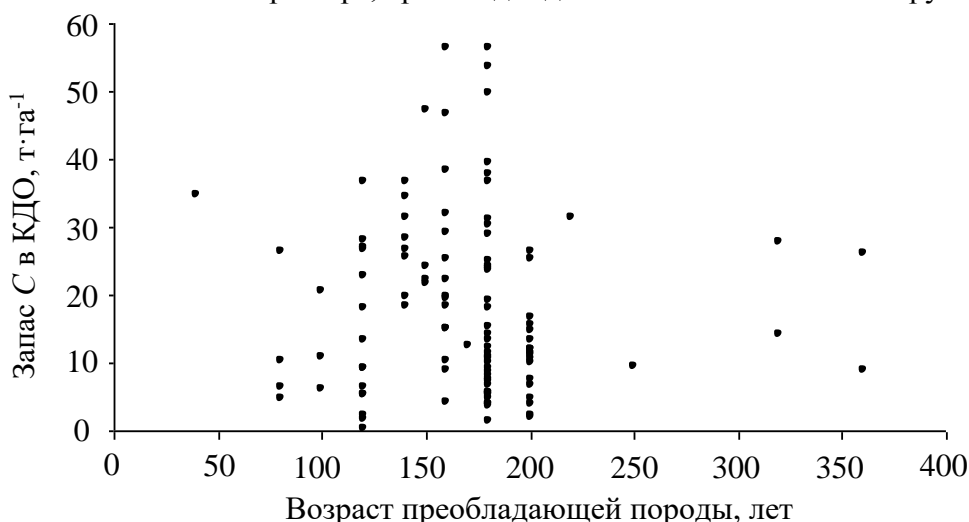


Рисунок 3 – Зависимость запаса углерода КДО от возраста преобладающей породы

Зависимость потока S от запаса КДО в связи с ксилолизом показана на рисунке 4. Линейная модель достаточно хорошо описывает данную взаимосвязь, об этом свидетельствует коэффициент корреляции ($R^2 = 0,7371$). Следует отметить, что наибольший объем пробных площадей имел запас КДО до 40 т углерода на один гектар. При этом характер зависимости потока углерода от КДО при его значениях более 40 т углерода один гектар не изменялся, а область разброса полученных значений становилась уже.

Анализ полученных данных позволил установить, что наиболее значимыми факторами, влияющими на поток углерода в связи с ксилолизом, являются запас углерода КДО и обобщенная фаза динамики древостоя. При этом запас углерода КДО равный 38,0 тС га⁻¹ является пограничным значением, до которого преобладает процесс накопления КДО (отпада), а при превышении этого значения, доминируют процессы ксилолиза.

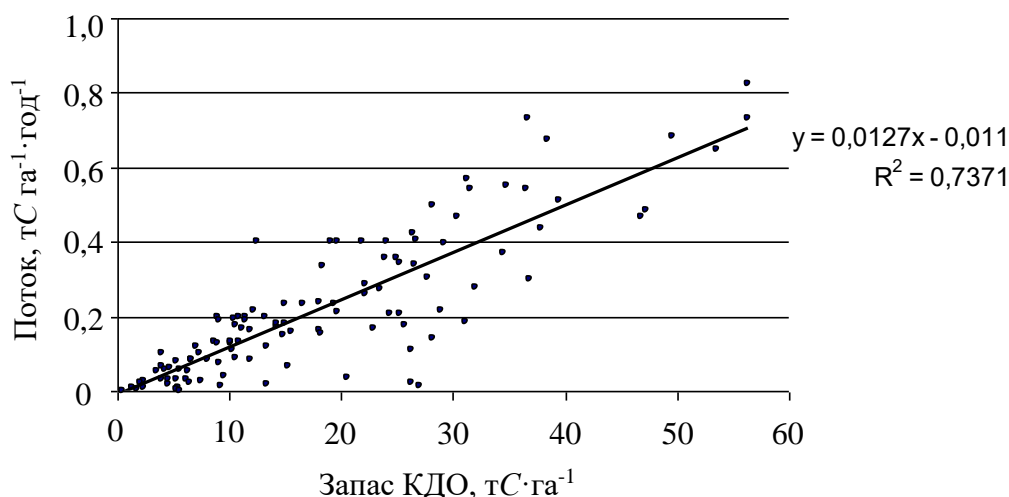


Рисунок 4 – Зависимость потока С от запаса КДО в связи с ксилолизом

Обсуждение. В литературе имеется довольно весомое количество публикаций на тему изучения КДО, однако, большинство из них представляют собой работы, в основании которых лежат математические модели, не проверенные эмпирическим путем. Данные, полученные прямыми измерениями, чрезвычайно фрагментарны, они покрывают незначительную площадь и касаются ограниченного количества регионов. В связи с этим рассчитанные на основании экспериментальных данных значения потоков углерода, связанных с КДО в различных БГЦ, позволяют составить углеродный баланс на уровне биогеоценоза, а также установить динамику древесного детрита в лесах таежной зоны.

Заключение. В настоящее время исследование запасов КДО является важнейшей задачей в связи со значительным дефицитом древесины в условиях транспортной доступности, высоким развитием технологий глубокой переработки низкокачественной древесины и биоэнергетики. В этих условиях КДО рассматривается как ценное сырье для деревоперерабатывающей промышленности и элемент для устойчивого функционирования лесных экосистем, однако достоверное распределение в лесах таежной зоны этого ресурса до сих пор остается малоизученным [3, 4].

Рассчитанные на основании экспериментальных данных значения пулов углерода, связанных с КДО, позволяет установить запасы древесного детрита в лесах таежной зоны.

Данная работа позволяет осуществить прогноз по количественным характеристикам древесного детрита в различных условиях, наличие которого влияет на биоразнообразие, поэтому результат работы (фактическое нахождение детрита на ПП) может быть оценен как один из параметров, связанных с биоразнообразием.

Полученные результаты могут использоваться при планировании различных лесохозяйственных мероприятий в лесах высокой биологической ценности и эксплуатационных лесах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боровиков, А.М. Справочник по древесиноведению / А.М.Боровиков, Б.Н.Уголев. – М.: Лесн. пр-ть, 1989. 296 с.
2. Кузнецов, А.А. Изучение физико-механических свойств древесины ольхи с целью ее рационального использования / А.А.Кузнецов, В.А.Соколова // Известия Санкт-петербургской лесотехнической академии. 2015. Вып. 213. С. 191-203.
3. Полубояринов, О. И. Древесиноведение. Таблицы. Формулы. Графики / О.И.Полубояринов. – СПб: ГЛТА, 1997. 405 с.
4. Соколова, В.А. Проблема лесохимического и биоэнерготехнологического использования биомассы дерева / В.А.Соколова, В.И.Ягодин // Известия Санкт-Петербургской Лесотехнической академии. Выпуск 188, СПб, СПбГЛТА, 2009. С. 246-252.

УДК 630*232.32

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ ДРЕВЕСНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ
ПОВЫШЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ ЛЕСНЫХ ПИТОМНИКОВ И
ВЫРАЩИВАНИЯ СЕЯНЦЕВ ХВОЙНЫХ ПОРОД В КАЗАХСТАНЕ**

Боровков А.В., к. с-х.н.

Комитет лесного хозяйства и животного мира Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан
(Нур-Султан, Республика Казахстан), e-mail: alborovkov@list.ru

**PROSPECTS FOR APPLICATION OF SECONDARY WOOD RESOURCES FOR
INCREASING SOIL FERTILITY OF FOREST NURSERY AND GROWING
SEEDLINGS OF CONIFEROUS BREEDS IN KAZAKHSTAN**

Borovkov A.V., candidate of agricultural sciences

Committee for Forestry and Wildlife of the Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources
of the Republic of Kazakhstan
(Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan)

Аннотация. В представленных материалах дана технология получения компостов на основе вторичных древесных ресурсов и целевых добавок в виде куриного помета и минеральных удобрений. Исследования проведены в Семипалатинском и Жанасемейском филиалах резервата «Семей орманы» по общепринятым методикам. Показано, что готовность органоминеральных компостов для условий резервата «Семей орманы» составляет 9 месяцев. Используемый куриный помет и минеральные удобрения стимулируют процесс разложения древесных опилок и коры. Органоминеральный компост при внесении в посевные отделения лесных питомников в дозе 40 т/га в течение трех лет увеличивает содержание в почве гумуса и таких подвижных элементов питания как азот, фосфор и калий.

Цель работы заключалась в использовании вторичных древесных ресурсов для получения компостов, обеспечивающих нормативный выход стандартных сеянцев хвойных пород.

Под влиянием органоминеральных компостов увеличиваются биометрические размеры посадочного материала на 10-15% и выход стандартных сеянцев достигает нормативных показателей. Установлено, что активное формирование сложных коралловидных форм микоризных окончаний на вариантах с внесением компостов привело к увеличению в 2 раза степени микоризности корневых систем сеянцев.

Ключевые слова: древесные опилки; кора; компост; сеянцы хвойных пород; микориза.

Abstract. The materials presented present a technology for producing composts based on secondary wood resources and targeted additives in the form of chicken manure and mineral fertilizers. The studies were carried out in the Semipalatinsk and Zhanasemeisky branches of the reserve "Semey Orman" according to generally accepted methods. It has been shown that the readiness of organomineral composts for the conditions of the Semey Ormana reserve is 9 months. Used chicken manure and mineral fertilizers stimulate the decomposition of sawdust and bark. Organomineral compost, when added to the seed sections of forest nurseries at a dose of 40 t / ha for three years, increases the soil content of humus and such mobile nutrients as nitrogen, phosphorus and potassium.

The purpose of the work was to use secondary wood resources for composting, providing a standard output of standard coniferous seedlings.

Under the influence of organomineral composts, the biometric sizes of planting material increase by 10-15% and the yield of standard seedlings reaches standard values. It has been es-

tablished that the active formation of complex coral-shaped forms of mycorrhizal endings on variants with the introduction of composts led to an increase of 2 times the degree of mycorrhizal root systems of seedlings.

Key words: wood sawdust; bark; compost; coniferous seedlings; micorise.

Введение. Почвенное плодородие лесных питомников оказывает существенное влияние на биометрические показатели выращиваемого посадочного материала, рост и развитие сеянцев хвойных пород, способствуя формированию хорошо развитой корневой системы и фотосинтетического аппарата. По данным Комитета лесного хозяйства в Казахстане ежегодно заготавливается 1,5 млн. м³ древесины, отходы вторичных древесных ресурсов, полученных от переработки, составляют около 100 тыс. м³.

Систематическое применение органических удобрений увеличивает запас питательных веществ в почве, повышает содержание в ней поглощенных оснований, повышает влагоемкость и водопроницаемость, обогащает почву микрофлорой, усиливает ее биологическую активность, уменьшает сопротивление почвы при ее механической обработке. Создаются оптимальные условия для получения стандартного посадочного материала с хорошо развитой корневой системой и надземной частью растений. Особо важную роль играют органические удобрения в лесных постоянных питомниках для повышения плодородия дерново-подзолистых супесчаных и песчаных почв, обладающих низким естественным почвенным плодородием. Разработка способов стимулирования микоризообразования на корневых системах сеянцев хвойных пород путем обогащения почвы лесных питомников органическими элементами питания позволит выращивать устойчивый к неблагоприятным факторам среды микоризованный посадочный материал и увеличить приживаемость лесных культур при лесовыращивании. Микотрофные растения имеют повышенную устойчивость к засухе, засолению и инфекциям, вызываемыми патогенными микроорганизмами и некоторыми почвенными вредителями [1, 2].

Цель работы заключалась в использовании вторичных древесных ресурсов для получения компостов, обеспечивающих нормативный выход стандартных сеянцев хвойных пород.

Материалы и методы. Для характеристики почвенного плодородия исследуемых лесных питомников отбирали из верхнего 20-сантиметрового слоя почвы смешанные образцы (каждый состоит из 9 индивидуальных) в 4-кратной повторности. В лабораторных условиях в образцах почвы определяли: содержание гумуса (по Никитину А.Б.), рН в солевой вытяжке (на рН-метре), гидролитическую кислотность (по Каппену), сумму поглощенных оснований (по Каппену-Гильковицу), легкогидролизуемый азот (по Коробченко Ю.Т.) [3–6]. Для определения влажности почвы отбирались пробы с помощью почвенного бура из почвенных горизонтов 0–10 см и 10–20 см. Часть образца почвы насыпали во взвешенный (с точностью до 0,01 г) и занумерованный алюминиевый стаканчик (не более 2/3 объема) и закрывали крышкой. Пробы отбирались в 5-ти кратной повторности по диагонали учетной площадки каждого варианта опыта. В лаборатории стаканчики с почвой взвешивали и высушили в сушильном шкафу при температуре 105 °С до постоянной массы.

Разработку технологии получения различных компостов для повышения почвенного плодородия лесных питомников проводили в Жанасемейском филиале резервата «Семей орманы». Динамику изменения общих форм азота, фосфора и калия, а также степень готовности органоминеральных компостов к использованию при выращивании сеянцев сосны обыкновенной проводили по следующим вариантам опыта: хвойная кора; хвойная кора с минеральными удобрениями (3:1); хвойная кора + куриный помет (3:1); хвойная кора + опилки + куриный помет (1:1:0,5); хвойная кора и опилки + куриный помет (3:1); хвойная кора и опилки + куриный помет + полимерный структурообразователь (3:1:0,5).

Для исследований органоминеральных компостов в лесном питомнике Жанасемейского филиала резервата «Семей орманы» подготовлено шесть буртов. Размер каждого бурта составлял: длина 10,0 м, ширина 4,0 м, высота 1,5 м. Количество компоста в каждом бурте 20 тонн. Всего заготовлено 120 тонн компостов. Компосты закладывали на ровной площадке послойно. Каждый слой составлял 20-30 см. Перемешивание компоста осуществляли 3 раза в течение вегетационного периода.

В Семипалатинском лесном питомнике при выращивании сеянцев сосны обыкновенной использовали полученные органоминеральные компосты по следующим вариантам опыта: компост на основе хвойной коры и опилок + куриный помет (3:1); компост на основе хвойной коры и опилок + куриный помет (1:1); компост на основе хвойной коры и опилок + куриный помет + полимерный структурообразователь (3:1:0,5).

Готовый к применению компост имеет следующие физико-химические показатели: влажность – не более 75%; кислотность солевой суспензии – 6,0-6,5; массовая доля азота – не менее 1,0-1,2%; соотношение углерода к азоту – не более 40; внешний вид: рассыпчатая, мажущаяся масса темно-коричневого цвета. Для получения компоста использовали измельченную кору хвойных пород, компостируемую с органоминеральными добавками, стимулирующими процесс ее разложения. Исходная кора для приготовления субстрата предварительно дробилась и увлажнялась. В качестве органоминеральных добавок использовали куриный помет (влажность – 31,7%; рН – 7,4; содержание общего азота – 4,36%; фосфора – 3,50%). В качестве целевых добавок, стимулирующих процесс разложения коры, вносили в растворенном виде азотные (мочевина) и фосфорные удобрения (двойной суперфосфат) в количествах, соответствующих содержанию 1,3% азота и 0,3% фосфора. Соотношение компонентов в составе составило 3:1:1.

На основании проведенных исследований разработаны «Методические указания по технологии получения компостов на основе органоминеральных компонентов и целевых добавок в комплексе лесного питомника ГУ ГЛПР «Семей орманы» [7].

Изучение процесса образования микоризы на корнях сеянцев сосны по вариантам опыта проводили по общепринятым методикам И.А. Селиванова [8], Д.В. Веселкина [9], К.И. Еропкина [10]. Изучение микоризообразования на корнях сеянцев сосны обыкновенной проводилось путем учета количества микоризных корней (шт. на 1 растение); количество не микоризных корней (шт. на 1 растение) и количество микориз на всем растении. При морфологическом анализе корневую систему сеянцев сосны обыкновенной рассматривали под биноклем и отмечали ее окраску, характер ветвления корней, наличие или отсутствие корневых волосков и их степень развития, наличие или отсутствие микоризы. Эктомикоризы классифицировали по форме: булабовидная, вильчатая, коралловидная. Определяли цвет (светло-желтая, коричневая, темно-коричневая и т.д.) и форму поверхности эктомикориз на корневых системах сеянцев сосны обыкновенной. Динамика формирования микоризных окончаний проводилась по К.И. Еропкину.

Результаты. Результаты физико-химического анализа исходных компонентов для получения компоста приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Состав компонентов органоминеральных компостов

Компоненты компостов	Влажность, %	рН _{НСI}	Зольность, %	Содержание основных элементов			
				азота		фосфора, %	калия, %
				общего, %	аммиачного, мг/100 г		
Хвойная кора	50,3	3,2	64,44	0,42	-	0,04	-
Хвойные опилки	22,6	5,1	1,03	0,10	-	0,02	-
Куриный помет на опилках	31,7	7,4	11,42	4,36	471,60	3,50	-

Выполненный химический анализ свидетельствует о том, что во всех используемых исходных компонентах компостов (хвойная кора и хвойные опилки) содержание общего азота составляло от 1,03 до 64,44%. В курином помете содержание общего азота составляло 4,36%. В данном субстрате выявлено большое содержание аммиачного азота (471,60 мг/100 г субстрата) и общего фосфора (3,50%). Целевая добавка в виде куриного помета повышает качество компостов, обогащая их такими основными элементами питания как азот и фосфор. Куриный помет является ценным органическим удобрением и по содержанию питательных веществ и их доступности для растений превосходит другие виды органических удобрений.

Изучена в течение 3 лет динамика содержания гумуса на различных вариантах опыта с внесением компостов на основе хвойной коры с органоминеральными добавками в виде куриного помета и хвойных опилок. Содержание гумуса на варианте опыта с внесением корового компоста в дозе 40 т/га превышает в 1,4-1,8 раза данный показатель по сравнению с контролем (таблица 2).

Таблица 2 – Динамика содержания гумуса, легкогидролизуемого азота и подвижного фосфора в почве после внесения коровых компостов с целевыми добавками в лесном питомнике Жанасемейского филиала

Состав компостов	Гумус, %			pH _{KCl}			N _{легкогидр.} , мг/100 г почвы			P ₂ O ₅ , мг/100 г почвы		
	2013	2014	2015	2013	2014	2015	2013	2014	2015	2013	2014	2015
Контроль	1,81	1,80	1,42	6,4	4,8	4,6	12,80	11,22	8,10	21,60	29,10	20,22
Хвойная кора с минеральными удобрениями (3:1)	3,52	2,41	2,22	5,9	4,7	4,5	20,30	6,10	6,15	42,70	40,22	32,16
Хвойная кора	3,44	2,43	2,44	6,0	5,1	4,7	14,44	6,82	6,25	40,60	37,14	28,19
Хвойная кора + куриный помет (3:1)	4,27	3,22	2,85	6,0	5,1	5,0	16,72	19,44	10,20	30,22	30,00	25,17
Хвойная кора и опилки + куриный помет (1:1)	4,65	3,17	2,51	6,1	5,1	5,0	20,10	16,12	11,42	39,69	38,40	35,61
Хвойная кора и опилки + куриный помет + полимерный структурообразователь (3:1:0,5)	3,82	3,43	2,82	6,1	5,3	5,1	21,62	19,26	11,24	40,12	39,17	36,15

Для изучения влияния внесения в почву лесных питомников компоста на основе хвойной коры, опилок, куриного помета и полимерного структурообразователя (3:1:0,5) на рост, развитие и микоризность корневой системы сеянцев хвойных пород проведен анализ посадочного материала 2-х постоянных лесных питомниках (таблица 3).

Данные таблицы 3 свидетельствуют о том, что биометрические показатели однолетних сеянцев сосны обыкновенной на питомниках зависят от внесения компостов. Единично встречаются сеянцы с максимальными биометрическими показателями роста и почти 30% – минимальными. Корневая система однолетних сеянцев с минимальными биометрическими показателями отличалась низким (1–4 шт.) количеством боковых корней, образованных на главном корне.

Степень микоризности корневых систем данных растений составляла 1 балл. В то время как на главном корне остальных растений выявлено от 6 до 14 боковых корней.

Таблица 3 – Биометрические показатели сеянцев сосны обыкновенной

Наименование филиала	Вариант опыта	Повторность опыта											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	среднее	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Семипалатинский филиал	Высота надземной части, см												
	1	9,2	8,3	8,5	9,0	9,3	9,1	9,0	8,9	8,8	8,9	8,9	
	2	8,0	8,0	7,7	7,8	7,8	7,8	7,9	7,7	7,6	7,7	7,8	
	3	8,5	8,5	8,0	8,1	8,2	8,1	8,2	8,1	8,2	8,1	8,2	
	Среднее												8,3
	Диаметр корневой шейки, мм												
	1	2,0	1,8	1,6	1,8	1,6	1,7	1,7	1,5	1,7	1,6	1,7	
	2	2,6	2,6	2,5	2,2	2,3	2,5	2,4	2,3	2,3	2,3	2,4	
	3	2,5	2,0	2,2	2,0	2,1	2,2	2,4	2,1	2,2	2,3	2,2	
	Среднее												2,1
	Степень микоризности, балл												
	1	3	3	2	4	2	2	3	4	3	3	2,9	
	2	3	3	2	3	2	1	2	3	3	2	2,4	
3	3	2	2	3	3	2	2	2	3	3	2,5		
Среднее												2,6	
Жанасемейский филиал	Высота надземной части, см												
	1	8,5	8,0	8,2	8,3	8,3	8,2	8,1	8,0	8,2	8,2	8,2	
	2	9,0	9,0	9,4	8,7	8,8	9,0	9,1	9,1	9,0	8,9	9,0	
	3	10,3	10,2	10,0	9,9	9,8	10,2	10,2	10,1	10,0	10,3	10,1	
	Среднее												9,1
	Диаметр корневой шейки, мм												
	1	2,2	2,2	2,6	2,6	2,5	2,4	2,5	2,4	2,4	2,2	2,4	
	2	2,0	2,2	2,3	2,4	1,8	1,9	2,1	2,0	2,1	2,2	2,1	
	3	1,7	1,5	1,7	1,6	1,4	1,5	1,4	1,3	1,4	1,5	1,5	
	Среднее												2,0
	Количество боковых корней, шт.												
	1	9	7	10	8	11	7	6	7	8	5	7,8	
	2	6	8	5	4	8	5	9	5	7	8	6,5	
3	8	10	8	6	4	7	8	7	3	9	7,0		
Среднее												7,1	
Степень микоризности, балл													
1	4	1	2	2	1	3	2	1	2	2	2,0		
2	2	2	3	1	2	2	1	2	1	2	1,8		
3	3	3	4	3	4	2	2	4	3	3	3,1		
Среднее												2,3	

Обсуждение. Проведенные исследования показали перспективу использования вторичных древесных ресурсов для получения органоминеральных компостов при выращивании стандартных сеянцев хвойных пород.

Заключение. Применение органоминеральных компостов в лесных питомниках является эффективным приемом при выращивании посадочного материала. Установлена степень готовности коровых компостов в течение 20 месяцев в зависимости от их состава. Введение в коровые субстраты куриного помета способствовало более быстрому их созреванию. Выявлены оптимальные составы компостов на основе древесной коры с целе-

выми добавками в виде хвойных опилок, куриного помета и полимерного структурообразователя почвы в соотношении 3:1:0,5.

Применение органоминеральных компостов в посевном отделении питомника способствует повышению содержания в верхнем гумусоаккумулятивном горизонте почвы основных элементов минерального питания. Содержание гумуса, легкогидролизуемого азота и подвижных форм фосфора и калия в почве увеличивается в 1,2-1,6 раза.

Интенсификация выращивания микоризного посадочного материала хвойных пород с применением компостов на основе хвойной коры с целевыми добавками позволяет более рационально использовать имеющиеся отходы лесной и деревообрабатывающей промышленности для получения органоминеральных удобрений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кентабаев, Е.Ж. Деревья и кустарники Казахстана для лесовыращивания / Е.Ж. Кентабаев, Б.А. Кентабаева. – Астана : Агроуниверситет, 2008. – 344 с.
2. Лесные культуры в Казахстане : учебник для вузов : в 2 кн. / С.Б. Байзаков [и др.]; Казах. нац. аграр. ун-т. – Алматы : Агроуниверситет, 2007. – Кн. 1 : Лесное семенное дело. Лесные питомники. – 320 с.
3. Никитин, Б.А. Методика определения содержания гумуса в почве / Б.А. Никитин // Агрохимия. – 1972. – № 3. – С. 123–125.
4. Коробченко, Ю.Т. Определение легкогидролизуемого азота в почвах / Ю.Т. Коробченко // Агрохимия. – 1975. – № 11. – С. 106–108.
5. Мещеряков, А.М. Разложение почв серной и хлорной кислотами для определения азота и фосфора / А.М. Мещеряков // Почвоведение. – 1963. – № 5. – С. 96–101.
6. Гинзбург, К.Е. Ускоренный метод сжигания почв и растений / К.Е. Гинзбург, Г.М. Щеглова, Е.В. Вильфиус // Почвоведение. – 1963. – № 5. – С. 89–96.
7. Методические указания по технологии получения компостов на основе органоминеральных компонентов и целевых добавок в комплексе лесного питомника ГУ ГЛПР «Семей орманы» / В.В. Копытков, Н.П. Охлопкова, А.В. Боровков, Ю.А. Таирбергенов, М.М. Елемесов; Казах. науч.-исслед. ин-т лес. хоз-ва, Ин-т леса НАН Беларуси. – Гомель; Астана, 2012. – 27 с.
8. Селиванов, И.А. Микосимбиотрофизм как форма консортивных связей в растительном покрове Советского Союза / И.А. Селиванов. – М. : Наука, 1981. – 232 с.
9. Веселкин, Д.В. Строение и микоризация корней сеянцев ели и пихты при изменении почвенного субстрата / Д.В. Веселкин // Лесоведение. – 2002. – № 3. – С. 12–17.
10. Еропкин, К.И. О взаимосвязи форм микоризных окончаний у хвойных / К. И. Еропкин // Микориза растений : респ. сб. науч. тр. / Перм. гос. пед. ин-т; ред. А. И. Селиванов. – Пермь, 1979. – С. 61–77.

OCCUPATIONAL ACCIDENTS IN THE SLOVAK FOREST SECTOR

Vlčková M., researcher, PhD

Technical University of Zvolen

(Zvolen, Slovakia), e-mail: vlckova@tuzvo.sk

НЕСЧАСТНЫЕ СЛУЧАИ НА ПРОИЗВОДСТВЕ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ СЛОВАКИИ

Влчкова М., исследователь., к.т.н.

Технический университет в Зволене

(Зволен, Словакия)

Abstract. The paper analyzes occupational accidents in selected forestry entities of the Slovak republic for the period 2000 – 2018. The aim of the article is to analyze the impact of chosen factors on the occurrence of occupational accidents in the group of forest workers. The basis for the analysis was the day and the hour when the occupational accident occurred, the information on harmed persons - gender, job, age, injured body part, the information about the factors affecting injuries. Data were evaluated graphically and the correlation between selected qualitative characteristics was determined by the method of contingency tables. The most risky work phase is logging. In the case of self-employed, the risk of fatal work-related accidents is higher than that of employees ($\alpha = 0,05$). For self-employed, the risk of injury due to the use of hazardous procedures is higher than that of employees ($\alpha = 0,05$).

Key words: occupational accidents; forestry; safety at work; logging process; work risk

Аннотация. В статье анализируются несчастные случаи на производстве в отдельных лесхозах Словацкой Республики за период 2000–2018 гг. Целью статьи является анализ влияния выбранных факторов на возникновение несчастных случаев на производстве в группе лесных рабочих. Основой для анализа послужили день и час возникновения несчастного случая на производстве, информация о пострадавших – пол, работа, возраст, травмированная часть тела, информация о факторах, влияющих на травмы. Данные оценивались графически, и корреляция между выбранными качественными характеристиками определялась методом таблиц сопряженности. Самым рискованным этапом работы является заготовка леса. В случае самозанятых риск несчастных случаев на производстве со смертельным исходом выше, чем у работников ($\alpha = 0,05$). Для самозанятых риск получения травм из-за использования опасных процедур выше, чем у работников ($\alpha = 0,05$).

Ключевые слова: несчастные случаи на производстве; лесное хозяйство; безопасность на работе; процесс регистрации; риск работы

Introduction. One of the main indicators of occupational safety and health is the risk of accidents at work. The main aim of international organizations dealing with health and safety at work is to reduce occupational accidents. The basic principles of the risk prevention include their identification and evaluation. Therefore, it is necessary to analyze the development of accidents at work, circumstances of their occurrence, basic characteristics of victims and other factors influencing the risk of the accidents at work.

In Turkey, a case study was developed to identify the factors responsible for fatalities in the logging process (Melenez, 2015). Personnel (32 %) and organizational factors (22 %) were confirmed as the most important factors. In Poland, a survey was conducted (Pecyna et al., 2019) on the causes of accidents in forestry. Respondents were presented with 16 common causes of accidents at work and they were asked to identify those that occur in their workplace. Respondents most often referred to human factors such as insufficient use of protective measures (63,7 %), underestimation of risk (63 %), persistence or entry into the hazardous area during

logging (56,3 %). Common sources of accidents in Austrian forestry are the loss of machinery control, transport or handling equipment, hand tools and an object or animal, followed by slipping, and falling, falling and collapse of material (Kogler, Quendler, Boxberger, 2016). The most dangerous phases of the harvesting process in Italy are logging and wood handling with a 31 % share of work-related accidents out of the total number of accidents occurred in the harvesting process (Laschi et al., 2016). 25 out of 32 deaths of Swedish forest workers between 1998 and 2002 were self-employed (Edgar, 2004). According to Thelin (2002), the most fatal accidents among the self-employed occurred when working with chainsaws.

The aim of the article is to analyze the impact of the chosen factors on the occurrence of work accidents in the group of forest workers in Slovakia.

Material and methods. The database was created from the data on work accidents in Slovak forestry. The following data on these criteria from the database were used: the kind of injury, the injured body parts and the cause of injury (Criteria were used according to the Ministry of labour, social affairs and family regulation nr. 500/2006 which imposes the model record of registered injury). Examined injuries were registered during the following phases and activities of the timber harvesting and transportation process: phase of wood felling and yarding, work process at forest depot, wood transport phase, work process at conversion depot and lower landing, repair and maintenance activity and control activity of technical and economic workers. Data was processed with Microsoft Excel.

Contingency table. The method of contingency table was used to analyze the relationship between quality characters (Table 1).

Table 1 – Example of contingency table

Factor B		Degrees of factor B						Σ
Factor A		B ₁	B ₂	.....	B _j	.....	B _m	
Degrees of factor A	A ₁	n ₁₁	n ₁₂	.....	n _{1j}	.....	n _{1m}	m ₁
	A ₂	n ₂₁	n ₂₂	.....	n _{2j}	.....	n _{2m}	m ₂
	:	:	:		:		:	∴
	A _i	n _{i1}	n _{i2}	.....	n _{ij}	.....	n _{im}	m _i
	:	:	:		:		:	∴
	A _k	n _{k1}	n _{k2}	.....	n _{kj}	.....	n _{km}	m _k
Σ		n ₁	n ₂	.....	n _j	.....	n _m	n

When there are two plural qualitative factors A, B, of which the first occurs in the variations (degrees) A₁, A₂, A₃, ... A_k and the second in the variations (degrees) B₁, B₂, B₃ ... B_m, their sorting forms *k x m* contingency table shown in Table 1.

The degree of dependence between the plural form qualitative factors A, B is measured by comparing actual frequencies in particular stages of the contingency table n_{ij} with the expected multiplicity n'_{ij} assuming the independence of factors A, B. The expected dependences are calculated according to the equation:

$$n'_{ij} = \frac{n_i \cdot n_j}{n}$$

They are calculated by multiplying of the marginal frequencies (n_i for factor A and n_j for B factor) range divided by a set of n .

The basis for the calculation is the quantity χ^2 (chi square), which is specified by the relationship:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m \frac{(n_{ij} - n'_{ij})^2}{n'_{ij}}$$

The calculation of χ^2 is done directly in the contingency table, where the expected frequencies n'_{ij} or the differences $(n_{ij} - n'_{ij})$ are recorded in each grade (box table) except for the actual frequencies. Other symbols n, k, m are known from the text.

Expected frequencies must also be calculated for the table boxes where the actual frequencies are not occurring. The frequencies in the respective boxes enter the calculation of χ^2 with the value:

$$\frac{(0 - n'_{ij})^2}{n'_{ij}} = n'_{ij}$$

The formula gives reliable results when the sample size is $n > 40$. If any of the frequencies in the contingency table is less than 5, the appropriate correction must be made in order to make the result reliable. The most advantageous correction is the one proposed by Yates (Myslivec, 1957, In Šmelko, Wolf, 1977) residing that we add the value of 0,5 to the minimum frequency and the other frequencies we adjust in the way that the marginal frequencies remain unchanged. In the case that $20 < n < 40$ and any of the expected frequencies n'_{ij} is less than 5, the class in which the frequency is included should be merged with the neighboring (closest relative) class of A or B factor. For the range set $n < 20$ this methodology should not be used at all.

Variable χ^2 is the basis for a test of hypothesis about the independence of factors A and B. Its small values argue in favor of the hypothesis, the large values against the hypothesis.

In practice, the compliance with the asymptotic distribution is considered to be sufficient if $a_{ij} > 5 \forall i, j$. If the $\chi^2 > \chi^2_{(k-1)(m-1)}(\alpha)$, the hypothesis of independence of factors A, B is rejected. The critical values of $\chi^2_{(k-1)(m-1)}(\alpha)$ are tabulated, while $(k-1)(m-1)$ represent the number of degrees of freedom.

Sometimes the χ^2 is also called the ratio of assurance. The value of χ^2 variable tells whether the dependency between factors A and B could be regarded as statistically significant or not. It does not say anything, however, about the dependence degree of these factors. The degree of dependence can be expressed by a coefficient of correlation of two plural qualitative factors A, B, which is calculated by the Čuprov formula (Urbach, In Šmelko, Wolf, 1977):

$$r_{AB} = \sqrt{\frac{\chi^2}{n \cdot \sqrt{(k-1) \cdot (m-1)}}$$

Findings. The subjects of the analysis were records of serious occupational accidents for the period 2000 – 2018 from selected forestry entities. Special attention was paid to the group of self-employed persons. A total of 141 fatal accidents at work and 345 serious accidents at work were statistically processed.

The number (n_{12}) of fatal accidents of self-employed is higher than the number (n_{11}) of fatal accidents of employees (Tab. 2). The number (n_{21}) of serious occupational accidents of employees exceeds the number (n_{22}) of serious occupational accidents self-employed persons almost three times. The higher number (n_{21}) of serious accidents of employees could also be caused by the serious occupational accidents classification system depending on the duration of sick leave (42 days), which was valid until the end of 2011. For the conformity testing of the serious occupational accidents of employees and self-employed risk contingent tables method was used (Table 2).

Table 2 – A risk assessment of serious occupational accidents of employees and self-employed (n_{ij} - actual frequencies, n'_{ij} - expected frequencies)

work accidents	number of injured employees	number of injured self-employed	sum
fatal	51 (n_{11})	90 (n_{12})	141
	93 (n'_{11})	48 (n'_{12})	
serious	268 (n_{21})	77 (n_{22})	345
	226 (n'_{21})	119 (n'_{22})	
sum	319	167	486

The null hypothesis formulation: The difference between the incidence of fatal accidents and serious accidents of employees and self-employed is statistically insignificant.

$$\chi^2 = 76,47; \quad \text{Degree of freedom (DF): 1}$$

With the significance level 5% and the degree of freedom 1 the chi-square statistic table value is 3,8 ($\chi^2 > \chi^2_{1(0,05)}$), then we can state that we refuse the hypothesis with 95% probability. The difference between the incidence of fatal occupational accidents and serious occupational accidents of employees and self-employed is statistically significant. There were more fatal accidents at work of self-employed persons than expected (n'_{12}). The risk of fatal accidents at work for self-employed is higher than for employees. The association coefficient $r_{AB} = 0,397$ defines the degree of dependence as middle strong.

The most risky work phase is logging (Figure 1). There is also a very high risk of an accident at work during the yarding phase. In both phases, up to 75% of all fatal accidents were occurred.

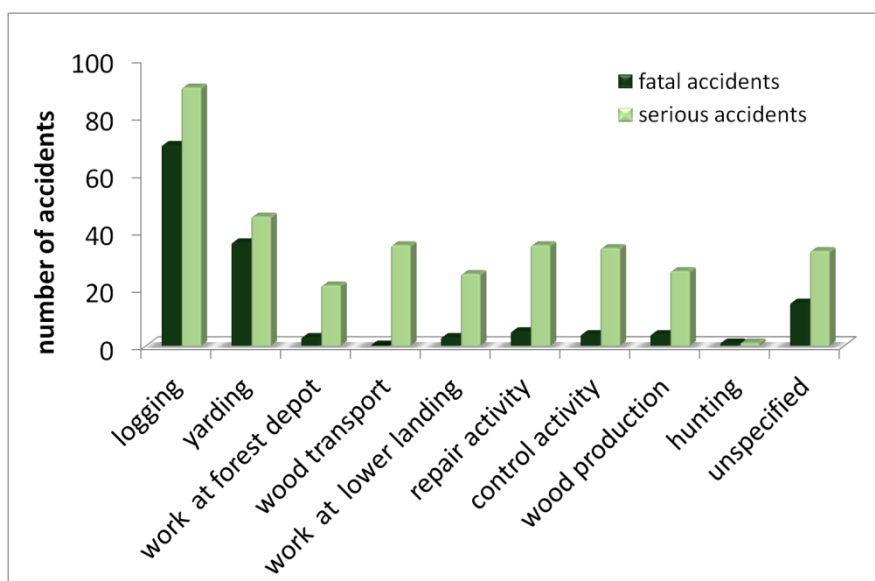


Figure 1 – The proportion of serious and fatal occupational accidents in specific work phases or activities

The most often injured body parts were the legs, with the 27% share of all analysed accidents. The second most often injured body part was the head (19% of all analysed accidents). Accidents of the torso and the hand were registered in 17% each. The category body includes the cases (16%), when more parts of body (e.g. the head and leg) were injured.

A contingency table (Table 3) was created to verify the statistical significance of fatal and serious occupational accidents of employees and self-employed due to cause 8 (use of dangerous procedures or work methods, including action without authorization, against orders, prohibitions and instructions, staying in the endangering area).

Table 3 – An assessment of difference in the occurrence of fatal and serious occupational accidents due to cause 8 (use of dangerous work methods) and cause 12 (work risk) (n_{ij} – actual frequencies, n'_{ij} – expected frequencies)

work accidents due to	number of injured employees	number of injured self-employed	sum
cause 8	95 (n_{11})	58 (n_{12})	153
	115 (n'_{11})	38 (n'_{12})	
cause 12	176 (n_{21})	30 (n_{22})	206
	156 (n'_{21})	50 (n'_{22})	
sum	271	88	359

The null hypothesis formulation: The difference in the occurrence of fatal and serious occupational accidents of employees and self-employed due to cause 8 and cause 12 (insufficiency of personal condition for solid job performance) is statistically insignificant.

$$\chi^2 = 25,85 \quad \text{Degree of freedom (DF): 1}$$

At the significance level $\alpha = 0,05$ with a degree of freedom 1, the tabular value of the chi-square represents 3,8. The inequality $\chi^2 > \chi^2_{1(0.05)}$ holds, so we reject the stated null hypothesis at the chosen level of significance. The difference between the incidence of fatal and serious occupational accidents of employees and self-employed due to cause 8 and cause 12 is statistically significant. Cause 8 was the cause of serious work-related accidents of self-employed people more often than expected. The risk of injury while using unsafe practices by self-employed is higher than for employees. The association coefficient $r_{AB} = 0,268$ defines the degree of dependence as weak.

Discussion. Of the 141 fatal occupational accidents which were examined, up to 44 % were caused by the use of dangerous procedures or work methods, including unauthorized work, staying in the endangering area (cause 8). In the case of serious accidents at work two causes of accidents predominate. 180 accidents (52 %) occurred due to the lack of personal prerequisites for proper work performance - e.g. lack of physical condition, sensory deficiencies, adverse personal characteristics and immediate psychophysiological conditions (cause 12). Cause 12, which in practice is also called the common work risk, was represented by 18 % in fatal accidents. The second most common cause of serious accidents is cause 8, for example the unsafe practices use, which resulted in 26 % of accidents. The use of dangerous procedures at self-employed caused 41 % fatal work accidents and 27 % serious work accidents. The most significant cause of accidents at work in Polish forestry from 2009 to 2016 was the misconduct of employees in 57,9 % of cases (Golab, Krause, 2019).

Group V (fall of an object or material on person) is the most common source of fatal accidents at work in Slovakia with a share of 42%. The dominant events that caused accidents in forestry (Golab, Krause, 2019) were the impact of the object in motion (26,7%). Most accidents in Slovenia were caused by direct contact with parts of the tree (60%) (Potočnik et al., 2006). In the case of serious accidents at work in Slovakia, the largest proportions were injuries to the limbs (43%), but there were also injuries to the head (19%) and torso. The occurrence of fatal work accidents was caused mainly by injuries to several parts of the body. The incidence of fatal accidents as well as head and torso injuries had a decisive effect. Danilović et al. (2016) examined work accidents in forestry in Serbia from 2008 to 2012 and the most frequently damaged parts of the body were legs (38%) and shoulders (35%), the most common injury source was a branch (35%). According to Lefort et al. (2003) the most commonly injured part of the body was the knee (28%) and the most common injury source was hitting a falling object (25%).

Lawson et al. (2006) state that despite the introduction of harvester technologies, Newfoundland forestry has a high accident rate. There is an absence of a system of prevention, inspection, methodology and the impact of reducing the volume of mining. The author points to

the need for specific actions and a coordinated approach by the government, health care institutions and researchers.

Effective tool for work accidents elimination is prevention. Prevent the work accidents occurrence in timber harvesting process we can mainly the following measures observance:

Working and rest behaviour observance – employers are obliged to set the working and rest behaviour.

Use of personal protective equipment - the role of the employer is to provide them and the role of employees is to use them and take care of them.

Selection of suitable technology - while not only the type of technology is important, but also its age and technical condition (noise and vibration level), the selection of suitable technology is conditioned by a number of factors and it is important that workers follow established work procedures.

Acknowledgments. The paper has been prepared under the financial support of the Ministry of Education, Science and Sports of the Slovak Republic in the frameworks of the project KEGA 007TU Z-4/2019."

REFERENCES

1. Danilović, M., Antonić, S., Đorđević, Z., Vojvodić, P. Forestry work-related injuries in Forest estate „Sremska Mitrovica“ in Serbia. *Šumarski list* 140(11-12), 2016. 589 – 597.
2. Edgar, C. Press Secretary, Swedish Working Environment Authority Website, 2004. [cit. 21. 6. 2019]. Available on: www.av.se
3. Golab, N., Krause, M. Occupational safety in forestry in 2009 – 2016. *Sylvan* 163(6), 2019. 508 – 514 .
4. Kogler, R., Quendler, E., Boxberger, J. Occupational accidents with agricultural machinery in Austria. *Journal of agromedicine* 21(1), 2016. 61 – 70.
5. Laschi, A., Marchi, E., Foderi, C., Neri, F. Identifying causes, dynamics and consequences of work accidents in forest operations in an alpine context. *Safety science* 89, 2016. 28 – 35.
6. Lawson, J. et al. *Occupational Health and Safety in Newfoundland Forestry*. Report on Research Findings. 2006.
7. Lefort, Jr. A. J., De Hoop, C. F., Pine, J. C., Marx, B. D. Characteristics of injuries in the logging industry of Louisiana, USA: 1986 to 1998. *International journal of forest engineering* 14(2), 2003. 75 – 89
8. Melemez, K. Risk factor analysis of fatal forest harvesting accidents: A case study in Turkey. *Safety science* 79, 2015. 369 – 378.
9. Pecyna, A., Buczaj, A., Lachowski, S., Choina, P., Goździewska, M., Galińska, E. M. Occupational hazards in opinions of forestry employees in Poland. *Annals of agricultural and environmental medicine: AAEM* 26(2), 2019. 242 – 248 .
10. Potočnik, I., Pentek, T., Poje, A. Severity analysis of accidents in forest operations. *Croatian Journal of Forest Engineering* 30(2), 2009. 171 – 184.
11. Šmelko, Š., Wolf, J. *Štatistické metódy v lesníctve*. Bratislava: Príroda, 1977. 330 p.
12. Thelin, A. Fatal accidents in Swedish farming and forestry, 1988-1997. *Safety Science* 40, 2002. 501 – 517
13. According to the Ministry of labour, social affairs and family regulation nr. 500/2006 which imposes the model record about registered injury

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПЛАНТАЦИЯХ

Тылек П.¹, зав. каф., проф., д.т.н., Германович А. О.², доц., к.т.н.

¹Сельскохозяйственный университет им. Гуго Коллонтая в Кракове
(Краков, Республика Польша), e-mail: pawel.tylek@urk.edu.pl

²Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: germanovich@belstu.by

FEATURES OF THE USE OF FORESTRY MACHINES ON ENERGY PLANTATIONS

Tylek P.¹, Head of the dep., Prof., Dr. Hab. Eng., Hermanovich A. O.², Assoc. Prof., PhD

¹University of Agriculture in Krakow

(Krakow, Republic of Poland)

²Belarusian State Technological University

(Minsk, Republic of Belarus)

Аннотация. Одним из путей кардинального улучшения всех фаз производства лесных культур является обеспечение качественной обработки почвы и механизированного ухода за культурами на первых годах жизнедеятельности после их посадки. Для этого в последние годы широко внедряются различные универсальные фрезерные орудия, которые также нашли свое применение при обработке почвы после заготовки древесины на энергетических плантациях. Однако конструкции таких машин не учитывают специфику строения и свойства корневой системы ивы, применяемой в энергетических целях.

Ключевые слова: ива; мульчер; технологическое оборудование; фреза; энергетическая плантация

Abstract. One of the ways to radically improve all phases of forest crop production is to ensure high-quality tillage and mechanized crop care in the first years of life after planting. For this, in recent years, various universal milling tools have been widely introduced, which have also found their application in the processing of soil after harvesting wood on energy plantations. However, the designs of such machines do not take into account the specifics of the structure and properties of the willow root system used for energy purposes.

Key words: willow; mulcher; technological equipment; mill; energy plantation

Введение. Одним из эффективных направлений биоэнергетики, которому уделяется значительное внимание в различных европейских странах, является создание энергетических плантаций быстрорастущих древесных насаждений. В настоящее время во многих странах мира (Швеция, Финляндия, США, Канада, Польша и др.) активно проводится изучение потенциала быстрорастущих подвидов и гибридов ивы, тополя, осины и других растений [1 – 5]. В этой связи, особый интерес вызывает ива, как растение, способное произрастать в условиях повышенной увлажненности, на разных типах почв, характеризующихся различным уровнем плодородия. Возделывание быстрорастущих древесных насаждений позволяет получать древесину, которая может быть использована как источник энергии на 4-й год после посадки плантации. Однократно заложенная плантация может быть использована для получения 3–4 урожаев продукции без значительного снижения продуктивности [1].

Материалы и методы. Получение высоких урожаев древесины быстрорастущей ивы требует использования специализированной системы лесохозяйственных машин. Такая система включает машины для уборки (ликвидации) энергетических плантаций. На энергетических плантациях механическая обработка почвы после заготовки древесины может производиться различными технологиями с применением разнообразной лесохо-

зяйственной техники. В таких технологиях применяются машины для корчевки или фрезерования (мульчирования) пней (рисунок 1). Ввиду значительных энергетических затрат, низкой эффективности, большой трудоемкости, а также необходимости применения химических веществ для предотвращения появления новых побегов ивы, что весьма неэкологично, использование корчевателей, а также технологии вспашки плугом с дальнейшим двойным боронованием широкого распространения не получило.



Рисунок 1 – Обработка почвы после заготовки древесины на энергетической плантации ивы

В технологическом процессе, основанном на фрезеровании (измельчение древесины и ее перемешивание с почвой по всей глубине обработки), применяют мульчеры роторного типа. Рабочий орган таких машин представляет собой вращающийся ротор, конструкция которого определяется назначением, видом обрабатываемого материала и условиями работы. Ротор мульчера может оснащаться подвижными (шарнирно закрепленными маятниковыми) зубьями, измельчающими древесину за счет ударного воздействия (дроблением), или неподвижными резцами (жестко закрепленными) с твердосплавными вставками, измельчающими древесину резанием. Иногда используется комбинированный вариант, когда режущие молотки выполнены в виде твердосплавных резцов с дробящими наконечниками. Также для уборки энергетических плантаций применяются почвенные фрезы, которые позволяют одновременно измельчать корни, пни и разрыхлять почву [4]. В Республике Польша технологическое оборудование для обработки почвы, применяемое после заготовки древесины на энергетических плантациях, агрегируется с сельскохозяйственными тракторами [2, 4].

Ивовые плантации могут успешно возделываться на малопродуктивных почвах различного механического состава, в том числе и на выработанных торфяниках, а также использоваться для восстановления нарушенных земель. В целом без ущерба для выращивания основной сельскохозяйственной продукции потенциальные площади для посадок быстрорастущих древесных насаждений в Республике Беларусь могут составлять до 200–300 тыс. га. В масштабах страны это позволит получить около 2–3 млн. т сухой древесины, что составляет от 4 до 6 млн. т у. т. Таким образом, суммарный энергетический потенциал составляет от 7,5 до 9 млн. т у. т. [1]. Для обработки почвы после заготовки древесины на энергетической плантации в условиях Республики Беларусь возможно применение универсального лесного шасси Амкодор 2021 (рисунок 2), агрегируемого с мульчером, разработанного коллективом ОАО «Амкодор» – управляющая компания холдинга» и БГТУ в рамках ГНТП «Леса Беларуси – устойчивое управление, инновационное развитие, ресурсы». Кроме мульчера универсальное лесное шасси Амкодор 2021 может агрегироваться с различным дорожно-строительным оборудованием: отвалами различной конструкции и назначения, снегоочистителями, фрезами, косилками и т.д. (рисунок 3). Универсальное лесное шасси обладает достаточно высокими тяговыми свойствами (двигатель ММЗ 260.4S3A мощностью 156 кВт с гидрообъемной трансмиссией) и мощным гидравлическим оборудованием (давление на входе в гидрораспределитель составляет 35 МПа).

Внедрение универсального лесного шасси в лесохозяйственное и лесозаготовительное производство поспособствует круглогодичному ритмичному проведению основных энергоемких операций по расчистке лесокультурных площадей, проведению реконструкции насаждений, производству лесных культур на всех лесокультурных площадях, расчистке трасс под дороги и ЛЭП, а также обработке почвы после заготовки древесины на энергетических плантациях [7].

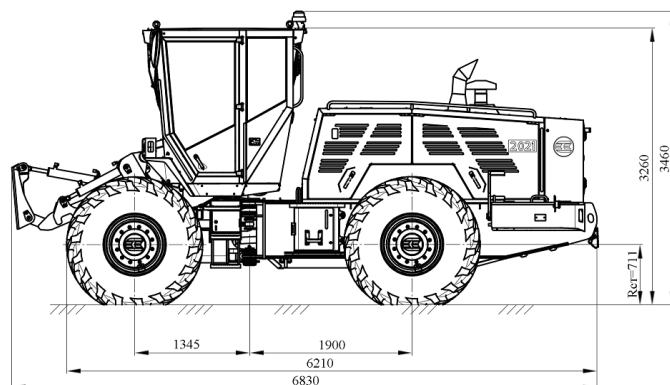


Рисунок 2 – Общий вид универсального лесного шасси Амкодор 2021



Рисунок 3 – Универсальное лесное шасси с различным технологическим оборудованием

В процессе разработки универсального лесного шасси Амкодор 2021 были проведены работы по созданию эскизного проекта, выбору и обоснованию основных параметров базового шасси и технологического оборудования, конструкторской документации, опытного образца и его испытаний (рисунок 4) [7].



Рисунок 4 – Проведение испытаний универсального лесного шасси Амкодор 2021, агрегируемого с мульчером

Специфика уборки энергетических плантаций ивы после заготовки топливной древесины заключается в довольно быстром произвольном появлении новых побегов ввиду недостаточно эффективного измельчения корней. Во время наблюдения было установлено, что механический вывод из эксплуатации энергетической ивовой плантации намного эффективнее осенью, чем весной. Результаты экспериментов показали, что эффективность от применения существующих конструкций технологического оборудования (корчеватели, мульчеры, почвенные фрезы), агрегируемого с сельскохозяйственными тракторами для ликвидации (уборки) энергетической плантации ивы, низкая (рисунок 5). Ликвидация насаждений на сельскохозяйственных угодьях означает восстановление первоначальных свойств почвы и недопущение появления новых побегов ивы.

В этой связи коллективом ученых из Краковского Сельскохозяйственного университета им. Гуго Коллонтая было разработано новое технологическое оборудование для обработки почвы энергетических плантаций ивы после заготовки древесины. Эскизный проект и опытный образец создавался при помощи компьютерного 3D моделирования (рисунок 6), благодаря которому были установлены максимальные нагрузки в конструкции (162 МПа) и ее максимальные значения смещения (2,3 мм). Технологическое оборудование для измельчения корней ивы представляет два вращающихся вертикальных барабана, на которых радиально расположены зубья. Два измельчающих барабана и опорный валец крепятся к раме, короткая агрегируется при помощи трехточечной навески к сельскохозяйственному трактору. Привод рабочих органов механический, который осуществляется через редуктор посредством вала отбора мощности (ВОМ) сельскохозяйственного трактора [2, 4, 8].



Рисунок 5 – Появление новых побегов ивы от недостаточно измельчения

В конструкции была предусмотрено защитное устройство от неконтролируемых, чрезмерных перегрузок привода, в виде предохранительной муфты вала отбора мощности и гидравлического аккумулятора, установленного в гидравлической системе питания гидrocилиндра подъема и опускания оборудования. Описанная концепция машины была направлена в польское патентное ведомство для правовой защиты в качестве изобретения (заявка на изобретение № P.415825) [2, 4, 9].

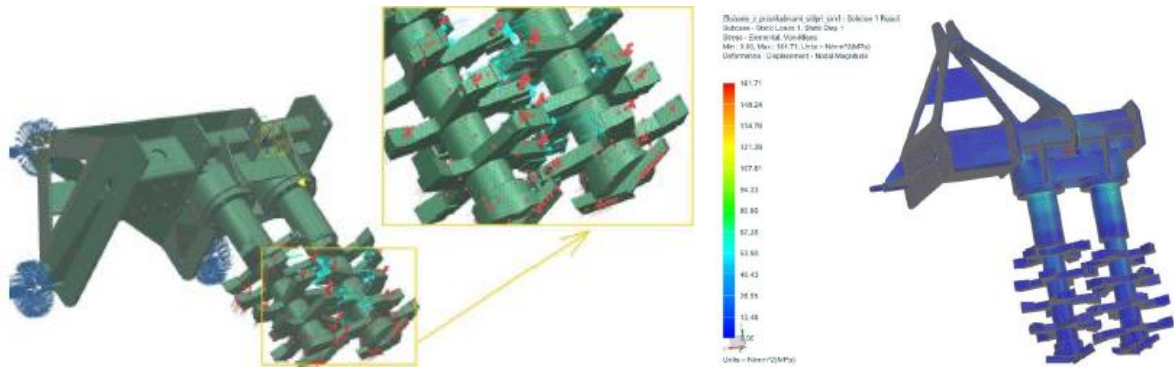


Рисунок 6 – 3D модели технологического оборудования для измельчения корней ивы

Результаты. Был проведен ряд полевых испытаний опытного образца машины для обработки почвы и измельчения корней после заготовки древесины на энергетических плантациях (рисунок 7), в результате которых были уставлены основные параметры и режимы работы технологического оборудования. Ширина рабочей зоны измельчения составляет 700 мм, глубина измельчения – до 350 мм, высота – до 150 мм. В процессе измельчения корней ивы пиковые мгновенные значения крутящего момента привода рабочих органов достигают 1300 Н, усредненный диапазон изменения составляет 200–850 Н, что соответствует потребляемой мощности 20–85 кВт [2, 4].

Исходя из проведенных экспериментальных замеров крутящего момента, а также рассчитанных мощностных показателей, возможно агрегатирование разработанного технологического оборудования с белорусскими лесными тракторами, такими как: BELARUS ТТР-411, BELARUS Л1221 с двигателями мощностью 95,6 кВт (рисунок 8).



Рисунок 7 – Разработанное технологическое оборудование для обработки почвы энергетических плантаций ивы после заготовки древесины



Рисунок 8 – Лесные тракторы минского тракторного завода BELARUS

Заключение. Расчет эффективности разработанного технологического оборудования производился путем сравнительного анализа обработанных участков плантаций ивы после заготовки древесины различными типами фрезерных машин. Эффективность составила 94,6%, что свидетельствует о высоком уровне измельчения корней и низкой вероятности произвольного появления побегов [10].

ЛИТЕРАТУРА

1. Использование древесной биомассы в энергетических целях: научный обзор / С. П. Кундас [и др.]. – Минск : МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2008. – 85 с.
2. Adamczyk, F., Frąckowiak, P., Juliszewski, T., Kwaśniewski, D., Pietrzykowski, M., Szczepaniak, J., Tylek, P., Walczyk, J., Woś, B. (2016). Likwidacja plantacji wierzby energetycznej. Wyd. Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych w Poznaniu. ISBN 978-83-940788-7-4.
3. Günther, F., Sylvia, P., van Velthuisen, H. (2005). Biomass potentials of miscanthus, willow and poplar: results and policy implications for Eastern Europe, Northern and Central Asia. *Biomass and Bioenergy* 28(2): 119–132.
4. Juliszewski, T., Kwaśniewski, D., Pietrzykowski, M., Tylek, P., Walczyk, J., Woś, B., Likus, J. (2015). Root biomass distribution in an energy willow plantation. *Agricultural Engineering*, 4(156), 43-49.
5. Spinelli, R., Nati, C., Magagnotti, N. (2008). Harvesting short-rotation poplar plantations for biomass production. *Croatian Journal of Forest Engineering* 29(2): 129–139.
6. Лесохозяйственные машины. Практикум : учебн.-метод. пособие для студентов специальности 1-36 05 01 «Машины и оборудование лесного комплекса» очной и заочной форм обучения / М. К. Асмоловский и [др.] – Минск : БГТУ, 2017. – 74 с.
7. Лой, В. Н. Разработка многофункционального шасси для проведения лесохозяйственных работ / В. Н. Лой, С.Е. Арико, М. К. Асмоловский, А. О. Германович, Е. М. Дудко // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы МНТК – Минск: БГТУ, 2017. – ISBN 978-985-530-607-9. С 20-24.
8. Szaroleta M., Frąckowiak P., Adamczyk F., Szczepaniak J, Tylek P., Walczyk J., Juliszewski T., Kwaśniewski D. (2017). Wpływ rzeczywistych warunków obciążeń zespołów roboczych maszyny do rekultywacji pól po uprawie wierzby energetycznej na przyjęte parametry konstrukcyjne. Część 2. Badania symulacyjne na modelach wirualnych. *Technika rolnicza, ogrodnicza, leśna* nr 1, 15–18.
9. Tylek P., Walczyk J., Kwaśniewski D., Juliszewski T., Pietrzykowski M., Szczepaniak J., Adamczyk F., Frąckowiak P. (2017). Model rozdrabniacza do rekultywacji pól po uprawie wierzby energetycznej. [W:] Szubel M., Goryl W. (red.), *Drewno w energetyce*. Fundacja na rzecz Czystej Energii, Poznań, 59–69. ISBN: 978-83-64541-20-9
10. Kwaśniewski D., Juliszewski T., Walczyk J., Tylek P., Adamczyk F., Szczepaniak J. (2017). Fuel consumption and effectiveness of elimination of energy-crop willow plantation. *Agricultural Engineering* 4 (21), 55–63.

**ПОТЕНЦИАЛ РЕКУПЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ В ПРИВОДАХ
ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН**

Голякевич С. А., доц., к.т.н., Гороновский А. Р., доц., к.т.н., Карсюк Р. А., студ.
Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: gsa@belstu.by

POTENTIAL ENERGY RECOVERY IN THE DRIVE FOREST MACHINES
Golyakevich S. A., Assoc. Prof., PhD, Goronovsky A.R., Assoc. Prof., PhD, Karsyuk R. A. stud.
Belarusian State Technological University
(Minsk, Republic of Belarus)

Аннотация. Рассмотрены перспективы применения систем рекуперации в многооперационных лесозаготовительных машинах. Указано, что наиболее перспективной операцией для рекуперативного восстановления энергии является операция валки дерева. Проведено математическое моделирование процесса падения дерева с учетом сопротивления движению со стороны воздушной среды и рекуперативного момента. Установлено, что кинетическая энергия дерева в конце падения для сосны с таксационным диаметром 32 см может превышать 100 кДж. Замечено, что раннее включение процесса рекуперации приводит к значительному замедлению процесса валки (более чем в 2 раза) и низкому процентному показателю рекуперированной энергии (не более 15%). Выявлено, что увеличение рекуперативного момента непропорционально замедляет падение дерева и может вызвать его полную остановку.

Предложена и теоретически подтверждена гипотеза о том, что более позднее включение процесса рекуперации позволяет сохранить в допустимом диапазоне время валки дерева (до 6,5 с) и увеличить величину рекуперированной энергии от общей кинетической энергии до 98%. В этом случае начало процесса рекуперации соответствует углу поворота харвестерной головки относительно вертикальной оси равному 45°.

В качестве побочного положительного эффекта процесса рекуперативного торможения дерева выявлено значительное уменьшение энергии удара дерева при его контакте с поверхностью земли. В заключении статьи приводятся рекомендации по дальнейшему исследованию процессов рекуперативного торможения на операциях технологического цикла лесозаготовительных машин.

Ключевые слова: харвестер; дерево; падение; модель; дифференцирование; рекуперация; энергия; сопротивление воздуха; производительность; торможение

Abstract. The article discusses the prospects of using recovery systems in multioperational forestry machines. It is indicated that the most promising operation for regenerative energy recovery is a tree felling operation. Mathematical modeling of the process of falling a tree was carried out taking into account the resistance to movement from the air and the regenerative moment. It was established that the kinetic energy of a tree at the end of a fall for pine with a taxation diameter of 32 cm can exceed 100 kJ. It is noted that the early inclusion of the recovery process leads to a significant slowdown in the felling process (more than 2 times) and a low percentage of recuperated energy (not more than 15%). It was revealed that an increase in the regenerative moment disproportionately slows down the fall of a tree and can cause it to stop completely.

A hypothesis was proposed and theoretically confirmed that the later inclusion of the recovery process allows you to save the tree felling time (up to 6.5 s) in the acceptable range and increase the amount of recuperated energy from the total kinetic energy to 98%. In this case, the beginning of the recovery process corresponds to a rotation angle of the harvester head relative to the vertical axis equal to 45°.

As a side positive effect of the regenerative braking process of the tree, a significant decrease in the energy of impact of a tree upon its contact with the surface of the earth was revealed. The article concludes with recommendations for further study of regenerative braking processes in operations of the technological cycle of forestry machines.

Key words: Harvester, tree, fall, model, differentiation, recovery, energy, air resistance, productivity, braking.

Введение. Одним из способов повышения энергетической эффективности мобильных машин является создание систем и механизмов способных восстанавливать энергию, затраченную на совершение работы. Данный процесс принято именовать рекуперацией. Исследованию возможностей рекуперации энергии движения машин различного назначения уделяется пристальное внимание ученых во многих отраслях промышленности [1–7]. На сегодняшний день механизмы рекуперации внедрены в легковых и грузовых электромобилях, автомобилях с гибридными силовыми установками и электропоездах. Принципы рекуперации, используемые в данных машинах, разнообразны, однако эффективность многих из них часто подвергается критике. Особенно скептически ученые относятся к эффективности рекуперации в легких электромобилях. Считается [8, 9], что малость тормозного пути в общем времени цикла движения машины не позволяет эффективно заряжать аккумуляторы, а величина рекуперированной энергии не превышает 1% от общего объема ее потребления, что не оправдывает затрат на оборудование машин такими системами.

Не смотря на широкое применение идеи рекуперации энергии в других отраслях, в специализированных лесных машинах она не получила достаточного распространения на современном этапе. Преимущественно это связано с недостаточным объемам исследований в области рекуперативных возможностей на лесопромышленных операциях. В настоящее время в странах европейского союза в рамках программы Horizon 2020 реализуется 2 обширных проекта (Tech4effect и Forwarder 2020) с общим объемом финансирования свыше 1 млн евро, которые направлены на создание новых образцов мобильных лесных машин и повышение эффективности их работы. Зарубежные ученые считают, что наибольшим потенциалом повышения энергоэффективности обладают системы рекуперативного торможения [10–13]. К примеру, одной из целей программы Forwarder 2020 является снижение на 30% потребления топлива форвардером на погрузочно-разгрузочных операциях за счет рекуперативного торможения при использовании манипулятора [14].

Ранее проведенные авторами исследования проблем технологической организации лесозаготовительного производства и эффективной эксплуатации лесных машин позволили сделать вывод о том, что помимо энергии непосредственного движения лесной машины эффективно рекуперироваться может и энергия других операций, присутствующих только в лесозаготовительном производстве. Потенциально-возможными источниками энергии, в этом случае являются: падение дерева при валке, торможение ствола дерева при обрезке сучьев, торможение рабочих органов, в частности манипуляторов на погрузочно-разгрузочных операциях и др.

В рамках настоящей статьи проведен предварительный энергетический анализ операции валки дерева харвестером. Получены данные о возможной продолжительности рекуперации и величине вырабатываемой энергии. В качестве базовой машины, совершающей операцию валки дерева, принят харвестер Амкодор 2551, как наиболее часто используемый на рубках главного пользования в нашей стране.

Материалы и методы. Для оценки потенциала рекуперации разработана математическая модель падения дерева с учетом работы рекуперативного механизма. В качестве допущений принято, что ствол дерева представляет собой недеформируемое жесткое тело, сопротивление воздушной среды действует на крону дерева как сила, сосредоточенная в

центре давления кроны и направлена перпендикулярно продольной оси ствола. Общая упрощенная схема математической модели падения дерева приведена на рисунке 1.

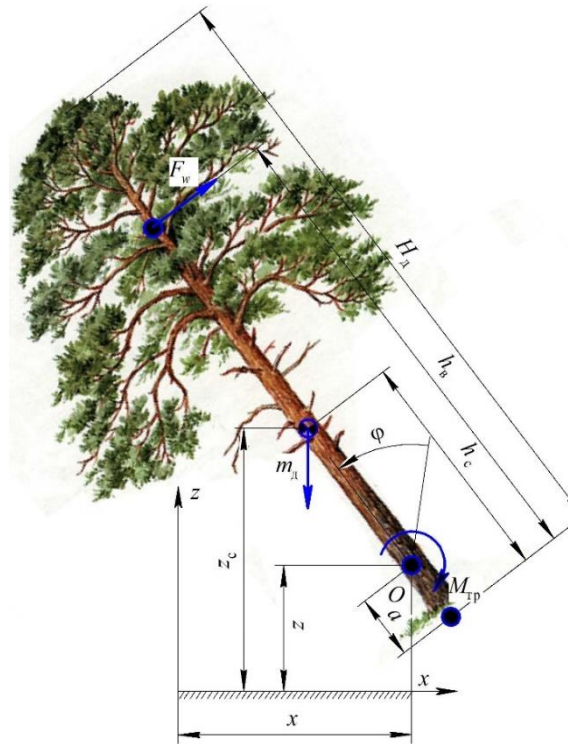


Рисунок 1 – Расчетная схема падения дерева при валке харвестером

В качестве параметров типичных деревьев приняты усредненные высоты сосны I разряда в зависимости от значений диаметра ствола на высоте 1,3 м ($d_{1,3}$) таблица 1.

Таблица 1 – Значения коэффициентов функции сопротивления воздушной среды для различных таксационных параметров деревьев сосны

$d_{1,3}$, м	H_d , м	C_w	q_s	q_v
0,18	20,0	5,76	2,01	1,21
0,20	22,0	5,67	2,09	1,27
0,22	23,0	5,57	2,155	1,32
0,24	24,0	5,47	2,22	1,37
0,26	25,0	5,45	2,245	1,385
0,28	26,0	5,43	2,27	1,4
0,30	27,0	5,335	2,305	1,415
0,32	28,0	5,24	2,34	1,43
0,34	29,0	4,71	2,44	1,48
0,36	30,0	4,18	2,54	1,53

Для определения иных характеристик дерева, требуемых для моделирования его падения использована методика, ранее изложенная в [15].

Диаметр дерева в плоскости среза (м) определялся по соотношению:

$$d_0 = q_0 d_{1,3},$$

где q_0 – коэффициент, учитывающий увеличение диаметра дерева в области спиливания (средние значения коэффициента q_0 для сосны равны– 1,25)

Длина ствола (H_c) меньше высоты дерева (H_d) на величину отрубаемой вершинной части, принята равной 2,5 м.

Масса (кг) надземной части дерева сосны включает массу ствола, сучьев и хвои. Масса ствола рассчитывалась по зависимости:

$$m_c = V_c \rho_c,$$

где ρ_c – средневзвешенное значение плотности стволовой древесины сосны (820 кг/м³).

Для анализа энергетических характеристик падения дерева в первом приближении можно рассматривать его ствол как усеченный конус с соответствующим коэффициентом формы и видовым числом. Высота центра тяжести ствола h_c (м) составляет $0,35H_d$. Коэффициентом формы ствола (q) для деревьев, чей центра тяжести находится на высоте $0,35H_d$ составляет 0,67.

Для определения объема ствола (хлыста) (м³) использована приближенная формула:

$$V_c = \frac{\pi}{8} (d_{\text{п}}^2 + d_{\text{в}}^2) H_c,$$

где $d_{\text{в}}$ – диаметр хлыста в верхнем отрубе (0,06 м).

Высота дерева определена по таксационным таблицам [16] и приведена в таблице 1. Масса кроны m_k в зависимости от массы дерева для сосны принята равной 15%.

Момент инерции дерева относительно оси его поворота при валке:

$$I_0 = 0,185 \cdot m_c \cdot h_c^2.$$

Сила сопротивления падению дерева со стороны воздушной среды может быть приближенно определена по выражению:

$$F_w = C_w \frac{mq_v}{2q_s} \dot{\varphi}^m (d_0 H_d q_s)^m,$$

где d_0 – диаметр дерева в плоскости среза, м;

m – показатель степени скорости в законе сопротивления воздушной среды;

C_w , q_w и q_s – расчетные коэффициенты (таблица 1).

Величина показателя m для деревьев с кроной составляет:

$$m = 2,03 - 0,65 l_k / H_d,$$

где l_k – протяженность кроны дерева, м. Для расчетов принята величина $l_k = 1/5 H_d$.

Высота положения центра давления (м) воздушной среды на дерево сосны составляет $h_b = 0,8 H_d$.

Кинетическая энергия дерева в каждый момент времени находится по известной зависимости:

$$T_d = \frac{I_0 \cdot \dot{\varphi}^2}{2}.$$

Дифференциальное уравнение движения дерева под действием названных сил имеет вид:

$$\ddot{\varphi} = \begin{cases} \frac{-C_w \frac{mq_v}{2q_s} \dot{\varphi}^m (d_0 H_d q_s)^m \varphi + m_d g \cdot h_c \cdot \sin(\varphi) - M_{\text{рек}}}{0,185 \cdot m_d \cdot h_c^2}, & 0 < \varphi \leq \frac{\pi}{2} \\ 0, & \text{если } \frac{\pi}{2} < \varphi \end{cases}$$

Моделирование падения дерева в поле сил тяжести, при действии силы сопротивления воздушной среды и момента рекуперативного устройства проводилось в программном пакете MathCad 14. В качестве начальных условий принято отклонение продольной оси дерева от вертикали на угол $\varphi = 0,1^\circ$ и отсутствие начальной угловой скорости его движения.

Организация процесса рекуперации на операции валки дерева возможна на основе использования механизмов вращательного или поступательного действия. В случае рекуперации в электрическую энергию – это генераторы, а для гидравлической энергии можно использовать существующие гидроцилиндры подъема-опускания харвестерной головки с переводом их работы при сжатии в контур гидравлического рекуператора. При этом для процесса рекуперации важна не только конечная величина вырабатываемой энергии, но и потенциально возможная продолжительность ее накопления.

Поскольку рекуперативный момент $M_{рек}$ является моментом сопротивления падению дерева, то чрезмерное повышение его величин и раннее возникновение может привести к полной остановке процесса валки. Это должно учитываться при разработке подобных систем. В этой связи анализ процесса валки дерева с рекуперированием его кинетической энергии проведен для моментов начала рекуперации соответствующих углов поворота $\varphi_{н.рек} = \pi/32$ (рисунок 2), $\pi/16$, $\pi/8$ и $\pi/4$.

Результаты. Сравнительная характеристика процессов падения дерева с различными моментами рекуперации (3,5–7,5 кН·м) показывает (рисунок 2, а), что при начале процесса рекуперации, соответствующем углу поворота харвестерной головки $\varphi_{н.рек} = \pi/32$ максимально возможная величина рекуперированной энергии составляет не более $E_{рек} = 9,1$ кДж.

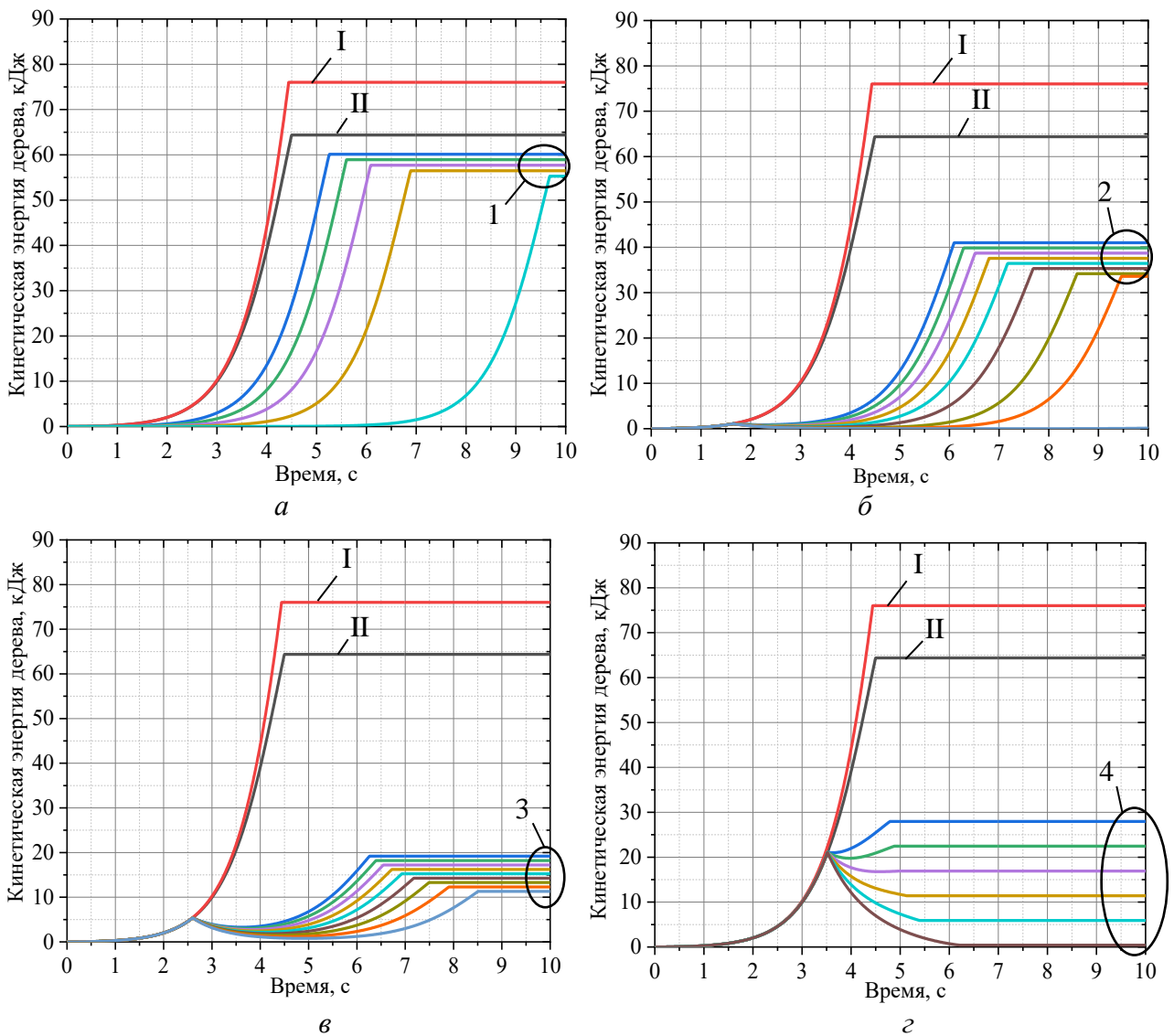
В этом случае момент рекуперации достигает величины 7,5 кН·м, а продолжительность падения дерева увеличивается с 4,5 до 9,7 с. Такое увеличение времени выполнения операции валки не приемлемо для интенсивной и производительной работы харвестера. При $M_{рек} = 7,5$ кН·м величина рекуперированной энергии составляет около 15% кинетической энергии дерева, а большее увеличение $M_{рек}$ приводит к прекращению процесса падения дерева.

В процессе моделирования установлено, что прирост продолжительности падения дерева не пропорционален приросту рекуперированной энергии. Так, при $M_{рек} = 6,5$ кН·м рекуперированная энергия до $E_{рек} = 7,88$ кДж при продолжительности валки $t_{в} = 6,9$ с, а при $M_{рек} = 5500$ Н·м – $E_{рек} = 6,67$ кДж и $t_{в} = 6,1$ с.

Поскольку в начальный момент времени дерево не обладает достаточной кинетической энергией, даже относительно небольшой момент рекуперации действует как стабилизирующий и препятствует падению дерева. Поэтому была сформулирована гипотеза, что более позднее начало процесса рекуперации может позволить рекуперировать больше энергии и при этом не значительно увеличивая время падения дерева. Действительно при $\varphi_{н.рек} = \pi/16$ (рисунок 2, б) возможно существенно увеличить реализуемый момент $M_{рек}$ до 27 кН·м без остановки падения дерева и соответственно увеличить энергию $E_{рек}$ до 30,77 кДж. При $M_{рек}=20,5$ кН·м энергия $E_{рек}$ составляет 23,38 кДж, а $t_{в} = 6,1$ с., т.е. смещение начала рекуперации всего с $17,7^\circ$ до $35,4^\circ$ позволяет увеличить величину рекуперированной энергии более чем в 3 раза при сопоставимой продолжительности процесса валки.

Смещение начала процесса рекуперации в $\varphi_{н.рек} = \pi/8$ (рисунок 2, в) позволяет реализовывать рекуперативные моменты вплоть до $M_{рек} = 53,5$ кН·м и рекуперировать до 82,5% энергии падения дерева.

Характерным является процесс с $\varphi_{н.рек} = \pi/4$ (рисунок 2, г). К моменту начала рекуперации дерево обладает начальной кинетической энергией в 21 кДж. Позднее начало рекуперации позволяет восстановить до 98% потенциальной энергии дерева (около 64 кДж) при продолжительности валки не более 6,2 с. Особенностью данного процесса является постепенное уменьшение энергии падения дерева от момента начала рекуперации. К моменту касания дерева горизонтальной поверхности земли его кинетическая энергия составляет всего 413 Дж. Поэтому косвенным положительным эффектом процесса рекуперации следует считать возможность плавного демпфирования падения дерева, что позволяет снизить нагрузки, действующие на рабочие органы харвестера.



$a - \varphi_{н.рек} = \pi/32$; $б - \varphi_{н.рек} = \pi/16$; $в - \varphi_{н.рек} = \pi/8$; $г - \varphi_{н.рек} = \pi/4$;

1 – 3,5 – 7,5 кН·м (с шагом 1 кН·м); 2 – 20,5 – 27,3 кН·м (с шагом 1 кН·м); 3 – 45,5 – 53,5 кН·м (с шагом 1 кН·м); 4 – 52,5 – 92,5 кН (с шагом 8 кН·м);

I – кинетическая энергия падения дерева без учета сил сопротивления воздушной среды;
 II – кинетическая энергия падения дерева с учетом сил сопротивления воздушной среды
Рисунок 2 – Рекуперативный потенциал $E_{рек}$ энергии падения дерева для различных углов начала рекуперации $\varphi_{н.рек}$ и для различных моментов рекуперации $M_{рек}$ равных

Замедленное движение дерева на участке от начала рекуперации до контакта с поверхностью также приводит к более низкой силе сопротивления воздушной среды, т.к. она пропорциональна скорости движения. Это позволяет дополнительно рекуперировать до 10 кДж энергии за счет уменьшения ее рассеивания силами сопротивления воздушной среды.

Обсуждение. Стоит отметить, что для достижения такой эффективности торможения требуется реализация весьма значительных рекуперативных моментов. Вопросы создания механизмов, способных их обеспечить должны быть изучены дополнительно как это сделано для устройств рекуперации в иных областях [17]. При этом достигаемый эффект должен быть проанализирован в полном цикле работы машины [18, 19], с учетом работы иных систем, повышающих эффективность харвестера [20]. Сама же рекуперированная энергия может быть накоплена в пневмогидравлическом аккумуляторе мембранного типа либо, в перспективе, по средством системы суперконденсаторов. Производ-

ство гидроаккумуляторов налажено ведущими мировыми производителями в данной области (Bosch, Parker, EST, Eaton, Hydac). Данные гидравлические аккумуляторы имеют рабочее давление до 40 МПа, обеспечивают высокую «плотность» накопленной энергии (до 195 кДж/л) и производятся с объемом до 50 л, что способно полностью обеспечить потребности в накоплении рекуперированной энергии. Масса таких гидравлических аккумуляторов варьируется в широком диапазоне от 45 кг для 9 литрового баллона до 167 кг для 48 литрового.

Заключение. Область использования полученной при рекуперации энергии в приводах харвестеров достаточно широка. Среди наиболее перспективных – компенсация запаздывания процесса регулирования гидронасосов во время начала работы нескольких объемных гидравлических потребителей; привод малообъемных потребителей (пильные механизмы, ротаторы, поворотные устройства манипуляторов и т.д.), питание дополнительного оборудования (освещение, кондиционирование и т.п.) после преобразования в электрическую энергию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kim Y. J., Filipi Z. Simulation Study of a Series Hydraulic Hybrid Propulsion System for a Light Truck // SAE Technical Paper 2007-01-4151, Allegeini: Evoqua Water Technologies LLC, 2007. 17 p.

2. Боднар И.В., Евграфов С.В., Князев И.М. Возможности рекуперации энергии в транспортно-технологических машинах // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, новации: материалы междунар. науч.-техн. конф., Омск, 7–9 декабря 2016. Омск: СибАДИ, 2016. С. 497–502.

3. Набокин А. В., Посметьев В. И., Никонов В. О. Повышение эффективности автомобилей за счет рекуперации энергии их агрегатов и систем // Воронежский научно-технический вестник. 2019. Т. 4, № 4 (18). С. 11–19.

4. Никонов В. О., Посметьев В. И., Латышева М.А. Состояние проблемы и обзор конструкций транспортных средств с системами рекуперации энергии торможения // Воронежский научно-технический вестник. 2018. Т. 2, № 2 (24). С. 4–19.

5. Бажанов В. И., Сгадлев А.М. Анализ эффективности гидравлической системы рекуперации энергии торможения автомобиля // Символ науки. 2016. № 9-1 (21). С. 20–23

6. Васильковский Ю.Н., Пода М.В. Моделирование электромеханических систем рекуперации энергии колебаний транспортных средств // Технічна електродинаміка. 2019, № 4. С. 33–41

7. Посметьев В. И., Никонов В. О. Имитационное моделирование рекуперации гидравлической энергии в пневмогидравлическом седельно-сцепном устройстве лесовозного тягача с полуприцепом // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2019. Т. 7, № 3 (46). С. 213–220.

8. Yan Shuai, Sun Weichao. Energy Regeneration Scheme and Self-powered Criterion of Motor-driven Active Suspension. 35th Chinese Control Conference, Chengdu China, 27–29 July, 2016. Chengdu China 2016. pp. 8926–8931.

9. Быкадоров А.Л., Заруцкая Т.А., Карбинов А.В. К вопросу о качестве избыточной энергии рекуперации // Совершенствование организации и управления перевозками в условиях реформ: межвузовский сборник научных трудов. Ростов. 2002. С. 212–215

10. Никонов В. О., Посметьев В. И. Рекуперация гидравлической энергии стрелы гидроманипулятора лесовозного автомобиля // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2018. Т. 6, № 4 (40). С. 177–183.

11. Geiger C., Geimer M. Efficiency Optimisation of a Forestry Crane by Implement Hydraulics with Energy Recovery // VDI-MEG – 75th International Conference on Agricultural Engineering. LANDTECHNIK AgEng 2017. The Forum for Agricultural Engineering Innovations, Hannover, 10–11. November, 2017. Hannover, 2017 pp. 175–184

12. Попиков П. И. Моделирование рабочих процессов энергосберегающего гидропривода технологического оборудования лесотранспортной машины // Лесотехнический журнал. 2015. № 1. С. 225–234.
13. Башкиров В. А. Параметры аккумуляторной установки системы рекуперации энергии опускания рабочего оборудования экскаватора // Строительные и дорожные машины. 1989. № 1. С. 10–12.
14. Forwarder 2020 // Официальный сайт проекта Forwarder 2020. URL: <https://www.forwarder2020-project.eu> (дата обращения 03.03.2020).
15. Голякевич С. А., Гороновский А.Р. Основы проектирования лесных машин и системы автоматизированного проектирования. Минск: БГТУ, 2016. 139 с.
16. Мирошников В.С. Справочник таксатора // Минск: Ураджай, 1980. 360 с.
17. Рябов И.М., Ширяев С.А., Юсупов Ю.Г. Формирование структуры пневмогидравлической системы рекуперации и энергии торможения мобильной машины, обеспечивающей высокую надежность // Материалы международной научно-практической конференции ФГБОУ ВО «Горский госагроуниверситет», Владикавказ, 30 сентября – 1 октября 2016. Владикавказ, ФГБОУ ВО ГАУ. С. 114–119
18. Голякевич, С.А. Гороновский А.Р. Аспекты топливной экономичности многооперационных лесных машин // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: Материалы междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 27–28 апреля 2017. Могилев: ГУ ВПО Белорус. Рос. ун–т. С. 207–208.
19. Голякевич С. А. Энергетические аспекты функционирования многооперационных лесозаготовительных машин // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы междунар. науч.-техн. конф. Минск, 26–28 апреля 2017. Минск: БГТУ, 2017. С. 64–68.
20. Голякевич С. А. Применение систем адаптивного управления для повышения реализации энергетического потенциала харвестерами // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2017. № 2 (198). С. 238–244.

**РАЗВИТИЕ МОДЕЛЬНОГО РЯДА И КОНСТРУКЦИЙ
ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН KOMATSU**

**Шустерман К. В., исполн. директор, Гурский А. В., рук. дилерского центра
ООО «Спектр ФОРЕСТ»,
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: skv@spf.by, komatsu@spt.by**

**DEVELOPMENT OF MODELS AND DESIGNS OF KOMATSU
FORESTRY MACHINES**

**Shusterman K. V., Executive Director, Gurskij A. V., dealership manager
Volga State Technological University
(Minsk, Republic of Belarus)**

Аннотация. В 2019 году компания Komatsu Forest представила новую линейку продукции, которая включает в себя самые последние разработки: новый двигатель отвечающий требованиям законодательства по вредным выбросам; новая система управления MaxiXT, созданная с прицелом на будущее; ряд качественных улучшений и новых функций в лесозаготовительной технике, которые позволяют облегчить ежедневную работу операторов и в целом повысить производительность производства. Среди последних разработок – сервис MaxiVision, который позволяет обеспечить высокий уровень планирования лесозаготовок.

В данной статье приводится обзор обновлений и модификаций, которые были использованы при модернизации всех харвестеров, представленных в модельном ряду 2020 г., от маневренного харвестера для рубок промежуточного пользования Komatsu 901 до харвестеров для рубок главного пользования: 8-колесного Komatsu 931XC и 6-колесного Komatsu 951. Среди форвардеров обновлены три самые большие модели: Komatsu 855, 875 и 895.

Ключевые слова: харвестер; форвардер; производительность; двигатель; ходовая система; система управления

Abstract. In 2019, Komatsu Forest introduced a new line of products that includes the latest developments: a new engine that meets the requirements of legislation on harmful emissions; a new management system created with an eye to the future; a number of qualitative improvements and new functions in forestry equipment, which make it possible to facilitate the daily work of operators and generally increase production productivity. Among the latest developments is the MaxiV-ision service, which allows for a high level of logging planning.

This article provides an overview of the updates and modifications that were used to modernize all harvesters presented in the 2020 model range, from the maneuverable harvester for intermediate harvesting Komatsu 901 to harvesters for main harvesting: the 8-wheeled Komatsu 931XC and 6-wheeled Komatsu 951. Among the forwarders, the three largest models have been updated: Komatsu 855, 875 and 895.

Key words: harvester; forwarder; performance; engine; running system; control system

Введение. Лесозаготовительная техника производства Komatsu Forest является одной из самых востребованных на европейском рынке и в Республике Беларусь в том числе. Благодаря высоким показателям надежности и производительности, а также большому модельному ряду предлагаемых харвестеров и форвардеров, техника Komatsu Forest успешно конкурирует как с зарубежными, так и с отечественными производителями лесной техники в Беларуси.

Начиная с 2012 года официальным представителем Komatsu Forest является ООО «Спектртрейдинг». В перечень услуг, предоставляемых белорусским лесозаготовителям, входят финансирование приобретения новых и подержанных лесозаготовительных машин с торговых площадок в Швеции, Финляндии, Великобритании, Франции, других стран Европы, харвестерных агрегатов; сервис, осуществляемый высококвалифициро-

ванными механиками, в распоряжении которых находятся сервисные автомобили, оснащенные необходимыми инструментами с современным диагностическим оборудованием; обеспечение запасными частями и расходными материалами со склада в городе Минске.

В настоящий момент на территории Республики Беларусь работает более 100 лесозаготовительных машин Komatsu, помогая предприятиям отрасли добиваться максимальной эффективности и безопасности при производстве работ. Модельный ряд предлагаемых харвестеров и форвардеров обеспечивает возможность заготовки лесоматериалов практически в любых условиях.

Дальнейшее совершенствование лесных машин Komatsu позволило разработать множество новых возможностей и функций для повышения производительности машин и обеспечения более комфортных условий труда оператора. В данной статье приводится обзор обновлений 2020 года в конструкции и системе управления лесозаготовительных машин Komatsu.

Материалы и методы. Одним из значительных изменений модельного ряда лесозаготовительной техники производства Komatsu Forest стало обновление двигателя, который отвечает современным требованиям законодательства Европы по ограничению вредных выбросов (Stage V). Новая силовая установка имеет ряд преимуществ: это новая, полностью переработанная **система AdBlue** повышенной надежности (рисунок 1).



Рисунок 1 – Новый двигатель для лесных машин Komatsu

В процессе разработки данного двигателя за основу были взяты экспериментальные образцы техники, которые применялись для заготовки лесоматериалов в течение многих лет. Опыт пилотных машин позволил решить проблемы с предыдущими моделями машин. Например, при создании новой системы AdBlue предложены решения с новыми шлангами, улучшенными соединениями и новым насосом, менее уязвимым для риска замерзания AdBlue, а также разработка новой системы очистки выхлопных газов.

В новом двигателе переработан бак, который теперь снабжен функцией защиты от проливания и улучшенным фильтром (рисунок 2).

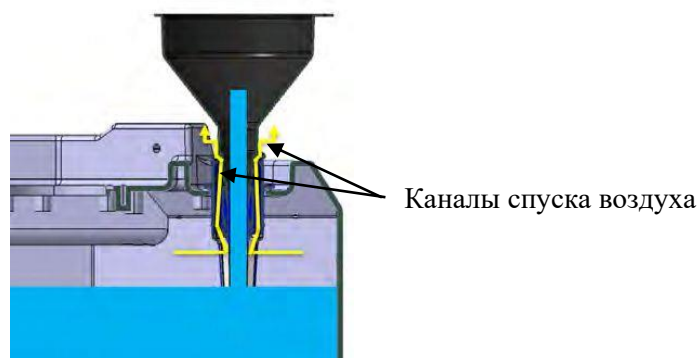


Рисунок 2 – Заправка AdBlue с помощью нового фильтра и воронки

Также специально разработана воронка с каналами выпуска воздуха, что позволяет ускорить заполнение бака. Еще одно усовершенствование – новое место расположения бака на форвардерах. Раньше оператором форвардеров приходилось подниматься к заливочной горловине. Теперь они могут легко и удобно заполнять бак, стоя на земле (рисунок 3).



Рисунок 3 – Новый бак AdBlue с защитой от проливания и улучшенной крышкой, расположенный в передней части форвардера

Все эти факторы облегчают ежедневное техническое обслуживание машины. Соответствующая эксплуатация и обслуживание двигателей с системой AdBlue согласно инструкциям позволит избежать вынужденных простоев и поддерживать высокую производительность заготовок.

Еще одна новинка – **система управления MaxiXT** – это система управления для харвестеров и форвардеров Komatsu, которая в настоящее время является одной из самых современных на рынке (рисунок 4).



Рисунок 4 – Рабочее окно системы управления MaxiXT

Это комплексная система управления машиной и головкой, раскрывевки, настройки и администрирования манипулятора с оптимальной производительностью, гибкостью и удобством для пользователя. Результатом являются обзор и отслеживание заданий по рубке, а также полный контроль за всей логистической цепочкой.

Среди нововведений в MaxiXT на харвестерах, например, улучшенная система раскрывевки, оптимизированная по ценности продукции. Теперь быстрее определяются правильные места отпила, что ускоряет обработку ствола и повышает удельную производительность машины.

У новых харвестеров сразу по нескольким параметрам улучшена проходимость. Доработана конструкция частей заднего моста, путем повышения дорожного просвета, что облегчает переезды через канавы и овраги с крутыми склонами и другие препятствия на труднопроходимой местности. Для обеспечения лучшей проходимости машины в условиях бездорожья и повышения ее производительности были улучшены характеристики ходовой системы, увеличено тяговое усилие и сила поворота.

Модельный ряд харвестерных головок пополнился новинкой Komatsu C164 (рисунок 5), которым, в основном, оснащается харвестер Komatsu 951.

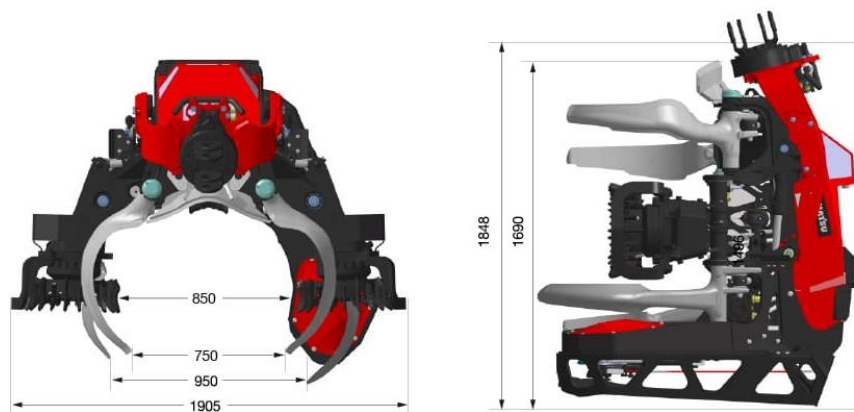


Рисунок 5 – Харвестерная головка Komatsu C164

В конструкции головки использована та же технология, что и в C124, и C144, с несущими вальцами протяжки, а сучкорезные ножи главным образом используются по своему прямому назначению – для обрезки сучьев и ветвей. Харвестерная головка имеет четыре управляемых подающих вальца и функцию Constant Cut, которая обеспечивает равномерную скорость пиления на протяжении всего цикла отпила. Масса головки составляет 1650 кг, возможный диаметр распила – 790 мм, а скорость протаскивания – 0,5 м/с.

Что касается форвардеров, то одним из важнейших нововведений для данных машин является **опция SpeedShift**. С ее помощью оператор использует весь скоростной диапазон машины без остановок на переключение передачи. SpeedShift автоматически переключается на более быструю передачу, когда оператор увеличивает скорость. В результате расход топлива снижается, а средняя скорость перевозки повышается. В поскольку обороты двигателя можно поддерживать на более низком уровне, обеспечивается более комфортная рабочая среда со сниженным уровнем шума.

Долгое время конструкция трансмиссии требовала остановки машины для переключения передачи с высокой на пониженную и наоборот. Расстояние, на которое перемещается машина, должно быть достаточно большим, чтобы переключение передачи оправдывало себя. Когда машина остается на медленной передаче, то оператор увеличивает обороты двигателя, что значительно увеличивает потребление топлива. Но даже в этом случае машина не может выйти на ту скорость, которая может быть достигнута благодаря SpeedShift. Данная опция включает в себя защиту от превышения оборотов насоса гидростата – это ретардер, который гарантирует защиту от перегрузки важных компонентов трансмиссии и мотора гидростата. Ретардер также доступен в качестве отдельной опции. Другая новинка – **опция Overspeed protection**, которая защищает основные компоненты трансмиссии от превышения оборотов и выхода их из строя.

Одним из нововведений модельного ряда лесных машин 2020 года является возможность оснащения форвардера Komatsu 855 манипулятором модели 145F. Это более мощный манипулятор с увеличенной грузоподъемностью и повышенным усилием поворота. Использование данного манипулятора требует большого потока для выхода на ту же скорость по сравнению с предыдущими моделями манипуляторов, что означает более вы-

сокий расход топлива. Но в тех случаях, когда приоритетом является мощность, а не скорость форвардер Komatsu 855 с манипулятором 145F будет отличным выбором.

К обновлениям лесозаготовительных машин Komatsu необходимо отнести абсолютно новый **сервис MaxiVision**, интегрированный в MaxiFleet. MaxiVision предоставляет оператору возможность визуализации текущих условий и обстановки в лесу. Используя различные виды карт, оператор получает информацию как о почвенных условиях, так и о производственных показателях коллег, и может, основываясь на этом, планировать работу так, чтобы она была максимально эффективной и бережной по отношению к окружающей среде. Поскольку используется облачный сервис, обновления производятся в реальном времени, а изменения сразу же видны на экране машин.

На практике оператор харвестера способен облегчить работу форвардера, например, планируя удобные магистральные волоки, технологические коридоры и места расположения штабелей в зависимости от конкретных условий. Оператор форвардера, в свою очередь, может видеть, как идёт производство, при каждом проходе, что облегчает оптимизацию работы и позволяет избегать ненужных объездов. Когда все выложенные пачки будут оттрелёваны к штабелю/на погрузочную площадку, оператор может очистить маркировку коридора, облегчая последующий анализ и планирование. Кроме того, MaxiVision обеспечивает операторам бригады отличный обзор совместной работы, тем самым способствуя лучшей коммуникации между ними. Обмен письменными сообщениями или маркировка конкретных областей на карте позволяют улучшать коллективную работу и, соответственно, её результаты.

Карта с различными информационными слоями предоставляет ценную информацию об актуальных почвенных условиях на объекте, на котором ведётся рубка. Информация из MaxiVision позволяет вести рубку и трелёвку более бережно, что не только повышает качество продукции, но и способствует снижению негативного воздействия на почву [1, 2].

Заключение. Лесозаготовительная техника Komatsu известна своей устойчивостью и производительностью на всех видах рубок. Модели 2020 года развивают эти преимущества, демонстрируя улучшение проходимости по бездорожью, повышение комфорта и обеспечению эффективного планирования лесозаготовок. Благодаря этому лесозаготовительная техника находит широкое применение как на государственных, так и на частных предприятиях Республики Беларусь. Так, при содействии Банка развития был реализован первый для официального дилера Komatsu масштабный проект по поставке машин на белорусские госпредприятия. В результате было поставлено восемь единиц техники в «Мостовдрев», «Гомельдрев», «Могилевдрев» и в Ельский леспромхоз [3].

В 2019 году был объявлен тендер и совместно с Всемирным банком и «Беллесэкспортом» реализован проект по поставке техники Komatsu в лесхозы Гродненской области, в частности, для борьбы с усыханиями. К поставке были предложены харвестеры Komatsu ХН911-6 4WD с валочно-сучкорезным агрегатом С124. По результатам тендера контракт находится в стадии реализации и в начале 2020 г. была доставлена первая машина. Также планируется поставки харвестеров в Гродненский, Дятловский, Ивьевский, Лидский, Новогрудский, Островетский, Слонимский, Сморгонский и Щучинский лесхозы [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Just forest: International Magazine from Komatsu Forest. №1. 2020. 32 с.
2. Komatsu Forest представляет новинки – модели года 2020 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.komatsuforest.ru/медиа/новостная-лента/komatsu-forest-представляет-новинки--модели-года-2020>. Дата доступа: 28.05.2020 г.
3. Харвестеры для «лесной войны» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.belmarket.by/harvestery-dlya-lesnoy-voyny>. Дата доступа: 28.05.2020 г.
4. Первый харвестер Komatsu ХН911-6 4WD уже в Республике Беларусь [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.komatsuforest.ru/медиа/новостная-лента/press-release-belarus-tender-911-4wd>. Дата доступа: 28.05.2020 г.

УДК 630

**АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ И ПОИСК АЛЬТЕРНАТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ВЫРАБОТКИ
ОКОРЕННЫХ СОРТИМЕНТОВ С ПОВЫШЕНИЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ**

**Царев Е. М., проф., д.т.н., Рукомойников К. П., проф., д.т.н., Анисимов С. Е., доц., к.т.н.,
Капитонова Ю. А., маг.**

Поволжский государственный технологический университет
(Йошкар-Ола, Россия), e-mail: CarevEM@volgatech.net; RukomojnikovKP@volgatech.net;
AnisimovSE@volgatech.net; KonovalovaYA@volgatech.net

**ANALYSIS OF OPTIONS AND ALTERNATIVE SOLUTIONS DEVELOP DEBARKED
LOGS ARE TO IMPROVE ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF WASTE DISPOSAL**

**Tsarev E. M., Prof., D.Sc., Rukomoynikov K. P., Prof., D.Sc., Anisimov S. E., Assoc. Prof., PhD,
Kapitonova Y. A., master student**

Volga State Technological University
(Yoshkar-Ola, Russia)

Аннотация. В настоящее время все большее распространение получает сортиментная технология заготовки и вывозки древесины с последующей переработкой сортиментов на лесопромышленных складах. Технологический процесс во многих случаях предполагает окорку сортиментов. В результате образуются большие запасы коры и производителям приходится решать, что делать с этими отходами. Длительное хранение необработанной коры в отвалах приводит к загрязнению территорий в местах расположения, нарушению санитарного состояния и биологического равновесия между отдельными звеньями биоценозов. Исходя из этого, предметом исследования в данной статье является кора, образующаяся при заготовке сортиментов на лесосеке, а целью - рассмотрение вопросов поиска путей ее утилизации с последующим восстановлением стабильности экосистемы леса и сохранности полезных и питательных свойств лесных земель. Методология проведения работ включает поиск рациональных решений использования коры. Результатами исследований в статье являются анализ существующих вариантов использования коры и разработанный на его основе способ получения сортиментов с модернизацией конструкции рабочих органов валочно-сучкорезно-раскряжевой машины.

Ключевые слова: харвестер; кора; отходы лесозаготовок; сортиментная технология; зола; удобрение; окорка лесоматериалов; питательные вещества лесной почвы

Abstract. Currently, the sorting technology of harvesting and export of wood with subsequent processing of sorts in timber warehouses is becoming more and more widespread. The technological process in many cases involves the debarking of sorting. As a result, large reserves of bark are formed and producers have to decide what to do with this waste. Long-term storage of untreated bark in dumps leads to contamination of territories in locations, violation of the sanitary condition and biological balance between individual links of biocenoses. On this basis, the object of study in this article is the bark generated during the harvesting of assortments on the felling area and purpose - consideration of questions of search of ways of its utilization with subsequent restoration of stability of forest ecosystems and the preservation of healthy and nutritious properties of forestlands. The methodology of the work includes the search for rational solutions to the use of bark. Their effectiveness depends on the quality of the bark, the volume of production and the economic profile of the area of consumption. As a result of literary and patent searches, alternative options for debarking timber using felling-knot-cutting-bucking machines have been identified. The results of research in the article are an analysis of existing options for using the bark and a method developed on its basis for obtaining sortings with the modernization of the design of the working bodies of the felling-knot-cutting-bucking machine.

Key words: harvester; bark; logging waste; sorting technology; ash; fertilizer; timber debarking; forest soil nutrients

Введение. На лесопромышленных предприятиях ведется активный поиск рациональных решений использования коры, эффективность которых зависит от ее качества, объема производства и экономического профиля района потребления. На каждом предприятии идут по своему пути, на выбор которого влияет множество факторов. Экономическая эффективность любого из возможных способов утилизации коры в первую очередь зависит от реальной стоимости коры как сырья с учетом расходов на сбор, транспорт, хранение и предварительную подготовку ее к переработке. В тоже время, любые виды сбора биомассы и вывод ее из леса приводят к обеднению и понижению кислотно-буферных свойств почвы в лесу. Концентрация полезных микроэлементов выше в кроне и ветвях, поэтому удаление не только стволов, но и всех древесных остатков, включая ветви и крону, приводит к закислению почвы и потере питательных веществ в лесной почве более чем в три раза. Из-за высокого содержания в древесной золе минералов и микроэлементов, необходимых для поддержания и обогащения питательности почв, целесообразно возвращение золы обратно в естественный цикл природы.

Правильное осуществление лесозаготовительных работ, предусматривающее стабильность экосистемы леса и сохранность полезных и питательных свойств лесных земель, является актуальной проблемой представляющей научный и практический интерес.

Целью исследований является анализ вариантов и поиск альтернативных способов повышения эффективности выработки окоренных сортиментов с рациональным использованием отходов производства.

Материалы и методы. В существующей практике возможны следующие способы переработки коры [2, 3, 4].

Вывоз на свалку. Самый простой способ (рисунок 1).

Минусами можно назвать платежи за лицензию, затраты на обслуживание техники для вывозки и конечно же ухудшение экологии.

Вывоз коры в отвалы (рисунок 2). Это вариант для производств, у которых нет возможности перерабатывать отходы и которые поэтому вынуждены избавляться от коры, чтобы не захламлять территорию предприятия (так называемые обременительные отходы).



Рисунок 1 – Свалка коры



Рисунок 2 – Кора в отвале

Переработка коры на удобрения. В этом случае используют кору, измельченную в корорубках и молотковых мельницах (рисунок 3). При доизмельчении коры в молотковых мельницах можно получить мелкодисперсный материал, который находит широкое применение в разных технологиях.



Рисунок 3 – Переработка коры на удобрения

Содержащийся в коре лигнин при определенных условиях со временем превращается в гумус. Кора богата различными питательными веществами и разлагается быстрее опилок, за счет высокой пористости она быстро накапливает и хорошо удерживает влагу. В результате химических реакций образуется компост, который по эффективности может конкурировать с другими удобрениями.

Получение золы. В настоящее время основным методом утилизации коры в больших количествах при сравнительно простом процессе является ее сжигание.

Технология производства золы может быть представлена следующим образом. Образующиеся в результате обработки сортиментов кора на лесосеке собираются при помощи подборщика гребельного типа. Формируются кучи коры.

Возможны следующие способы сжигания коры:

1. на открытом воздухе в осенне-весенний период при формировании собранной коры в валы, в результате которой образуется нижняя зола (пепел), а летучая фракция (летучая зола) удаляется вместе с дымовыми газами. После этого пепел разбрасывается;

2. в пределах топки, в результате которой образуется нелетучая зола, которая оказывается более богатой основными компонентами и более щелочной. Летучая фракция (летучая зола – зола, которая образуется при сжигании угля и мелких частиц сжигаемого топлива, которые покидают угольные котлы вместе с дымовыми газами и пепел, который остаётся на дне котла, называется донной или нижней золой, имеющей почти те же свойства, что и у летучей золы), сажа, богата микроэлементами и тяжелыми металлами и имеет менее щелочную реакцию.

Одним из новых вариантов выработки окоренных сортиментов с последующей переработкой лесосечных отходов является использование модернизированного рабочего органа валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины, представленного на рисунок 4.

ВСРМ (харвестер с окорочной головкой) производит выработку окоренных сортиментов (рисунок 4, а), которые при помощи форвардера трелюются и штабелируются на погрузочной площадке. Далее самопогружающимися лесовозными автопоездами с погрузочной площадки окоренные сортименты вывозятся на частное предприятие и подвергаются дальнейшей переработке.

Полученные в результате выработки окоренных сортиментов кора, сучья и верхняя часть собираются в кучи и поступают далее на рубительную машину. После этого полученная измельченная древесина идет на сжигание для получения золы (рисунок 4, б) или в компостную яму (рисунок 4, в) для перегнивания. Следуя технологической цепочке, полученная зола или компост разбрасываются по лесосеке.

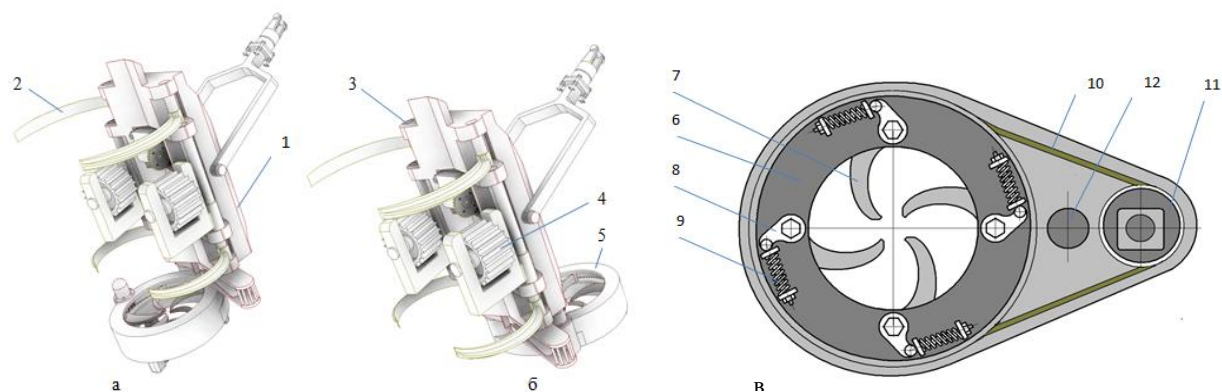
Затем полученная зола (пепел) собирается в кучу и разбрасывается по лесосеке вручную или при помощи специальных разбрасывающих машин.



Рисунок 4 – Заготовка лесоматериалов харвестором

Повышением производительности и многофункциональности работы рабочих органов лесозаготовительных машин, в том числе и валочно-сучкорезно-раскряжевочных машин занимались различные российские [1, 5, 6, 8, 9] и зарубежные [11, 15, 16] ученые и исследователи. Был проведен патентный поиск конструктивных решений рабочего органа ВСРМ [10, 17, 18], который позволил бы получать не только сортименты и отходы в виде сучьев и вершинной части дерева, но также осуществлять окорку лесоматериалов. Существующие конструкции рабочих органов ВСРМ не обеспечивают окорку сортиментов, что существенно ограничивает технологические возможности рабочего органа ВСРМ (получение коры, с последующим ее использованием)

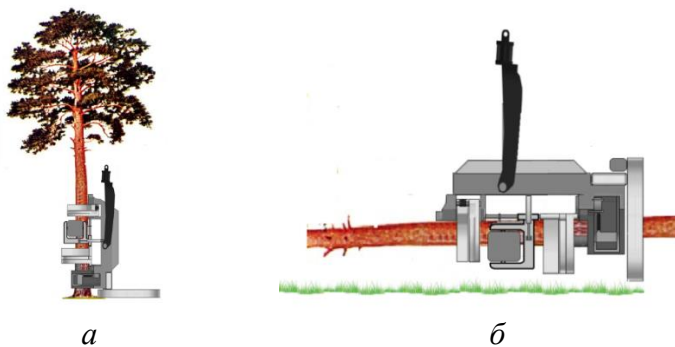
Результаты. В результате анализа предложен рабочий орган ВСРМ (рисунок 5) для выработки окоренных сортиментов [7], включающий в себя корпус 1, на котором смонтированы пильный механизм, сучкорезные ножи 2, прикрепленные к корпусу 1 посредством осей 3, и протаскивающий механизм, выполненный в виде поворотных вальцов 4. К корпусу 1 рабочего органа ВСРМ в нижней части закреплено окорочное устройство в виде статора 5 внутри которого расположен ротор 6 с шарнирно закрепленными короснимателями 7, связанными через коромысло 8 с прижимными пружинами 9, а сам ротор посредством ременной передачи 10 соединен с гидромотором 11, при этом статор смонтирован на корпусе, посредством вала 12 с возможностью поворота параллельно плоскости движения пильного механизма.



a – вид рабочего органа сбоку при рабочем положении статора; *б* – вид рабочего органа сбоку при исходном положении статора; *в* – окорочное оборудование (вид сверху)
 1 – корпус, 2 – сучкорезные ножи, 3 – оси, 4 – поворотные вальцы, 5 – статор, 6 – ротор, 7 – коросниматели, 8 – коромысло, 9 – прижимные пружины, 10 – ременная передача, 11 – гидромотор, 12 – вал

Рисунок 5 – Рабочий орган ВСРМ

Обсуждение. Работа предлагаемого рабочего органа ВСРМ, осуществляется оператором, который наводит рабочий орган машины с находящимся в исходном положении статором на растущее дерево, производит захват, спиливание, валку дерева. После этого рабочий орган ВСРМ переводится в горизонтальное положение. Одновременно с этим приводится в рабочее положение окорочное устройство для окорки сортиментов. Начинается протаскивание поваленного дерева вальцами 4 через сучкорезные ножи 2 и через окорочное устройство, работающее посредством ротора 6 с короснимателями 7 вращающегося вокруг продольной оси поваленного дерева. Происходит окорка. Достигнув заданной длины сортимента, производится раскряжевка (рисунок б). Таким же образом обрабатывают и последующие деревья.



a – захват растущего дерева; *б* – валка и протаскивание поваленного дерева через сучкорезные ножи и окорочное оборудование

Рисунок 6 – Этапы работы рабочего органа ВСРМ:

Заключение. Таким образом, сбор, сжигание (в топках или на открытом воздухе) и формирование компоста непосредственно на лесосеке, с последующим внесением его в лесную почву, является альтернативным решением использования отходов лесозаготовок. При этом сводятся к нулю такие статьи затрат как транспортировка золы с нижних складов лесоперерабатывающих операций и ее хранение. Исключается необходимость транспортировки больших объемов сыпучей золы, приводящей к загрязнению, порче поверхности металлических деталей механизмов и негативным последствиям для здоровья рабочих.

Использование предложенного способа выработки окоренных сортиментов и рабочего органа валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины для его осуществления позволяет концентрировать большую часть отходов лесосечных работ на лесосеке. При этом на скла-

дах сырья крупных деревообрабатывающих комбинатов не образуются запасы коры и производственникам не приходится решать, что делать с этими отходами. Полученная результате сжигания зола вносится в почву в качестве удобрения для восстановления стабильности экосистемы леса и сохранности полезных и питательных свойств лесных земель.

ЛИТЕРАТУРА

1. Будник П.В. Функционально-технологический анализ харвестерной головки // Наука и бизнес: пути развития. - 2012. - № 9 (15). С. 36-38;
2. Волынский В. Переработка и использование древесной коры. Раздел Биоэнергетика. ЛесПромИнформ №2 (84) 2012с. 168-171.
3. Головкин С.И. Энергетическое использование древесных отходов / С.И. Головкин, М.И.Ф. Коперин, В.И. Найденев. – М.: Лесная промышленность, 1987. – 224 с.
4. Девятловская А.Н. Утилизация древесной коры деревоперерабатывающих предприятий / А.Н. Девятловская, Л.Н. Журавлёва, Н.В. Девятловский // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://pihtahvoya.ru/chvoynie-derevyu-i-kustarniki-dalnego-vostoka/udobrenie-iz-kori-derevev>. Дейнеко И.П. Исследование химического состава коры сосны/ И.П. Дейнеко, И.В. Дейнеко, Л.П. Белов//Химия растительного сырья.
5. Демчук А.В. Модернизация технологического оборудования харвестера для повышения эффективности вывозки сортиментов // Инженерный вестник Дона. 2012. Т. 20. № 2. С. 542-546.
6. Мазуркин П.М. Поисковое конструирование лесотехнического оборудования: Учебное пособие. // Саранск: Изд-во Сарат. ун-та, 1990. –304 с.
7. Пат. 2676139 Российская Федерация, Способ выработки окоренных сортиментов и рабочий орган для его осуществления/ Царев Е.М, Анисимов С.Е. Рукомойников К.П., Ковалова Ю.А. и др. МПК А01G23/095, В27L 1/00. Заявитель и патентообладатель Поволжский государственный технологический университет. -№ 2017145977; заявл. 26.12.2017; опубл. 26.12.2018, Бюл. № 36.- 6 с.: ил.
8. Пошарников Ф.В. Анализ состояния технического оснащения лесозаготовительной промышленности // Лесотехнический журнал. 2012. № 2. С. 100-105.
9. Сютёв В. С., А. А., Селиверстов. Рабочие органы харвестеров: проектирование и расчет: учебное пособие. // Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2005. 204 с.
10. Шегельман И.Р. Техническое оснащение современных лесозаготовок / И.Р.Шегельман, В.И. Скрыпник, О.Н.Галактионов. - СПб.: Префикс, 2005. С.344.
11. Allan John Wildey. Tree harvesting and processing head. Patent US, no. 5785101 A, 1997.
12. Emilsson S., From Extraction of Forest Fuels to Ash Recycling, Handbook, Swedish Forest Agency, 2006.
13. <http://andreynoak.ru/dizajn-i-interer/samye-rasprostranennye-sposoby-utilizacii-koryna-proizvodstve/> (дата обращения: 5.02.2019).
14. Jan. A.L. Eriksson. Device in an apparatus for processing trees. Patent US, no. 4194542, 1978.
15. Juha Moisio. Timber harvester. Patent US, no. 5732754, 1996.
16. Keskinen Jukho, Kinnunen Kari, Khanne Kari. Feller device for felling and limbing on tree trunks and blade for limbing. Patent, no. 2513415 C2, 2010
17. Pat. № DE 3603823C2, Debarking or removing vestiges of branches from trees or logs/Harro 6550 Bad Kreuznach De Kroecher . Int. Cl. B27L1/00 Current Assignee Hombak Maschinenfabrik & Co Kg 6550 Bad Kreuznach De GmbH. Application DE198636038231986-02-07, Publication of DE3603823C2 2019-02-07.
18. Pat. № US 4562873, Method of and arrangement for milling root butts of round timber/Harro KrÖher, Dieter Krautzenberger, Hans Sybertz, Uwe Becker. Int.Cl. B27B 1/00, U.S. Cl. 144/356. Homak Maschinenfabrik GmbH&Co. KG., Bad Kreuznach, Fed. Rep. of Germany. Appl. No.: 584095, Date of Patent: Jan. 7, 1986.

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КАНАТНЫХ ТРЕЛЕВОЧНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ
РАЗРАБОТКИ ТРУДНОДОСТУПНЫХ ЛЕСОСЕК ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ
КАРЕТКИ СДВОЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ**

**Кацадзе В. А., доц., к.т.н., Королько Н. С., инж., Свойкин Ф. В., к.т.н.,
Свойкин В. Ф. доц., к.т.н., Шошин А. О., ассист.**

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова
(Санкт-Петербург, Российская Федерация), e-mail: kns89lta@mail.ru

**IMPROVEMENT OF CABLE SKIDDING SYSTEMS FOR THE DEVELOPMENT OF
DIFFICULT ACCESSIBLE CUTTING AREAS BY USING THE DOUBLE DESIGN
CARRIAGE**

**Katsadze V. A., Assoc. Prof., PhD., Korolko N. S., Svoikin F. V., PhD,
Svoikin V. F., Assoc. Prof., PhD., Shoshyn A. O., Assist.**

St. Petersburg state forestry university
(St. Petersburg, Russian Federation)

Аннотация. В статье изложены причины существенного недоиспользования расчетной лесосеки в Северо-Западном Федеральном округе Российской Федерации на примере Ленинградской области, а представлены результаты изысканий по совершенствованию канатных трелевочных установок путем внедрения в систему каретки сдвоенной конструкции (шарнирно-сочлененной каретки), обеспечивающей прохождение поворотов пачкой трелеваемых лесоматериалов на криволинейной трассе несущего каната за счет соединения крепления ходовых колес двумя шарнирными сочленениями. В результате получены фактически две зависимые каретки, перемещающиеся по несущему канату на одном ролике, который без существенных усилий преодолевает повороты каната. Применение канатных трелевочных установок с шарнирно-сочлененной кареткой позволят организовать трассы трелевки, без существенного износа канатов, с углами поворота до 45°, без внесения изменений в конструкции существующих установок. Даны рекомендации по возможности адаптации результатов исследований для лесозаготовителей Российской Федерации.

Ключевые слова: заготовка древесины; трелевка; переувлажненные труднодоступные лесосеки; мобильная канатно-рельсовая трелевочная установка; канатная трелевочная установка; лебедка; сдвоенная каретка; шарнирно-сочлененная каретка

Abstract. The article describes the reasons for the significant under-utilization of the allowable volume of the timber harvesting in the North-West Federal district of the Russian Federation on the example of the Leningrad region, and presents the results of research to improve cable skidding systems by introducing a system of dual carriage design (articulated carriage), allowing the passage turns a bundle trelwany of timber in curved track carrying rope through the connecting attachment of running wheels of the two hinge joints. As a result, there are actually two dependent carriages moving along the carrier rope on a single roller, which overcomes the turns of the cable without significant effort. The use of cable skidding systems with a articulated carriage will allow you to organize the skidding tracks without significant wear of the cables, with rotation angles up to 45°, without making changes to the design of existing installations. Recommendations are given on the possibility of adapting the research results for loggers of the Russian Federation.

Key words: timber harvesting operations; skidding; wetland cutting areas; mobile cable-road skidding system; cable skidding; winch; dual carriage; articulated carriage

Введение. В Северо-Западном Федеральном округе Российской Федерации (в том числе в Ленинградской области) процент использования расчетной лесосеки не превышает 75%, а в 2016 и 2017 году составляла 59% и 52% соответственно [1]. Этот процесс происходит наряду с истощением потенциала использования хвойных и легкодоступных лесосек. Более 10% площади лесов Ленинградской области составляют болота. Обычно в Ленинградской области на низинных болотах произрастают береза пушистая, черная ольха, ивы, сосна и ель. Густые хвойные и смешанные лиственные леса, перемежающиеся болотами, покрывают более 60% территории, что служит важным сырьевым ресурсом макрорегиона.

Проблема. Стоит отметить, что проблема существенного недоиспользования расчетной лесосеки в настоящее время наиболее обострилась: так заготовку древесины в зимний заготовительный период 2019-2020 года существенно ограничили высокие средние температуры воздуха. Это привело к неработоспособности существующей техники и технологии, что привело к уменьшению объема заготовки до 30% по сравнению с аналогичным периодом предыдущего заготовительного сезона, а это, в свою очередь, нанесло прямые убытки лесозаготовителям отрасли региона.

В таких условиях существующая система тяжелых лесных машин не может обеспечить освоения труднодоступных лесосек [3, 6, 7]. На заболоченных и переувлажненных ПГУ альтернативы применения канатных трелевочных установок (КТУ) практически отсутствуют.

Решение. Применение на сложных по ПГУ грунтах способов трелёвки на основе механизмов с канатной оснасткой является наиболее перспективной. Сотрудниками кафедры технологических процессов и машин лесного комплекса (ТП и МЛК) СПбГЛТУ им. С.М. Кирова разработана конструкция мобильной канатно-рельсовой трелевочной установки (МКРТУ), позволяющей эффективно осуществлять перемещение заготовленной древесины на территориях с переувлажненными и заболоченными почвогрунтами. Однако разработанная на уровне эскизного проекта МКРТУ обладает существенными ограничениями при использовании, а именно: малая величина допустимых углов поворота трассы; невозможность или высокая степень сложности преодоления резких склонов и оврагов, широких канав, крупных вывороченных пней, водных преград. На участках, где имеются участки со значительно заболоченной местностью, укладка путей МКРТУ нерентабельна, тогда как пачка трелеваемой древесины с использованием известных в лесной промышленности канатных трелевочных установок достаточно надежно преодолевает такие участки в подвешенном или полуподвешенном положении. Кроме того, следует учесть, что МКРТУ на сегодняшний день промышленно не выпускаются и потребуются значительные затраты по их созданию и освоению [4,5]. Поэтому наиболее рациональным шагом является усовершенствование существующей, проверенной канатной трелевочной техники для применения в тяжелых условиях, например, Ленинградской области СЗФО РФ.

Обычно КТУ используют для трелевки древесины в холмисто-рядовых рельефах и в тех условиях, когда невозможно применить трелевочные тракторы. При этом лесосека разрабатывается секторами, где производят валку деревьев, а затем посередине сектора прокладывают тягово-несущий канат.

Материалы и методы. Проектируя КТУ конструкторы не ставили задач создания поворотных трасс каната, поскольку применяя КТУ на сплошных рубках и выборочных рубках высокой интенсивности, есть возможность прокладывать волок, минуя вертикальные препятствия. Конструкция ходовой части тележки известных КТУ представляет из себя Г – образную пластину с закреплёнными на ней 2-4 роликами. Такая конструкция проста и надёжна, но исключает возможность изгиба каната в горизонтальной плоскости и, соответственно, возможность поворота трассы.

Сотрудниками кафедры ТП и МЛК СПбГЛТУ им. С.М. Кирова предлагается внедрить в систему КТУ каретки сдвоенной конструкции (представлена на рисунке 1).

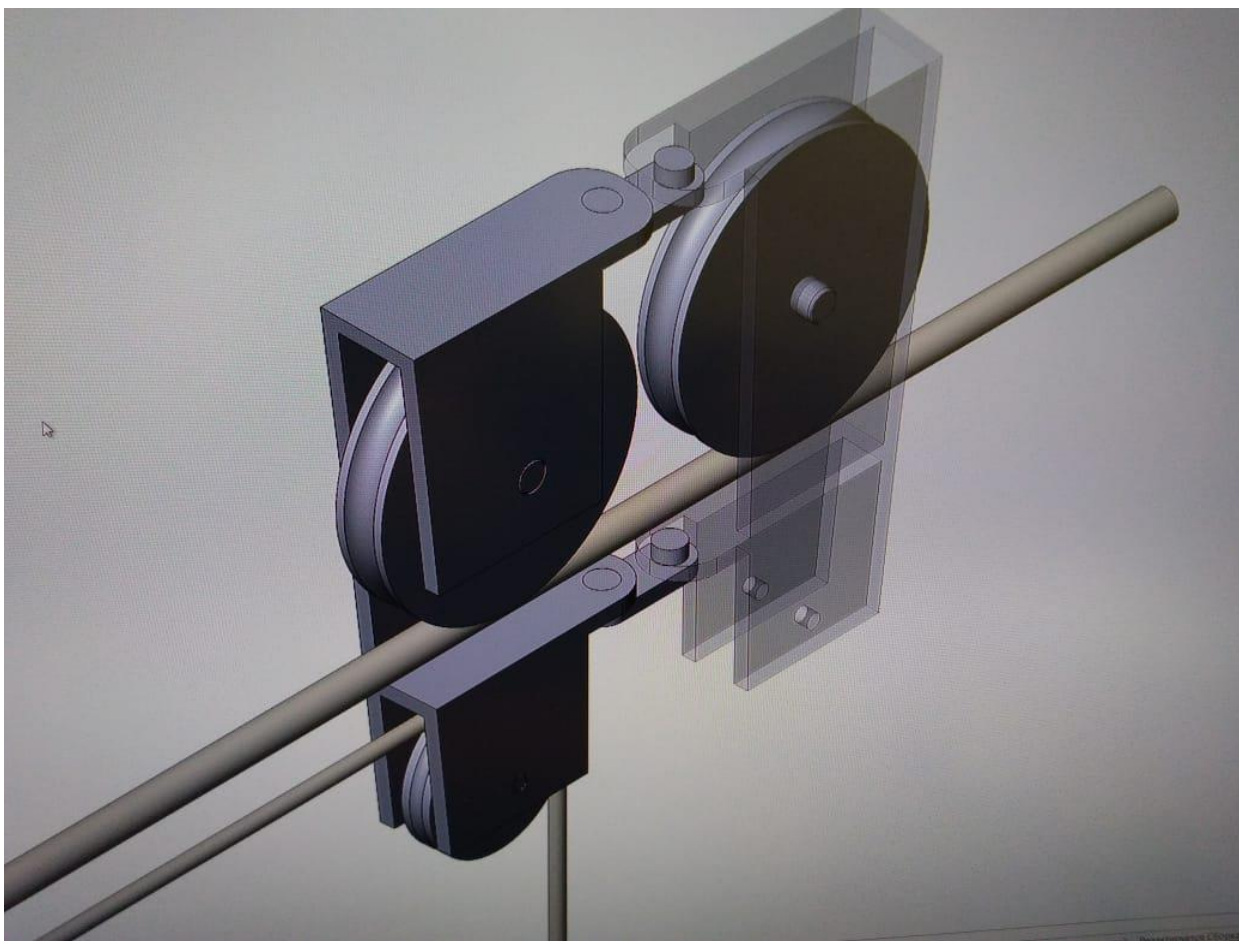


Рисунок 1 – Каретка КТУ со сдвоенной шарнирной колесной парой

Такая конструкция позволяет каретки обеспечивать прохождение поворотов пачкой трельюемых лесоматериалов на криволинейной трассе несущего каната. Предлагается использовать существующие конструкции кареток в части перемещения и поднимания грузов. Соединив крепление ходовых колес двумя шарнирными сочленениями, мы получаем фактически две зависимые каретки, перемещающиеся по несущему канату на одном ролике, который без труда преодолевает повороты каната. Назовём такую каретку (ШСК – шарнирно-сочленённая каретка).

При жестко закрепленном ролике возможен поворот трассы (каната) на очень ограниченный угол. Использование конструкции с независимыми от каретки роликами невозможно, поскольку ось роликов должна быть закреплена с двух сторон, что создаёт невозможность прохождения оттяжки в поворотной точке.

Существенным преимуществом ШСК является то, что её применение не требует внесения изменений в конструкции существующих КТУ.

Результаты. Применение поворотных трасс хода несущего каната должно стать мощным импульсом использования КТУ, поскольку существенно расширит возможности их применения.

Перспективные направления применения КТУ с ШСК:

1. в случае наличия поворотов каната возможно применение технологии разработки лесосек вдоль существующих трасс, что значительно повысит производительность при работах на выборочных рубках и позволит снизить долю ручного труда, а также даст возможность разрабатывать лесосеку в период распутицы;

2. применение в защитных лесах или в охранных зонах вдоль рек, поскольку преимущества минимального повреждения подроста, остающегося древостоя и почвы сочетаются с прокладкой волока вдоль изгибов рек, вокруг холмов и других препятствий;

3. существующие мелиоративные сети нуждаются в расчистке склонов и регулярной уборке валежника, доставка техники в удаленные от дороги места невозможна без прокладки параллельных транспортных путей.

Заключение. В настоящее время проводится теоретический расчёт конструктивных особенностей предложенной конструкции. Предварительные расчеты показывают, что применения КТУ с ШСК позволят организовать трассы трелевки, без существенного износа канатов, с углами поворота до 45°.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лесной план Ленинградской области утвержден постановлением губернатора Ленинградской области №75-пг от 25.12.2018, Приложение №8.

2. Ленинградский лес. Елена Левина ЛесПромИнформ №7 (20), 2004 г. с. 12-13. https://lesprominform.ru/media/_protected/journals_pdf/1344/lesprominform_20.pdf Официальный сайт компании ЛесПромИнформ (независимое информационно-рекламное издание) [Электронный ресурс] дата обращения: 19 марта 2019 г.

3. Свойкин, Ф.В. Обеспеченность (надежность) зимнего периода работы многооперационных лесосечных машин (харвестера, форвардера) / Ф.В. Свойкин // XIII Международная молодежная научная конференция "Севергеоэкотех-2012": материалы конференции (21-23 марта 2012 г., Ухта): в 6 ч.; ч. 2. - Ухта: УГТУ, 2013. – с. 256–260.

4. Свойкин, Ф.В. Прогнозирование периода лесосечных работ на летних лесосеках Республики Коми / Ф.В. Свойкин // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы международной научно-технической конференции. – Вологда: ВоГТУ, 2013. – с.31–35.

5. Свойкин Ф.В. Совершенствование технологического процесса лесозаготовок в условиях СЗФО РФ / Ф.В. Свойкин // автореф. на соиск. уч. ст. к.т.н., СПбГЛТУ, 2018, с. 20.

6. Патент на полезную модель № 113917 Российская Федерация «Канатно-рельсовая трелевочная установка», выдан 10.03.2013, опубликован в бюл. № 7.

7. Патент на полезную модель № 173954 Российская Федерация «Устройство для сбора древесины канатно-рельсовой трелевочной установкой», выдан 21.09.2017, опубликован в бюл. № 27.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ДРЕВЕСНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ
ЛЕСОПИТОМНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА БЕЛАРУСИ**

Копытков В. В., доц., д.с-х.н., Кулик А. А., соискат., Савченко В. В., асп.

Институт леса НАН Беларуси

(Гомель, Республика Беларусь), e-mail: korvo@mail.ru

**USE OF SECONDARY WOOD RESOURCES FOR FORESTRY-PRODUCTION OF
BELARUS**

**Kopytkov V. V., Assoc. Prof., D.Sc. (Agricultural), Kulik A. A., PhD applicant,
Savchenko V. V., PhD student.**

Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus
(Gomel, Republic of Belarus)

Аннотация. В материалах представлена инновационная технология получения органоминеральных компостов буртовым способом. с использованием древесных опилок, куриного помета и отходов грибного производства. Исследования по изучению динамики степени готовности органоминеральных компостов проведены в трех постоянных лесных питомниках. Изучение степени готовности органоминеральных компостов проведено в динамике в течении 9 месяцев. Готовый компост представляет собой однородную, темно-коричневую рассыпчатую массу с влажностью 60%.

Цель работы заключалась в изучении динамики степени готовности органоминеральных компостов на основе вторичных древесных ресурсов и их влияние на биометрические показатели сеянцев лесных пород.

Изучение процесса образования микоризы на корневых системах сеянцев сосны обыкновенной и дуба черешчатого по вариантам опыта проводили по общепринятым методикам. Установлено, что при соблюдении технологии получения органоминеральных компостов степень их готовности составляет 5-7 месяцев. Органоминеральные компосты способствуют интенсивному образованию на корневых системах сеянцев лесных пород более сложной кораллоподобной и вильчатой форм микоризы. Под влиянием органоминеральных компостов увеличивается масса корневой системы на 18-24%.

Ключевые слова: древесные опилки; органоминеральные компосты; стандартные сеянцы; степень готовности; микориза

Abstract. The materials present an innovative technology for the production of organic mineral composts by the burt method. using sawdust, chicken manure and mushroom waste. Studies on the dynamics of the degree of readiness of organomineral composts were carried out in three permanent forest nurseries. The study of the degree of readiness of organomineral composts was carried out in dynamics for 9 months. Ready compost is a homogeneous, dark brown friable mass with a moisture content of 60%.

The purpose of the work was to study the dynamics of the degree of readiness of organomineral composts based on secondary wood resources and their impact on the biometric indicators of forest seedlings.

The study of the formation of mycorrhiza on the root systems of seedlings of Scots pine and pedunculate oak according to the experimental options was carried out according to generally accepted methods. It is established that, subject to the technology for obtaining organic mineral posts, the degree of their readiness is 5-7 months. Organomineral composts contribute to the intensive formation of more complex coral and forked forms of mycorrhiza on the root systems of forest seedlings. Under the influence of organomineral composts, the mass of the root system increases by 18-24%.

Key words: sawdust; organomineral composts; standard seedlings; degree of readiness; mycorrhiza

Введение. Интенсификация питомнического хозяйства и увеличение выхода стандартного посадочного материала с единицы площади может быть достигнуто на основе внедрения органоминеральных компостов. Одной из главных причин низкой эффективности лесного питомнического хозяйства является недостаточное обеспечение почв элементами питания и в первую очередь гумусом. Для повышения содержания гумуса в почве особо важную роль играют органические удобрения. При внесении органических удобрений в лесных питомниках создаются оптимальные условия для получения стандартного посадочного материала с хорошо развитой корневой системой и надземной частью растений [1, 2]. По данным Министерства лесного хозяйства Беларуси в 2019 г., отходы древесных опилок составили 371 тыс. м³, что по сравнению с 2010 г. больше в 3,7 раза. По данным СООО «Бонше» в Брестском районе ежегодно образуется отходы грибного производства в количестве 16,8 тыс. тонн [3]. При выращивании вешенки обыкновенной и шиитаки на Кореневской экспериментальной лесной базе Института леса НАН Беларуси (Кореневская ЭЛБ) ежегодно образуется более 60 т отходов грибного производства. В то же время нормативные документы по использованию вторичных древесных ресурсов в качестве элементов компоста для выращивания лесных семян отсутствуют.

Многие ученые показали целесообразность применения компостов из древесной коры и опилок в качестве органических удобрений [2, 3, 4].

Цель работы заключалась в изучении динамики степени готовности органоминеральных компостов на основе вторичных древесных ресурсов и их влияние на биометрические показатели сеянцев лесных пород.

Материалы и методы. Исследования по изучению динамики степени готовности органоминеральных компостов проведены в постоянных лесных питомниках Осиповичского и Кобринского опытных лесхозов, а также Кореневская ЭЛБ. СООО «Бонше» является первым в Беларуси предприятием по производству шампиньонов. Подобных аналогов производства в Беларуси нет. По данным Сатишура В.А. [3] в год образуется до 10 тысяч тонн отработанного субстрата, который содержит 344 кг/т органического вещества, 6,5 кг/т азота, 10,5 кг/т фосфора, 7,8 кг/т калия, 12,2 кг/т кальция, 2,6 кг/т магния, 3,7 кг/т серы, 0,29 кг/т бора, 0,25 кг/т меди, 0,57 кг/т цинка, 2,5 кг/т марганца, 0,01 кг/т кобальта [3].

В Осиповичском и Кобринском опытных лесхозах созданы опытные объекты по получению компостов буртовым способом следующих размеров: ширина 5,5 м, длина 40 м и высота 2,0 м. В Осиповичском опытном лесхозе использовали древесные опилки, куриного помета и минеральных удобрений в соотношении 1:1:0,3. В Кобринском опытном лесхозе – древесные опилки, куриный помет и отходы грибного производства СООО «Бонше» в виде субстрата в соотношении 1:1:0,5.

В лесном питомнике Кореневской ЭЛБ создан опытный объект буртовым способом следующих размеров: ширина 5,5 м, длина 4,5 м и высота 2,2 м. с использованием древесных опилок, куриного помета и отходов грибного производства в соотношении 1:1:0,5.

Изучение степени готовности при компостировании субстратов с органоминеральными добавками проведено на 1, 3, 5, 7 и 9-ый месяцы эксперимента [5]. Готовый компост представляет собой однородную, темно-коричневую рассыпчатую массу с влажностью 60-65%. Определяли биометрические показатели сеянцев: высота надземной части, диаметр корневой шейки, длина главного корня, масса надземной части и масса корневой системы. Изучение характеристики корневых систем сеянцев проводили путем подсчета на одном растении: корней I, II и III порядков, общего числа корней на 1 растении; длины корней I, II и III порядков, суммарной длины боковых корней [6,7,8].

Полученные результаты полевых исследований обработаны методом математической статистики с использованием программ Statistica 7.0 [9].

Результаты. В Институте леса НАН Беларуси разработан органоминеральный состав для повышения почвенного плодородия лесных питомников «Агрополикор» [10]. Данный состав состоит из древесной коры хвойных пород, торфа и полимерного структурообразователя почвы. Степень его разложения составляет 40%. Однако данный состав по своим физико-химическим свойствам не является оптимальным для выращивания семян хвойных пород, так как имеет рН 6,0-6.5 и высокую степень разложения.

Для повышения качества органоминеральных компостов в качестве основного компонента использовали древесные опилки. В таблице 1 представлены показатели переработанной древесины и полученных опилок в Беларуси.

Таблица 1 – Показатели переработанной древесины и объемы полученных опилок

Года	Переработано древесины, тыс.м ³		Объем полученных опилок, тыс. м ³
	Всего	Деловой	
2010	1169	911	100
2011	1462	1025	113
2012	1785	1190	131
2013	2035	1234	136
2014	2489	1418	156
2015	2608	1573	173
2016	3148	1650	182
2017	3363,5	1950	215
2018	4867	2200	242
2019	5470	3370	371

Результаты физико-химического анализа исходных компонентов компоста на основе хвойной и лиственной коры, хвойных опилок с органоминеральными добавками для производственных исследований приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав исходных компонентов компоста

Компоненты компостов	Влажность, %	РН _{НС}	Зольность	Содержание основных элементов			
				азота		фосфора, %	калия, %
				общего, %	аммиачного, мг/100 г		
Хвойная кора	52,6	3,4	66,48	0,46	-	0,06	-
Лиственная кора	61,4	5,5	40,74	0,95	-	0,01	-
Хвойные опилки	24,1	5,4	1,08	0,14	-	0,02	-
Куриный помет на опилках	32,6	8,2	12,42	4,44	552,35	3,70	-

Химический анализ показал, что во всех используемых исходных компонентах компостов (кора, хвойные опилки и торф) содержание общего азота находится в пределах от 0,14 до 0,95%. В курином помете на опилках содержание общего азота составляет 4,44%. В этом субстрате выявлено большое содержание аммиачного азота (552,4 мг/ 100 г субстрата) и общего фосфора (3,70%) (таблица 2).

Для получения органоминеральных компостов использовали древесные опилки (рН 5,0) в смеси с куриным пометом и отходами грибного производства. В течение всего периода исследований влажность органоминеральных компостов составляла 60-65%. При уменьшении влажности осуществляли полив. В таблице 3 представлены данные по степени готовности органоминеральных компостов буртовым способом.

Анализ показывает, что через 1 месяц после начала эксперимента показатель готовности органоминерального компоста на варианте с отходами грибного производства

превышал на 4,9% вариант с минеральными удобрениями. Через 3 месяца этот показатель уменьшился до 2,6%, а через 5 месяцев он увеличился до 40,2%.

Таблица 3 – Показателя соотношения углерода к азоту в производственных условиях при получении коровых компостов

Состав компостов	Показатель соотношения C:N, месяц				
	1	3	5	7	9
Древесные опилки + куриный помет + отходы грибного производства Корневская ЭЛБ (1:1:0,5)	60,3	56,2	34,3	20,6	19,1
Древесные опилки + куриный помет + отходы грибного производства СООО «Бонше» (1:1:0,5)	56,9	54,3	22,1	19,6	19,4
Древесные опилки + куриный помет + макроудобрения (1:1:0,3)	57,5	54,8	24,4	21,4	19,6

Через 7 месяцев показатель соотношения углерода к азоту на обоих вариантах опыта находился в приделе 21%, что соответствует готовности органоминерального компоста к их использованию для выращивания лесного посадочного материала

Сокращение срока готовности компостов до 5 месяцев достигается при использовании следующих компонентов: древесные опилки; куриный помет; отходы грибного производства в соотношении (1:1:0,5), а также древесные опилки; куриный помет и макроудобрения в соотношении (1:1:0,3). Использование в качестве компонентов для получения органоминеральных компостов куриного помета и отходов грибного производства способствует более интенсивному микробиологическому разложению всех составляющих компонентов.

Проведены исследования по влиянию органоминеральных компостов на биометрические показатели и выход стандартных сеянцев лесных пород (таблица 4).

Таблица 4 – Биометрические показатели и выход стандартных сеянцев сосны обыкновенной и дуба черешчатого после внесения органоминеральных компостов

Варианты с внесением компостов	Высота надземной части, см	Диаметр корневой шейки, мм	Длина главного корня, см	Выход стандартного посадочного материала, тыс. шт./га
Сеянцы сосны обыкновенной				
Контроль (без внесения компостов)	7,10±2,0	1,50±0,5	12,8±2,4	2,1
«Агрополикор» [10]	8,74±1,40	2,0±1,4	14,8±2,2	2,6
Древесные опилки + куриный помет + отходы грибного производства (1:1:0,5)	8,90±1,51	2,1±1,5	15,6±2,5	2,7
Сеянцы дуба черешчатого				
Контроль (без внесения компостов)	12,1±0,4	3,0±0,4	22,3±2,5	0,7
Торфяно-перлитный субстрат [11]	14,6±0,7	3,6±0,6	27,4±2,9	1,0

Как видно из данной таблицы высота надземной части сеянцев сосны обыкновенной с использованием органоминеральных компостов «Агрополикор» превышает контрольный вариант опыта на 23%, сеянцы дуба черешчатого с использованием торфяно-

перлитного субстрата – на 21%. Диаметр корневой шейки лесных семян соответственно превышал на 33% и 20%.

Основным критерием по влиянию органоминеральных компостов является выход стандартных семян с 1 га. При выращивании семян сосны обыкновенной органоминеральный компост «Агрополикор» способствовал увеличению выхода стандартного посадочного материала на 24%, при выращивании семян дуба черешчатого с использованием торфяно-перлитного субстрата – на 43% по сравнению с контролем.

На вариантах опыта после внесения органоминеральных компостов отмечалось увеличение массы как надземной, так и подземной массы лесных семян по сравнению с контролем 1,4-2,5 раза.

Изучена динамика формирования корневых систем и образование на них микоризы у семян сосны обыкновенной и дуба черешчатого. На вариантах опыта с внесением органоминеральных компостов, семена имели более развитую корневую систему, которая характеризовалась увеличением числа корней I, II и III, а их суммарной длины – в 1,2-1,6 раза.

Изучены показатели различных форм микориз на корневых системах однолетних семян дуба черешчатого и однолетних семян сосны обыкновенной. На контрольном варианте опыта 95,4% микоризы были представлены простой булавовидной формой и незначительное количество (4,6%) вильчатой формой. Внесение органоминеральных компостов способствует изменению соотношения формы микориз и увеличивает количество сложной кораллоидной формы. При внесении корового компоста «Агрополикор» на корневых системах семян сосны обыкновенной количество простой булавовидной формы микоризы составило 36%, вильчатой – 41% и сложной кораллоидной – 24% (таблица 5).

Таблица 5 – Показатели встречаемости форм микориз на корневых системах семян сосны обыкновенной и дуба черешчатого

Вариант внесенного компоста	Формы микориз на корнях семян, %		
	булавоидная	вильчатая	кораллоидная
Сеянцы сосны обыкновенной			
Контроль	95,4±2,70	4,6±0,15	не отмечено
«Агрополикор» [4]	36,0±1,02	40,9±0,30	23,7±0,18
Древесные опилки + куриный помет + отходы грибного производства (1:1:0,5)	34,1±0,20	40,3±0,28	25,6±0,19
Сеянцы дуба черешчатого			
Контроль	77,6±1,80	21,0±0,29	1,4±0,10
Торфяно-перлитовый субстрат [5]	35,1±1,74	42,4,0±1,87	22,5±0,21

Исследования на корневых системах семян сосны обыкновенной на контрольном варианте опыта позволили установить наличие только двух форм микориз. Внесение компоста «Агрополикор» способствовало увеличению на корневых системах семян сосны обыкновенной сложной кораллоидной формы микоризы до 23% и вильчатой более чем в 10 раз.

Обсуждение. Компостирование – это лучший способ утилизации древесных опилок и отходов грибного производства для получения экологически чистых и дешевых органических удобрений.

Разработанные органоминеральные компосты на основе древесных опилок способствуют увеличению биометрических показателей семян лесных растений и повышают микоризность корневых систем сложной кораллоидной и вильчатой формы.

Заключение. Таким образом, представлена инновационная технология получения органоминеральных компостов буртовым способом с использованием древесных опилок, куриного помета и отходов грибного производства. Установлено, что при влажности 60-65% органоминеральных компостов степень их готовности составляет 5–9 месяцев. Использование отходов сельского и лесного хозяйства способствует более эффективному их использованию в лесокультурном производстве. Рациональное применение нетрадиционных органических удобрений в виде отходов грибного производства и древесных опилок будет способствовать снижению нагрузки на экологическое состояние окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронкова, А.Б. Значение органических удобрений при выращивании сеянцев ели обыкновенной на дерново-подзолистых почвах: автореф. ... дис. канд. биол. наук: 29.10.70 / А.Б. Воронкова; МГУ. – М., 1970. – 22 с.
2. Hilszczańska D. Wpływ podłoża szkółkarskich na rozwój mikoryz sosny *Pinus sylvestris* L. // *Sylwan*. – Rok CXLIV, 2000. - № 4. – S. 93-97.
3. Отчет по НИР по заданию П.1.5. «Разработать и внедрить технологию производства альтернативных органических удобрений из отходов предприятий рыбопереработки и грибного производства и рекомендации по их применению в растениеводстве», Брест 2017 – 107 с.
4. Kottke, I. Effects of nitrogen in forests on root production, root system and mycorrhizal state / I. Kottke // *Proc. Int. Colliq. Bioindic. Forest Site Pollut.: dev. Methodol. And Training*, Ljubljana, Aug. 22-31, 199, BIOFOSP, 1995. – P. 107-111.
5. ОСТ 56-56-83. Технические условия: Компосты из коры. – Введ. 08.12.1983. – М.: Гос. ком. СССР по лесн. хоз-ву: Архангельский институт леса и лесохимии, 1983. – 12 с.
6. Селиванов, И.А. Микосимбиотрофизм как форма консортивных связей в растительном покрове Советского Союза / И.А. Селиванов. – М.: Наука, 1981. – 232 с.
7. Микоризообразование у сосны обыкновенной и ели сибирской в лесных питомниках [Электронный ресурс] / Д.В. Веселкин. – 2007. – Режим доступа: <http://mycorrhiza.narod.ru>.
8. Еропкин, К.И. О взаимосвязи форм микоризных окончаний у хвойных / К.И. Еропкин // *Микориза растений: межвузов. сб. науч. тр. Пермского и Абаканского пединститутов* – Пермь, 1979. – С. 61-77.
9. Зайцев, Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике / Г.Н. Зайцев. – М.: Наука, 1984. – 424 с.
10. ТУ ВУ 400070994.008–2010 «Состав «Агрополикор» для повышения почвенного плодородия питомников» / В.В. Копытков, Н.П. Охлопкова. – Внесены в реестр госуд. регистрации 14.12.2010 г. за № 030745.
11. ТУ ВУ 100061961.002-2015 «Субстраты торфяно-перлитные» / Республиканский лесной селекционно-семеноводческий центр Минск: 2015 .- Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь, 12 с.

**ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ ДРЕВЕСНЫХ РЕСУРСОВ
ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ СЕЯНЦЕВ САКСАУЛА ЧЕРНОГО В
КЫЗЫЛОРДИНСКОЙ ОБЛАСТИ КАЗАХСТАНА**

**Таирбергенов Ю. А.¹, исследователь., Боровков А. В.¹, к.с.-х.н.,
Копытков В. В.², доц., д.с.-х.н.**

¹Комитет лесного хозяйства и животного мира Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан

(Нур-Султан, Республика Казахстан), e-mail: y.tairbergenov65@mail.ru

²ГНУ «Институт леса НАН Беларуси»,

(Гомель, Республика Беларусь), e-mail: kopvo@mail.ru

**FEATURES OF USE OF SECONDARY WOOD RESOURCES FOR GROWING SEEDS
OF SAKSAUL BLACK IN KYZYLORDIN REGION OF KAZAKHSTAN**

**Tairbergenov Yu. A.¹, researcher., Borovkov A. V.¹, PhD (Agricultural),
Kopytkov V. V.², Assoc. Prof., D.Sc. (Agricultural)**

¹Committee of Forestry and Wildlife of the Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan,

(Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan)

²GNU “Institute of Forest of NAS of Belarus”

(Gomel, Republic of Belarus)

Аннотация. В представленных материалах дана технология получения дражированных семян саксаула черного на основе использования вторичных древесных ресурсов. Показаны перспективы применения дражированных семян саксаула черного для выращивания стандартных сеянцев при создании лесомелиоративных насаждений на дне Аральского моря. Определены оптимальные параметры древесных опилок и установлены концентрации целевых добавок и полимерного связующего. Соотношение между массой семян саксаула черного и композиционным препаратом составляет 1:3.

Наилучшие показатели физико-химических свойств дражированных семян саксаула черного получены с использованием сосновых древесных опилок фракцией 350 мкм. Прочность гранул дражированных семян составила 30–32 Н.

Цель исследований заключалась в использовании вторичных древесных ресурсов для дражирования семян саксаула черного и получения стандартных сеянцев.

Показано влияние дражированных семян саксаула черного на рост и развитие сеянцев с использованием компостов. Наиболее эффективным агротехническим приемом при выращивании сеянцев саксаула черного является использование дражированных семян и их посев совместно с органоминеральными компостами. При посеве в питомнике дражированных семян саксаула черного норма высева уменьшается на 15–20 %.

Ключевые слова: древесные опилки; дражированные семена; сеянцы саксаула черного; биометрические показатели

Abstract. In the presented materials, the technology for producing pelleted seeds of black saxaul based on the use of secondary wood resources is given. Prospects of using pelleted black saxaul seeds for growing standard seedlings for creating ameliorative plantations on the bottom of the Aral Sea are shown. The optimal parameters of wood sawdust were determined and the concentrations of the target additives and the polymer binder were established. The ratio between the mass of black saxaul seeds and the composite preparation is 1: 3.

The best indicators of the physicochemical properties of pelleted seeds of black saxaul were obtained using pine wood sawdust with a fraction of 350 microns. The strength of pellets of pelleted seeds was 30–32 N.

The aim of the research was to use secondary wood resources for drazhirovaniya seeds of saxaul black and obtain standard seedlings.

The effect of pelleted black saxaul seeds on the growth and development of seedlings using composts is shown. The most effective agrotechnical technique for growing black saxaul seedlings is the use of pelleted seeds and their sowing together with organomineral composts. When sowing in the nursery dragee seeds of black saxaul, the seeding rate decreases by 15–20%.

Key words: sawdust; pelleted seeds; black saxaul seedlings; biometric indicators

Введение. Лесистость Казахстана составляет 4,7% и вопросам лесовыращивания и лесоразведения уделяется большое внимание [1, 2]. Качество выращиваемого лесного посадочного материала зависит от почвенного плодородия лесных питомников и педпосевной подготовки семян. Совершенствование и внедрение технологий выращивания сеянцев саксаула черного на основе дражированных семян в природно-климатических условиях пустынной зоны Кызылординской области на основе применения органоминеральных компостов является актуальной задачей в области получения стандартных сеянцев саксаула черного. По данным ученых [2, 3] сеянцы саксаула черного являются наиболее эффективной древесной породой при создании лесомелиоративных насаждений, способствующих удержанию выноса вредных солей и деградации осушенных земель Аральского моря, а также предотвращению возникающих дефляционных процессов.

Цель исследований заключалась в использовании вторичных древесных ресурсов для дражирования семян саксаула черного и получения стандартных сеянцев.

Материалы и методы. Исследования проводили в трех постоянных лесных питомниках: Казалинский лесной питомник Кызылординской области, лесной питомник Крестьянского хозяйства «Аулетобе» и ИП «Есимов» на осушенном дне Аральского моря. Отбор почвенных образцов и определение в них основных элементов минерального питания выполнены с использованием общепринятых методик [4-7].

Изучение качественных показателей семян саксаула черного проводили с помощью прибора Faxitron 43855 D, а физиологического состояния семян саксаула черного и структуры и толщины дражирующей массы семян проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL – 6390 LV.

Оптимальным сроком высева семян саксаула черного является осень (конец октября – ноябрь) – до наступления устойчивых холодов, поэтому в наших исследованиях посев проведен в период с 27 по 30 октября. Посев семян осуществляли на глубину 1,0–2,0 см. Норма высева семян I класса качества – 3–4 г на пог. метр.

Статистическая обработка полученных экспериментальных данных осуществлялась с использованием программ Microsoft Excel, Statistica 6.0 по общепринятым методикам [8].

Результаты. Естественное возобновление на осушенном дне Аральского моря идет очень медленно и поэтому возникает необходимость искусственного выращивание сеянцев саксаула черного. Климатические условия района не совсем благоприятны для выращивания сеянцев саксаула черного, поэтому для повышения грунтовой всхожести семян и увеличения выхода стандартного посадочного материала использовали дражированные семена.

Оценка полнозернистости семян показала, что из общего количества семян 92% составляют доброкачественные, имеющие вполне здоровые зародыши, а 8% (пустые семена). Для определения нормы высева большое значение имеет масса семян. Статистические показатели массы семян саксаула черного приведены в таблице 1.

Анализ данных таблицы 1 показывает, что среднее значение массы одного семени находится в интервале 0,0022–0,0061 со средней ошибкой 0,006. На основании проведенных исследований был сделан вывод о том, что семенной материал саксаула черного од-

нороден. Это подтверждается низким коэффициентом вариации и значениями стандартного отклонения.

Таблица 1 – Статистические показатели массы семян саксаула черного, г

Повторность варианта опыта	Статистические показатели					
	среднее значение, М	стандартная ошибка, Мm	минимальное значение, Mmin	максимальное значение, Mmax	стандартное отклонение, σ	коэффициент вариации, V
1	0,0008	0,0066	0,0001	0,0060	0,0513	0,0041
2	0,0022	0,0072	0,0001	0,0090	0,0572	0,0132
3	0,0051	0,0063	0,0001	0,0110	0,0631	0,0321
4	0,0061	0,0056	0,0001	0,0099	0,0562	0,0341

Наилучшие показатели качества полученных дражированных семян зафиксированы на вариантах с использованием сосновых опилок фракцией 350 мкм. Прочность гранул дражированных семян при сжатии составила 30–32 Н. Анализируя полученные опытные партии дражированных семян на этих вариантах опыта, можно сказать, что практически 100% семян имели оптимальный равномерный размер гранул (4 мм). Такая прочность позволяет использовать семена при механизированном посеве в лесных питомниках для выращивания посадочного материала. При этом в каждой грануле было одно семя.

Нами проведены сравнительные исследования различных видов дражированных семян. В таблице 2 представлены полученные результаты по влиянию различных древесных опилок на физико-химические показатели полученных дражированных семян саксаула черного.

Таблица 2 – Сравнительные результаты исследований физико-химических свойств дражированных семян саксаула черного в зависимости от растительных полисахаридов

Исследуемые параметры	Полисахариды на основе опилок сосны				Полисахариды на основе опилок саксаула черного			
	300	350	400	450	300	350	400	450
Размер частиц, не более мкм	300	350	400	450	300	350	400	450
Водопоглощение за 80 с, %	22	23	20	18	20	18	15	13
Прочность при сжатии, Н	30	32	27	25	34	32	30	27
Прочность при сжатии, Н (после выдержки в течение суток при относительной влажности 90 %)	21	19	17	15	24	23	22	18

Анализируя полученные данные физико-химических свойств разработанных композиционных полимерных составов, можно сказать, что водопоглощение зависит от используемых древесных опилок. Прочность при сжатии после выдержки в течение суток при относительной влажности 90% и использовании опилок сосны на 14–21% ниже по сравнению с использованием опилок саксаула черного.

Физико-химические свойства исследуемых препаратов во многом зависят от древесных опилок. Оптимальная фракция используемых древесных опилок и целевых добавок для получения композиционного препарата составила 350 мкм.

Исследования по технологии получения дражированных семян саксаула черного для выращивания сеянцев и создании лесомелиоративных насаждений проведены при выполнении Международных проектов в период с 2010 по 2017 гг. Для выращивания стандартных сеянцев саксаула черного и создания лесомелиоративных насаждений на дне Аральского моря наработка опытных партий дражированных семян саксаула черного про-

водилась пять раз: первый раз в декабре 2010 г., второй – в марте 2011 г., третий – в ноябре 2011 г., четвертый – в марте 2012 г. и пятый – в декабре 2012 г.

Установлена оптимальная полимерная композиция для получения дражированных семян саксаула черного. Соотношение компонентов в полимерной композиции приведены ниже: Оптимальная полимерная композиция для получения дражированных семян сосны при следующем соотношении компонентов (масс.%) составляет: древесные опилки сосны – 60–70; натрийкарбоксиметилцеллюлоза – 8–12; фунгицид – 2–4; стимулятор роста (эко-сил) – 4–6; вода – остальное [9].

Технология дражирования семян саксаула черного включает следующие технологические операции: очистку семян от примесей и пыли; обескрыливание; процесс дражирования семян; протравливание, обработку стимуляторами роста и другими препаратами.

Для повышения грунтовой всхожести семян проведены исследования по получению дражированных гранул с использованием древесных опилок сосны и саксаула черного, а также путем намачивания их в композиционном полимерном составе с использованием препарата «Экстрасол» в концентрациях 0,025% (КПС-1) и 0,05% (КПС-2).

Полученные данные по грунтовой всхожести семян и количеству сеянцев саксаула черного представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Показатели грунтовой всхожести семян и биометрические показатели сеянцев саксаула черного

Варианты опыта	Грунтовая всхожесть, %	Средняя высота сеянца, см	Средний диаметр корневой шейки, мм	Выход сеянцев, тыс. шт./га
Контроль (без обработки)	24	21	2,6	260
Дражированные семена (опилки сосны)	49	22	3,2	540
Дражированные семена (опилки саксаула черного)	45	20	3,0	510
КПС - 1	40	22	2,9	420
КПС - 2	36	18	2,7	405

Как видно из таблицы 3 наибольшая грунтовая всхожесть семян саксаула черного получена на вариантах с использованием дражированных семян. Дражированные семена имели грунтовую всхожесть в 1,9-2,0 раза больше по сравнению с контролем. Норма высева дражированных семян саксаула черного уменьшается на 15–20%. Предпосевная обработка семян саксаула черного композиционным полимерным составом с использованием стимулятора роста «Экстрасол» в концентрациях 0,025% и 0,05% способствовала увеличению грунтовой всхожести в 1,5–1,7 раза по сравнению с контролем, но была в 1,1–1,4 раза меньше по сравнению с дражированными семенами.

Проведенные исследования показали, что при использовании 4%-ного композиционного полимерного состава совместно с препаратом «Экстрасол» в концентрациях 0,025 и 0,05% для предпосевной обработки семян саксаула черного увеличивают выход стандартного посадочного материала в 1,6 раз.

Обсуждение. Проведенные исследования показали возможность использования вторичных древесных ресурсов в виде опилок для получения дражированных семян саксаула черного. Дражированные семена саксаула черного повышают в 1,9–2,0 раза грунтовую всхожесть и выход стандартных сеянцев в 1,6 раза по сравнению с контролем.

Закключение. Таким образом, процесс дражирования семян саксаула черного может осуществляться с использованием вторичных древесных ресурсов на основе опилок сосны обыкновенной и саксаула черного. Целевые добавки, вводимые в органоминераль-

ную смесь, выполняют определенную функцию и существенно влияют не только на физико-химические свойства гранул, но и на биометрические показатели семян и сеянцев. Защитно-питательная оболочка семени улучшает условия его прорастания. Всхожесть дражированных семян саксаула черного в 1,9-2,0 раза больше по сравнению с контролем.

Наилучшие показатели качества полученных дражированных семян саксаула черного зафиксированы на вариантах с использованием древесных опилок сосны фракцией 350мкм. Прочность гранул дражированных семян составила 29 Н. Практически 100% семян имели оптимальный равномерный размер гранул (4 мм). Такая прочность позволяет использовать семена при механизированном посеве в лесных питомниках для выращивания стандартного посадочного материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новые композиционные полимерные составы для лесовыращивания в природно-климатических условиях Беларуси и Казахстана / Копытков В.В., Каверин В.С., Боровков А.В., Копытков В.Вл., Таирбергенов Ю.А. – Минск: Беларуская навука, 2014. – 509 с.
2. Кентабаев, Е.Ж., Деревья и кустарники Казахстана для лесовыращивания / Е.Ж. Кентабаев, Б.А. Кентабаева // Астана: Изд-во «Агроуниверситет». – 2008. – 344 с.
3. Лесные культуры в Казахстане : учебник для вузов : в 2 кн. / С.Б. Байзаков [и др.]; Казах. нац. аграр. ун-т. – Алматы : Агроуниверситет, 2007. – Кн. 1 : Лесное семенное дело. Лесные питомники. – 320 с.
4. Никитин, Б.А. Методика определения содержания гумуса в почве / Б.А. Никитин // Агрохимия. – 1972. – № 3. – С. 123–125.
5. Коробченко, Ю.Т. Определение легкогидролизуемого азота в почвах / Ю.Т. Коробченко // Агрохимия. – 1975. – № 11. – С. 106–108.
6. Мещеряков, А.М. Разложение почв серной и хлорной кислотами для определения азота и фосфора / А.М. Мещеряков // Почвоведение. – 1963. – № 5. – С. 96–101.
7. Гинзбург, К.Е. Ускоренный метод сжигания почв и растений / К.Е. Гинзбург, Г.М. Щеглова, Е.В. Вильфиус // Почвоведение. – 1963. – № 5. – С. 89–96.
8. Зайцев, Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике / Г.Н. Зайцев. – М.: Наука, 1984. – 424 с.
9. Рекомендации по технологии дражирования семян саксаула черного / Копытков В.В., Копытков В.Вл., Боровков А.В., Таирбергенов Ю.А. Утверждены Ученым советом Института леса НАН Беларуси (пр. № 16 от 23.12.2011 г.), письмом Комитета лесного и охотничьего хозяйства МСХ РК от 10.07.2014 г. № 15-02-37/2382-КЛОХ одобрены для публикации. – Гомель-Астана, 2011. – 12 с.

**ЛЕСОВОЗНЫЕ ПОЛУПРИЦЕПЫ ХОЛДИНГА "МТЗ-ХОЛДИНГ",
АГРЕГАТИРУЕМЫЕ С ТРАКТОРАМИ "БЕЛАРУС"**

**Коробкин В. А., гл. констр., д.т.н, Гордейчик А. А., нач. УКЭР-2,
Хоменко А. В., инж.-констр.**

ОАО «Минский тракторный завод»

(Минск, Республика Беларусь), e-mail: gordsenuk03@tut.by

**FORESTRY SEMI-TRAILERS OF "MTZ-HOLDING" HOLDING,
WICH AGGREGATED WITH TRACTORS "BELARUS"**

**Korobkin V. A., D.Sc. (Engineering), chief designer of special production,
Gordeychik A. A, chief of UKER-2, Khomenko A. V., design engineer**

OJSC "Minsk Tractor Works"

(Minsk, Republic of Belarus)

Аннотация. В статье обзор выпускаемых в настоящий момент на ОАО «Минский тракторный завод» лесовозных полуприцепов, приведены их основные технические характеристики и особенности конструкции. Рассмотрены перспективы применения данного оборудования в лесном комплексе Республики Беларусь. Также описано конструктивное исполнение разрабатываемой модификации (исполнения) лесовозного полуприцепа ПЛ-10 с однобалочным исполнением рамы агрегируемого с тракторами «Беларус».

Ключевые слова: лесовозный полуприцеп; трактор; сортимент; конструкция; технические характеристики

Abstract. The article provides an overview of the timber semi-trailers currently produced at the OJSC "Minsk Tractor Works", their main technical characteristics and design features are given. The prospects of using this equipment in the forest complex of the Republic of Belarus are considered. Also described is the design of the developed modification (version) of the forestry semi-trailers PL-10 with a single-beam version of the frame aggregated with tractors "Belarus".

Key words: forestry semi-trailer; tractor; assortment; design; specifications

Введение. Во всем мире в лесной промышленности для сбора и вывоза сортиментов к погрузочным площадкам или непосредственно к потребителю наряду с форвардерами применяются двухзвенные машины, состоящие из трактора и лесовозного полуприцепа. Преимущество таких машин – низкая цена и возможность использования трактора для других работ.

Материалы и методы. Основу конструкции лесовозного полуприцепа составляет рама, которая может быть одно- либо двухбалочной и оснащена элементами, образующими грузовую платформу – ограждением и кониками. Однобалочный вариант применяется для легких полуприцепов с малой и средней грузоподъемностью. Установленный на полуприцепе гидроманипулятор может иметь гидравлическое либо более удобное и безопасное электрогидравлическое управление. Колеса, как правило четыре, устанавливаются на балансирной подвеске и оснащаются шинами в зависимости от предполагаемой несущей способности грунта в месте эксплуатации.

В зависимости от условий использования лесовозные полуприцепы могут иметь конструктивные опции:

- гидроуправляемое дышло – обеспечивает лучшую маневренность двухзвенной машины;
- активный привод колес – повышает проходимость машины на слабонесущих грунтах;

– выдвижной задний коник – позволяет производить переналадку грузовой платформы под различную длину сортиментов.

Основными мировыми производителями лесовозных полуприцепов являются фирмы Vreten (Швеция), EIFO Forsttechnik (Германия), Nokka (Финляндия).

Лесовозные полуприцепы выпускаются в широком диапазоне грузоподъемностей (от 5 до 14 т) и с различными вариантами комплектации.

На рисунке 1 показан типичный представитель лесовозных полуприцепов фирмы Nokka грузоподъемностью 10000 кг с максимальным вылетом стрелы гидроманипулятора 7,2 м.



Рисунок 1 – Лесовозный полуприцеп MV 1001 с гидроманипулятором НК 4872Р

В связи с постоянным расширением объема лесозаготовок, осуществляемых по сортиментной технологии на ОАО «Минский тракторный завод», как один из производителей отечественной лесной техники, в 2005 г начал разработку и производство лесовозного полуприцепа ПЛ-9. Благодаря своей простоте и невысокой цене полуприцеп стал самым массовым из выпускаемой заводом техники. В настоящий момент его производство организовано на ОАО «Мозырский машиностроительный завод». ПЛ-9 имеет ряд исполнений грузоподъемностью от 9000 до 11000 кг и может оснащаться гидроманипуляторами с максимальным вылетом стрелы от 5,5 до 7,2 м и длиной грузовой платформы от 5,0 до 5,8 м (на рисунке 2 показано исполнение полуприцепа ПЛ-9-02 грузоподъемностью 9000 кг и максимальным вылетом стрелы гидроманипулятора 6,65 м в реальных условиях эксплуатации).



Рисунок 2 – Лесовозный полуприцеп ПЛ-9-02 с гидроманипулятором PALMS 665

В рамках разработки новой и совершенствования конструкции выпускаемой продукции в период с 2009 по 2012 гг. были разработаны три исполнения лесовозного полуприцепа ПМ-10 (рисунок 3), расширившие модельный ряд лесной техники МТЗ-ХОЛДИНГ. Полуприцепы имеют грузоподъемность 12000 кг, максимальный вылет стре-

лы для различных гидроманипуляторов 7,0 или 7,2 м. На всех исполнениях предусмотрены: гидроуправляемое дышло, электрогидроуправление манипулятором и широкие шины. Для двух исполнений предусмотрен активный привод колес.



Рисунок 3 – Лесовозный полуприцеп ПМ-10 с гидроманипулятором ГМ-50-04

С учетом накопленного опыта разработки, производства и эксплуатации лесовозных полуприцепов и анализа рынка в настоящее время ведется работа по созданию новой конструкции лесовозного полуприцепа ПЛ-10, трехмерная модель которого показаны на рисунке 4.



Рисунок 4 – Лесовозный полуприцеп ПЛ-10 с гидроманипулятором ГМ-42Т

Результаты. Учитывая современную потребность рынка, в настоящий момент востребованным является создание полуприцепа ПЛ-10 (грузоподъемность – 10000 кг, максимальный вылет стрелы гидроманипулятора – 6,5 м), особенность которого, в отличие от уже выпускаемых лесовозных полуприцепов МТЗ-ХОЛДИНГ, будет заключаться в однобалочной конструкции рамы, что обеспечило снижение эксплуатационной массы.

Полуприцеп может агрегатироваться с тракторами «Беларус Л1221» и «Беларус Л82» и имеет традиционную компоновку, включающую дышло, раму, защитное ограждение, кониковое устройство, балансир с 4 колесами, гидроманипулятор с грейферным захватом, гидро- и электросистему, ауригеры. Коники в зависимости от длины лесоматериалов можно переставить, либо уменьшить их количество.

На данном полуприцепе предусмотрено использование регулируемого насоса гидросистемы с целью снижения расхода топлива при погрузочно-разгрузочных работах. После завершения опытно-конструкторских работ опытный образец будет направлен на эксплуатационные испытания в реальных условиях. При этом освоение производства запланировано на ОАО «Мозырский машиностроительный завод».

Обсуждение. В настоящее время широкое распространение получили полуприцепы, предназначенные для транспортировки сортиментов. В республике Беларусь на предприятиях Министерства лесного хозяйства их эксплуатируется более 2000 единиц. При этом в мире ежегодно увеличивается спрос на более легкие (однобалочные) конструкции. Это обусловлено возможностью снижения эксплуатационных затрат, а также внедрением специализированных погрузочно-транспортных машин (форвардеров) в тяжелых условиях эксплуатации.

Заключение. В лесном хозяйстве широко используется сортиментная технология заготовки древесины, которая требует применения специализированных машин и оборудования. При этом для транспортировки сортиментов применяются отечественные и зарубежные форвардеры и прицепные погрузочно-транспортные машины. При этом ОАО «Минский тракторный завод» освоил производство как форвардеров с колесной формулой 4К4 и 6К6, так и двух лесовозных полуприцепов ПЛ-9 и ПЛ-10 агрегирующихся с лесными тракторами «Беларус Л82» и «Беларус Л1221». Однако перспективным направлением развития предприятия в данном направлении является глубокая модернизация лесовозного полуприцепа ПЛ-10, основанная на применении однобалочной рамы. Это позволит снизить вес полуприцепа, его стоимость, затраты топлива, а также позволит осуществить выпуск импортозамещающей, конкурентно способной продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коробкин В.А., Жуков А.В., Хайновский В.В. Моделирование процесса движения и результаты производственно-технологических испытаний погрузочно-транспортной машины МПТ-461 // Труды БГТУ Лесная и деревообаб. промышленность. – 2002. – Вып. X. – С. 14–20.
2. Хайновский В.В. Тенденции развития конструкций погрузочно-транспортных машин // Труды БГТУ. Лесная и деревообаб. промышленность. – 2001. – Вып. IX. – С. 37–42.
3. Коробкин В.А., Хайновский В.В. Результаты экспериментальной оценки нагрузки трансмиссии лесной погрузочно-транспортной машины МПТ-461 // Труды БГТУ. Лесная и деревообаб. промышленность. – 2003. – Вып. XI. – С. 86–95.
4. Коробкин В.А., Мохов С.П., Арико С.Е., Голякевич С.А. Оценка тягово-сцепных свойств погрузочно-транспортной машины в реальных условиях эксплуатации // Труды БГТУ. №2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2016. № 2 (184). С. 36-39.
5. Мохов С.П., Голякевич С.А., Пищов С.Н., Арико С.Е. Оценка компоновочной схемы и технологического оборудования проектируемой погрузочно-транспортной машины // Труды БГТУ. №2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2014. № 2 (166). С. 48-49.
6. Коробкин В.А. Основные положения методологии системного проектирования сложных многофункциональных комплексов машин // Вестник Белорусско-Российского университета. 2006. № 4 (13). С. 8-14.
7. Жуков А.В., Федоренчик А.С., Коробкин В.А., Бычек А.Н. Лесные машины "Беларус". Минск, 2001. 149 с.

**ПРОГРАММНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ
ГРАФИКОВ ДВИЖЕНИЯ ЛЕСОВОЗНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Короленья Р. О., доц., к.т.н., Гендель А. Б., студ.

Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: korolenia@belstu.by; alex.sasha2001@mail.ru

**SOFTWARE FOR MAKING SCHEDULES OF MOTION TRAFFIC
FOR WOOD TRANSPORTATION**

Korolenia R. O., Assoc. Prof., PhD, Gendel A. B., stud.

Belarusian State Technological University
(Minsk, Republic of Belarus)

Аннотация. Эффективная вывозка заготовленной древесины во многом зависит от ритмичной организации транспортного процесса. Для обеспечения производительной и ритмичной вывозки древесного сырья, как правило, разрабатываются графики движения техники позволяющие скоординировать работу разгрузочных устройств и механизмов с моментами прибытия лесовозной техники на разгрузочные пункты. Но, как показывает практика, в реальной практической деятельности лесозаготовительных предприятий организация вывозки происходит на основе порой необоснованных решений. Основной причиной тому является трудоемкость ручной разработки графиков движения для имеющегося парка машин. Поэтому организация вывозки древесины по графикам движения и разработка специализированных компьютерных приложений, позволяющих в автоматизированном режиме строить графики движения техники, является актуальной задачей.

В данной работе представлены предварительные результаты разработки программного приложения для построения и анализа графиков движения лесовозных транспортных средств, работающих на вывозке заготовленной древесины.

Ключевые слова: вывозка древесины; график движения; программное приложение; маршруты перевозки; лесовозное транспортное средство

Abstract. Effective transportation of harvested wood largely depends on the rhythmic organization of the transport process. To ensure productive and rhythmic transportation of wood raw materials, as a rule, machinery movement schedules are developed that allow coordinating the work of unloading devices and mechanisms with the moments of the arrival of forestry equipment at unloading points. But, as practice shows, in the real practical activities of logging enterprises, the organization of transportation occurs on the basis of sometimes unreasonable decisions. The main reason for this is the complexity of manual development of traffic schedules for the existing fleet of cars. Therefore, the organization of timber transportation according to movement schedules and the development of specialized computer applications that allow building equipment motion schedules in an automated mode is an urgent task.

This paper presents preliminary results of the development of a software application for constructing and analyzing traffic schedules of timber transport vehicles operating on harvested timber.

Key words: timber transportation; timetable; software application; transportation routes; forestry vehicles

Введение. Любое современное предприятие лесной отрасли Республики Беларусь можно отнести к классу больших или сложных систем. Это связано в первую очередь с разветвленной структурой производства, с необходимостью выполнения множества различных функций и работ.

лесоматериалов и грузовой работы. Помимо этого, результаты работы конкретного лесовозного транспортного средства можно получить в виде диаграммы Ганта (рисунок 2) и в табличном виде (рисунок 3).

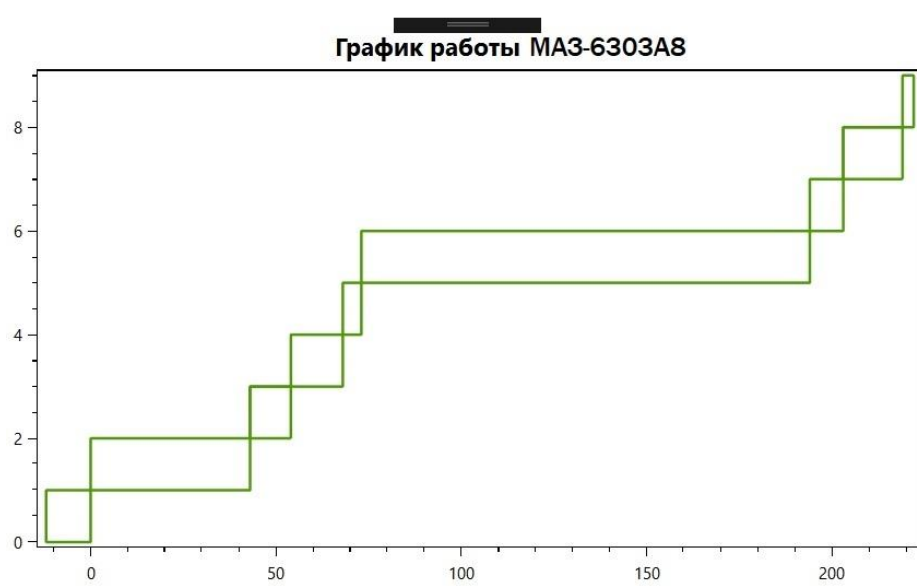


Рисунок 2 – График работы лесовозного транспортного средства на маятниковом маршруте в графическом виде

666		Статистика рейса		4/8/2020 15	
Транспортное средство:	МАЗ-6303А8				
Номер:	0000АА-0				
Водитель:	Газманов Олег Михайлович				
Продолжительность подготовительного времени перед рейсом, мин	12				
Время начала рейса, часов, минут	1:00 AM				
Продолжительность движения до места погрузки, мин	43				
Продолжительность подготовительного времени перед погрузкой, мин	11				
Продолжительность погрузочных работ, мин	14				
Продолжительность подготовительного времени после погрузки, мин	5				
Продолжительность движения до места разгрузки, мин	121				
Продолжительность подготовительного времени перед разгрузкой, мин	9				
Продолжительность разгрузочных работ, мин	16				
Продолжительность подготовительного времени после разгрузки, мин	3				
Продолжительность подготовительного времени, мин	7				
Отображение					

Рисунок 3 – График работы лесовозного транспортного средства в табличном виде

Обсуждение. Известно, что процесс вывозки древесины сопровождается влиянием ряда факторов. Наряду с такими факторами, как отсутствие разветвленной сети лесовозных магистралей, нехватка высокопроизводительного тягово-прицепного состава, материальный износ лесовозной техники, применение неточных методов прогнозирования, на современную транспортировку лесопродукции немаловажное влияние оказывает и орга-

низация потоков движения от лесозаготовителей к потребителям. Отслеживая цепочку движения лесопродукции, легко заметить, что до момента отгрузки древесины потребителю происходит взаимодействие между различными видами погрузочно-транспортных машин. При этом продолжительности погрузочно-разгрузочных операций по всему циклу могут быть сопоставимы со временем транспортировки. В силу многовариантности используемых для целей погрузки и разгрузки техники и технологий порой достаточно сложно дать комплексную оценку эффективности функционирования всей цепочки вывозки древесины. Поэтому, для выявления «узких мест» во всей цепочке доставки, а также для выявления характера и степени взаимовлияния сопряженных процессов на вывозке древесины, очевидно, необходим системный подход, в основе которого лежит координация операций во времени и пространстве.

Таким образом, можно утверждать, что графики движения являются важным инструментом диспетчеризации взаимодействия складской и транспортной подсистем, позволяют значительно снизить простои при погрузочно-разгрузочных работах, что весьма актуально в случае образования очередей.

Заключение. Древесина является стратегическим сырьем для экономики страны. В настоящее время производятся попытки разработки эффективных ресурсосберегающих технологий по использованию древесного сырья. Но зачастую эффект от использования новых эффективных технологий является минимальным, а то и вовсе отсутствует из-за постоянных проблем с доставкой лесопродукции конечным потребителям. Это и срывы сроков поставок, упущенная выгода, негативный социальный эффект и т.д. Поэтому, разработанное программное приложение предназначено для облегчения диспетчеризации грузовых потоков перевозки лесоматериалов и его использование на практике позволит:

- повысить дисциплину труда при перевозке древесины и смежных операциях;
- поддерживать запасы лесоматериалов на требуемом уровне;
- снизить продолжительность простоев в пунктах погрузки-разгрузки;
- повысить производительность лесовозных транспортных средств;
- снизить себестоимость транспортной работы;
- реализовать на практике концепцию доставки груза «точно в срок» [1, 2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Лукинский, В. С. Модели и методы теории логистики: учеб. пособие. – 2-е изд. / В. С. Лукинский [и др.]; под ред. В. С. Лукинского. – СПб.: Питер, 2007. – 448 с.
2. Гаджинский, А.М. Практикум по логистике. – 2-е изд., перераб. и доп. / А.М. Гаджинский. – М.: Маркетинг, 2001. – 180 с.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УЧЕТА И АНАЛИЗА
ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
РАБОТЫ АВТОТРАНСПОРТА НА ВЫВОЗКЕ ДРЕВЕСИНЫ**

Короленя Р. О., доц., к.т.н., Маркевич М. В., студ.

Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: korolenia@belstu.by; xmplay@mail.ru

**IMPROVEMENT OF ACCOUNTING AND ANALYSIS
TECHNICAL AND OPERATIONAL INDICATORS
WORKS OF MOTOR TRANSPORT ON THE DELIVERY OF WOOD**

Korolenia R. O., Assoc. Prof., PhD, Markevich M. V., stud.

Belarusian State Technological University
(Minsk, Republic of Belarus)

Аннотация. Эффективность перевозок заготовленной древесины автомобильным транспортом оценивается организацией перевозочного процесса и технико-эксплуатационными показателями работы подвижного состава.

В настоящее время предприятия, осуществляющие заготовку и транспортировку древесины в Республике Беларусь, работают в условиях постоянного роста объемов производства и реализации лесоматериалов, относительно небольших объемах строительства лесных автомобильных дорог. Многообразие природно-производственных условий, различные применяемые способы вывозки и перевозки древесины, все это усложняет задачу комплексной оценки эффективности работы подвижного состава.

Поэтому, целью проводимых исследований является обоснование и выбор технико-эксплуатационных показателей для оценки работы автомобильного подвижного состава на вывозке древесины и разработка информационной системы для анализа этих показателей.

Для достижения поставленной цели решен ряд задач. Проведен анализ применяемых технико-эксплуатационных показателей работы автомобильного транспорта при перевозке грузов, обоснован выбор показателей для оценки эффективности перевозки древесины, разработано настольное и мобильное приложения для учета выбранных показателей с возможностью проведения их дальнейшего анализа.

Ключевые слова: заготовленная древесина; перевозки автомобильным транспортом; технико-эксплуатационные показатели работы транспорта; информационная система

Abstract. The efficiency of transportation of harvested wood by road is assessed by the organization of the transportation process and the technical and operational indicators of the rolling stock.

Currently, enterprises engaged in the harvesting and transportation of wood in the Republic of Belarus are operating in the context of a constant increase in the production and sale of timber, and relatively small volumes of construction of forest roads. The variety of natural and industrial conditions, the various methods used for the removal and transportation of wood, all this complicates the task of a comprehensive assessment of the effectiveness of the rolling stock.

Therefore, the purpose of the research is the justification and selection of technical and operational indicators for evaluating the operation of automotive rolling stock for timber transportation and the development of an information system for the analysis of these indicators.

To achieve this goal a number of tasks have been solved. The analysis of the applied technical and operational performance indicators of road transport during the transportation of goods was carried out, the choice of indicators for assessing the efficiency of timber transportation was substantiated, a desktop and mobile application was developed to take into account the selected indicators with the possibility of further analysis.

Key words: harvested wood; transportation by road; technical and operational indicators of transport; information system

Введение. Эффективное развитие лесозаготовительного производства в Республике Беларусь обуславливает жесткие требования к качеству управления технологическими процессами заготовки древесины, одним из важнейших этапов которых является транспорт. В настоящее время предприятия лесной отрасли работают в условиях постоянного роста объемов заготовки и использования древесины. Благодаря гибкости, оперативности возможности доставки «во двор потребителя» и других преимуществ, наибольшие объемы древесины перевозятся автомобильным транспортом.

Различные природные и производственные условия на территории республики также оказывают влияние на эффективность, структуру и развитие лесозаготовительного производства, в том числе, очевидно, и на применяемые технологии перевозки заготовленной древесины. В таких условиях, весьма сложно корректно оценить эффективность применяемых технологий транспортной фазы лесозаготовок.

Работающие на вывозке и перевозке древесины транспортные средства должны отвечать условиям перевозок и обеспечивать наибольшую эффективность процесса перемещения. При выборе транспортных средств необходимо учитывать тип кузова, состав (одиночный, автопоезд), грузоподъемность, эксплуатационные свойства (грузовместимость, использование массы, удобство использования, маневренность, топливная экономичность, проходимость, надежность) [1, 2].

Анализ источников информации показывает, что в целом работу подвижного состава автомобильного транспорта на маршрутах перевозки древесины можно оценить системой технико-эксплуатационных показателей, характеризующих количество и качество выполненной работы, которые можно разделить на две группы. К первой группе следует отнести показатели, характеризующие степень использования подвижного состава грузового автомобильного транспорта:

- коэффициенты технической готовности и выпуска подвижного состава;
- коэффициенты использования грузоподъемности и пробега;
- среднее расстояние ездки с грузом и среднее расстояние перевозки;
- продолжительность погрузочно-разгрузочных работ;
- время в наряде;
- техническая и эксплуатационная скорости.

Вторая группа характеризует результативные показатели работы подвижного состава:

- количество ездок;
- общее расстояние перевозки и пробег с грузом;
- объем перевозок и грузовая работа.

Отдельно следует отметить комплексные показатели – производительность подвижного состава и себестоимость выполнения транспортной работы [1, 3].

Указанные показатели, на наш взгляд, в полной мере позволяют оценивать работу автомобильного подвижного состава на вывозке древесины. Поэтому, разработка информационной системы (настольной и мобильной версий) для учета этих показателей и их анализа, является актуальной задачей.

Материалы и методы. Информационная система включает настольное (десктопное) и мобильное приложение. Настольное приложение разработано на языке программирования C# с использованием технологии *Microsoft .NET Framework 4.8*, а также системой управления реляционными базами данных *Microsoft SQL*. Мобильное кроссплатформенное приложение разработано с использованием технологии *Xamarin Forms*.

Результаты. В результате проведенной работы, разработана информационная система, включающая настольную и мобильную версии приложений. Настольная версия

представляет собой пользовательский интерфейс и базу данных для учета, хранения, обработки и анализа данных о работе автомобильных транспортных средств на вывозке древесины (рисунок 1).

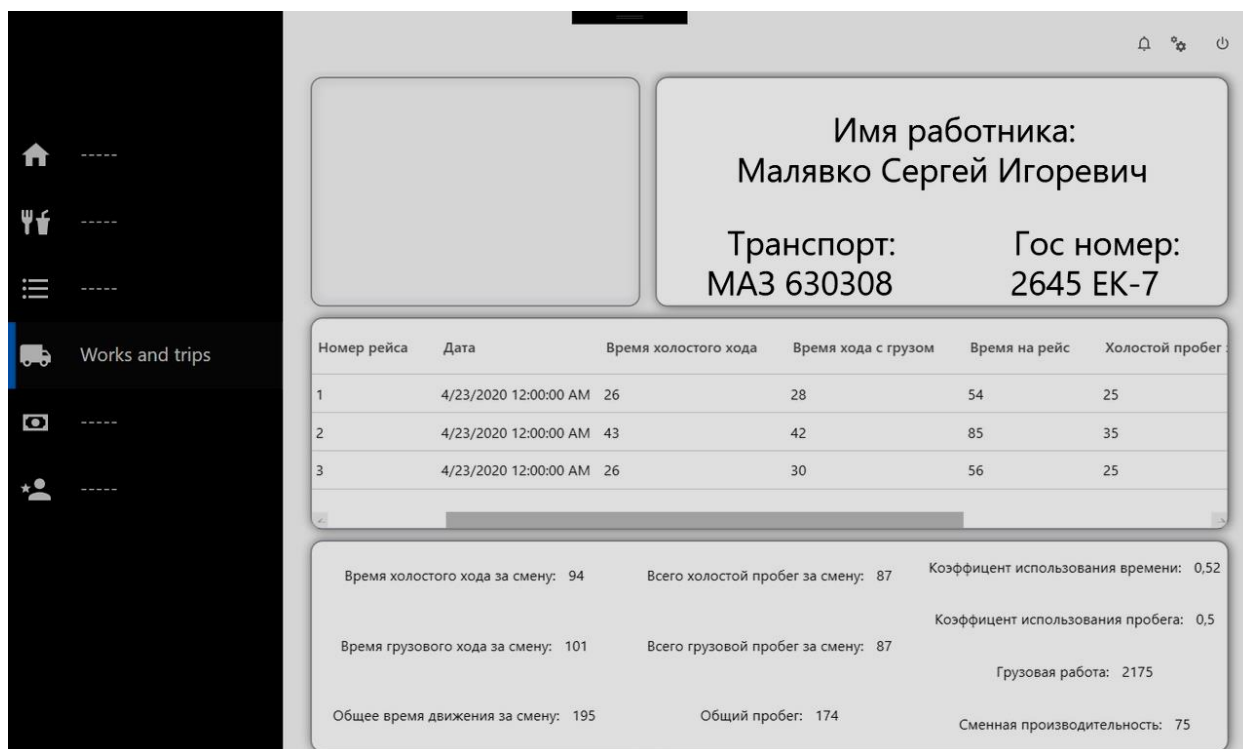


Рисунок 1 – Фрагмент окна вывода данных

Пользовательский интерфейс включает окна ввода и вывода данных. Ввод данных об автомобильных транспортных средствах, маршрутах, пунктах погрузки и разгрузки и т.д. может осуществляться в ручном режиме, а также в режиме импорта данных.

Вывод рассчитанных технико-эксплуатационных показателей может осуществляться в виде электронных форм, отчетов и экспорта данных в формате XML.

Анализ показателей работы может осуществляться в виде построения характеристических диаграмм по использованию автомобильных транспортных средств во времени, а также посредством моделирования работы на перевозке по сценарному анализу «что – если». Результаты анализа показателей работы и моделирования также могут быть выведены на экран в виде электронных форм, на печать – в виде отчетов, либо экспортированы в сторонние приложения.

Кроссплатформенное мобильное приложение разработанной версии информационной системы рассчитано, в первую очередь, на коммуникативный обмен информацией между участниками транспортного процесса, а также на оперативный учет входных показателей работы автомобильного подвижного состава.

Коммуникативный обмен информацией предполагает личное участие заинтересованных лиц и их удаленную работу по учету необходимых показателей путем их оперативного внесения в нужные формы. Для чего необходимо осуществить вход в личный кабинет (рисунок 2), и в соответствии с отведенной ролью и правами доступа, заполнить необходимые поля.

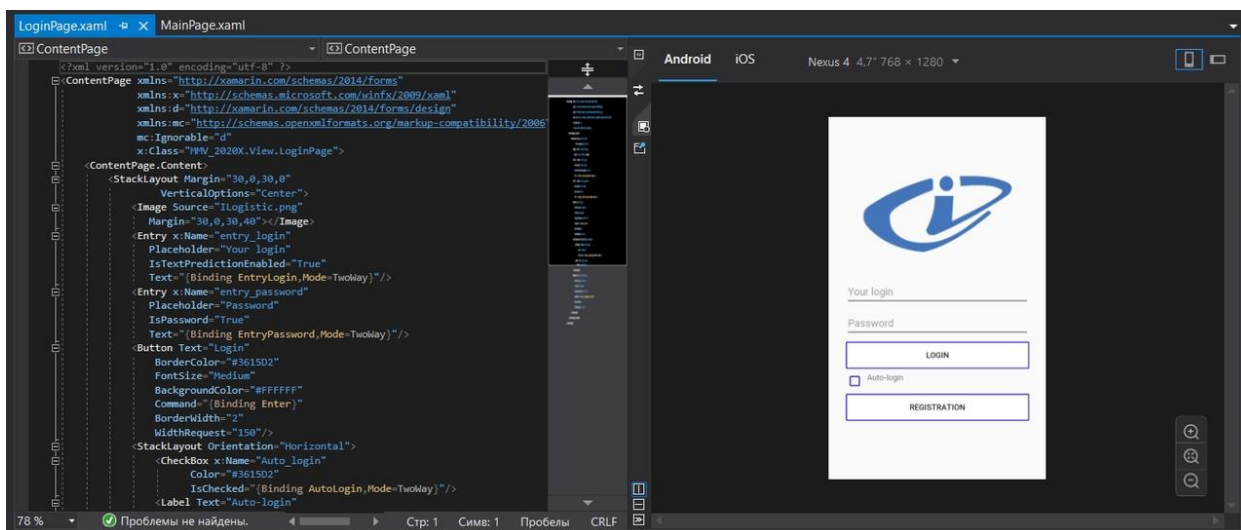


Рисунок 2 – Фрагмент кода мобильной версии и окно входа в личный кабинет

Обсуждение. Разработанная версия информационной системы для оперативного учета и анализа технико-экономических показателей работы автомобильных транспортных средств, работающих на вывозке древесины, в настоящее время находится на стадии альфа-тестирования, целью которого является тестирование имеющегося функционала, выявление ошибок в расчетах и анализе данных, выводе данных и их импорте/экспорте. В дальнейшем планируются производственное тестирование и расширение функционала с привязкой к конкретному предприятию и совершенствованию в области электронного документооборота.

Заключение. В настоящее время на автомобильном транспорте применяются различные информационные системы. Это и системы автоматизированного контроля за работой транспорта, системы мониторинга перевозок, системы электронного учета материальных потоков и ряд других. Специфика и особенности законодательства в лесной отрасли, лесозаготовительного производства в целом, формирования грузопотоков, маршрутной сети и т.д – все это накладывает серьезные ограничения на практическое применение существующих информационных систем на предприятиях, ведущих заготовку и перевозку древесины. В разработанной информационной системе предпринята попытка максимально учесть особенности перевозок древесины в Республике Беларусь с возможностью дальнейшего развития и совершенствования в области автоматизации формирования статистической отчетности о работе автомобильного транспорта на вывозке древесины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ванчукевич, В. Ф. Автомобильные перевозки / В. Ф. Ванчукевич, В. Н. Седюкевич, В. С. Холупов. – Мн.: Дизайн ПРО, 1999. – 224 с.
2. Лукинский, В. С. Модели и методы теории логистики: учеб. пособие. – 2-е изд. / В. С. Лукинский [и др.]; под ред. В. С. Лукинского. – СПб.: Питер, 2007. – 448 с.
3. Бычков, В.П. Эффективность транспорта в комплексных лесных предприятиях / В.П. Бычков. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1989. – 176 с.

**МАКСИМАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОБИЛЬНОСТИ И МОЩНОСТИ
С ГИБРИДНЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ У РУБИТЕЛЬНЫХ МАШИНАХ**

Легкий В. В., зам. директора, Язубец Ю. Н., директор

ЧУП «Биоэнергетика»

(Минск, Республика Беларусь), e-mail: bioenergetika@tut.by

**MAXIMUM USE OF MOBILITY AND POWER WITH HYBRID TECHNOLOGIES AT
CHIPPING MACHINES**

Legkij V. V., Deputy Director, Yazubets Y. N., Director

PUE "Bioenergetika"

(Minsk, Republic of Belarus)

Аннотация. Статья содержит информацию о возможной мобильности и максимальной мощности рубительной машины. Особенности мобильных рубительных машин с гибридной технологией на базе шасси грузового автомобиля. Выбор типа ротора в зависимости от обрабатываемого сырья. Влияние ротора на качество щепы. Охвачены вопросы качества щепы.

Ключевые слова: рубильная машина; щепка; гибридный привод; мощность; ротор

Abstract. The article contains the information about possible mobility and maximum power of chipper. The features of mobile chippers with hybride technology which based on the truck chassis. The choice of the type rotor depending on the processed raw materials. The influence of the rotor on the quality of wood chips. Covered the questions of quality of wood chips.

Key words: chipping machine; wood chips; hybrid drive; power; rotor

Введение. Существующий объем древесины в Беларуси – это хороший потенциал, который можно использовать как в энергетических целях, так и для использования в деревообрабатывающей отрасли. За последние годы большое количество котельных системы ЖКХ было переведено на использование местных видов топлива (МВТ), а конкретно щепы. Одновременно с этим построены и введены в эксплуатацию мини-ТЭЦ на МВТ, которые обеспечивают энергией небольшие города и районные центры. Также были модернизированы существующие производства концерна "Беллесбумпром" и запущены новые мощности иностранных компаний ВМГ ИНДУСТРИ ИООО и ИООО Kronospan.

Рынок щепы в Республике Беларусь начал формироваться около 15 лет назад и на сегодняшний момент можно сказать, что он сформирован. Основное потребление идет на внутренний рынок, однако из года в год увеличивается объем отгрузки на рынки стран Балтии и Польши, что приводит к повышенному спросу в отопительный период.

При производстве щепы центральное место занимает рубительная машина. За последнее время зависимость от топливно-сырьевой базы все больше сказывается на выборе машины и предъявляет новые условия:

- максимальная мощность;
- максимальная производительность;
- максимальная мобильность.

Завод изготовитель JENZ GmbH (Германия), сделал определенные шаги в этом направлении и разработал машины, которые сочетают в себе эти качества. Для увеличения мощности и производительности JENZ GmbH пошел по пути максимального отбора энергии: собственный двигатель рубилки и дополнительно от ВОМ/КОМ двигателя тягового средства. В данном случае таковым может выступать, как трактор, так и грузовик. Такую технологию называют «Гибридная».

Материалы и методы. «Гибридная» технология, как упоминалось выше, принципиально может быть реализована следующим образом (рисунок 1):

- рубилка на базе полуприцепа со своим собственным двигателем и с тяговым средством;
- рубилка на базе грузовика со своим собственным двигателем.



Рисунок 1 – Возможные варианты гибридного привода

Мобильные рубилки на базе полуприцепа со своим собственным двигателем и с тяговым средством имеет следующую схему отбора мощностей (рисунок 2).

Суммарная мощность комплекса (рубилка на полуприцепе с собственным двигателем и тяговое средство) достигает на средних моделях серии НЕМ 583 DQ около 750–800 л.с. и на самых мощных моделях НЕМ 821 около 1100–1150 л.с. Данная мощность достигается путем следующих отборов мощностей:

- собственный двигатель 530 л.с. и 776 л.с. приводит в действие рубильный ротор;
- от двигателя тягового средства, через кардан, отбирается порядка 250–300 л.с. на привод специального редуктора, на котором смонтированы три гидронасоса (три гидравлических контура): гидравлический вентилятор выброса щепы, гидросистема самой рубилки и гидравлический шнек с вентилятором охлаждения;
- гидросистема тягового средства запитывает гидросистему манипулятора около 50 л.с.

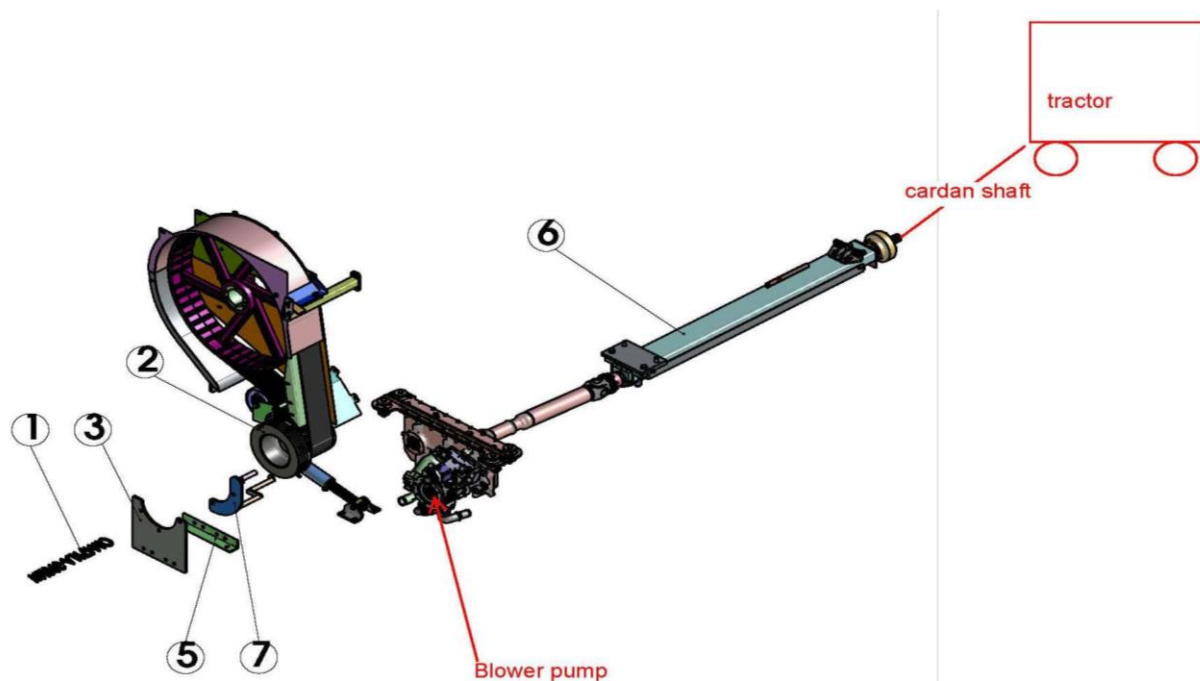


Рисунок 2 – Схема отбора мощности гибридного привода от тягового средства

Однако в последнее время помимо высокой мощности и производительности, переработчики хотят получить и высокую степень мобильности со снижением затрат на перегоны. Если предполагается работа в условиях рассредоточенной сырьевой базы (в нескольких областях, снабжая щепой несколько энергообъектов либо работа на услугах) и пробегах в месяц более 1000–1500 км – выбирают рубительную машину на базе шасси грузовых автомобилей.

Выбор мобильной рубительной машины должен быть обоснован и просчитан. В первом и втором варианте есть как свои плюсы, так и минусы. Здесь необходимо сопоставить следующие факторы:

- стоимость техники. Рубительные машины на базе шасси грузовых автомобилей имеют более высокую стоимость из-за шасси грузовика, прицепные – соответственно дешевле;

- степень мобильности. Скорость перемещения рубительных машин на базе шасси грузовых автомобилей достигает 90 км/ч и в сочетании с малым радиусом разворота дает максимальную степень мобильности по сравнению с прицепными рубительными машинами, которые в основном агрегируются с тракторами, имеют скорость передвижения около 40 км/ч и большой радиус разворота.

В свою очередь стоит оценивать затраты на перегон, которые могут отличаться в два раза, как в финансовом (реальных затрат), так и временных. Завод JENZ GmbH просчитал все эти факторы и запустил в производство рубилку на базе шасси грузовика (рисунок 3).

Данного типа машины сочетают в себе все те требования, которые предъявляют в последнее время потребители на рынке по производству щепы. Высокая производительность и мощность достигается за счет работы двух двигателей: собственный и грузовика. Высокая мобильность достигается за счет шасси грузового автомобиля, которая достигает 89 км/ч.

Результаты. Несколько гидравлических контуров были оптимизированы с помощью регулируемых аксиально-поршневых насосов, чтобы уменьшить потери при нагревании гидравлического масла.

Рубильные машины на базе грузового автомобиля гибридные Chippertruck



Рисунок 3 – Рубильная машина на базе грузовика с гибридным приводом

Кроме этого, гидронасос рубилки теперь также приводится в действие от двигателя грузовика, чтобы подавать дополнительную мощность на рубильный ротор. Это позволяет увеличить мощность рубки примерно на 58 кВт.

Мощность двигателей: грузовик MAN D 26 EURO 6C с 500 л.с.; на ротор CAT C 18 евро 2 с 775 л.с. Суммарная мощность рубилки MAN + CAT около 1.100–1.150 л.с.

Концептуальная схема приводов приведена на (рисунок 4), где показаны конкретные точки отбора мощностей.

821 DQ 3661 Hybrid Truck (concept 2018)

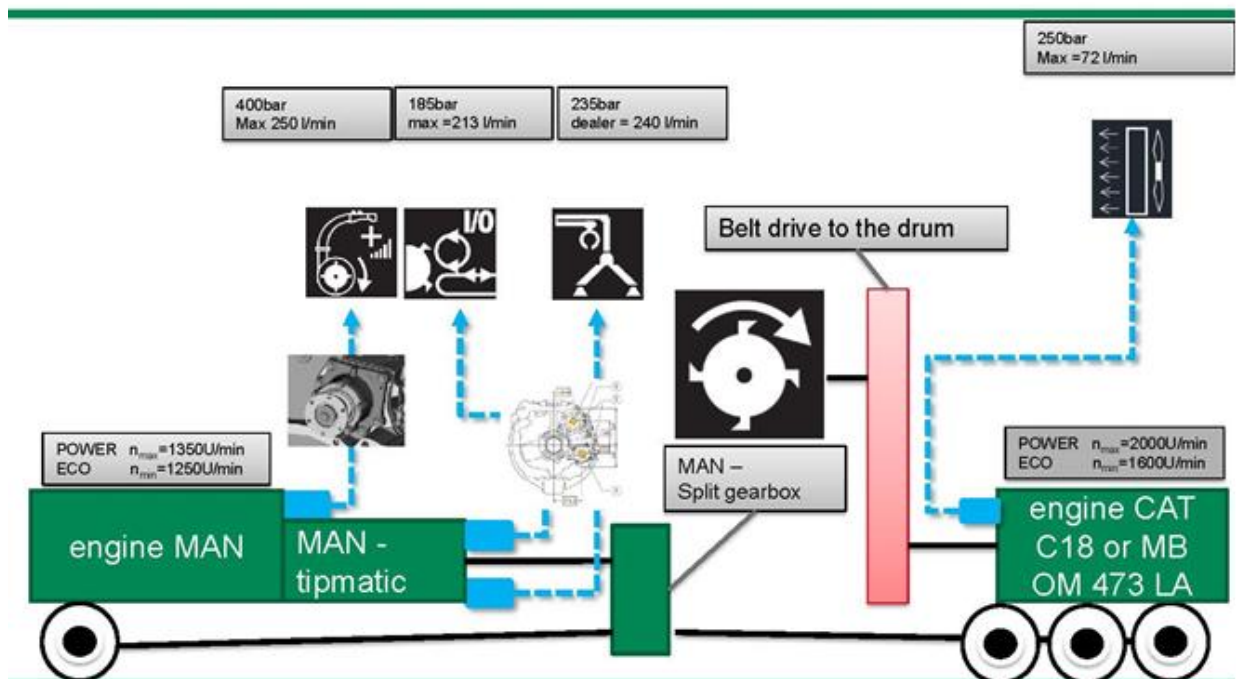


Рисунок 4 – Схема приводов

Стоит также отметить, что применение регулируемых насосов дало возможность, как уменьшить потребление мощности, так и сэкономить расход топлива на произведенный плотный кубический метр щепы.

Заключение. В последние годы все больше внимания уделяется комфорту и эргономике. Это привело к тому, чтобы создать комфортное место оператора с максимальным обзором. К сожалению, это не совсем могло быть реализовано на стандартной кабине грузовика и была взята за основу кабина от техники CLAAS. Машина получила название «COBRA» (рисунок 5).



Рисунок 5 – Мобильная рубительная машины JENZ GmbH «COBRA Hybrid»

Данная кабина позволяет с одного места осуществлять управление рубильной машиной и манипулятором, а также управление при движении грузовика. Помимо эргономики и обзорности, данная кабина дает возможность быстро переводить рубилку из транспортного положения в рабочий режим.

УДК 630*375.4

ОЦЕНКА ЧАСОВОГО РАСХОДА ТОПЛИВА ДИЗЕЛЯ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОГО МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА В РЕЖИМЕ ПАХОТЫ

Мартынов Б. Г., проф., д.т.н., Михайлов О. А., доц., к.т.н., Спиридонов С. В., доц., к.т.н.,
Дурманов М. Я., ст. преп.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова
(Санкт-Петербург, Россия), e-mail: lesbisnes@mail.ru; kerro07@mail.ru; svslta@yandex.ru;
PSLM218@yandex.ru

ESTIMATION OF HOURLY FUEL CONSUMPTION OF A DIESEL ENGINE OF A FORESTRY MACHINE-TRACTOR UNIT IN PLOUGHING MODE

Martynov B. G., Prof., D.Sc., Mikhaylov O. A., Assoc. Prof., PhD,
Spiridonov S. V., Assoc. Prof., PhD, Durmanov M. Ya., senior lecturer

S.M. Kirov Saint Petersburg State Forest Technical University
(St. Petersburg, Russian Federation)

Аннотация. Минимизация энергии, необходимой для выполнения технологических операций, снижает количество требуемого топлива и эксплуатационные затраты машинно-тракторного агрегата (МТА), что в конечном итоге удешевляет стоимость лесохозяйственных и лесовосстановительных работ. Цель заключается в исследовании влияния эксплуатационных и конструктивных параметров МТА на часовой расход топлива дизеля. Разработка и практическое использование различных методик оценки расхода топлива МТА актуальны на этапе проектирования трактора, например, при выборе марки двигателя и определению передаточных чисел трансмиссии и коробки перемены передач, и служат повышению качества проектных и конструкторских работ, совершенствованию конструкции МТА. В качестве эксплуатационного параметра выбрана скорость движения МТА, а в качестве конструктивного – жесткость подвеса. Построение поверхности состояния частотной характеристики (ЧХ) часового расхода топлива дизеля МТА и использование метода сечений ЧХ при любом фиксированном значении регулярной скорости движения МТА и по всему диапазону частот колебаний нагрузки на ведущих звездочках можно вычислить регулярную составляющую и динамическую составляющую часового расхода топлива.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат; часовой расход топлива; дизель; скорость движения; жесткость подвеса; частотные характеристики

Abstract. Minimizing the energy required to perform technological operations reduces the amount of fuel required and the operating costs of the machine-tractor unit (MTU), which ultimately reduces the cost of forestry and reforestation. The goal is to study the influence of operational and design parameters of the MTU on the hourly fuel consumption of diesel. The development and practical use of various methods for estimating fuel consumption of MTU is relevant at the design stage of a tractor, for example, when choosing the engine brand and determining the transmission and gearbox ratios, and serve to improve the quality of design and engineering work, improving the design of the MTU. The travel speed of the MTU is selected as the operational parameter, and the suspension stiffness is selected as the structural parameter. The construction of the surface state of the frequency characteristic (FC) watch fuel consumption diesel MTU and use method of sections FC, for any fixed value of the regular speed MTU and across the range of frequencies load at the leading stars, you can calculate the regular component and a dynamic component of hourly fuel consumption.

Key words: Machine and tractor unit; Hourly fuel consumption; Diesel engine; Travel speed; Suspension stiffness; Frequency characteristics

Введение. В условиях эксплуатации автотракторные дизели продолжительное время работают в неустановившихся режимах [1,2]. Исследованиями [3–6] установлено, что часовой расход топлива представляет собой сумму регулярной B_0^n (1) и переменной $B^n(\omega)$ (2) составляющих, затрачиваемых в процессе преодоления регулярной и переменной сил сопротивления движению МТА. Исследования [7, 8] влияния динамических режимов нагружения показали, что существует диапазон частот колебаний нагрузки на коленчатом валу, сопровождаемый повышенным часовым расходом топлива.

Задача исследования заключается в разработке методики оценки регулярной и динамической составляющих часового расхода топлива на стадии проектирования трактора, например, при выборе марки двигателя и определению передаточных чисел трансмиссии и коробки перемены передач, оценке производительности и эксплуатационных затрат МТА при работе на разных режимах в агрегате с навесными почвообрабатывающими машинами. Необходимо также выявить резонансные частоты колебаний частоты вращения коленчатого вала двигателя, соответствующие наибольшим энергозатратам и расходу топлива, вследствие несоответствия динамических характеристик дизеля и силовой передачи МТА.

Материалы и методы. Основными внешними воздействиями в моделях функционирования МТА являются: профиль поверхности вырубki, задаваемый корреляционной функцией и спектральной плотностью; факторы разнообразия физико-механических свойств почвы; скорость движения. Моделируется неустановившейся характер сил сопротивления движению МТА, описываемый эргодическим стационарным случайным процессом, для всего спектра частот входного момента нагрузки. В работе рассматривается пахотный режим работы трактора ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70 на легких и тяжелых почвах. Для рассматриваемого МТА накоплен достаточный объём эксплуатационных показателей, необходимых для оценки погрешностей моделирования, т.к. он широко использовался на лесохозяйственных и лесовосстановительных работах. Методика вычислений описана ниже.

Аналитические выражения для определения часового расхода топлива дизеля МТА в пахотном режиме

Выражение для часового расхода топлива, составленное с учетом формулы академика В.П. Горячкина [9] для касательной силы МТА в пахотном режиме, имеет две составляющих – регулярную B_0^n и переменную $B^n(\omega)$, записанные в операторном виде (при $s = j\omega$):

$$B_0^n = E_1 n_0 \left[\frac{R}{i_T \eta_M} (A_1^n + A_2 + A_3 n_0^2) + D_1 (a_1 + b_1 n_0) \right]; \quad (1)$$

$$B^n(\omega) = E_1 \cdot M_H^a \cdot \omega \cdot |U_{11}(j\omega)| \left\{ \frac{R}{i_T \eta_M} [A_1^n + A_2 + 3A_3 |U_{11}(j\omega)|^2 + 2f_{тк} \cdot |\Theta_B^n(j\omega)| + 2A_4 \omega \cdot |U_{11}(j\omega)|] + D_1 \cdot \left[\frac{a_1}{P_{MH}} \sqrt{\frac{4\omega^2 + \gamma^2}{\omega^2 + \gamma^2}} \cdot |G_{61}(j\omega)| + 2b_1 \omega \cdot |U_{11}(j\omega)| \right] \right\}. \quad (2)$$

где $E_1 = \frac{3,6\pi}{30\eta_i H_u}$; $A_1^n = mg \sin \alpha + f_{тк} m_T g \cos \alpha$; $A_2 = f_{тк} m_{ин} g \cos \alpha + k_{п} ab$;

$$A_3 = \left(\frac{\pi R}{30i_T} \right)^2 \xi ab; \quad A_4 = \frac{\pi R}{30i_T} m; \quad D_1 = \frac{V_{п} i_{д}}{\pi \tau_{д}},$$

где $n_0 = 0,8n_n$; n_n – номинальная частота вращения коленчатого вала дизеля; R – радиус ведущих звездочек; i_t – передаточное число трансмиссии; η_m – механический КПД, $\eta_m = \eta_{тр} \cdot \eta_{дв}$; $\eta_{тр}$, $\eta_{дв}$ – КПД трансмиссии и двигателя, соответственно; η_i – индикаторный КПД двигателя; H_u – низшая теплотворная способность топлива; M_n^a – амплитудное значение входного возмущающего воздействия; $M_n^a = 0,15M_{ен}$; $M_{ен}$ – номинальный эффективный крутящий момент; ω – угловая скорость вращения коленчатого вала; m – масса МТА; $m = m_t + m_{пл}$; m_t – масса трактора; $m_{пл}$ – масса плуга; α – угол подъема участка пути; $f_{тк}$, $f_{тс}$ – коэффициенты трения качения двигателя и трения скольжения плуга о дно и стенку борозды, соответственно; $k_{п}$ – удельное сопротивление почвы; a , b – глубина обработки почвы и ширина захвата плуга; ξ – коэффициент динамичности; $|G_{61}(j\omega)|$ – передаточная функция давления масла в главной масляной магистрали (ГММ); $|U_{11}(j\omega)|$ – передаточная функция частоты вращения коленчатого вала энергосиловой установки МТА; $|\Theta_b^n(j\omega)|$ – передаточная функция колебаний остова МТА в продольно-вертикальной плоскости в пахотном режиме; $V_{ц}$ – рабочий объем одного цилиндра двигателя; i_d , τ_d – количество цилиндров и тактность двигателя, соответственно; a_1 , b_1 – коэффициенты, получаемые экспериментальным путем для каждого типа двигателей; $P_{мн}$ – давление масла в ГММ при номинальной частоте вращения; $\gamma = 10^{-3}\omega_n$; ω_n – номинальная угловая скорость вращения коленчатого вала.

Передаточная функция частоты вращения коленчатого вала энергосиловой установки МТА по возмущающему воздействию (при фиксированном положении органа $h(t)$, задающего величину цикловой подачи топлива: ($h_0 = const$) [7, 8]:

$$|U_{11}(j\omega)| = \frac{k_{д1}(T_2^2 s^2 + 2T_2 \xi_1 s + 1)}{(T_1 s + 1)(T_3^2 s^2 + 2T_3 \xi_2 s + 1)(T_4 s + 1)}, \quad (3)$$

где $k_{д1}$ – коэффициент передачи частоты вращения; T_1 , T_2 , T_3 , T_4 – постоянные времени; ξ_1 , ξ_2 – коэффициенты затухания.

Для двигателя СМД-20Т.04: $k_{д1} = 1,80$; $T_1 = 1,073$ с; $T_2 = 0,531$ с; $T_3 = 0,398$ с; $T_4 = 0,354$ с; $\xi_1 = 0,300$; $\xi_2 = 0,250$ [7,8].

Заметим, что для МТА с учетом его массы m приведенный к коленчатому валу момент инерции $I_{п}$ и постоянная времени T_1 имеют вид

$$I_{п} = I_d + \frac{mR^2}{i_t^2}; \quad T_1 = \frac{\pi}{30} I_{п} \frac{n_n^2}{N_n}, \quad (4)$$

где I_d – момент инерции двигателя; N_n – номинальная мощность двигателя.

Передаточная функция колебаний остова МТА в продольно-вертикальной плоскости в пахотном режиме определяется амплитудно-фазовыми частотными характеристиками деформации подвеса кареток на единицу возмущения неровности пути при $s = j\omega$ [3, 8]:

$$|\Theta_B^n(j\omega)| = k'_0 c_1 \omega^2 \sqrt{\frac{[\mu_0 m_1 m_2 \omega^2 (\frac{1}{\tau \lambda_H} - 1) + c_1 (m' + \frac{1}{\tau \lambda_H} m'')]^2 + [\mu_0 m_1 m_2 \omega^4 - \omega^2 (m_1 c_1 + m_2 c_1 + \beta_1^2) + c_1^2]^2 + \dots}{\dots}} \quad (5)$$

$$\dots \frac{+ \omega^2 \beta_1^2 (m' - \frac{1}{\tau \lambda_H} m'')^2}{+ \omega^2 [\beta_1 (c_1 - m_2 \omega^2) - \beta_1 (c_1 - m_1 \omega^2)]^2}$$

где $k'_0 = \cos(2\pi l_k / l_H) \approx 0,7$; l_k – расстояние между осями кареток; l_H – длина неровности микрорельефа пашни; c_1 – жесткость подрессоривания опор, $c_1 = 1400$ кН/м; ω – частота повторения неровности, $\omega = 2\pi v / l_H$; v – скорость движения МТА; β_1 – параметр демпфирования, $\beta_1 = 2v_n \sqrt{c_1 m}$; $v_n = 0,3$; $\mu_0 = 1 - \frac{m_0}{m_1 + m_2} = 0,66$; $m_0 = \frac{I_c - m_{тп} l_1 l_2}{l^2} = 5544,5$ кг; $m_1 = \frac{I_c + m_{по} l_2^2}{l^2} = 9599,2$ кг; $m_2 = \frac{I_c + m_{зо} l_1^2}{l^2} = 7003,7$ кг; $m_{тп}$ – подрессоренная масса трактора, $m_{тп} = 8400$ кг; $m_{по}$ – масса трактора, приходящаяся на ось передних кареток, $m_{по} = 4400$ кг; $m_{зо}$ – масса трактора, приходящаяся на ось задних кареток, $m_{зо} = 4000$ кг; l – межосевое расстояние, $l = l_1 + l_2 = 1,75$ м; $l_1 = 0,31$ м; $l_2 = 1,44$ м; I_c – момент инерции системы, $I_c \approx m_{тп} l_1 l_2$, $I_c = 23936$ кг·м²; $m' = m_0 + m_1$; $m'' = m_0 + m_2$; $\tau = l/v$; λ_H – доминирующая низшая частота собственных колебаний остова трактора.

Передачная функция давления масла в ГММ двигателя:

$$|G_{61}(j\omega)| = k_{м1} s \cdot U_{11}(j\omega), \quad (6)$$

где $k_{м1}$ – коэффициент передачи давления масла в ГММ: $k_{м1} = 1,20$.

Результаты. Подставляя в (2) значения $|U_{11}(j\omega)|$ из (3), $|\Theta_B^n(j\omega)|$ из (5), $|G_{61}(j\omega)|$ из (6) определяем поверхность состояния частотных характеристик (ЧХ) часового расхода топлива дизеля МТА в пахотном режиме (рисунок 1). Численные значения часового расхода топлива определяются подстановкой в (1) и (2) следующих исходных данных: $V_{ц} = 1,575$ л; $i_d = 4$; $\tau_d = 2$; $a_1 = 0,45$; $b_1 = 0,97 \cdot 10^{-3}$; $\eta_i = 0,40$; $H_u = 41300$ кДж/кг; $P_{мн} = 0,6$ МПа; $n_H = 1900$ мин⁻¹; $N_{ен} = 88$ кВт; $I_d = 2,40$ кг·м²; $M_{ен} = 480$ Н·м; $\gamma = 0,188$ с⁻¹; $F_c^a = 0,15 M_{ен}$; $\eta_m = 0,68$; $R = 0,238$ м; $m_T = 10400$ кг; $m_{пл} = 520$ кг; $a = 0,15$ м; $b = 0,70$ м [4, 6, 8]. При пахоте легкого грунта примем следующие условия функционирования МТА: $f_{тк} = 0,15$; $f_{тс} = 0,40$; $k_H = 5 \cdot 10^4$ Н/м; $\xi = 1600$ кг/м³; $\delta_s = 0,03$; $q_k = 2 \cdot 10^6$ Н/м²; $z_0 = 0,06$ м; $\alpha = 5^\circ$. Для тяжелого грунта: $f_{тк} = 0,20$; $f_{тс} = 0,60$; $k_H = 6 \cdot 10^4$ Н/м; $\xi = 2000$ кг/м³; $\delta_s = 0,05$; $q_k = 3 \cdot 10^6$ Н/м².

Выполняя сечения в продольно-вертикальной плоскости (рисунок 2) при любом фиксированном значении регулярной скорости v_0 движения МТА и по всему диапазону частот ω колебаний нагрузки на ведущих звездочках можно вычислить регулярную составляющую B_0^n и динамическую составляющую часового расхода топлива $B^n(\omega)$.

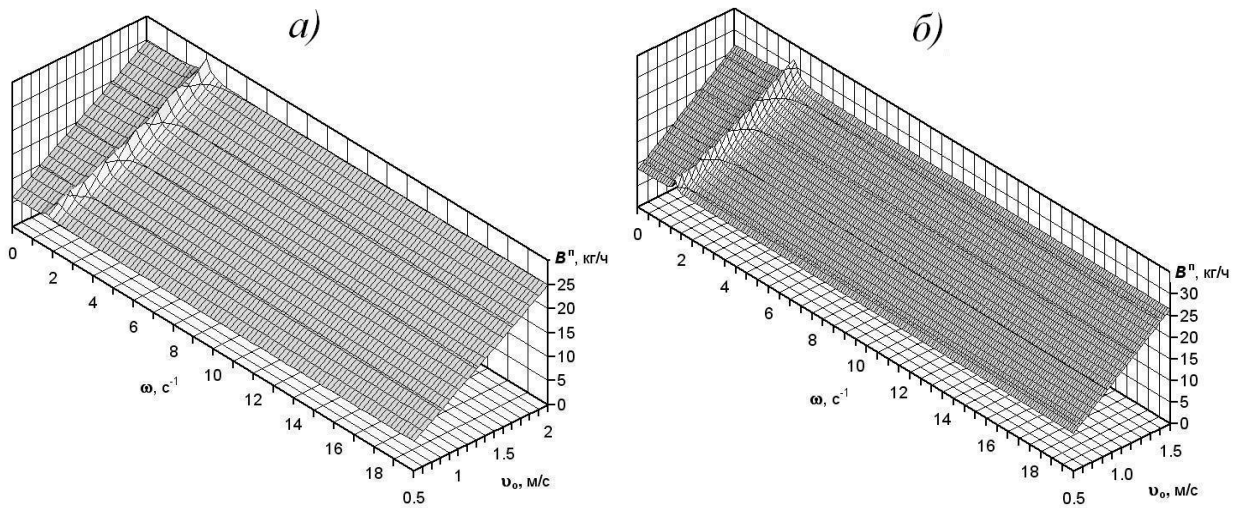
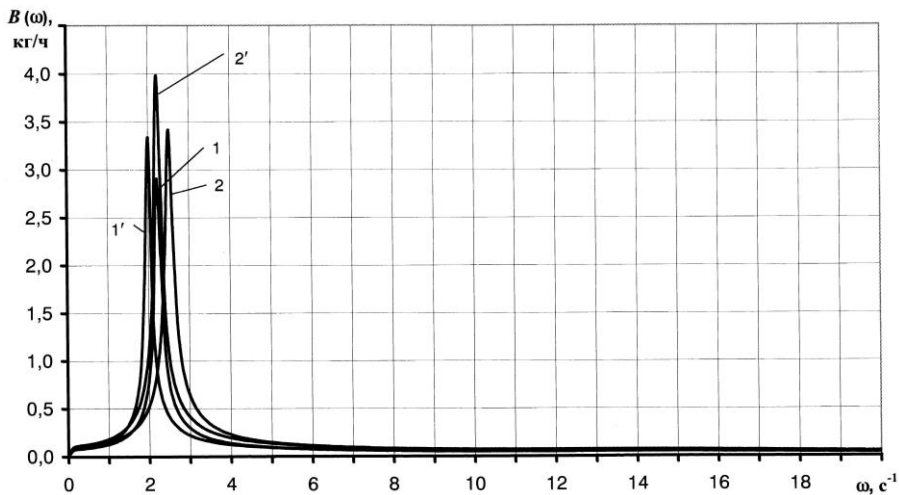


Рисунок 1 – Поверхности состояния ЧХ часового расхода топлива дизеля МТА на базе трактора ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70 при пахоте легких (а) и тяжелых (б) почв в зависимости от скорости движения, при штатной жесткости подвеса $c_1=1400$ кН/м



1, 2 – для легких грунтов, соответственно, на II и III передачах; 1', 2' – для тяжелых грунтов, соответственно, на I и II передачах

Рисунок 2 – АЧХ суммарной динамической составляющей часового расхода топлива МТА в режиме пахоты легких и тяжелых грунтов, при штатной жесткости подвеса $c_1=1400$ кН/м

Заключение. Максимальные значения суммарной динамической составляющей часового расхода топлива в пахотном режиме наблюдаются на частотах, близких к $2,5 \text{ с}^{-1}$, – собственной, энергозатратной частоте колебаний частоты вращения коленчатого вала двигателя СМД-20Т.04.

Заглубленное положение плуга в пахотном режиме ограничивает перемещение задней каретки трактора и амплитуду колебаний МТА в продольно-вертикальной плоскости, поэтому варьирование жесткости подвеса на ± 400 кН/м относительно штатной жесткости, при пахоте легких и тяжелых грунтов, незначительно сказывается на значении составляющей суммарного расхода на динамические нагрузки и не превышает $4,0 \text{ кг/ч}$ (рисунок 2).

Благодарность. Авторы выражают глубокую благодарность доценту Антипину Валерию Петровичу и к.т.н. Каршеву Геннадию Владимировичу за неоценимую помощь в процессе работы над рукописью статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барский И. Б., Анилович В. Я., Кутьков Г. М. Динамика трактора. – М.: Машиностроение, 1973.– 280 с.
2. Кутьков Г. М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. – М.: Колос, 2004.– 504 с.
3. Власов Е.Н., Михайлов О.А., Дурманов М.Я., Епифанова А.Ю. *Определение количества энергии, затрачиваемой на реализацию касательной силы трактора ЛХТ-100 в пахотном режиме* / Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 212.- СПб.: СПбГЛТУ, 2015.- С. 104-112.
4. Дурманов М.Я., Спиридонов С.В., Михайлов О.А. *Оценка часового расхода топлива лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата на стадии проектирования* / Леса России: политика, промышленность, наука, образование / материалы третьей международной научно-технической конференции. Том 2 / Под. ред. В.М. Гедьо. - СПб.: СПбГЛТУ, 2018. – С.164-167.
5. Мартынов Б.Г., Дурманов М.Я., Михайлов О.А. *Оценка затрат мощности лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата в пахотном режиме* / Леса России: политика, промышленность, наука, образование / материалы третьей международной научно-технической конференции. Том 2 / Под. ред. В.М. Гедьо. - СПб.: СПбГЛТУ, 2018. – С.191-195.
6. Martynov B. G., Spiridonov S. V., and Durmanov M. Ya. Influence of the parameters of a forestry machine-tractor unit on the hourly fuel consumption of a diesel engine IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 316 (2019) 012035 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/316/1/012035
7. Антипин В. П. Энергозатраты машинно-тракторного агрегата. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 324 с.
8. Антипин В.П. Производительность, энергозатраты и ресурс машинно-тракторного агрегата / В. П. Антипин, М. Я. Дурманов, Г. В. Каршев – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 484 с.
9. Горячкин В. П. Собрание сочинений. 2-е изд., т. 1. – М.: Колос, 1968. – 720 с.

УДК 630*375.4

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОНЕНТ ЧАСОВОГО РАСХОДА ТОПЛИВА ДИЗЕЛЯ
ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОГО МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА
В РЕЖИМЕ ПАХОТЫ**

**Мартынов Б. Г., проф., д.т.н., Михайлов О. А., доц., к.т.н., Спиридонов С. В., доц., к.т.н.,
Дурманов М. Я., ст. преп.**

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова
(Санкт-Петербург, Россия), e-mail: lesbisnes@mail.ru; kerro07@mail.ru; svslta@yandex.ru;
PSLM218@yandex.ru

**RESEARCH OF COMPONENTS OF HOURLY FUEL CONSUMPTION OF DIESEL OF
A FORESTRY MACHINE-TRACTOR UNIT IN THE MODE OF PLOWING**

**Martynov B. G., Prof., D.Sc., Mikhaylov O. A., Assoc. Prof., PhD,
Spiridonov S. V., Assoc. Prof., PhD, Durmanov M. Ya., senior lecturer**
S.M. Kirov Saint Petersburg State Forest Technical University
(St. Petersburg, Russian Federation)

Аннотация. Для повышения качества проектных и конструкторских работ, совершенствования конструкции лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата (МТА) необходима разработка и практическое использование различных методик оценки эксплуатационной эффективности МТА, особенно актуальная на этапе проектирования трактора. В работе исследуется влияние компонент часового расхода топлива дизеля на показатель суммарного расхода на динамические нагрузки, характерные для неустановившихся режимов функционирования лесохозяйственного МТА. Для пахотного режима определен часовой расход топлива дизеля на динамические нагрузки по компонентам: от сопротивления на подъеме; от динамики отброса пласта плугом; от инерционных сил МТА; от колебаний подвеса МТА в продольно-вертикальной плоскости; от механических потерь в парах трения двигателя, а также его суммарная величина для различных значений жесткости подвеса. Оценка значений указанных компонент возможна еще на стадии проектирования трактора и орудий, агрегатируемых с ним, при построении поверхности состояния частотной характеристики (ЧХ) часового расхода топлива дизеля МТА и использовании метода сечений ЧХ. Исследование показало, что максимальные значения суммарной динамической составляющей часового расхода топлива в пахотном режиме наблюдаются на частотах, близких к $2,5 \text{ с}^{-1}$, – собственной, энергозатратной частоте колебаний частоты вращения коленчатого вала двигателя СМД-20Т.04.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат; часовой расход топлива; дизель; компоненты часового расхода топлива; метод сечений; частотные характеристики

Abstract. To improve the quality of design and construction work, to improve the design of a forestry machine-tractor unit (MTU), it is necessary to develop and use various methods for evaluating the operational efficiency of MTU, especially relevant at the stage of tractor design. The paper examines the influence of the components of hourly diesel fuel consumption on the indicator of total consumption for dynamic loads characteristic of non-stable modes of operation of the forestry MTU. For arable regime determined by hourly fuel consumption of a diesel engine dynamic load components: resistance on the rise; from the dynamics of the garbage layer plow; from the inertial forces of the MTU; from fluctuations in the suspension of MTU in a longitudinal vertical plane; from mechanical losses in friction pairs of the engine, as well as its total value for different values of the stiffness of the suspension. Evaluation of the values of these components is possible even at the design stage of the tractor and tools aggregated with it, when constructing the surface of the state of frequency characteristics (FC) of the hourly fuel consumption of MTU diesel and using the FC cross-section method. The study showed that the max-

imum values of the total dynamic component of the hourly fuel consumption in the arable mode are observed at frequencies close to 2.5 s^{-1} – the natural, energy-consuming frequency of oscillation of the engine's crankshaft speed SMD-20T. 04.

Key words: Machine and tractor unit; Hourly fuel consumption; Diesel engine; Components of hourly fuel consumption; Cross section method; Frequency characteristics

Введение. Оценка часового расхода топлива дизеля МТА по компонентам при неустановившихся режимах функционирования важна на этапе проектирования трактора и определении параметров лесохозяйственных почвообрабатывающих машин, используемых в агрегате с трактором [1-3]. Часовой расход топлива определяет эксплуатационные затраты МТА и стоимость лесохозяйственных и лесовосстановительных работ. Построение поверхности состояния частотной характеристики (ЧХ) часового расхода топлива дизеля МТА и использование метода сечений ЧХ позволяют оценить экстремальные значения его компонент: от сопротивления на подъеме; от динамики отброса пласта плугом; от инерционных сил МТА; от колебаний подвеса МТА в продольно-вертикальной плоскости; от механических потерь в парах трения двигателя, а также его суммарную величину для различных значений жесткости подвеса и скорости движения МТА [4,5].

Задача исследования заключается в выявлении резонансных частот колебаний частоты вращения коленчатого вала двигателя, соответствующих наибольшему энергозатратам и расходу топлива, вследствие несоответствия динамических характеристик дизеля и силовой передачи МТА.

Материалы и методы. Основными внешними воздействиями в моделях функционирования МТА являются: профиль поверхности вырубki, задаваемый корреляционной функцией и спектральной плотностью; факторы разнообразия физико-механических свойств почвы; скорость движения. Моделируется неустановившейся характер сил сопротивления движению МТА, описываемый эргодическим стационарным случайным процессом, для всего спектра частот входного момента нагрузки. В работе рассматривается пахотный режим работы трактора ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70 на легких и тяжелых почвах. Методика вычислений описана ниже.

Анализ компонент часового расхода топлива дизеля МТА в пахотном режиме
Критериальная функция (1) [1-3,5]

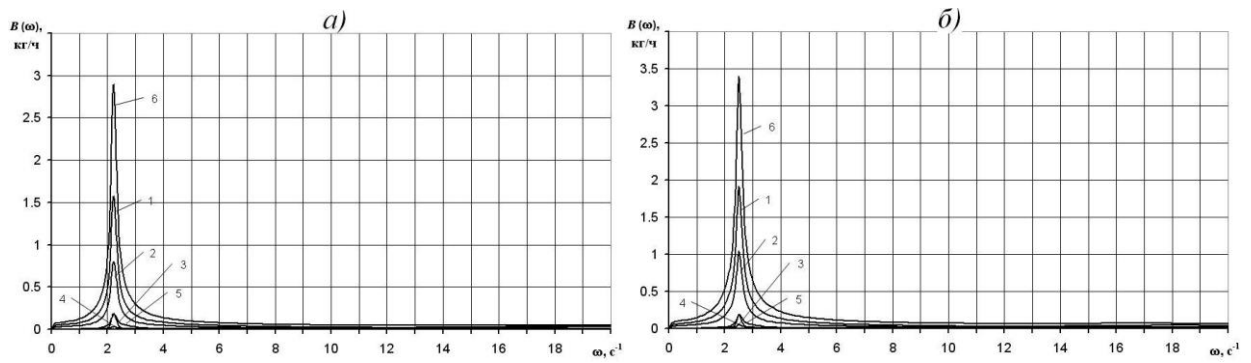
$$B^n(\omega) = E_1 \cdot M_n^a \cdot \omega \cdot |U_{11}(j\omega)| \left\{ \frac{R}{i_T \eta_M} [A_1^n + A_2 + 3A_3 |U_{11}^2(j\omega)| + 2f_{\text{тк}} \cdot |\Theta_B^n(j\omega)| + 2A_4 \omega \cdot |U_{11}(j\omega)|] + D_1 \cdot \left[\frac{a_1}{P_{\text{мн}}} \sqrt{\frac{4\omega^2 + \gamma^2}{\omega^2 + \gamma^2}} \cdot |G_{61}(j\omega)| + 2b_1 \omega \cdot |U_{11}(j\omega)| \right] \right\}, \quad (1)$$

где $E_1 = \frac{3,6\pi}{30\eta_i H_u}$; $A_1^n = mg \sin \alpha + f_{\text{тк}} m_T g \cos \alpha$; $A_2 = f_{\text{тк}} m_{\text{пл}} g \cos \alpha + k_{\text{п}} ab$;

$$A_3 = \left(\frac{\pi R}{30i_T} \right)^2 \xi ab; \quad A_4 = \frac{\pi R}{30i_T} m; \quad D_1 = \frac{V_{\text{цд}} i}{\pi \tau_{\text{д}}},$$

позволяет построить поверхность состояния ЧХ часового расхода топлива дизеля и вычислить составляющие часового расхода топлива.

Выполняя сечения поверхности состояния ЧХ часового расхода топлива дизеля МТА в продольно-вертикальной плоскости (рисунки 1 и 2) при любом фиксированном значении регулярной скорости v_0 движения МТА и по всему диапазону частот ω колебаний нагрузки на ведущих звездочках можно вычислить регулярную составляющую B_0^n и динамическую составляющую часового расхода топлива $B^n(\omega)$ [1–3, 5].

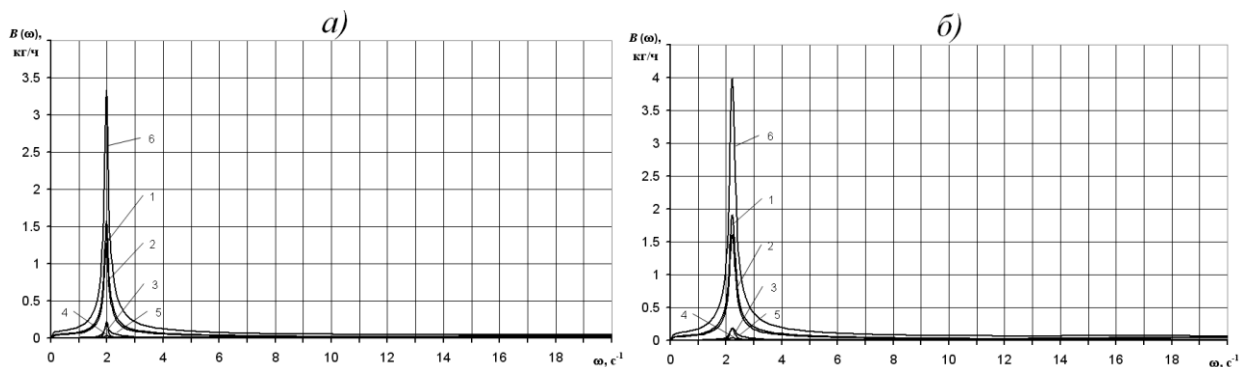


a – при скорости движения $v_0=0,86$ м/с (*II* передача);

б – при скорости движения $v_0=1,15$ м/с (*III* передача);

1 – сопротивление движению МТА на подъеме; 2 – подрезание и отброс пласта плугом; 3 – инерционные силы МТА; 4 – колебания трактора в продольно-вертикальной плоскости; 5 – механические потери в парах трения двигателя; 6 – суммарный расход на динамические нагрузки

Рисунок 1 – ЧХ часового расхода топлива по компонентам в режиме пахоты легкого грунта МТА на базе трактора ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70 при жесткости подвеса $c_1=1400$ кН/м



a – при скорости движения $v_0=0,67$ м/с (*I* передача);

б – при скорости движения $v_0=0,86$ м/с (*II* передача)

Рисунок 2 – ЧХ часового расхода топлива по компонентам в режиме пахоты тяжелого грунта МТА на базе трактора ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70 при жесткости подвеса $c_1=1400$ кН/м (обозначения те же, что на рисунке 1)

Для режимов пахоты легкого и тяжелого грунта, согласно выражению (1), вычислены потери часового расхода топлива по каждой компоненте динамической составляющей в спектре частот $0...20$ с⁻¹ (рисунки 1 и 2), а также величина динамической составляющей для различных значений $c_1=1800, 1400, 1000$ кН/м:

1 – от сопротивления на подъеме с плугом

$$B_1^n(\omega) = \frac{E_1 R \cdot M_H^a}{i_T \eta_M \omega_{сн}} \cdot \int_{\omega=0}^{\omega=20} \omega |U_{11}(j\omega)| \cdot [A_1^n + A_2 + 3A_3 \cdot |U_{11}^2(j\omega)|] d\omega; \quad (2)$$

2 – от динамики сопротивления плуга (подрезания и отброса пласта)

$$B_2^n(\omega) = \frac{E_1 R \cdot M_H^a}{i_T \eta_M \omega_{сн}} \cdot \int_{\omega=0}^{\omega=20} \omega |U_{11}(j\omega)| \cdot [A_2 + 3A_3 \cdot |U_{11}^2(j\omega)|] d\omega; \quad (3)$$

3 – от колебаний подвеса МТА в продольно-вертикальной плоскости

$$B_3^n(\omega) = \frac{2E_1 R \cdot f_{\text{тк}} \cdot M_H^a}{i_t \eta_M \omega_{\text{сн}}} \cdot \int_{\omega=0}^{\omega=20} \omega |U_{11}(j\omega)| \cdot |\Theta_B^n(j\omega)| d\omega; \quad (4)$$

4 – от инерционных сил МТА

$$B_4^n(\omega) = \frac{2E_1 R \cdot M_H^a}{i_t \eta_M \omega_{\text{сн}}} A_4 \cdot \int_{\omega=0}^{\omega=20} \omega^2 |U_{11}^2(j\omega)| d\omega; \quad (5)$$

5 – от механических потерь в парах трения двигателя

$$B_5^n(\omega) = \frac{E_1 D_1 \cdot M_H^a}{\omega_{\text{сн}}} \cdot \int_{\omega=0}^{\omega=20} \omega |U_{11}(j\omega)| \cdot \left[\frac{a_1}{P_{\text{мн}}} \sqrt{\frac{4\omega^2 + \gamma^2}{\omega^2 + \gamma^2}} \cdot |G_{61}(j\omega)| + 2b_1 \omega \cdot |U_{11}(j\omega)| \right] d\omega; \quad (6)$$

Суммарные потери часового расхода топлива на динамические нагрузки в спектре частот $0 \dots 20 \text{ с}^{-1}$ при различных значениях $c_1 = 1800; 1400; 1000 \text{ кН/м}$

$$B^n(\omega) = \frac{M_H^a}{\omega_{\text{сн}}} \cdot \int_{\omega=0}^{\omega=20} |G_{31}^n(j\omega)| \cdot d\omega. \quad (7)$$

где $\omega_{\text{сн}}$ – собственная низшая частота колебаний МТА; $G_{31}^n(j\omega)$ – передаточная функция часового расхода топлива в пахотном режиме [5].

Фактический часовой расход топлива $B_{\text{ф}}^n$ в пахотном режиме, с учетом потерь на динамические нагрузки, для различных значений $c_1 = 1800; 1400; 1000 \text{ кН/м}$, определится суммой

$$B_{\text{ф}}^n = B_0^n + B^n(\omega). \quad (8)$$

Результаты. Результаты вычисления (2)–(8) при функционировании МТА в пахотном режиме сведены в таблицы 1 и 2 [2, 3].

Таблица 1 – Результаты расчета часового расхода топлива МТА на базе трактора ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70 в режиме пахоты легких грунтов

Скорость движения МТА v_0 , м/с	Регулярная составляющая B_0^n , кг/ч	Суммарные динамические составляющие $B^n(\omega)$, кг/ч при различной жесткости c_1 , кН/м			Компоненты динамической составляющей $B_i^n(\omega)$, кг/ч при жесткости $c_1 = 1400 \text{ кН/м}$				
		1000	1400	1800	1 ^с	2 ^с	3 ^с	4 ^с	5 ^с
0,86 ^а	10,507	1,133	1,140	1,138	0,598	0,327	0,023	0,142	0,050
1,15 ^б	14,086	1,402	1,411	1,408	0,748	0,409	0,022	0,180	0,052

^а $\omega_{\text{сн}} = 2,23 \text{ с}^{-1}$ – II передача ($i_t = 44,226$);

^б $\omega_{\text{сн}} = 2,51 \text{ с}^{-1}$ – III передача ($i_t = 32,854$);

^с Компоненты: 1 – сопротивление движению МТА на подъеме; 2 – подрезание и отброс пласта плугом; 3 – инерционные силы МТА; 4 – колебания трактора в продольно-вертикальной плоскости; 5 – механические потери в парах трения двигателя.

Таблица 2 – Результаты расчета часового расхода топлива МТА на базе трактора ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70 в режиме пахоты тяжелых грунтов

Скорость движения МТА v_0 , м/с	Регулярная составляющая B_0^n , кг/ч	Суммарные динамические составляющие $B^n(\omega)$, кг/ч при различной жесткости c_1 , кН/м			Компоненты динамической составляющей $B_i^n(\omega)$, кг/ч при жесткости $c_1 = 1400$ кН/м				
		1000	1400	1800	1 ^с	2 ^с	3 ^с	4 ^с	5 ^с
0,67 ^а	11,709	1,264	1,272	1,269	0,573	0,479	0,023	0,151	0,046
0,86 ^б	15,046	1,578	1,588	1,584	0,721	0,603	0,024	0,190	0,050

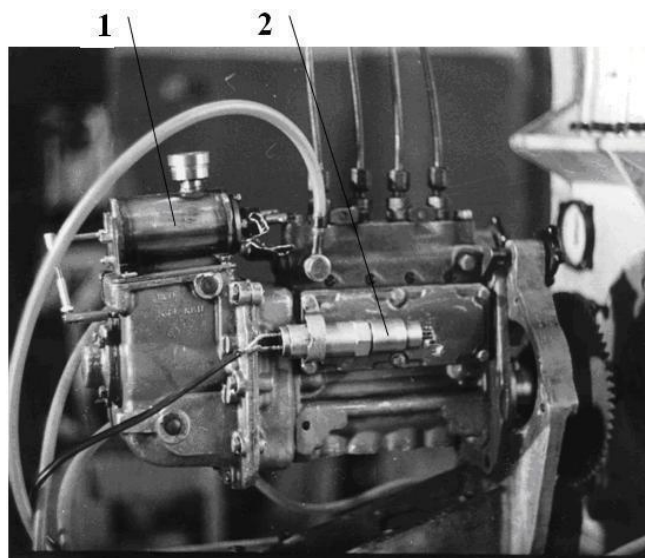
$$^a \omega_{\text{сн}} = 1,99 \text{ с}^{-1} - I \text{ передача } (i_{\text{д}}=56,651);$$

$$^b \omega_{\text{сн}} = 2,23 \text{ с}^{-1} - II \text{ передача } (i_{\text{д}}=44,226);$$

Заключение. В режиме пахоты легких и тяжелых грунтов частотная характеристика часового расхода топлива МТА на динамические нагрузки реализуется с одним экстремумом (рисунки 1 и 2, кривая 6). Наибольший расход происходит в диапазоне частот $1,99-2,51 \text{ с}^{-1}$, при собственной частоте колебаний частоты вращения коленчатого вала двигателя $\omega_c = 2,5 \text{ с}^{-1}$. По компонентам динамической составляющей наибольшие значения расхода топлива имеют компоненты сопротивления движению МТА на подъеме и подрезания и отброса пласта плугом (рисунки 1 и 2, кривые 1, 2).

Скорость движения v_0 оказывает существенное влияние как на величину регулярной составляющей часового расхода топлива B_0^n , так и на компоненты динамической составляющей $B_i^n(\omega)$ (таблицы 1 и 2), поэтому выбор передаточного ряда трансмиссии и коробки перемены передач на стадии проектирования должен обеспечивать эффективные тяговые и скоростные режимы МТА.

Заглубленное положение плуга в пахотном режиме ограничивает перемещение задней каретки трактора и амплитуду колебаний в продольно-вертикальной плоскости, поэтому варьирование жесткости подвеса не оказывает существенного влияния на суммарные динамические составляющие $B^n(\omega)$ часового расхода топлива.



1 – гаситель колебаний РТН; 2 – датчик перемещения РТН

Рисунок 3 – ТНВД типа ЛСТН-49010 с гасителем колебаний РТН и датчиками, установленный на испытательном стенде

Для повышения топливной экономичности дизелей МТА, в конструкцию ТНВД которых входит рейка топливного насоса (РТН), необходимо использовать корректирующее устройство.

В качестве корректирующего устройства целесообразно использовать гаситель колебаний РТН (рисунок 3). Гаситель колебаний вводится в конструкцию ТНВД для уменьшения амплитуды колебаний рейки и отрицательного действия гидродинамической силы на качество процесса регулирования скорости. Его демпфирующие свойства снижают действие гидродинамической силы при отсечке топлива и оказывают сопротивление при перемещении РТН в сторону увеличения цикловой подачи топлива [4-6].

Благодарность. Авторы выражают глубокую благодарность доценту Антипину Валерию Петровичу и к.т.н. Каршеву Геннадию Владимировичу за неоценимую помощь в процессе работы над рукописью статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дурманов М.Я., Спиридонов С.В., Михайлов О.А. Оценка часового расхода топлива лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата на стадии проектирования / Леса России: политика, промышленность, наука, образование / материалы третьей международной научно-технической конференции. Том 2 / Под. ред. В.М. Гедьо. - СПб.: СПбГЛТУ, 2018. – С.164-167.

2. Martynov V. G., Spiridonov S. V., and Durmanov M. Ya. Influence of the parameters of a forestry machine-tractor unit on the hourly fuel consumption of a diesel engine IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 316 (2019) 012035 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/316/1/012035

3. Дурманов М.Я., Мартынов Б.Г., Спиридонов С.В. Исследование часового расхода топлива дизеля лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата при пахоте тяжелых грунтов / Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2018 года [Электронный ресурс] / отв. ред. В.А. Соколова - СПб: СПбГЛТУ, 2019. – С.214-225. DOI: 10.21266/SPBFTU.2019.NTK.1

4. Антипин В. П. Энергозатраты машинно-тракторного агрегата. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 324 с.

5. Антипин В.П. Производительность, энергозатраты и ресурс машинно-тракторного агрегата / В. П. Антипин, М. Я. Дурманов, Г. В. Каршев – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 484 с.

6. Антипин В. П., Грибов С. А., Шевцов А. А., Козлов А. В., Кристаль М. Е. Регулятор скорости прямого действия двигателя внутреннего сгорания. А.с. №1276843; опубл. 15.12.86. – Бюл. №46, 1986.

**УЧЕТ КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА
ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ ПРИ РЕШЕНИИ СОВРЕМЕННЫХ
ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ЗАДАЧ**

Насковец М. Т., доц., к.т.н., Хорошун Н. В., доц., м.э.н., м.т.н., Жарков Н. И. в.ед. инж., к.т.н.
Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: naskovets@belstu.by

**ACCOUNTING FOR THE DESIGN OF ROLLING STOCK LOGGING ROAD TRAINS
WHEN SOLVING MODERN PROBLEMS ROAD TRANSPORT ISSUES**

**Naskovets M. T., Assoc. Prof., Ph. D., Khoroshun N. V., Assoc. Prof., M. S. (Economic),
M. S. (Engineering), Zharkov N. I., Leading Eng., Ph. D.**
Belarusian state technological University
(Minsk, Republic of Belarus)

Аннотация. В материалах доклада рассмотрены основные дорожно-транспортные задачи, которые необходимо решать лесозаготовительным подразделениям лесного комплекса на современном этапе его развития, для осуществления эффективной вывозки древесного сырья. Проанализировано состояние парка лесовозных транспортных средств, применяемых для перевозки лесных грузов, доставка которых производится, главным образом, в виде сортиментов. Предложены направления конструктивного исполнения вновь разрабатываемых модификаций автомобилей-сортиментовозов и прицепного состава для стабилизации функционирования дорожной составляющей лесотранспортного процесса.

Ключевые слова: дорожно-транспортные задачи; лесовозные автопоезда; подвижной состав; конструкции; перевозка грузов; осевые нагрузки

Abstract. The materials of the report consider the main road transport tasks that need to be solved by logging units of the forest complex at the present stage of its development, in order to carry out effective export of wood raw materials. The state of the fleet of timber transport vehicles used for the transport of forest goods, which are delivered mainly in the form of raw materials, is analyzed. The directions of constructive execution of the newly developed modifications of vehicles-sorting trucks and trailer trains for stabilization of the road component of the forest transport process are proposed.

Key words: road transport tasks; logging road trains; rolling stock; structures; cargo transportation; axial loads

Введение. Технологический процесс вывозки древесины при освоении лесных массивов предполагает решение достаточно сложных, взаимозависимых дорожно-транспортных задач. Так в современных условиях осуществления грузоперевозок лесовозные автопоезда, имеющие осевые нагрузки, превышающие 10 тонн, негативно влияют на эксплуатационное состояние дорожных покрытий. При этом следует отметить, что на перспективу в лесной отрасли, наблюдается тенденция постепенного увеличения, как нагрузок на каждую ось транспортных средств, перевозящих сортиментную продукцию, так и общей массы подвижного состава в целом.

Основная часть. Как показывает практика, результатом взаимодействия колес большегрузных лесотранспортных единиц с поверхностью дороги является возникновение различного вида разрушений (рисунок 1): колеи, выбоины, возникновение гребенки на дорожном полотне и т.п. Наличие образующихся дефектов не только затрудняют перемещение автотранспорта и снижают скорости его движения, но и приводят к быстрому износу всех систем и узлов транспортных средств.



a

б

a – выбоины; *б* – гребенка

Рисунок 1 – Виды разрушений на автомобильных дорогах

Следовательно, при разработке перспективных образцов лесовозного подвижного состава необходимо свести до минимума нагрузку на ось лесотранспортных средств. При этом кроме стабилизации работы дорожных конструкций, снижение загруженности осей автопоезда положительно скажется на перераспределении массы груза на отдельные элементы транспортных средств, а также увеличит их общую грузоподъемность. Одним из конструктивных решений в данном случае может являться монтаж дополнительных осей на прицепные единицы (прицепы и полуприцепы) лесовозных автопоездов.

В этой связи, для того чтобы усовершенствовать перевозочный процесс, необходимо проанализировать основные виды подвижного состава транспортных средств, применяемого в настоящее время на вывозке древесины. В современных условиях наибольшее практическое применение нашли лесовозные автопоезда [1, 2], состоящие из трехосных автомобилей-сортиментовозов и двухосных прицепов-сортиментовозов (рисунок 2, *a*), а также седельных автомобилей-тягачей и трехосных полуприцепов (рисунок 2, *б*).



a

б

a – с двухосным прицепом; *б* – с трехосным полуприцепом

Рисунок 2 – Общий вид автопоездов-сортиментовозов

На смену хорошо зарекомендовавшим себя двухосным прицепами запроектированы и проходят практическую апробацию прицепы-сортиментовозы, содержащие три оси (рисунок 3).



Рисунок 3 – Автомобиль-сортиментовоз с трехосным прицепом

Концепцией Программы ближайшего перевооружения лесной отрасли предусмотрено проектирование и конструирование новой линейки 4-осных прицепов и полуприцепов сорти-

ментовозов ОАО «МАЗ» – управляющая компания холдинга БЕЛАВТОМАЗ» облегченной конструкции с низким центром тяжести и большей грузоподъемности (рисунки 4 и 5).

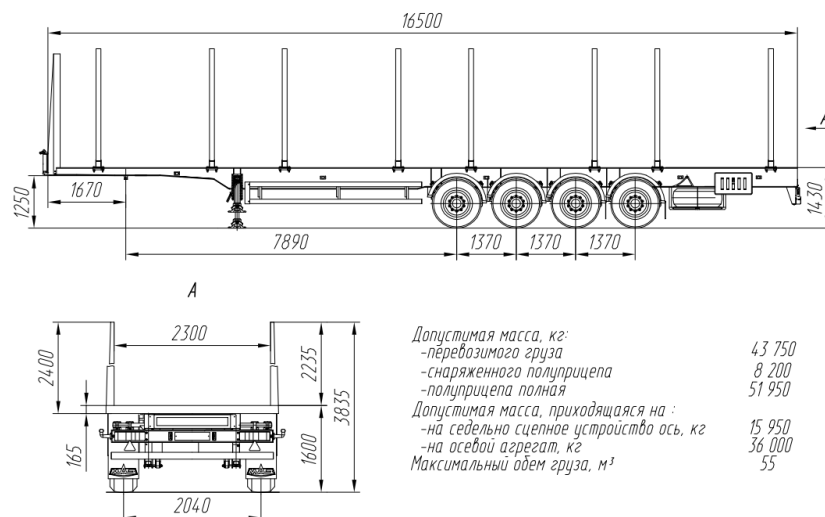


Рисунок 4 – Четырехосный полуприцеп повышенной грузоподъемности

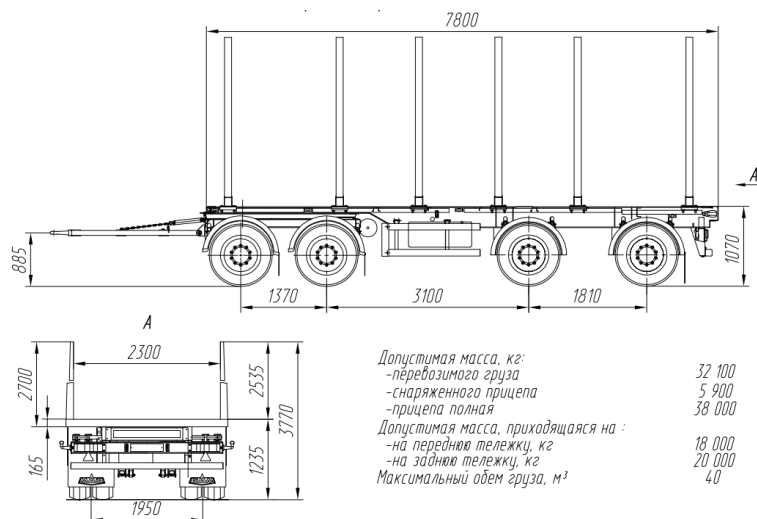


Рисунок 5 – Четырехосный прицеп повышенной грузоподъемности

Заключение. Использование данных прицепов и полуприцепов послужит равномерному распределению осевой нагрузки на дорожное полотно, что приведет к увеличению его срока службы, исходя из перечисленного следует то, что затраты на ремонт и обслуживание дорожного полотна снизятся, а значит уменьшится потребность в рабочей силе; благодаря равномерному распределению осевой нагрузки на дорожное полотно увеличится устойчивость лесовозных автопоездов, что ведет к увеличению допустимых скоростей движения и снижению дорожно-транспортных происшествий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Насковец, М.Т. Транспортное освоение лесов Беларуси и компоненты лесотранспорта: учеб.-метод. пособие / М.Т. Насковец. – Минск: БГТУ, 2010 – 178 с.
2. Техническое задание на разработку автомобильного прицепа МАЗ для перевозки лесоматериалов. ТЗ 893700.1-2017.
3. Техническое задание на разработку автомобильного полуприцепа МАЗ для перевозки лесоматериалов. ТЗ 994850.1 – 2018.
4. Техническое задание на разработку автомобильного четырехосного прицепа МАЗ для перевозки лесоматериалов. ТЗ 894700.1-2019.

**КОММУНИКАЦИОННО-ЛОГИСТИЧЕСКИЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ
ЛЕСОТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕССА**

Насковец М. Т.¹, доц., к.т.н., Борозна А. А.², проф., к. т. н.

¹Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: naskovets@belstu.by

²Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
(Санкт-Петербург, Российская Федерация), e-mail: 3349280@mail.ru

COMMUNICATION-LOGISTICS COMPONENTS FOREST TRANSPORT PROCESS

Naskovets M. T.¹, Assoc. Prof., Ph. D., Borozna A. A.², Prof., Ph. D.

¹Belarusian state technological University
(Minsk, Republic of Belarus)

²Saint Petersburg state forest engineering University named after S. M. Kirov
(Saint Petersburg, Russian Federation)

Аннотация. Материалы доклада раскрывают сущность лесотранспортного процесса, который следует трактовать как доставку лесных грузов от мест их заготовки к пунктам потребления. Также показано, что основными коммуникационно-логистическими составляющими технологии лесных грузоперевозок являются непосредственно перевозочный процесс (логистика перемещения грузов), пути (коммуникации) транспорта древесины (как правило, сортиментов) и погрузочно-складские операции, которые позволяют накапливать и перераспределять круглые лесоматериалы. Кратко рассмотрены некоторые аспекты структуры и дана характеристика составных компонентов транспортно-технологического процесса вывозки, складирования и отгрузки сортиментной продукции.

Ключевые слова: лесотранспортный процесс; лесные грузоперевозки; доставка грузов; коммуникации; логистика перевозок; погрузочно-складские операции

Abstract. The materials of the report reveal the essence of the forest transport process, which should be interpreted as the delivery of timber from their harvesting sites to consumption points. It is also shown that the main communication and logistic components of the technology of forest transportation are directly the transportation process (logistics of moving goods), the paths (communications) of transport of wood (usually assortments) and loading and storage operations that allow you to accumulate and redistribute round timber. Some aspects of the structure and the characteristics of the components of the transport and technological process of transportation, storage and assortment of products are briefly reviewed.

Key words: forest transport process; timber transportation; cargo delivery; communications; transportation logistics; loading and warehouse operations

Если рассматривать общий лесозаготовительный процесс, то с точки зрения лесопромышленного производства его главным образом трактуют как процесс заготовки древесины и ее дальнейшее перемещения от места произрастания лесонасаждений до конечного потребителя [1]. Следует также отметить, что в каждом элементе представленной компонентной структуры применяются свои методы нахождения оптимальных технологических, организационных и управленческих решений.

Как показывает анализ состава совокупности переместительных операций, выполняемых при осуществлении лесных грузоперевозок, то в данном случае их можно отождествлять с общеизвестным процессом доставки грузов [2]. При этом из всего многообразия проводимых операционных работ не все из них могут входить в технологию поставки круглых лесоматериалов. Основными операциями, которые включают в перечень процесса доставки, являются следующие:

- а) материально-техническое снабжение;
- б) комплектование;
- в) упаковка и пакетирование;
- г) разгрузка, погрузка и складирование;
- д) учет;
- е) перевозка;
- ж) внутрискладские переместительные операции;
- з) сбыт.

Рассматривая же лесотранспортный процесс как доставку заготовленной древесины при транспортном освоении лесов [3], нужно констатировать, что в этом случае максимальный положительный эффект при перевозке лесных грузов может быть достигнут только при комплексном использовании всего спектра деятельности предприятия. То есть с решением взаимозависимых коммуникационных и логистических задач. В своей основе коммуникационно-логистическая цепь должна включать: выбор схем размещения дорог в лесном массиве, технологии и организации лесосечно-транспортных работ, выработку маршрутов и доставку готовой продукции (круглых лесоматериалов) конечному потребителю со всеми промежуточными операциями по погрузке, разгрузке, складированию, хранению, учету, обработке и информационному сопровождению лесных грузов.

Таким образом, с учетом постадийного выполнения технологических фаз лесотранспортного процесса, его коммуникационно-логистические составляющие можно разделить на следующие компоненты. В соответствии с выполнением первой фазы процесса доставки лесоматериалов, в местах освоения лесного фонда формируются такой коммуникационный компонент как лесные терминалы, на которых также посредством использования локальных логистических подходов происходит накопление, подсортировка, складирование, учет и отгрузка сортиментной продукции (рисунок 1).



Рисунок 1 – Общий вид лесного терминала и процесс погрузки сортиментов

В качестве терминалов на покрытых лесом территориях могут служить погрузочные пункты либо верхние склады, устраиваемые в пределах осваиваемых лесосек, а также промышленные склады, площадки на которых штабелируется древесины вдоль дорог общего пользования, дорог лесохозяйственного назначения, в местах съезда и разъезда лесовозных автопоездов.

Следующая технологическая фаза процесса лесных грузоперевозок – это перевозочный процесс, компонент, который на основании логистической оценки запасов перевозимых грузов позволяет правильно подобрать подвижной состав (рисунок 2, а) и разработать рациональный маршрут движения лесовозных автопоездов. Кроме того, на стадии перевозок требуется оформление сопроводительной документации на перевозку лесных грузов.

Наряду с этим, неотъемлемой частью данной компоненты служит коммуникационно-транспортная сеть (рисунок 2, б), состоящая из различного вида дорог и обеспечивающая эффективность процесса доставки древесины к местам погрузки и потребления.



Рисунок 2 – Сформированный лесовозный автопоезд для вывозки сортиментов (а) и элемент дорожной сети – лесная дорога (б)

В состав лесотранспортной сети входят автомобильные дороги общего пользования, магистральные лесные дороги и подъезды к ним, кварталные просеки.

Заключительной технологической фазой лесотранспортного процесса следует считать поставку сортиментов в конечные пункты ее потребления или к местам погрузки в вагоны [4]. С коммуникационной точки зрения к ним относят: биржи древесного сырья, площадки-склады доставляемой сортиментной продукции и накопители лесоматериалов для цеховой переработки древесины либо прирельсовые склады сортиментов (рисунок 3).

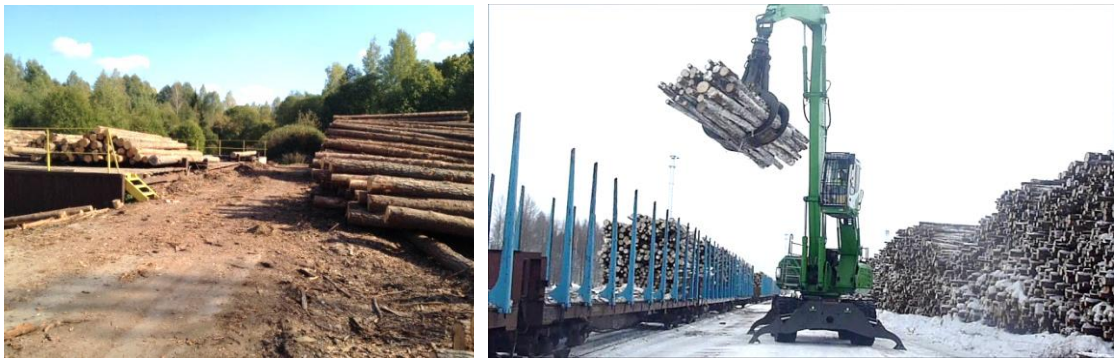


Рисунок 3 – Накопление процесс на складе и погрузка сортиментов в вагоны

На всех стадиях 3-ей фазы лесотранспортного процесса также предусматривают логистическую проработку выполнения проводимых операций и окончательный учет поставляемой древесины, а также оформление транспортной документации.

Таким образом, все вышесказанное дает возможность получить представление об основных коммуникационно-логистических составляющих и их компонентов при поставке лесной продукции от мест заготовки (лесосек) древесины до пунктов ее внутрицехового потребления либо на площадки для дальнейшей отправки потребителям по железной дороге.

ЛИТЕРАТУРА

1. Салминен Э. О., Борозна А. А., Тюрин Н.А. Лесопромышленная логистика: Учебник. – СПб.: Издательство «Лань», 2010. –352 с.
2. Бенсон, Д. Транспорт и доставка грузов: Пер. с англ. / Д. Бенсон, Дж. Уайтхед. – М.: Транспорт, 1990. – 279 с.
3. Насковец, М.Т. Транспортное освоение лесов Беларуси и компоненты лесотранспорта: учеб.-метод. пособие / М.Т. Насковец. – Минск: БГТУ, 2010 – 178 с.
4. Транспортные системы, пути и перевозки лесопродукции. В 3 т. Т. 3. Перевозки лесопродукции: Учебное пособие для вузов / Ф.А. Павлов Ф.А. Павлов, Я.Ф. Молнар, Н.Ф. Павлова, М.О. Соколов, Е.Г. Царев; под ред. проф. Ф.А. Павлова. – Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2003. – 496 с.

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ КОНТЕЙНЕРНЫХ АВТОПЕРЕВОЗОК
ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА**

Насковец М. Т., доц., к.т.н., Цмак М. М., студ., Занько Н. И., студ.
Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: naskovets@belstu.by

CURRENT TRENDS IN CONTAINER TRANSPORT OF THE FOREST COMPLEX

Naskovets M. T., Assoc. Prof., Ph. D., M. M. Tsmak M. M., stud., Sanko N. I., stud.
Belarusian state technological University
(Minsk, Republic of Belarus)

Аннотация. В докладе освещены способы контейнерных грузоперевозок лесозаготовительного производства, которые могут быть использованы на практике и базируются на конструктивном исполнении современного подвижного состава автотранспортных средств, применяемых для перевозки лесных грузов. В частности, рассмотрены технологии выполнения перевозочных процессов на вывозке древесного сырья системой «Multilift». Показана возможность эффективного использования прицепов и полуприцепов в качестве первичных контейнерных транспортных средств в организации доставки круглых лесоматериалов. Дано описание предлагаемой комбинированной системы вывозки сортиментов.

Ключевые слова: лесной комплекс; сортименты; контейнерные перевозки; системы «Multilift»; прицепы; полуприцепы

Abstract. The report highlights the ways of container cargo transportation of logging production, which can be used in practice and are based on the design of modern rolling stock of vehicles used for the transport of forest goods. In particular, the technology of performing transportation processes on the export of wood raw materials by the "Multilift" system is considered. The possibility of effective use of trailers and semi-trailers as primary container vehicles in the organization of round timber delivery is shown. The description of the proposed combined system of sorting is given. Keywords: forest complex; sorting; container transportation; multi-lift systems; trailers; semi-trailers.

Key words: forest complex; sorting; container transportation; multi-lift systems; trailers; semi-trailers

Современное лесозаготовительное производство главным образом предусматривает заготовку и вывозку древесины в виде сортиментов. При этом основными технологическими операциями при проведении работ являются: подвозка сортиментов харвестерами или тележками, их складирование вдоль лесотранспортных путей либо на промежуточных складах и дальнейшая транспортировка лесовозными автопоездами. В данном случае следует отметить, частый контакт круглых лесоматериалов с поверхностью земляного покрова, в тоже время они подвергаются многократной погрузке-разгрузке, что отрицательно сказывается на качестве дальнейшей переработки древесины и производительности проведения погрузочных работ. Одним из направлений совершенствования лесотранспортных процессов может являться внедрение для этих целей контейнерных перевозок.

Контейнерные перевозки в лесном комплексе апробированы при транспортировке щепы [1] лесовозными автомобилями Минского автомобильного завода, оборудованными системой «Multilift» (рисунок 1, а). В случае перевозки на такого вида транспортных средствах сортиментов разрабатываются различные варианты мультилифт-платформ (рисунок 1, б) с установкой на них спереди и сзади щитов для обеспечения устойчивого положения сортиментов при загрузке и выгрузке.



а *б*
а – кузов-бункер; *б* – грузовая платформа

Рисунок 1 – Вид дополнительного оборудования для системы «Multilift»

Применение на вывозке таких контейнерных платформ направлено на снижение вышеназванных негативных моментов при проведении операций лесозаготовительного процесса и снижения времени выполнения погрузочно-разгрузочных работ.

Следует также отметить, что в настоящее время традиционно при осуществлении сортиментной перевозки лесных грузов используются автомобили-сортиментовозы с прицепом и седельные тягачи с полуприцепом. В данном случае в качестве прицепного состава выступают прицепы и полуприцепы (рисунок 2), которые технологически можно использовать в качестве своего рода контейнеров для накопления древесины.



а



б

а – полуприцепы; *б* – прицепы

Рисунок 2 – Прицепные средства для вывозки сортиментов

Преимущество рассматриваемого технологического процесса заключается в том, что тягач приезжая на лесосеку может отцепить прицеп (рисунок 3) или полуприцеп (рисунок 4). А затем, тяговый автомобиль, прицепив загруженные либо находящиеся на лесосеке прицепные средства, доставляет круглые лесоматериалы к местам их переработки. Когда автопоезд вновь возвращается на лесосеку то оставленные прицеп или полуприцеп будет снова загружен для последующей транспортировки. С этой целью в ГЛХУ рационально иметь несколько запасных прицепов и (или) полуприцепов.



а



б

а – автомобиль-сортиментовоз и прицеп; *б* – груженный лесовозный автопоезд

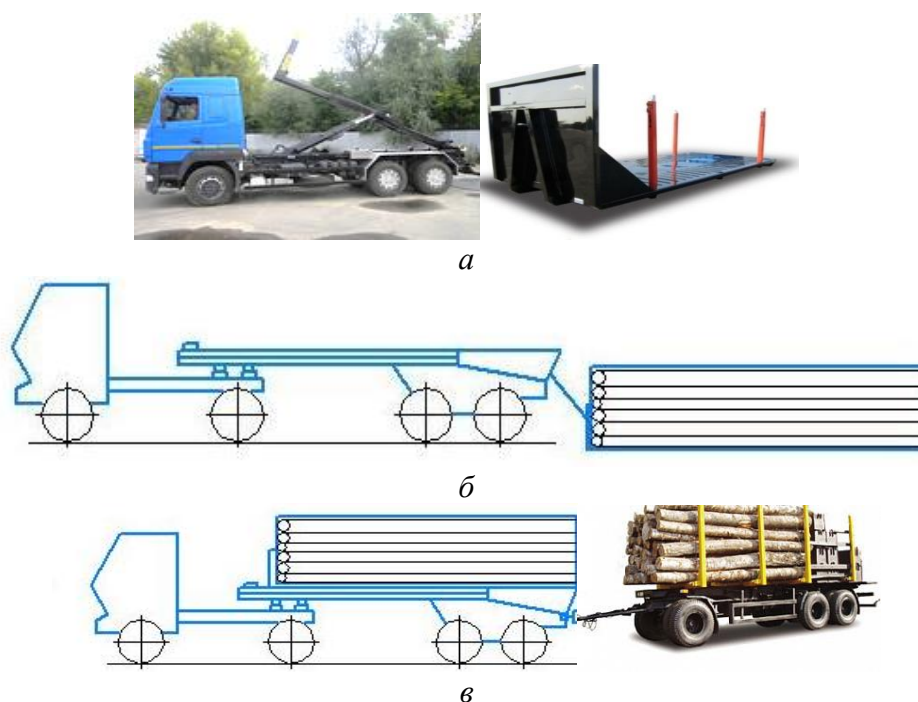
Рисунок 3 – Вывозка древесины автопоездами-сортиментовозами



а – порожний автопоезд-сортиментовоз; *б* – седельний тягач і полуприцеп; *в* – гружений лесовозний автопоезд

Рисунок 4 – Вывозка древесины автопоездами с полуприцепами

Для более эффективного использования контейнерных систем «Multilift» при проведении сортиментных грузоперевозок предлагается агрегатировать их дополнительно с прицепами-сортиментовозами (рисунок 5).



а – разгрузка платформы системы «Multilift»; *б* – погрузка системы «Multilift»; *в* – комбинированный автопоезд с системой «Multilift» и прицепом

Рисунок 5 – Комбинированная контейнерная система

Сформированные таким образом комбинированные контейнерные системы позволяют осуществлять вывозку сортиментов с наименьшими затратами и минимизировать их контакт с почвенно-растительным слоем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Насковец, М.Т. Транспортное освоение лесов Беларуси и компоненты лесотранспорта: учеб.-метод. пособие / М.Т. Насковец. – Минск: БГТУ, 2010 – 178 с.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА РЕКУПЕРАЦИИ
ЭНЕРГИИ В СЕДЕЛЬНО-СЦЕПНОМ УСТРОЙСТВЕ ЛЕСОВОЗНОГО ТЯГАЧА
С ПОЛУПРИЦЕПОМ**

Посметьев В. И., проф., д.т.н. Никонов В. О., доц., к.т.н.,

Посметьев В. В., доц., к.ф.-м.н., Авдюхин А. В., асп.

ФГБОУ ВО Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова

(Воронеж, Россия), e-mail: 8888nike8888@mail.ru

**MATHEMATICAL MODEL OF THE WORKING PROCESS OF ENERGY
RECOVERY IN THE SADDLE-CHAIN DEVICE OF THE FOREST TRUCK
WITH A SEMI-TRAILER**

Posmetev V. I., Prof., D. Sc., Nikonov V. O., Assoc. Prof., PhD,

Posmetev V. V., Assoc. Prof., PhD, Avdyuhin A. V., postgraduate

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Voronezh State University of
Forestry and Technologies named after G. F. Morozov"

(Voronezh, Russia)

Аннотация. Приведена математическая модель рабочего процесса рекуперации энергии в седельно-сцепном устройстве лесовозного тягача с полуприцепом. Для задания возмущающего действия опорной поверхности на корпуса лесовозного тягача и полуприцепа использована упрощенная упруго-вязкая модель колеса. Решение дифференциальных уравнений выполняется на каждом шаге интегрирования численным методом. Интенсивное относительное движение лесовозного тягача и полуприцепа в математической модели описано движением по опорной поверхности со случайными неровностями и движением по ровной горизонтальной поверхности с переменной скоростью. На каждом шаге численного интегрирования определяются мгновенные значения рекуперированной мощности и продольного ускорения полуприцепа с дальнейшим усреднением их значений.

Ключевые слова: Математическая модель; лесовозный тягач; полуприцеп; рекуперация; гидравлическая энергия; седельно-сцепное устройство; сортименты; дорожные условия; производительность; накопление энергии

Abstract. A mathematical model of the energy recovery workflow in a fifth wheel trailer truck with a semitrailer is given. To specify the disturbing action of the supporting surface on the bodies of the forest tractor and semitrailer, a simplified elastic-viscous model of the wheel was used. Differential equations are solved at each integration step by numerical method. The intensive relative motion of the forest tractor and semitrailer in the mathematical model is described by movement along a supporting surface with random irregularities and movement along a flat horizontal surface with variable speed. At each step of numerical integration, the instantaneous values of the recovered power and the longitudinal acceleration of the semi-trailer are determined with further averaging of their values.

Key words: Mathematical model; timber truck; semitrailer; recovery; hydraulic energy; fifth wheel coupling; assortments; road conditions; performance; energy storage

Введение. Транспортирование сортиментов занимает важное место в процессе лесозаготовок. Это обусловлено тем, что затраты на эту операцию во многих случаях превышают половину издержек на выполнение всех лесозаготовительных работ. Для транспортирования сортиментов с верхнего склада к потребителю используются преимущественно лесовозные автопоезда, состоящие из лесовозного тягача и полуприцепа. На эффективность транспортирования сортиментов лесовозными тягачами с полуприцепами оказывает влияние совокуп-

ность присущих им свойств, которые в определенной мере зависят от конструктивного совершенства их основных узлов и, в частности седельно-сцепных устройств.

Выполненный авторами анализ существующих конструкций седельно-сцепных устройств выявил, что почти все конструкции не предусматривают использование кинетической энергии связанными с частыми торможениями и разгонами от взаимодействия сил инерции полуприцепа и лесовозного тягача в процессе движения автопоезда по дорогам низкого качества с частыми подъемами, спусками и поворотами. Эту рассеиваемую энергию целесообразно использовать путем ее преобразования в потенциальную энергию рабочей жидкости, накапливаемую в пневмогидравлических аккумуляторах для последующего использования в технологическом гидравлическом оборудовании. Это позволит повысить эффективность работы лесовозного тягача с полуприцепом за счет значительного снижения расхода топлива и соответственно сокращения количества выбрасываемых в окружающую среду вредных веществ от выхлопных газов.

На основании этого, авторами были предложен ряд перспективных конструкций рекуперативных седельно-сцепных устройств для использования в лесовозных тягачах с полуприцепами. Работа этих устройств основана на аккумулировании и использовании кинетической энергии, возникающей от силы инерции масс полуприцепа и тягача при торможении, разгоне, поворотах, переключении передач и наезде на препятствия в процессе движения. Они позволяют накапливать и повторно использовать гидравлическую энергию в технологическом оборудовании, установленном на лесовозном тягаче с полуприцепом. Для оценки возможности и целесообразности применения одного из предлагаемых седельно-сцепных устройств с системой рекуперации гидравлической энергии, поставлена задача, разработать математическую модель движения лесовозного тягача с полуприцепом, оснащенным системой рекуперации энергии в седельно-сцепном устройстве [1-3].

Материалы и методы. Лесовозный тягач с полуприцепом описывается в математической модели двумя абсолютно твердыми телами, контактирующими с опорной поверхностью за счет упругого взаимодействия в десяти точках, а также выполняющими в трехмерном пространстве поступательное и вращательное движение (рисунок 1). Лесовозный тягач в точке A и полуприцеп в точке B соединены друг с другом рекуперативным седельно-сцепным устройством. Моменты инерции лесовозного тягача J_T и полуприцепа J_{Π} определяются для текущего момента времени на основании их масс m_T и m_{Π} относительно оси вращения тела. Описание расположения в пространстве лесовозного тягача с полуприцепом выполняется координатами их центров тяжести (x_T, y_T, z_T) , $(x_{\Pi}, y_{\Pi}, z_{\Pi})$, а также углами отклонения локальной системы координат тел $(\varphi_{xT}, \varphi_{yT}, \varphi_{zT})$, $(\varphi_{x\Pi}, \varphi_{y\Pi}, \varphi_{z\Pi})$ от базовой системы координат [4-10].

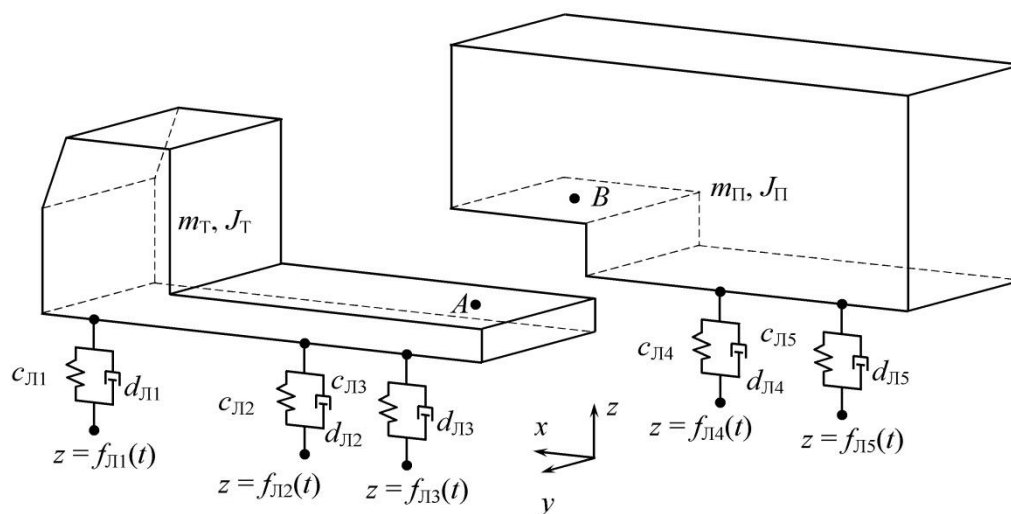


Рисунок 1 – Схема динамической модели лесовозного автопоезда

Движение лесовозного тягача с полуприцепом представлено в математической модели системой дифференциальных уравнений второго рода, составленных путем использования основных законов динамики поступательного и вращательного движения:

для лесовозного тягача: F

$$\left\{ \begin{array}{l} m_T \frac{\partial^2 x_T}{\partial t^2} = \sum_{i=1}^3 F_{Лi}^x + \sum_{i=1}^3 F_{Пi}^x + F_{Ax} \\ m_T \frac{\partial^2 y_T}{\partial t^2} = \sum_{i=1}^3 F_{Лi}^y + \sum_{i=1}^3 F_{Пi}^y + F_{Ay}; \\ m_T \frac{\partial^2 z_T}{\partial t^2} = -m_T \cdot g + \sum_{i=1}^3 F_{Лi}^z + \sum_{i=1}^3 F_{Пi}^z + F_{Az}; \\ J_{Tx} \frac{\partial^2 \phi_{xT}}{\partial t^2} = \sum_{i=1}^3 M^x(F_{Лi}) + \sum_{i=1}^3 M^x(F_{Пi}) + M^x(F_A); \\ J_{Ty} \frac{\partial^2 \phi_{yT}}{\partial t^2} = \sum_{i=1}^3 M^y(F_{Лi}) + \sum_{i=1}^3 M^y(F_{Пi}) + M^y(F_A); \\ J_{Tz} \frac{\partial^2 \phi_{zT}}{\partial t^2} = \sum_{i=1}^3 M^z(F_{Лi}) + \sum_{i=1}^3 M^z(F_{Пi}) + M^z(F_A), \end{array} \right. \quad (1)$$

для полуприцепа:

$$\left\{ \begin{array}{l} m_{П} \frac{\partial^2 x_{П}}{\partial t^2} = \sum_{i=4}^5 F_{Лi}^x + \sum_{i=4}^5 F_{Пi}^x + F_{Bx} \\ m_{П} \frac{\partial^2 y_{П}}{\partial t^2} = \sum_{i=4}^5 F_{Лi}^y + \sum_{i=4}^5 F_{Пi}^y + F_{By}; \\ m_{П} \frac{\partial^2 z_{П}}{\partial t^2} = -m_{П} \cdot g + \sum_{i=4}^5 F_{Лi}^z + \sum_{i=4}^5 F_{Пi}^z + F_{Bz}; \\ J_{Пx} \frac{\partial^2 \phi_{xП}}{\partial t^2} = \sum_{i=4}^5 M^x(F_{Лi}) + \sum_{i=4}^5 M^x(F_{Пi}) + M^x(F_B); \\ J_{Пy} \frac{\partial^2 \phi_{yП}}{\partial t^2} = \sum_{i=4}^5 M^y(F_{Лi}) + \sum_{i=4}^5 M^y(F_{Пi}) + M^y(F_B); \\ J_{Пz} \frac{\partial^2 \phi_{zП}}{\partial t^2} = \sum_{i=4}^5 M^z(F_{Лi}) + \sum_{i=4}^5 M^z(F_{Пi}) + M^z(F_B), \end{array} \right. \quad (2)$$

где t – время; $F_{Лi}$ и $F_{Пi}$ – силы, действующие на раму лесовозного тягача или полуприцепа от колес i -й оси через элементы подвески левого (индекс "Л") и правого (индекс "П") бортов; F_{Ax} , F_{Ay} , F_{Az} – декартовы составляющие силы, действующей на лесовозный тягач со стороны седельно-цепного устройства; F_{Bx} , F_{By} , F_{Bz} – декартовы компоненты сил, действующих на полуприцеп со стороны седельно-цепного устройства; M^i – моменты указанных сил относительно оси i .

Для задания возмущающего действия опорной поверхности на рамы лесовозного тягача и полуприцепа использовали упрощенную упруго-вязкую модель колеса, упрощая систему «колесо-подвеска» до одной, более простой, системы, характеризующейся двумя коэффициентами: жесткости и демпфирования. Сила, воздействующая со стороны колеса на раму лесовозного тягача, определялась по формуле:

$$F_i^z = c_i (z_{\Pi i}(x_i, y_i) + R_K - z_{Ki}) - d_i \left(\frac{\partial z_{\Pi i}(x_i, y_i)}{\partial t} - \frac{\partial z_{Ki}}{\partial t} \right), \quad (3)$$

где i – индекс колеса; c_i, d_i – коэффициенты жесткости и демпфирования упруго-вязкого взаимодействия; $z_{\Pi i}(x, y)$ – вертикальная координата поверхности под колесом, равная координате нижней точки колеса; z_{Ki} – вертикальная координата точки крепления колеса к раме; R_K – радиус колеса.

Система уравнений движения лесовозного тягача и полуприцепа представляет собой систему дифференциальных уравнений второго порядка. Численное решение дифференциальных уравнений заключается в дискретизации времени t на равные шаги величиной Δt , которые нумеруются переменной τ . На каждом шаге интегрирования необходимо рассчитать силы и моменты, действующие на корпуса лесовозного тягача и полуприцепа. Далее, по известным координатам и скоростям движения тел для текущего шага интегрирования выполняется расчет координаты и скорости тел для следующего шага интегрирования. В частности, для декартовой компоненты x численное интегрирование уравнений движения определенного тела в рамках рассматриваемого метода производится по формуле:

$$\begin{cases} x_{\tau+1} = x_{\tau} + v_{x\tau} \cdot \Delta t + \frac{F_{x\tau}}{m} \cdot \frac{(\Delta t)^2}{2}; \\ v_{x\tau+1} = v_{x\tau} + \frac{F_{x\tau}}{m} \cdot \Delta t, \end{cases} \quad (4)$$

где x_{τ} и $v_{x\tau}$ – координата и скорость движения тела массой m вдоль декартового направления x на предыдущем шаге интегрирования по времени τ ; $x_{\tau+1}$ и $v_{x\tau+1}$ – то же, на последующем шаге интегрирования по времени $\tau + 1$. Аналогично, численное интегрирование выполняется для остальных декартовых компонентов y и z , при этом интегрирование выполняется для обоих тел: корпуса лесовозного тягача и корпуса полуприцепа.

В результате решения дифференциальных уравнений численным методом получают таблично заданные функции зависимости от времени координат и углов взаимной ориентации лесовозного тягача и полуприцепа. Эти функции анализируются далее для оценки эффективности системы рекуперации. Для воспроизведения работы системы рекуперации седельно-сцепного устройства необходимо в модели создать интенсивное относительное движение лесовозного тягача и полуприцепа. В разработанной модели это делается двумя способами: движением по опорной поверхности со случайными неровностями, движением по ровной горизонтальной поверхности с переменной скоростью. Случайные неровности в модели задаются исходя из реальных условий эксплуатации лесовозного тягача с полуприцепом. Значительная доля пути лесовозного тягача с полуприцепом приходится на подъездные асфальтированные дороги низкого качества, грунтовые лесовозные дороги, зимники. Для передачи в модели сложного случайного рельефа поверхности, считали, что возмущающая функция колес каждого борта состоит из набора выступов гауссовой формы. Высота и протяженность гауссовых пиков задаются случайным образом и изменяются в широких пределах: от «препятствий» (имитирующих камни, пни, выступающие корни и т.п.), имеющих малую протяженность (порядка 0,2–0,5 м), до «холмов», имеющих большую протяженность (порядка 2–5 м) (рисунок 2).



Рисунок 2 – Пример опорной поверхности для исследования нагрузок на седельно-сцепное устройство лесовозного тягача с полуприцепом: фрагменты функций $z(x)$ для колес левого (синяя линия) и правого (красная линия) бортов (длина фрагментов 20 м)

Опорная поверхность задавала функцию высоты поверхности от координат точки контакта $z(x, y)$, как суперпозицию гауссовских пиков с параметрами (x_i, y_i) (положение выступа), H_i (высота выступа) и σ_i (среднеквадратическое отклонение, задающее ширину выступа):

$$z(x) = \sum_{i=1}^{N_X} H_{X_i} \exp\left(-\frac{(x - x_{X_i})^2}{\sigma_{X_i}^2}\right) + \sum_{i=1}^{N_{\Pi}} H_{\Pi_i} \exp\left(-\frac{(x - x_{\Pi_i})^2}{\sigma_{\Pi_i}^2}\right), \quad (5)$$

где N_X и N_{Π} – количество холмов и препятствий; H_{X_i} и H_{Π_i} – высоты холмов и препятствий; x_{X_i} и x_{Π_i} – координаты расположения центра холмов и препятствий; σ_{X_i} и σ_{Π_i} – характерная полуширина холмов или препятствий.

Гауссовы пики распределялись по длине контрольного участка 500 м случайным образом по равномерному закону. При этом параметры H_i и σ_i также выбирались случайным образом по равномерному закону из интервалов: от 0 до 0,6 м для H_i и от 0,2 до 4,0 м для σ_i . Число гауссовых пиков, имитирующих холмы и препятствия, рассчитывалось в соответствии с таблицами параметров для различных типов дорожно-грунтовых условий.

Рассматриваемая система рекуперации преобразует неблагоприятные колебания расстояния между лесовозным тягачом и полуприцепом в месте соединения (седельно-сцепном устройстве) в полезную энергию, запасаемую пневмогидравлическим аккумулятором, и используемую далее, например, при работе гидравлического манипулятора. В одном из вариантов модель позволяет оценить среднюю величину рекуперированной мощности N_p без учета конструкции системы рекуперации и гидравлической подсистемы, лежащей в ее основе. В этом случае оценка N_p производится по величине рассеиваемой мощности в условном демпфере седельно-сцепного устройства: через коэффициент вязкого трения в приближении упруго-вязкого контакта точек A и B .

В процессе моделирования рассчитываются характеристики, которые позволяют определить как рекуперативный эффект, так и неблагоприятные последствия оснащения седельно-сцепного устройства системой рекуперации. В качестве основных показателей эффективности системы рекуперации выбраны рекуперированная мощность (мгновенная и средняя) и среднее ускорение полуприцепа (мгновенное и среднее). На каждом шаге численного интегрирования определялось мгновенное значение рекуперированной мощности N_p по изменению расстояния между точками A и B седельно-сцепного устройства в продольном направлении:

$$N_p(\tau) = d_0 \left(\frac{D_{24}}{D_{240}} \right)^2 \left(\frac{|x_A^\tau - x_A^{\tau-1}|}{\Delta t} - \frac{|x_B^\tau - x_B^{\tau-1}|}{\Delta t} \right)^2, \quad (6)$$

где d_0 – эффективный коэффициент демпфирования от рекуперативных гидроцилиндров; D_{240} – рабочий диаметр рекуперативных гидроцилиндров (в основных расчетах использовалось оптимальное его значение 50 мм); D_{24} – рабочий диаметр используемых рекуперативных гидроцилиндров; x_A и x_B – продольная координата точки седельно-сцепного устройства тягача и полуприцепа соответственно; индексы τ и $\tau-1$ обозначают текущий и предыдущий шаги интегрирования по времени дифференциальных уравнений движения.

Оснащение седельно-сцепного устройства системой рекуперации может ухудшить демпфирующие свойства седельно-сцепного устройства и привести к неблагоприятным колебаниям полуприцепа относительно лесовозного тягача. Поэтому в разработанной модели наряду с рекуперированной мощностью оценивается ускорение полуприцепа в продольном направлении. Мгновенное продольное ускорение полуприцепа на шаге интегрирования τ рассчитывалось по формуле:

$$a_{\Pi}(\tau) = \frac{x_{\Pi}^{\tau+1} + x_{\Pi}^{\tau-1} - 2x_{\Pi}^{\tau}}{(\Delta t)^2}, \quad (7)$$

где $x_{П}^{\tau-1}$, $x_{П}^{\tau}$, $x_{П}^{\tau+1}$ – координаты центра тяжести полуприцепа вдоль продольной декартовой оси OX в предыдущий $\tau-1$, текущий τ и последующий $\tau+1$ шаги интегрирования по времени дифференциальных уравнений.

После выполнения расчетов по функциям $N_p(t)$ и $a_{П}(t)$ определялись два показателя $N_{рс}$ и $a_{Пс}$, усредненных по достаточно длительному временному интервалу:

$$N_{рс} = \frac{1}{\tau_k - \tau_n} \sum_{i=\tau_n}^{\tau_k} N_p(\tau), \quad (8)$$

$$a_{Пс} = \frac{1}{\tau_k - \tau_n} \sum_{i=\tau_n}^{\tau_k} |a_{П}(\tau)|, \quad (9)$$

где τ_n и τ_k – шаги интегрирования времени, в которые начинается и заканчивается усреднение.

В данном случае рассматриваемое усреднение производится не от начала компьютерного эксперимента, так как в первые моменты времени механическая система приходит в состояние равновесия и не до конца компьютерного эксперимента, так как в конце лесовозный тягач с полуприцепом может покинуть участок со случайным рельефом.

Результаты. Разработанная математическая модель рабочего процесса рекуперации энергии в седельно-сцепном устройстве лесовозного тягача с полуприцепом, позволяет оценить работоспособность системы рекуперации энергии с различными задаваемыми параметрами в изменяющихся условиях движения лесовозного тягача с полуприцепом. Также она позволяет выявить закономерности влияния основных конструктивных параметров седельно-сцепного устройства на показатели эффективности системы рекуперации гидравлической энергии, с целью определения их оптимальных значений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Посметьев, В. И. Перспективная конструкция рекуперативного седельно-сцепного устройства лесовозного тягача с полуприцепом / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев // Лесотехнический журнал. 2019. № 3. С. 180-192.
2. Никонов, В. О. Анализ конструктивных особенностей седельно-сцепных устройств тягачей с полуприцепами / В. О. Никонов, В. И. Посметьев, Т. Н. Фомин // Воронежский научно-технический вестник. 2019. Т. 1. № 1 (27). С. 20-32.
3. Посметьев, В. И. Перспективная конструкция рекуперативного пружинно-гидравлического седельно-сцепного устройства лесовозного тягача с полуприцепом / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, А. В. Авдюхин // Актуальные направления научных исследований XXI века : теория и практика, 2020 № 1(48). С. 299-305.
4. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем : учебное пособие – М. : Высш. шк., 1998. 319 с.
5. Посметьев, В. И. Результаты компьютерного моделирования рекуперативного тягово-сцепного устройства лесовозного автомобиля с прицепом / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев // Лесной журнал. 2019, № 4. С. 108-123.
6. Румшинский, Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента : справочное руководство / Л. З. Румшинский – М. : Наука, 1971. 192 с.
7. Грановский, В. А. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях : учеб. пособие / В. А. Грановский, Т. Н. Сирая – Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. 288 с.
8. Расчет и проектирование строительных и дорожных машин на ЭВМ / Под ред. Е. Ю. Малиновского. – М. : Машиностроение, 1980. 216 с.
9. Инженерные расчеты на ЭВМ : Справочное пособие / Под ред. В. А. Троицкого. – Л. : Машиностроение, 1979. 288 с.
10. Дегтярев, Ю. И. Методы оптимизации : Учеб. пособие для вузов. – М. : Сов. радио, 1980. 272 с.

АЛГОРИТМ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОЛЕСНОГО И КОМБИНИРОВАННОГО ДВИЖИТЕЛЕЙ НА ЛЕСНЫЕ ПОЧВОГРУНТЫ

Протас П. А., доц., к.т.н., Мисуно Ю. И., асп.

Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: protas@belstu.by; julia.misuno@yandex.ru

ALGORITHM FOR A COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE IMPACT OF WHEELED AND COMBINED MOVERS ON FOREST SOILS

Protas P. A., Assoc. Prof., Misuno Yu. I., PhD stud.

Belorussian State Technological University
(Minsk, Belarus)

Аннотация. Ужесточение требований к проведению лесозаготовительных работ с учетом обеспечения экологической безопасности лесных экосистем ведет к повышению требований к лесным машинам, их конструктивным и технологическим параметрам. При оценке и выборе лесозаготовительных машин значительное внимание должно уделяться характеру воздействия их на почвогрунт, которое характеризуется давлением движителя на опорное основание, а также состоянием лесного почвогрунта после разработки лесосеки.

В то же время на предприятиях лесозаготовительного профиля за частую такая оценка не проводится из-за отсутствия простой и достаточно точной методики. В соответствии с этим, в данной работе были предложены оценочные показатели и алгоритм сравнительной оценки воздействия колесного и комбинированного движителей на лесные почвогрунты. В последующих исследованиях результаты этой работы позволят разработать расчетную методику, которая даст возможность принимать решения по выбору типа и параметров движителя для обеспечения ведения экологически безопасных лесозаготовок.

Ключевые слова: воздействие; лесной почвогрунт; движитель; алгоритм; критерии; уплотнение; колеобразование

Abstract. The tightening of the requirements for harvesting, taking into account the environmental safety of forest ecosystems, leads to increased requirements for forest machines, their design and technological parameters. When assessing and choosing forestry machines, considerable attention should be paid to the nature of their impact on the soil, which is characterized by the pressure of the propeller on the support base, as well as the state of the forest soil after the cutting of the cutting area.

At the same time, at the enterprises of the logging profile, such an assessment is often not carried out due to the lack of a simple and sufficiently accurate methodology. In accordance with this, in this work, estimated indicators and an algorithm for the comparative assessment of the impact of the wheeled and combined propellers on forest soils were proposed. In subsequent studies, the results of this work will allow the development of a computational methodology that will make it possible to make decisions on the choice of the type and parameters of the propulsion unit to ensure the conduct of environmentally friendly logging.

Key words: impact; forest soil; mover; algorithm; indicators; compaction; rutting

Введение. Сегодня основное применение в Беларуси при заготовке древесины находят колесный и комбинированный типы движителей. Причем одной из особенностей их использования заключается в том, что одна и та же машина, которая имеется на балансе предприятия, может работать как с колесным, так и с комбинированным (колесно-гусеничным) движителем в зависимости от того, в каких условиях будет работать машина и какое воздействие оно при этом окажет. В то же время, на данный момент границы или пределы природно-производственных условий использования данных типов движителей пока четко не определены, что обусловило необходимость их сопоставления.

Конструкции и параметры движителей современных лесозаготовительных машин могут отличаться в зависимости от общей конструкции машины, условий эксплуатации, требований, предъявляемых к лесной технике и др. Основные конструктивные параметры изучаемых движителей представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры движителей лесных машин

Колесный движитель	Комбинированный движитель
	
<ul style="list-style-type: none"> – типоразмер шины: диаметр, ширина и высота профиля; – конструкция: радиальная, диагональная; – допустимое минимальное и максимальное внутреннее давление воздуха в шинах; – норма слойности; – параметры грунтозацепов. 	<ul style="list-style-type: none"> – ширина и длина плец; – шаг между плечами; – тип профиля плеч; – параметры грунтозацепов; – масса.

При выборе системы машин в процессе проектирования технологического процесса лесосечных работ, в том числе, необходимо осуществлять и сравнение движителей рассматриваемых лесных по нескольким направлениям: по показателям проходимости; по экономической эффективности; по экологическому воздействию.

Оценка по экологическому воздействию является важной составляющей при определении эффективности работы лесных машин. Однако на предприятиях, как правило, такую оценку не проводят в виду отсутствия соответствующей методики. Поэтому целью данного исследования является определение оценочных показателей экологического воздействия движителей на почвогрунт и разработка алгоритма по их определению с последующим проведением сравнительного анализа и принятия окончательного решения по выбору типа движителя с учетом условий эксплуатации.

Вопросами исследования и оценки воздействия движителей на почвогрунт занимаются не одно десятилетие. Имеющиеся в настоящее время результаты этих исследований дают необходимое представление о процессах, происходящих по ходу движения лесной техники по грунтам с различными свойствами и параметрами. Основное воздействие, которое оказывает движитель на деформируемую поверхность почвогрунта, ведет к частичному или полному повреждению его структуры, потере несущей способности, уплотнению и деформации почвогрунта. Это в свою очередь негативно сказывается на способности почвогрунта к последующему лесовозобновлению.

Для оценки и сравнения движителей с точки зрения их экологического воздействия на почвогрунт был предложен ряд критериев или показателей. Эти показатели дают возможность не только оценить воздействие, но и охарактеризовать состояние почвогрунта после прохода техники. Далее приводится перечень предлагаемых оценочных показателей: среднее давление движителя на почвогрунт; уплотнения почвогрунта; глубины колеи; деформации сдвига.

Материалы и методы. Как показывает анализ литературных источников, для теоретического рассмотрения процесса деформации почвогрунта при воздействии на нее могут быть использованы два подхода. Первый подход основан на определении эпюр нормальных и касательных давлений в контакте, их интегрировании и приравнении силам, приложен-

ным к оси колеса [1], второй – на рассмотрении лишь характерных зон поверхности контакта, параметры которых аналитически выражаются через деформацию шины и грунта [2].

В дальнейших исследованиях предложено объединить данные подходы, так как они включают в себя два взаимозависимых показателя, которые характерны при воздействии движителя на почвогрунт: напряжения, которые возникают в почвогрунте в результате действия нормальных и тангенциальных сил от движителя, и деформация, как результат воздействия этих сил. В целом, уже можно сказать, что описание процесса воздействия движителя лесной машины на почвогрунт будет осуществляться на основании теорий механики сплошной среды, а описание характера изменения состояния почвогрунта – в соответствии с его реологическими свойствами.

Результаты. Согласно ранее проведенным исследованиям [3, 4] характер деформации при погружении движителя в массив почвогрунт существенно зависит от его состояния (влажности для связного грунта, плотности для песка и снега), от толщины деформируемого слоя почвогрунта, а также модулей деформации и упругости. Со стороны движителя существенное влияние будет оказывать нагрузка, которая передается от движителя на опорное основание, параметры движителя, а также соотношение его длины и ширины. Соответственно данные показатели могут выступать в качестве исходных данных для расчета оценочных показателей воздействия движителя на почвогрунт.

В процессе воздействия движителя на лесной почвогрунт происходит уплотнение и сдвиг почвогрунта, а его непосредственную деформацию в результате прохода машины отображает глубина колеи. Эти процессы обусловлены несколькими составляющими:

- воздействием нормального давления;
- касательной нагрузкой в массиве почвогрунта, возникающей при вдавливании движителя в почвогрунт;
- касательной нагрузкой по пятну контакта, возникающей при буксовании движителя [5].

Нормальной составляющей деформации почвогрунта является действие вертикальной нагрузки от движителя на единицу площади опорной поверхности или давление движителя. Это одна из основных характеристик, которая используется для оценки экологической эффективности лесной машины.

Общая формула среднего давления движителя на опорное основание имеет простой вид, но сложность в ней заключается в определении контактной площади. Здесь необходимо учитывать, что деформации подвергается как лесной почвогрунт, так и пневматическое колесо, за счет чего увеличивается площадь воздействия. На данный момент применяется большое количество расчетных формул для определения этого параметра, однако получаемые результаты в значительной степени отличаются друг от друга [6]. Потому есть необходимость в том, что подготовить достаточно точную и простую формулу для определения давления колесного движителя на лесной почвогрунт. Что касается комбинированного движителя, то в данном случае могут быть использованы методики расчета для гусеничного движителя [7].

Следствием действия нагрузок от движителя является уплотнение почвогрунта, которое и приводит к осадке или погружению движителя на определенную глубину. В механике грунтов для упрощенного описания зависимости между относительной осадкой движителя и нагрузкой на почвогрунт используют линейный закон Гука [8]:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}, \quad (1)$$

где ε – относительная линейная деформация; σ – нормальное напряжение почвогрунта; E – модуль деформации почвогрунта.

Соответственно можно принять, что существует связь между относительной деформацией и уплотнением почвогрунта. Одной из наиболее простых зависимостей для описания этой связи является следующее уравнение [9]:

$$\Delta\rho = \varepsilon \cdot \rho_0, \quad (2)$$

где $\Delta\rho$ – увеличения плотности почвогрунта после оказания нагрузки; ρ_0 – первоначальная плотность почвогрунта.

В то же время необходимо отметить, что использование данных зависимостей в чистом виде не обеспечит достоверного результата. Для математического описания процесса деформации почвогрунта и определения значения относительной линейной деформации необходимо определить какими свойствами обладает почвогрунт в результате действия внешних нагрузок. Согласно ранее проведенным исследованиям [10] было установлено, что под движущейся машиной процесс осадки почвогрунта и его сдвиг движителем происходят быстро, почти без релаксационных явлений, т.е. практически сразу после упругой возникает пластическая деформация (необратимая остаточная). Данное явление означает понижение с течением времени в деформированном материале предела упругости, иными словами, расслабление за счет снижения сил сцепления грунта [11].

В то же время при движении машин по связным грунтам восстановление либо не происходит, либо оно частично. Во втором случае деформация почвогрунта включает в себя как упругую, так и пластическую части, т.е.

$$\varepsilon_i = \varepsilon_i^e + \varepsilon_i^p, \quad (3)$$

где $\varepsilon_i^e = \sigma_i / E$, а $\varepsilon_i^p = f(\sigma_i)$. Такое деформирование иногда называют пластическим деформированием с упрочнением [11].

При этом пластичные, вязкоразрушающиеся грунты (в частности, пластичные глины) могут не разрушаться в процессе сжатия, а лишь сплющиваться. Диаграмма деформирования таких материалов не имеет экстремальной точки, а характеризуется непрерывным возрастанием напряжений. В таких случаях пользуются понятием условного предела прочности, принимая под последним напряжением, при котором деформация достигла какой-либо определенной, достаточной большой величины. Например, предела текучести.

Влияние горизонтальной деформации от приложенных сдвигающих (тангенциальных) усилий в механике грунтов принято описывать уравнением Кулона:

$$\tau = c + p \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (4)$$

где τ – сопротивление сдвигу; p (σ) – нормальное напряжение (давление); φ – угол внутреннего трения грунта; $\operatorname{tg}\varphi$ – коэффициент внутреннего трения; c – сцепление грунта.

На глубину колеи существенное влияние оказывает буксование движителя лесной машины, способствующее разрушению структуры почвогрунта. Для того чтобы учесть влияние буксования машины в работе [12] предложена следующая зависимость:

$$\tau = (c + p \cdot \operatorname{tg}\varphi) \left(1 - e^{-\frac{\gamma}{\delta}} \right), \quad (5)$$

где γ – величина деформации сдвига; δ – коэффициент буксования.

На основании всего вышеописанного, при определении деформации почвогрунта необходимо учитывать совместное воздействие нормальных и касательных напряжений, соответственно, результирующая нагрузка от движителя будет определяться по следующей формуле [5]:

$$p = \sqrt{q^2 + \tau^2}. \quad (6)$$

Данные теоретические исследования необходимы для определения направления дальнейшей работы по созданию расчетной методики оценки экологического воздействия движителей лесных машин на почвогрунт. Данная методика станет одной из основных составляющих алгоритма сравнительного анализа типов движителей, а последовательность этапов данного алгоритма можно представить в виде схемы, которая показана на рисунке.



Рисунок 1 – Схема алгоритма сравнительного анализа движителей лесных машин

Согласно приведенной схеме алгоритма одним из заключительных этапов является сравнительный анализ полученных результатов, т.е. полученные в результате расчетов оценочные показатели воздействия колесного и комбинированного движителя сравниваются между собой. Результаты данного сравнения должны быть учтены на этапе принятия решения и выбора типа движителя с точки зрения обеспечения необходимого уровня экологической безопасности лесозаготовок.

Обсуждение. В разработанной схеме алгоритма сравнительного анализа движителей лесных машин включен промежуточный этап. Для принятия решения по выбору типа и параметра движителя зачастую требуется введение изменений или дополнительных условий в случае, если ни один из рассматриваемых вариантов не обеспечивает допустимых значений по оценочным показателям. Например, предварительные расчеты могут не включать в себя проведение дополнительных мероприятий по снижению воздействия на почвогрунт: армирование волока порубочными остатками, сезонное проведение лесозаготовок, изменение параметров и расположения технологических элементов лесосеки и др.

При расчетах также могут быть скорректированы параметры движителя. Для комбинированного типа движителя можно рассмотреть установку съемных гусениц с другими параметрами. В настоящее время производители съемных гусениц специализируются на выпуске как универсальных, так и специализированных гусениц, которые обеспечивают низкое давление на почвогрунт или высокие показатели проходимости. При расчете воздействия колесного движителя могут быть дополнительно введены изменения в значениях внутреннего давления воздуха в шинах или в целом параметров колеса лесной машины.

В целом изменение параметров движителя может осуществляться на основании значения допустимого давления на почвогрунт, который зависит от несущей способности почвогрунта [13]. В этом случае задача решается от обратного. В то же время при прове-

дении лесосечных работ на слабых грунтах предусматривается ряд технологических и организационных мер, а именно укрепление трелевочного волокна порубочными остатками и организация работ преимущественно в зимний период или в сухое лето. И тогда допустимое давление движителя на почву можно принять выше с учетом этих мероприятий [13].

Заключение. Следует отметить, что помимо сравнения экологического воздействия движителей не менее важным критерием их оценки является показатель проходимости, так как от него зависит эффективность выполняемых транспортно-переместительных операций на лесосеке и всего технологического процесса в целом. Только на основании комплексного анализа и сравнения движителей по экологическим, эксплуатационным и экономическим показателям может приниматься решение при проектировании технологического процесса лесосечных работ.

Полученные оценочные показатели и алгоритм для определения и сравнительного анализа воздействия колесного и комбинированного типов движителей на лесной почвогрунт представляет собой основу для разработки методологии оценки эксплуатационно-экологической совместимости движителей лесных машин с почвогрунтами, которая в дальнейшем должна найти применение на предприятиях лесозаготовительного и машиностроительного профилей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агейкин, Я.С. Вездеходные колесные и комбинированные движители / Я.С. Агейкин. – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.
2. Минаев, А.Н. Математическая модель процесса образования колеи под воздействием колесных лесных машин / А.Н. Минаев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2013. – №5. – С. 142–149.
3. Мисуно, Ю.И. Влияние показателей взаимодействия движителей с лесными почвогрунтами на параметры технологических элементов лесосеки / Ю.И. Мисуно, П.А. Протас // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2019. – № 2. – С. 197–203.
4. Протас, П.А. Структурная схема и критерии оценки эксплуатационно-экологической совместимости лесных машин с почвогрунтами / П.А. Протас, Ю.И. Мисуно // Труды БГТУ. №2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 2016. – № 2. – С. 248–253.
5. Хитров, Е.Г. Анализ составляющих глубины колеи, образующейся под воздействием движителя лесной машины на почвогрунт / Е.Г. Хитров // Resources and Technology. – 2019. – №16. – С. 77–93.
6. Saarilahti, M. Tyre / soil models for predicting rut formation and soil compaction. Survey on soil deformation for studying the mobility of forest tractors: Protocol for Ecoefficient Wood Harvesting on Sensitive Sites (Ecowood). Appendix No. 7. Forest Soil Properties. – University of Helsinki, Department of Forest Resource Management, 2002. – 19 p.
7. Poršinsky, T. Ecoefficient timber forwarding based on nominal ground pressure analysis / T. Poršinsky, I. Stankić, A. Bosner // Croatian Journal of Forest Engineering. – 2011. – №31. – P. 345–356.
8. Агейкин, Я.С. Проходимость автомобилей. – М.: Машиностроение, 1981. – 232 с.
9. Анисимов Г. М. Большаков Б. М. Основы минимизации уплотнения почвы трелевочными системами /ЛТА. СПб., 1998. 108 с.
10. Беккер, М.Г. Введение в теорию систем местность – машина / М.Г. Беккер. – М.: Машиностроение, 1973. – 520 с.
11. Вялов, С.С. Реологические основы механики грунтов: учеб. пособие / С.С. Вялов. – М.: Высш. школа, 1978. – 447 с.
12. Агейкин, Я.С. Вездеходные колесные и комбинированные движители / Я.С. Агейкин. – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.
13. Мисуно, Ю. И. Повышение работоспособности трелевочных волоков на заболоченных участках лесосечного фонда / Ю. И. Мисуно, П. А. Протас // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы международной научно-технической конференции, Минск, 26-28 апреля 2017. – Минск: БГТУ, 2017. – С. 25–28.

**TIME STUDY ANALYSES OF SKIDDING WITH CABLE-GRAPPLE SKIDDER
EQUUS 175N**

Orlovsky L., Ing.

Technical Univerzity in Zvolen

(Zvolen, Slovak Republic), e-mail: xorlovsky@is.tuzvo.sk

**ВРЕМЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АНАЛИЗА ТРЕЛЕВКИ С ПОМОЩЬЮ
ТРЕЛЕВОЧНОГО ТРАКТОРА CABLE-GRAPPLE EQUUS 175N**

Орловски Л., инж.

Технический университет в Зволене

(Зволен, Словацкая Республика)

Abstract. This time study assesses time consumption and productivity of EQUUS 175N cable-grapple skidder. Within the time study 34 work cycles were measured, and 9 snapshots of work day were taken. In the study was used methods of continuous time study. The result show that the overall time consumption of the work cycle of the monitored cable-grapple skidder is influenced by skidding distance and number of logs in a load. Non-operation times of the skidder operator shift represent 27 % with the highest part taken by the machine defaults repair. The mean gross production rate of the monitored skidder was 5,85 m³.h⁻¹. The aim of the present study was to: (i) assess the impact of production factors on the time consumption of individual partial work operations of EQUUS 175N cable-grapple skidder; (ii) find out and compare the productivity of monitored skidder.

Key words: time study; time consumption; cable-grapple skidder; skidding; production factors productivity

Аннотация. В этом исследовании оцениваются затраты времени и производительность трелевочного трелевочного трактора EQUUS 175N. За время исследования было измерено 34 рабочих цикла и проведен хронометраж 9 рабочих дней. При исследовании использовались методы непрерывного изучения времени. Результаты показывают, что общее время, затрачиваемое на рабочий цикл отслеживаемого трелевочного трактора с кабельным захватом, зависит от расстояния скольжения и количества бревен в нагрузке. Время простоев оператора трелевочного трактора во время смены составляет 27%, при этом наибольшее значение отмечается при ремонте машины по умолчанию. Средняя валовая производительность контролируемого трелевочного трактора составила 5,85 м³ч⁻¹. Целью настоящего исследования было: (i) оценить влияние факторов производства на затраты времени на отдельные операции частичной работы кабельно-захватного трелевочного трактора EQUUS 175N; (ii) выяснить и сравнить производительность контролируемого трелевочного трактора.

Ключевые слова: время обучения; потребление времени; трелевочный трактор; трелевка; производственные факторы производительности

Introduction. Harvesting systems, such as those associated with chainsaw and skidders, are quite common in Europe (Borz et al. 2015). The Slovak Republic is no exception. According to the 2007 Green Report, the share of tractor technologies in wood concentration is up to 78%, of which forest wheel tractors account for 47,6%. Present day performance standards for skidder technologies published in the proceedings no 24 of the Ministry of Agriculture and Rural Development of the Slovak are not current (last issue from 1992). They do not correspond to the current development of forestry equipment and requirements for modern skidders regarding ergonomics and ecology.

A number of authors from abroad have dealt with time studies of forest wheeled tractors (Behjou et al. 2008; Mousavi et al. 2012; Borz et al. 2013; Proto et al. 2018; Kulak et al. 2019). Kluender et al. (1997) studied the productivities of rubber-tired cable and grapple skidders in

southern pine stands and found that grapple skidders were considerably faster and more productive than cable skidders. They also indicated that the productivity of this grapple skidding was sensitive to a skidding distance, stem size, number of stems in load and harvesting intensity. Proto et al. (2018) in his study assesses the productivity and cost effectiveness of John Deere 548H cable-grapple skidder, including a comparison of winch and grapple configurations. Najafi et al. (2007) carried out a time study to obtain a mathematical model and to calculate the production cost. Wang et al. (2004) mentioned that the skidding cycle time was mainly affected by volume load and skidding distance. Borz et al. (2013) presented in their study that the time consumption of overall work cycle of the skidders (TAF 690OP, TAF 657) depends on the skidding distance, winching distance and in case skidder TAF 657 the number of logs was also another statistically significant factor. Behjou et al. (2008) in time study of the wheeled skidder Timberjack 450C in Caspian forests indicated that the skidding cycle time was mainly affected by skidding distance, winching distance and interaction between skidding distance and slope.

Material and methods. Study of the time consumption was carried out in the University Forestry Enterprise of the Technical University in Zvolen from 15 September to 25 October 2019. During the time study 9 snapshots of the work day were taken and 34 work cycles of skidders were measured. In the study was tested cable-grapple skidder EQUUS 175N. The working group consisted of two persons including logger and skidder operator. They had several years of experience with that type of machine and performed all service and most of repair works. Table 1 presents the characteristics of the forest stands where the timber skidding was carried out, while Table 2 describes the characteristic parameters of individual monitored skidder analysed within the study.

Table 1 – Characteristics of forest stands

Subcompartment	727a
Stand age (years)	110
Stand area (ha)	15.84
Stand density	0.81
Slope (%)	55
Species composition (%)	BK 78; JD 13; JH 5; JS 3; LM 1
Skidding distance (m)	110
BK- beech, JD- fir, JH- maple, JS- ash, LM- lime	

Table 2 – Specifications of the EQUUS 175N cable-grapple skidder

Parameter	Value
Engine power (kW)	125
Age of skidder in years	1
Length (mm)	6,678
Width (mm)	2,450
Height (mm)	2,870
Mass (kg)	12,400
Total skidded volume (m ³)	360
Number of skidded logs (pcs)	199
Equipment of skidder	HC, RO, D, C
HC- hydraulic crane, RC- radio control, C-clambank, D-double drum winch	

Measuring the time consumption of cable-grapple skidder was carried out using the methods of continual time study. Net time work of the skidder operator and two further categories of time losses, i.e. technical-organisation and personal losses were recorded, as well. Overall work cycle wheeled skidder was divided into several elements: travel unloaded, cable relasing, collecting

time, winching the load, skidder travel to other logs, travel loaded, load unhooking, handling by the skidder operator and log piling. All work phases were recorded just as if the operator were in a normal working condition without any special arrangements. A number of variables including skidding distance, winching distance, number of trees per turn and load volume were measured. These factors were measured throughout all skidder work cycles. The skidding distance and winching distance were measured using a digital laser range finder TruPulse 360B or using a GPS receiver. The number of logs in a load and wood species were recorded visually. To determine the logs volume and loading, Huber's formula volume and collection logs volume in each time of skidding was used, respectively. In order to develop prediction model for the cable-garapple skidder EQUUS 175N multiple regression analysis using the last square method was applied to test the correlation. STATISTICA 12.0 package was used for the statistical analysis. In order to examine the goodness of fit of regression models and to test the co-significance of coefficients, F-test was conducted. Each coefficient of the work phase models was also tested separately by t-test.

Findings. Table 3 presents the mean time consumption of individual monitored phases of a work shift of monitored skidder operator, as well as the mean time of the shift. The data indicate that the net time work is 73% on average, and the remaining 27% covers non-operation time of the shift (machine defaults repair, biological and recreational breaks etc.). The highest average percentage of non-operation time was recorded with the machine defaults repair 5.5% followed by technical-organizational losses 5.4%, whereas the lowest average percentage is represented by Personal losses 0.1%. The average shift length of monitored skidder operator in this study represents 461 minutes (7.68 h) being 19 minutes less than the length of a standard shift (8 h).

Table 3 – The balance of average consumption of elements shift time of skidder operator

Work shift components	EQUUS 175N	
	min.	%
Net time work	337	73
Preparation and termination of work	18	4
Work orders	7	1.5
Technical service of the workplace	15	3.3
Technical service of the machine	10	2.2
Machine defaults repair	25,5	5.5
Biological and recreational breaks	23	5
Technical-organizational losses	25	5.4
Personal losses	0,5	0.1
Average working time	461	100

The average time consumption for partial work operations, as well as corresponding average values of production factors of the skidder are illustrated in Table 4.

Table 4 – Descriptive statistics of mean time consumption of elements work operation of monitored skidder

Element of work operation	Mean	Minimum	Maximum	Standard Deviation
		(min.)		
Travel unloaded	7.56	1.47	12.78	2.60
Cable relasing	1.98	0.47	6.40	1.37
Collecting time	8.77	0.07	23.28	4.64
Winching load	8.06	0.40	14.13	3.12
Travel skidder to other logs	4.96	0.22	18.58	3.87
Travel loaded	9.83	1.58	15.80	3.66

Unhooking load	2.97	0.23	6.10	1.25
Log piling	17.18	1.35	36.95	9.32
Handling	8.05	1.02	23.70	5.50
Total cycle time	70.16	4.74	122.95	25.89
Factors of production				
Number of log in load (pcs)	6.00	1.00	12.00	2.28
Load volume (m ³)	10.96	0.79	15.68	3.20
Mean tree volume (m ³)	1.96	0.79	3.09	0.52
Skidding distance (m)	530.00	200.00	801.00	143.70
Winching distance (m)	18.56	3.00	33.00	6.68

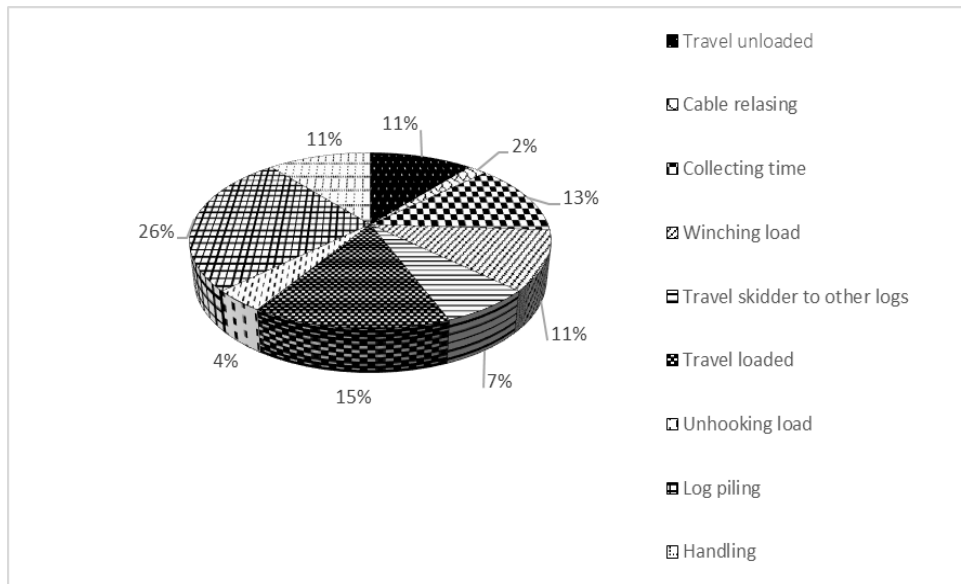


Figure 1 – The time distribution of elements work operation of cable-grapple skidder EQUUS 175N

The time distribution of different elements of work cycle cable-grapple skidder EQUUS 175N is presented in Figure 2. Log piling is the most timeconsuming element for EQUUS 175N cable-grapple skidder (26%) followed by travel loaded (15%) and collecting time (13%). The statistical characteristics of the regression models for skidder EQUUS 175N are presented in Table 5. F-value and P- value show that presented models are statistically significant.

Table 5 – Statistical characteristic of models EQUUS 175N cable-grapple skidder based on regression analysis

Elemental of working operation	R	Adj. R2	F-test		N	Term	b*	error b*	Constant	Std.error	t-test	
			F-value	p					coeficient		t-value	p
Travel unloaded	0.85	0.71	83.48	p<0.000	34	constant			-0.592	0.924	-0.641	0.526
						xsd	0.85	0.093	0.015	0.002	9.136	0.000
Collecting time	0.76	0.57	40.18	p<0.000	34	constant			-0.285	1.461	-0.195	0.850
						xn	0.76	0.114	1.548	0.233	6.646	0.000
Winching the load	0.72	0.48	15.83	p<0.000	33	constant			0.477	1.441	0.331	0.743
						xwd	0.57	0.132	0.268	0.062	4.352	0.000
						xn	0.30	0.132	0.433	0.192	2.258	0.031
Travel loaded	0.76	0.55	21.29	p<0.000	34	constatnt			-0.319	1.762	-0.749	0.460
						xsd	0.52	0.143	0.013	0.003	3.614	0.001
						xvl	0.33	0.143	0.379	0.164	2.301	0.028

Unhooking load	0.53	0.26	12.45	p<0.000	34	constant			1.281	0.513	2.497	0.018
						xn	0.53	0.150	0.289	0.082	3.532	0.001
Log piling	0.45	0.17	7.98	p<0.000	34	constant			6.517	4.044	1.611	0.117
						xn	0.45	0.160	1.821	0.645	2.825	0.008
Total cycle time	0.78	0.58	23.91	p<0.000	34	constant			-7.836	11.838	-0.662	0.520
						xn	0.45	0.119	5.692	1.358	4.192	0.000
						xsd	0.50	0.119	0.081	0.022	3.739	0.000

Xsd – skidding distance, xvl – volume load, xn – number of logs in a load

Discussion. Methodologically, the emphasis of this study was on the comparative area with less attention paid to the correlation aspects. The main problem of the correlation study is the multiplicity of influencing factors which was controlled by a detailed division of harvesting work phases into elements (Bergstrand 1991; Nurminen et al. 2006).

Non-operation shift times represent on average 27% for monitored skidder operator. For illustration and comparison Sabo and Poršinsky (2005) in their study indicate higher percentage 32.15% of non-operation time for the Timberjack 240C skidder. The highest amount of non-operation times – 51 and 43% for cable skidders (TAF 690OP, TAF 657) are mentioned by Borz et al. (2013) Technical-organizational losses accounted for almost 98% of the delay time. Percentage of personal delay (0.1%) was low compared to the studies performed (Lotfalin et al. 2011, Mousavi et al. 2013, Borz et al. 2015). The amount of non-operation shift times of the skidder operator is affected mostly by the amount of time consumed for the machine defaults repair, occurrence of technical-organizational losses during the sift. These time losses can be avoided by planing and organising the work better. The average speed of EQUUS 175N in travel unloaded was 4.20 km.h⁻¹ for comparison the average skidding speed was 25% lower 3.23 km.h⁻¹. The average gross production rate of cable-grapple skidder was 5.85 m³.h⁻¹ with the mean load volume 11.27 m³. Most of the studies from abroad mention higher average gross production of cable-grapple skidders ranging from 6.2 m³.h⁻¹ (Mousavi et al.2013) to 21.0 m³.h⁻¹ (Medrski et al. 2010). With a decrease in the number of logs per load , the volume of each cycle decreases, which has a significant influence on skidding productivity (Nikooy et al. 2013).

The model travel unloaded cable-grapple skidder showed that it was highly dependent on the skidding distance (Table 5). These results are in accordance with other studies (Wang et al. 2004, Nurminen et al. 2006, Mousavi et al. 2012). The work elements operation collecting time takes around 13% of the total time consumption of work cycle (Figure 2) and it is influenced by the number of logs in load, what is in accordance with the study of Mousavi (2012). Time consumption of winching the load is statistically significantly influenced by the winching distance and number of logs in the load, what is in accordance with the study of Mousavi (2012). The partial work operation- travel loaded is statistically significantly influenced by the skidding distance and load volume. These results are in accordance with the results presented in the study by Marčeta et al. (2014). The work element operation unhooking the load it is influenced by the only number of logs in the load Log piling is the last element of skidding and it is influenced by the number of logs in each turn. The overall time of the work cycle of the cable-grapple skidder (EQUUS 175N) operators is affected by the following factors: skidding distance and number of logs in the load. Differences between the results of this study and those reported by other studies may be the consequence of local conditions and work patterns of the operators.

Acknowledgments. The paper has been prepared under the financial support of the Ministry of Education, Science and Sports of the Slovak Republic in the frameworks of the project KEGA 007TU Z-4/2019."

BIBIOGRAPHY

Behjou, F.K., Majnounian, B., Namiranian, M., Dvořák, J., 2008. Time study and skidding capacity of wheeled skidder Timberjack 450C in Caspian forests. *Journal of Forest Science*, 54(4): 183-188.

- Bergstrand K.G. 1991. Planning and Analysis of Forestry Operation Studies. Skogsarbeten Bulletin 17. Skogsforsk Uppsala, Forest Operations Institute of Sweden: 63.
- Borz, S. A., Dlnulca, F., Birda, M. Ignea, Ch., Clobanu, V. D., Popa, B., 2013. Time consumption and productivity of skidding Silver fir (*Abies alba* Mill.) round wood in reduced accessibility conditions: A case study in winthrow salvage logging from Romanian Carpathians. *Annals of Forest Research*, 56(2): 363-375.
- Borz, S.A., Ignea, G., Popa, B., Spârchez, G., Iordache, E., 2015. Estimating time consumption and productivity of roundwood skidding in group shelterwood system- a Case study in a broadleaved mixed stand located in reduced accessibility conditions. *Croatian Journal of Forest Engineering* 36(1): 137-146.
- Kulak, D., Stańczykiewicz, A., Szewczyk, G., Wala, Ł., 2019. Wydajność zrywki drewna skiderem na terenach pochyłych. *Sylvan*, 163(7): 601-609.
- Kluender, R., Loretz, D., Mscocoy, W., Stokes, B.J., Klepac, J., 1997. Productivity of rubber-tired skidders in southern pine stands. *Journal of Forest Products*, 47(11-12): 53-58.
- Lotfalian. M., Moafi, M., Foumani, B.S., Akbari, R.A., 2011. Time study and skidding capacity of the wheeled skidder Timberjack 450C. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, 2(7): 120-124.
- Marčeta, D., Petkovič, V., Košir, B., 2014: Comparison of two skidding methods in beech Forests in Mountainous conditions. *Nova mehanizacija šumarstva: Časopis za teoriji i praksu Šumarskoga inženjerstva*, 35(1): 51-62.
- Medrski, P.S., Bembenek, M., Erler, J., Giefing, D.F., Karaszewski Z., 2010: The enhancement of skidding productivity resulting from changes in construction: grapple skidder vs rope skidder. In *Proceedings of FORMEC 2010, Forest Engineering: Meeting the Needs of the Society and the Environment*, Padova, 11-14. July 2010. Padova, Formec: 1-7.
- Mousavi, R., 2012. Effect of log length on productivity and cost of Timberjack 450C skidder in the Hyrcanian forest in Iran. *Journal of Forest Science*, 58(11): 473-482.
- Mousavi, R., Nikooy, M., Nezhad, A.E., Ershadfar, M., 2012: Evaluation of full tree skidding by HSM-904 skidder in patch cutting of aspen plantation in Northern Iran. *Journal of Forest Science*, 58(2): 79-87.
- Mousavi, R., Nikooy, M., Naghdi, R., 2013. Comparison of timber using two ground-based skidding systems: grapple skidding vs. cable skidding. *International Journal of Forest, Soil and Erosion*, 3(3): 79-86.
- Najafi, A., Sobhani, H., Seed, A., Makhdon, M., Marvi Mohajer, M.R., 2007. Time study of skidder HSM 904. *Journal Iran. National Research*, 60: 921-930.
- Nikooy, M., Esmailnezhad, A., Naghdi, R. 2013. Productivity and cost analysis of skidding with Timberjack 450C in forest plantations in Shafaroud watershed, Iran. *Journal of Forestry Science*, 59(7): 261-266.
- Nurminen, T., Korpunen, H., Uusitalo, J., 2006. Time consumption analyses of the mechanized cut-to-length harvesting system. *Silva Fennica*, 40: 335-363.
- Proto, A.R., Macrí, G., Visser, R., Russo, D., Zimbalatti, G., 2018: Comparison of timber extraction productivity between winch and grapple skidding: A case study in Southern Italian Forests. *Forests*, 9(2): 1-12.
- Sabo, A., Poršinský, T., 2005: Skidding of fir roundwood by Timberjack 240C from selective forests of Gorski Kotar, *Croatian Journal of Forest Engineering*, 26(1): 13-27.
- StatSoft (2012). STATISTICA 12.0 for Windows
- Wang, J., Long, C., McNeel, J. Baumgras, J., 2004: Productivity and cost of manual felling and cable skidding in central Appalachian hardwood forests. *Forest Production Journal*, 54: 45-51.
- Zborník výkonových noriem č.24 Výkonové normy pre sústreďovanie dreva univerzálnymi, pásovými a špeciálnymi lesnými kolesovými traktormi. Ministerstvo lesného, vodného hospodárstva Slovenskej republiky. Vydanie 1992, 32 p.
- Zelená správa 2007. Ministerstvo pôdohospodárstva Slovenskej republiky: Bratislava 2007. ISBN 978-80-8093-018-9 164p.

**ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНОЙ ЩЕПЫ ИЗ ОТХОДОВ
ЛЕСОЗАГОТОВОК И ЛЕСОПИЛЕНИЯ**

Протас П. А., доц., к.т.н., Панкратович А. С., маг.
Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: protas@belstu.by

**ASSESSMENT OF THE USE OF WOOD CHIPS FROM LOGGING AND
SAWMILLING WASTE**

Protas, P. A., Assoc. Prof., PhD, Pankratovich A. S., undergraduate
Belarusian State Technological University,
(Minsk, Republic of Belarus)

Аннотация. В материалах представлена оценка использования древесной щепы из отходов лесозаготовок и лесопиления в Республике Беларусь. Рассмотрена общая ситуация лесной промышленности страны в целом. Предоставлены альтернативные варианты использования щепы из отходов лесозаготовок и лесопереработки в дальнейшем производстве, такие как производство щепы для использования в декоративных целях, для копчения продуктов, настаивания алкоголя, производства композитных строительных материалов, производства биогаза.

Ключевые слова: щепы; древесные отходы; композитный строительный материал; арболит; биогаз

Abstract. The materials present an assessment of the use of wood chips from logging and sawmilling waste in the Republic of Belarus. The General situation of the forest industry in the country as a whole is considered. Alternative options for using wood chips and waste from logging and wood processing in further production are provided, such as the production of wood chips for decorative purposes, for Smoking products, alcohol infusing, the production of composite building materials, and the production of biogas.

Key words: wood chips; wood waste; composite construction material; arbolite; biogas

Введение. В Республике Беларусь леса являются одним из основных возобновляемых природных ресурсов и важнейших национальных богатств. Леса и лесные ресурсы имеют большое значение для устойчивого социально-экономического развития страны, обеспечения ее экономической, энергетической, экологической и продовольственной безопасности. По ряду ключевых показателей, характеризующих лесной фонд, Беларусь входит в первую десятку лесных государств Европы.

В виду роста потребности народного хозяйства Республики Беларусь в древесных ресурсах объемы заготовок ежегодно увеличиваются. За 2019 год в системе Министерства лесного хозяйства из всех видов рубок заготовлено 20,9 млн. м³ ликвидной древесины при запланированном объеме 18,2 млн. м³ [1]. В будущем данный показатель может увеличиться до 23,6 млн. м³ [2].

В то же время необходимо отметить, что в настоящее время структура потребления древесных ресурсов в Беларуси не совершенна. Основной объем заготовленной используется в круглом виде или поступает на механическую переработку. И менее 20% лесоматериалов является сырьем для химических и химико-механических производств.

Что касается отходов лесозаготовок и деревообработки, одним из основных направлений их использования является производство древесного топлива. Как правило, это топливная щепы, которую производят для нужд ЖКХ, мини-ТЭЦ и др. Так, в 2019 году в рамках задания облисполкомов по заготовке древесного топлива было произведено

2925,5 тыс. м³ топливной щепы. Невостребованные остатки древесного топлива составили 2120,6 тыс. м³, в том числе дров 1946,3 тыс. м³ и щепы 126,7 тыс. м³ [3].

В связи с этим, в данной работе рассмотрены альтернативные варианты использования щепы из отходов лесозаготовок и лесопереработки.

Материалы и методы. В процессе заготовки и переработки древесины образуется большое количество отходов.

Отходами лесозаготовок называют всю неиспользуемую биомассу древостоя, оставленную в лесу после лесозаготовительных работ. К ним относят: пни, корни, лесосечные отходы и целые деревья, остающиеся на лесосеке. К лесосечным отходам относят обломки стволов и вершины, сучья и ветви, а также откомлевки, если на лесосеке ведется распиловка хлыстов на сортименты.

К отходам лесообрабатывающих производств можно отнести: откомлевки, образующиеся при оторцовке хлыстов; горбыли, представляющие собой отпиленную переферийную часть бревна; рейки, образующиеся при обрезке и раскрое пиломатериалов по ширине; опилки, образующиеся в процессе лесопиления в объеме от 9 до 16 % от распиливаемого сырья; и другие.

В процессе лесозаготовки и лесопиления образуется примерно 20% и 45–65 % отходов, соответственно (в зависимости от многих факторов: технология заготовки, используемое оборудование, схема раскроя, изготавливаемая продукция и др.).

В Беларусь основным направлением использования отходов лесопиления и деревообработки является производство щепы (топливной, технологической, зеленой).

Технологическая щепа – древесные частицы в виде косоугольного параллелепипеда с острым углом 30–60°, заданной длины и толщины, предназначенные для производства целлюлозы, древесных плит, продукции лесохимических и гидролизных производств.

Топливная щепа – измельченное древесное сырье, которое по своему качеству может быть использовано только как топливо.

Зеленая щепа – древесные частицы, содержащие примеси коры, хвои и листьев, получаемые при измельчении целых тонкомерных деревьев, лесосечных отходов, сучьев и ветвей. Зеленую щепу используют в виде добавок в производстве древесных плит, гидролизных продуктов, а также как топливо [4].

В то же время, по своим качественным характеристикам, щепа из отходов лесозаготовок и деревообработки может быть использована в качестве вторичного древесного ресурса для других видов производств.

Декоративное и агротехническое мульчирование. По своему воздействию на грунт и растения мульча из щепы полностью аналогична мульче из опилок или стружки, ведь основа материала одна и та же – древесина. После перегнивания такая мульча превращается в гумус и наполняет грунт питательными веществами. Щепа для декоративного (рисунок 1, а) и агротехнического мульчирования регламентирована документом ТУ 5392-009-61183061-2013 «Декоративная щепа».

Копчение продуктов. Копчение не только меняет вкус и запах любых продуктов, но также консервирует их. Такой эффект достигается при обработке продуктов дымом древесины, сгорающей в условиях небольшой нехватки кислорода и отсутствии открытого огня. При таком режиме горения древесина образует много оксида углерода (угарного газа), который и выступает в качестве консерванта. А изменение вкуса и запаха происходит благодаря термической обработке и воздействию других компонентов дыма, в особенности частично прогоревших смол и масел. Щепа для копчения продуктов (рисунок 1, б) регламентирована документом ТУ 5315-001-0126581554-2016 «Сырье древесное для копчения пищевых продуктов «Щепа».

Настаивание алкоголя. Основными компонентами, влияющими на алкоголь, являются смолы и свободные сахара. После прекращения сокодвижения, вызванного зимним периодом или валкой дерева, вода, являющаяся основной частью сока, испаряет-

ся, а остальные элементы остаются в древесине, постепенно превращаясь в смолу. После измельчения древесины в щепу (рисунок 1, в) процентное содержание, равно как и химический состав смолы в ней, не меняются, благодаря чему эффект от настаивания на щепе ничем не отличается от выдерживания алкоголя в деревянных бочках.



a



б



в

a – щепы декоративная; *б* – щепы для копчения; *в* – щепы для настаивания алкоголя

Рисунок 1 – Альтернативные варианты использования щепы

Производство облагороженного древесного топлива. К данному типу топлива относятся пеллеты и брикеты (рисунок 2). Пеллеты – это уплотненное биотопливо, изготовленное из пылевидной биомассы с применением или без применения добавок, обычно цилиндрической формы, произвольной длины от 3,15 до 20 мм с обломленными концами. Брикет – уплотненное биотопливо в форме кубических или цилиндрических единиц, полученное прессованием пылевидной биомассы с применением или без применения добавок. Параметры топливных пеллет и брикетов стандартизированы международным документом ГОСТ 34090-2017 (ISO 17831-1:2015).



a



б

a – топливные пеллеты; *б* – топливные брикеты

Рисунок 2 – Облагороженное древесное топливо

Производство композитных строительных материалов. Древесные сырье может быть использовано в качестве заполнителя при производстве арболита, опилкобетона, фибролита, ЦСП и др. В виду их экологичности и улучшенным эксплуатационным свойствам они широко используются как альтернатива некоторым классическим строительным материалам. Одним из наиболее перспективных для условий Республики Беларусь является арболит.

Арболит – деревобетон с хорошими теплоизоляционными свойствами и несущей способностью, достаточной для возведения малоэтажных строений с деревянными перекрытиями. За рубежом аналогичными материалами являются велокс, дюризол, пилинобетон, вундстоун. Конструкции из дюризолы нашли широкое применение в Бельгии, Швейцарии, Японии, Канаде, Франции, Индии, США, Дании, Голландии, из инлинобетона – в Чехии и других странах. Конструкции из легких бетонов на органических заполнителях весьма разнообразны, из них изготавливают мелкие стеновые камни, теплоизоляционные шипы, кровельные панели, полы, а также крупные стеновые панели и блоки. Строительные дома и конструкции из арболита используются не только для наружных стен, а также и для внутренних межквартирных и межкомнатных стен и перегородок. К достоинствам арболита можно отнести: хорошую теплоизоляционную способность; сохранение тепла; он относится к трудновоспламеняемым веществам и образует минимум дыма; обладает высокой паропроницаемостью; устойчив к нагрузке на растяжение; морозостойкий; хорошо пилится, режется и держит крепеж; отличается относительно малым весом. Арболит (рисунок 3) производится согласно стандарту ГОСТ 19222-84 «Арболит и изделия из него» [5].



Рисунок 3 – Композитный строительный материал арболит

Щепа для целлюлозно-бумажного производства. В зависимости от назначения щепу для целлюлозно-бумажного производства изготавливают по ГОСТ 15815-83 трех марок: Ц-1, Ц-2 и Ц-3. Щепа марки Ц-1 предназначена для выработки сульфитной целлюлозы и древесной массы с регламентируемой сорностью, щепа марки Ц-2 – для выработки сульфитной целлюлозы и древесной массы для бумаги и картона с нерегламентируемой сорностью, а также сульфатной и бисульфатной целлюлозы для бумаги и картона с регламентируемой сорностью, щепа марки Ц-3 – для выработки сульфатной целлюлозы и различных видов полуцеллюлозы для бумаги и картона с нерегламентируемой сорностью. Качество щепы для целлюлозно-бумажной промышленности определяется породой древесины, геометрическими размерами частиц, дефектами обработки торцовых срезов, примесями коры, гнили и инородных включений [6].

Производство биогаза. Биогаз – это газ, который выделяется в результате брожения биомассы. Это вещество без цвета и запаха, которое на 70% состоит из метана и на 30% – из углекислого газа. Обладает очень высокой производительностью тепла: при сжигании 1 м³ биогаза выделяется столько же тепла, сколько при сжигании 1,5 кг каменного угля. Выделение биогаза происходит под воздействием анаэробных бактерий, активность которых увеличивается при нагревании. Лес является прекрасным источником сырья (вет-

ви, сучья, древесная зелень, тонкомерная древесина, предварительно измельченная в щепу) для производства биогаза, так как это сырье не нужно специально выращивать, в отличие от зерновых для получения биоэтанола и других сельскохозяйственных растений, применяемых для производства биодизеля. Они стимулируют разложение органических отходов, в результате чего образуется биологический газ. В РФ процесс производства биогаза регламентирован стандартом ГОСТ Р 53790-2010 «Нетрадиционные технологии. Энергетика биоотходов. Общие технические требования к биогазовым установкам».

В таблице ниже представлены требования к щепе для приведенных выше видов продукции.

Таблица 1 – Требования, предъявляемые к щепе в зависимости от ее назначения

Наименование	Размеры	Порода	Содержание коры	Содержание минеральных примесей
Щепа для декоративного и агротехнического мульчирования	Не регламентируется			
Щепа для копчения продуктов	По согласованию с потребителем			
Щепа для настаивания алкоголя	По согласованию с потребителем	В основном используется дуб	По согласованию с потребителем	
Щепа для производства пеллет	СТБ 2027-2010 «Гранулы древесные топливные. Общие технические условия»			
Щепа для производства брикет	СТБ 2055-2010 «Брикеты древесные топливные. Общие технические условия»			
Щепа для производства арболита	Длина – не более 40 мм Ширина – не более 10 мм Толщина – не более 5 мм	Приоритет стоит отдавать древесине хвойных пород.	Не более 10 %	–
Щепа для целлюлозно-бумажного производства	Длина 15-25 мм Толщина не более 5 мм	Хвойные – ель, пихта	Не более 1 %	Не допускаются
Щепа для производства биогаза	В зависимости от установок для получения биогаза.	Не регламентируется		
Топливная щепа	Длина 5–50 мм, толщина не более 30 мм	ТУ РБ 100145188.003-2009 «Щепа топливная. Технические условия»		

На сегодняшний день стоимость 1 м³ топливной щепы в чистом виде находится в пределах 10–15 евро, технологической щепы – 20–25 евро.

При использовании щепы в дальнейшем производстве, за 1 м³ готового продукта примерно можно выручить:

- щепа для декоративного и агротехнического мульчирования – примерно 100 евро;
- щепа для копчения продуктов – 1800–1900 евро;
- щепа для настаивания алкоголя – 250 евро;
- пеллеты – 190 – 210 евро;

- брикеты – примерно 130 евро;
- арболит – примерно 60 евро;
- биогаз – по расценкам 2009 года 1 м³ биогаза стоил 500 евро.

Результаты. Из приведенных данных можно увидеть, что использование щепы в дальнейшем производстве, а особенно щепы из отходов лесозаготовок, имеет большой потенциал, так как данный ресурс практически не используется. Развитие производств по переработке древесной щепы при правильном и обоснованном построении технологического процесса обеспечит быструю окупаемость и создаст благоприятные условия для социально-экономического становления лесной отрасли.

Предприятиям лесного комплекса, с учетом их направленности и имеющихся ресурсов, следует уделить внимание таким направлениям, как производство топливных пеллет, брикетов и арболита. В первую очередь, это связано с тем, что в настоящее время за рубежом растет спрос на данные виды продукции. В Беларуси они пока не находят столь широкого применения, но в виду изменяющихся климатически условий, ситуация со временем может измениться. Остальные варианты, предоставленные выше, имеют свою определенную специфику, и в большинстве своем могут быть не целесообразны или не рентабельны в настоящее время, например, производство биогаза.

Заключение. Древесная щепа обладает большим потенциалом использования в Республике Беларусь. На данный момент предприятия Министерства лесного хозяйства только начинают внедрять пеллетные производства, что безусловно благоприятно повлияет на экономическую ситуацию в стране. Однако, этого все еще недостаточно, так как объем неиспользуемых, потенциальных ресурсов все еще будет большим (невостребованная топливная древесина; отходы лесозаготовок, которые практически не используются; отходы деревопереработки, которые, в настоящее время, в большом количестве используются в качестве топлива).

В дальнейшем планируется проведение исследований с целью изучения возможности использования различных видов древесных отходов для производства арболита, оценки влияния размерно-качественных характеристик древесного заполнителя на физико-механические свойства материала, а также проведение сравнительного анализа и технико-экономического обоснования производства арболита из различных видов древесных отходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mlh.by/>
2. Государственной программы "Белорусский лес" на 2016 - 2020 годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://nasb.gov.by/rus/activities/research/2016/les_2016-2020.pdf
3. Хорошун Н.В. Итоги деятельности за 2019 год государственных лесохозяйственных учреждений и перспективы развития Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь / Хорошун Н.В., Насковец М.Т., Росссоха Е.В. // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: тезисы 84-й науч.-технич. конференции, посвященной 90-летию юбилею БГТУ и Дню белорусской науки – Минск: БГТУ, 2020 г. – С 7-10.
4. Комплексное использование древесного сырья: тексты лекций / А. С. Федоренчик. – Минск: БГТУ, 2013. – 88 с.
5. Арболит и изделия из него. Общие технические условия: ГОСТ 19222-84. – Введ. 01.01.1985. – Москва: Издательство стандартов, 1984. – 29 с.
6. Щепа технологическая. Технические условия (с Изменениями N 1, 2): ГОСТ 15815—83 – Введ. 24.08.1983. – Москва: Издательство стандартов, 1992. – 18 с.
7. Нетрадиционные технологии. Энергетика биоотходов. Общие технические требования к биогазовым установкам (6 переиздание): ГОСТ Р 53790-2010 – Введ. 01.01.2011. – Москва: Стандартинформ, 2019 – 23 с.

**ВАРИАНТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ УДАЛЕНИЯ
НЕЖЕЛАТЕЛЬНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ С ТЕРРИТОРИЙ
ЛИНЕЙНЫХ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Платонов А. А., доц., к.т.н.

Ростовский государственный университет путей сообщения
(Ростов-на-Дону, Россия), e-mail: paa7@rambler.ru

**OPTIONS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR REMOVING UNWANTED
VEGETATION FROM TERRITORIES OF LINEAR INFRASTRUCTURAL OBJECTS**

Platonov A.A., Assoc. Prof., PhD

Rostov State Transport University
(Rostov-on-Don, Russia)

Введение. В настоящее время при содержании ряда линейных инфраструктурных объектов (ЛИО) продолжает оставаться актуальным вопрос удаления нежелательной древесно-кустарниковой растительности (НДКР) с территорий указанных объектов, к которым относятся в частности охранные зоны трасс высоковольтных линий (трасс ВЛ), трасс магистральных газо-, нефте- и продуктопроводов, полос отвода автомобильных и железных дорог [3]. Основанием для очистки территорий ЛИО от НДКР являются нормативные документы соответствующих акционерных обществ, предусматривающие необходимость поддержания указанных объектов в надлежащем состоянии. Для своевременной и качественной очистки территорий ЛИО от НДКР организациями-исполнителями работ заранее разрабатываются Технологические Карты (ТК) и сметы на выполнение работ, а также Проекты Производства Работ (ППР), предусматривающие особенности организации и выполнения (для принятого в работу ЛИО) технологического процесса удаления нежелательной растительности, в том числе применяемые машины и механизмы.

Целью исследования является анализ применяемых на территориях линейных инфраструктурных объектов технологических процессов удаления нежелательной растительности и выявление возможностей их дальнейшей систематизации.

Материалы и методы. В исследование нами были приняты технологические процессы, предусматривающие исключительно механические способы удаления НДКР, к наиболее распространённым из которых относятся срезание и вырубание растительности [2]. При этом в качестве нежелательной растительности нами рассматривались кустарник, мелколесье, подлесок и поросль.

Выполненными исследованиями нормативных документов (ТК, ППР, смет и т.д.), обуславливающих технологические (а также иные) указания к выполнению рассматриваемого вида работ, нами было установлено следующее распределение количества существующих технологических процессов (ТП), применяющихся на территории тех или иных линейных инфраструктурных объектов (рисунок 1).

Результаты и обсуждение. Анализ вышеприведённого распределения позволил выявить следующее.

Наибольшее количество ТП удаления кустарника, мелколесья, подлеска и поросли наблюдается при работах в охранных зонах трасс ВЛ, при этом одним из объяснений этого может служить факт традиционно большой протяжённости указанных линий (по данным [1] на территории Российской Федерации протяжённость линий электропередач на 01.01.2019 г. составляла 2,35 млн. км), что в свою очередь обуславливает большой объём работ по недопущению произрастания нежелательной растительности. Практически одинаковое количество ТП было выявлено нами для работ по полосам отвода автомобильных дорог и в охранных зонах магистральных нефтепроводов.

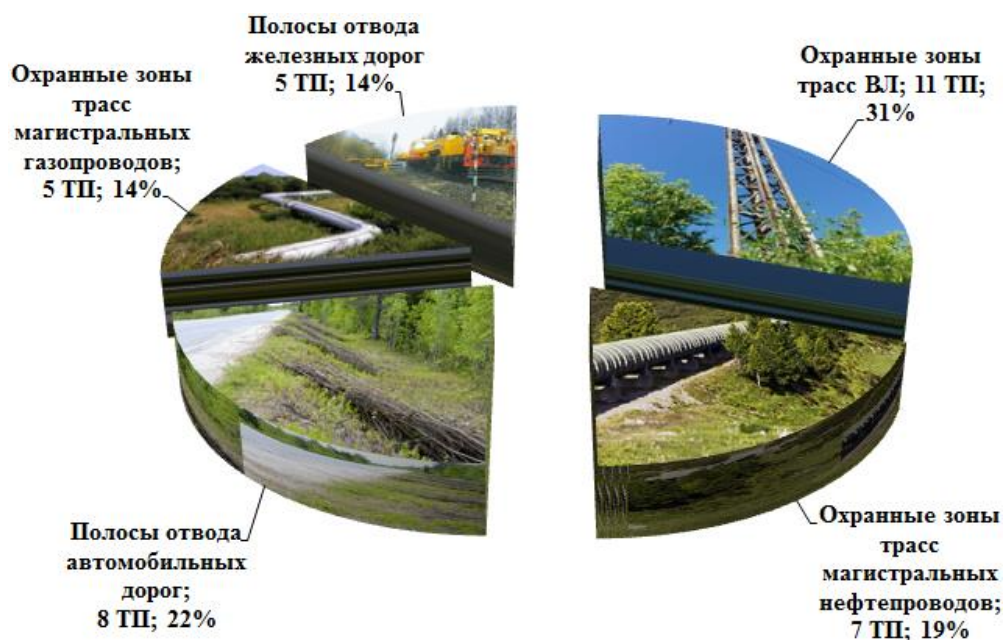


Рисунок 1 – Распределение существующих технологических процессов удаления нежелательной растительности по территориям линейных инфраструктурных объектов

Отдельное внимание следует уделить установленному нами количеству технологических процессов удаления НДКР по полосам отвода железных дорог. В отличие от ПАО «Россети», ПАО «Газпром» и ПАО «Транснефть» в ОАО «РЖД» механический способ борьбы с НДКР традиционно не относят к преимущественной сфере направлений развития железных дорог (предпочитая при этом удаление растительности химическими методами), что и обуславливает не развитость соответствующих технологических процессов.

Для каждого из вышеприведённых линейных инфраструктурных объектов нами были проанализированы соответствующие им и применяемые в настоящее время технологические процессы удаления НДКР. При выполнении анализа нами учитывалось, что каждый технологический процесс состоит из ряда технологических операций, при этом вспомогательные технологические операции (например, доставка дробильной машины с подвижным агрегатом на гусеничном ходу до места проведения работ, смена оборудования на базовой машине и т.д.) нами на данном этапе не принимались во внимание.

Общий результат выполнения $P_{ТП}$ каждого технологического процесса (освобождение территории ЛИО от НДКР) был представлен нами в виде условной функции воздействия на растительность ряда основных технологических операций TO_i :

$$P_{ТП} = \sum_{i=1}^n TO_i$$

где i – количество технологических операций в исследуемом ТП.

С учётом вышеизложенного, в таблицах 1–5 приведены существующие технологические процессы удаления НДКР с территорий линейных инфраструктурных объектов. В качестве пояснений следует отметить, что символьная визуализация ТП в данных таблицах характеризует применяемые в том или ином ТП основные машины, механизмы и оборудование, в то время как указанное условное описание ТП характеризует все основные технологические операции. При этом символьная визуализация охватывает все возможные первичные (непосредственного удаления) и последующие способы воздействия на НДКР, а именно: ручной (топорами, бензопилами, ручными кусторезами), механизированный (тракторами на колёсном и/или гусеничном ходу с навесными кусторезами, кор-

чевателями, лесными граблями и т.д.), а также комбинированный (предусматривающий ручное и механизированное воздействие на растительность).

Таблица 1 – Технологические процессы удаления нежелательной растительности в охранной зоне трасс ВЛ

№ ТП	Параметры технологических процессов	
	Условное описание	Символьная визуализация
1	$P_{ТП} = Cрз + Cгр$	
2	$P_{ТП} = Врб + Cгр + Ввз$	
3	$P_{ТП} = Cрз + K_{нн} + Cгр$	
4	$P_{ТП} = Cрз + K_{нн} + Дрб$	
5	$P_{ТП} = Cрз + K_{нн} + Cжг$	
6	$P_{ТП} = Врб + Дрб$	
7	$P_{ТП} = Cрз(к) + Ввз(C_{жг})$	
8	$P_{ТП} = Врб + Дрб + Зкп$	
9	$P_{ТП} = [Cрз + Дрб]$	
10	$P_{ТП} = Cрз + K_{нн}$	
11	$P_{ТП} = Cрз + Cгр + Ввз$	

Примечание: Срз – срезание НДКР; Cгр – сгребание НДКР; Врб – вырубание НДКР; Ввз – вывозка порубочных остатков; Кпн – корчевание пней; Дрб – дробление порубочных остатков; Сжг – сжигание порубочных остатков; Срз(к) – срезание камышовой поросли; Зкп – закапывание порубочных остатков; [Срз+Дрб] – мульчирование НДКР.

Таблица 2 – Технологические процессы удаления нежелательной растительности в охранной зоне трасс магистральных нефтепроводов

№ ТП	Параметры технологических процессов	
	Условное описание	Символьная визуализация
1	$P_{ТП} = Cрз + Cгр + Дрб + Ввз$	
2	$P_{ТП} = Cрз + K_{нн} + Зям + Дрб$	
3	$P_{ТП} = Cрз + Cгр + Ввз$	
4	$P_{ТП} = [Cрз + Дрб]$	
5	$P_{ТП} = Cрз + K_{нн} + Cгр + Дрб$	
6	$P_{ТП} = Cрз + Дрб$	
7	$P_{ТП} = Cрз + K_{нн} + Cгр$	

Примечание: Зям – засыпка ям.

При составлении символьной визуализации ТП нами не рассматривалась теоретическая максимально возможная степень механизации соответствующего технологического процесса. В частности, например для ТП2 в охранной зоне трасс ВЛ предусмотрено лишь ручное сгребание вырубленной растительности, в соответствии с чем нами не указывалось возможное механизированное сгребание НДКР.

Таблица 3 – Технологические процессы удаления нежелательной растительности в полосах отвода автомобильных дорог

№ ТП	Параметры технологических процессов	
	Условное описание	Символьная визуализация
1	$R_{ТП} = C_{рз} + B_{вз}$	
2	$R_{ТП} = C_{рз(к)} + B_{вз}(C_{жзг})$	
3	$R_{ТП} = C_{рз} + C_{жзг}$	
4	$R_{ТП} = C_{рз} + D_{рб}$	
5	$R_{ТП} = B_{рб} + K_{пн} + D_{рб} + Зкп$	
6	$R_{ТП} = [C_{рз} + D_{рб}]$	
7	$R_{ТП} = B_{рб} + K_{пн} + C_{гр}$	
8	$R_{ТП} = C_{рз} + C_{гр}$	

Таблица 4 – Технологические процессы удаления нежелательной растительности в охранной зоне трасс магистральных газопроводов



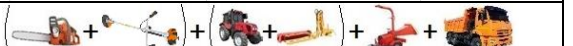


№ ТП	Параметры технологических процессов	
	Условное описание	Символьная визуализация
1	$R_{ТП} = C_{рз} + C_{гр} + C_{жзг}$	
2	$R_{ТП} = C_{рз} + C_{гр} + B_{вз}$	
3	$R_{ТП} = C_{рз} + D_{рб} + B_{вз}$	
4	$R_{ТП} = C_{рз} + K_{пн} + C_{гр} + B_{вз}$	
5	$R_{ТП} = [C_{рз} + D_{рб}]$	

Таблица 5 – Технологические процессы удаления нежелательной растительности в полосах отвода железных дорог

№ ТП	Параметры технологических процессов	
	Условное описание	Символьная визуализация
1	$R_{ТП} = B_{рб} + C_{гр} + C_{жзг}$	
2	$R_{ТП} = B_{рб} + K_{пн} + D_{рб}$	
3	$R_{ТП} = B_{рб} + Зкп(C_{жзг})$	
4	$R_{ТП} = [C_{рз} + D_{рб}]$	
5	$R_{ТП} = C_{рз} + C_{гр} + B_{вз}$	

Аналогично, в ТП1 и ТП2 при удалении растительности в полосах отвода автомобильных дорог не предусмотрена механизированная погрузка порубочных остатков, вследствие чего она также не нашла отражения в символьной визуализации соответствующих технологических процессов. Кроме того, по ряду ТП не указана символьная визуализация технологической операции сжигания порубочных остатков, выполняемая нередко также без соответствующих средств механизации.

Результаты. Анализ приведённых в таблицах 1–5 сведений позволил сделать следующие выводы.

Целый ряд технологических процессов как общим (по всем рассматриваемым линейным объектам инфраструктуры), так и в рамках одного ЛИО нередко дублируют друг друга. В частности, нами выявлено 8 ТП, предусматривающих преимущественно ручное срезание (бензопилами, кусторезами) и/или вырубку растительности топорами с последующим сгребанием порубочных остатков (иногда – с корчеванием пней, в некоторых случаях – с дальнейшим сжиганием порубочных остатков), применяемых фактически в каждом из рассматриваемых ЛИО (при этом в охранной зоне трасс ВЛ – 3 ТП, в полосах отвода автомобильных дорог – 2 ТП). Установлено применение 9 ТП, предусматривающих вырубку/срезание растительности с её последующим сгребанием ручным и/или механизированным способом и вывозкой для дальнейшей утилизации, применяемых в каждом из рассматриваемых ЛИО, при этом в охранной зоне трасс ВЛ нами выявлено сразу 3 таких ТП, а в полосах отвода автомобильных дорог и в охранной зоне трасс магистральных газопроводов – по 2 ТП. По ряду ЛИО нами были установлены ТП, предусматривающие вырубку/срезание нежелательной растительности с последующим дроблением порубочных остатков, при этом в ряде случаев в ТП были добавлены такие технологические операции, как корчевание пней (охранные зоны трасс ВЛ – 2 ТП, трассы магистральных нефтепроводов – 3 ТП, полосы отвода железных дорог – 1 ТП). Технологические процессы с вывозкой подробленных порубочных остатков представлены вариантами, предусматривающими предварительное срезание/вырубку НДКР с ручным или механизированным сгребанием порубочных остатков. Нами были также установлены ТП с захоронением (закапыванием) порубочных остатков механизированным способом с предварительным вырубанием НДКР (в некоторых случаях – с корчеванием пней), а также ТП, предусматривающие сжигание порубочных остатков (в том числе – в охранной зоне трасс магистральных газопроводов), при этом в некоторых случаях в таких ТП предусмотрено корчевание пней и/или сгребание порубочных остатков. Отдельное внимание следует уделить технологическим процессам, предусматривающим срезание НДКР на корню с одновременным дроблением порубочных остатков (так называемое «мульчирование»). Практически для каждого из исследованных нами линейных инфраструктурных объектов предусмотрены подобные ТП, отличающиеся однако при этом применяемыми машинами и механизмами, и, как следствие, рядом подготовительных и завершающих технологических операций.

Заключение. С учётом вышеизложенного, можно сделать следующий вывод. Выявленное нами в данном исследовании многообразие технологических процессов удаления с территории линейных инфраструктурных объектов нежелательной древесно-кустарниковой растительности, сопровождаемое их многократным дублированием по всем рассматриваемым ЛИО, требует проведения дальнейшей систематизации рассматриваемых технологических процессов с целью дальнейшего повышения качества работ по удалению НДКР.

ЛИТЕРАТУРА

1. О компании // ПАО «Россети» [сайт] [2019]. – URL: <http://www.rosseti.ru/about/company/> (дата обращения: 25.10.2019).
2. Платонов А.А. Технологические процессы удаления нежелательной растительности различными средствами механизации / А.А. Платонов // Resources and Technology. 2017. Т. 14. № 2. С. 33-48.
3. Правила эксплуатации магистральных газопроводов: СТО Газпром 2-3.5-454-2010: утв. распоряжением ОАО «Газпром» от 24 мая 2010 г. № 130: ввод в действие с 24.05.2010. – М: Газпром, 2010. – 164 с.

**УПРУГИЕ И ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДРЕВЕСИНЫ
ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ВЛАЖНОСТИ И ВЛИЯНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ**

Стородубцева Т. Н., доц., д.т.н., Томилин М. А., студ., Рудько Е. В., студ.
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова
(Воронеж, Россия), e-mail: tamara-tns@yandex.ru

**ELASTIC AND STRENGTH CHARACTERISTICS OF WOOD
AT VARIOUS HUMIDITY AND TEMPERATURE INFLUENCES**

Storodubtseva T. N., D.Sc., Assoc. Prof., Tomilin M. A., stud., Rudko E. V., stud.
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov
(Voronezh, Russia)

Аннотация. Целью исследований, результаты которых представлены в данной работе и обобщенных данных, являлось уточнение основных постоянных упругости сосны, произрастающей в лесничестве г. Воронежа, т.к. крайне разноречивые данные по этим характеристикам не позволяли использовать их при анализе напряженных состояний, возникающих в древесностекловолокнистом композиционном материале под воздействием различных физических факторов. Рассмотрена древесина в виде щепы или необработанных досок из тонкомера или горбыля, используемая в качестве армирующего заполнителя разработанного древесностекловолокнистого композиционного материала. Приведенные отношения коэффициентов Пуассона к соответствующим модулям упругости древесины сосны при растяжении и сжатии показали, что эти отношения равны или близки между собой, а при точном соблюдении правил выпиливания образцов в соответствии с плоскостями упругой симметрии и использовании стволов одной конкретной вырубki, можно считать древесину сосны действительно ортотропным телом и использовать полученные отношения в обобщенном законе Р. Гука. Полимерные отвержденные растворы так же, как и древесина, склонны к набуханию, при этом в композиционном материале возникают влажностные напряжения, т.е. полимерная оболочка нуждается в защите от действия воды, заметное понижение механических свойств наблюдается при воздействии знакопеременных температур.

Ключевые слова: древесина; упругие постоянные; композиционный материал; влажность

Abstract. The aim of the research, the results of which are presented in this paper and generalized data, was to clarify the main constants of elasticity of pine growing in the forestry of Voronezh, because extremely contradictory data on these characteristics did not allow their use in the analysis of stress states arising in a fiberglass composite material under the influence of various physical factors. Wood in the form of wood chips or untreated boards made of thin gauge or slab is considered, used as a reinforcing aggregate of the developed wood-fiber composite material. The above ratios of Poisson's ratios to the corresponding moduli of elasticity of pine wood under tension and compression showed that these ratios are equal or close to each other, and if the rules for sawing samples are strictly observed in accordance with the planes of elastic symmetry and using trunks of one particular felling, we can consider pine wood an orthotropic body and use the obtained relations in the generalized law of R. Hooke. Polymer cured solutions, like wood, are prone to swelling, and moisture stresses appear in the composite material, i.e. the polymer shell needs protection from the action of water, a noticeable decrease in mechanical properties is observed when exposed to alternating temperatures.

Key words: wood; elastic constants; composite material; humidity

Введение. Значения модулей упругости и коэффициентов С. Пуассона определялись целым рядом ведущих в области древесиноведения учеными – Н.Л. Леонтьевым, Л.М. Перелыгиным, Б.Н. Уголевым, А.М. Боровиковым, Е.К. Ашкенази и др. [1-6]. Полученные ими характеристики внесены в руководящие документы, однако ни данные отдельных авторов, ни их средние значения не доказывают, что древесине, в частности сосне, можно приписать свойства ортогональной анизотропии.

Материалы и методы. В условиях кратковременного воздействия сравнительно небольших нагрузок древесина ведет себя как упругое тело. Для него модуль упругости является показателем жесткости, т.е. способности упруго деформироваться, и представляет собой коэффициент пропорциональности в законе Р. Гука при сжатии, например, или растяжении. Для этих видов нагружения нами были определены модули упругости древесины (E_a , E_r и E_t), т.е. по направлениям нормалей «а», «r» и «t» к главным плоскостям упругой симметрии, характеризующим анизотропию ее свойств.

Отправной точкой при изучении поведения древесины – армирующего заполнителя древесностекловолоконистого композиционного материала, явилось изучение по литературным источникам и подсчет по предложенным в них формулам ее упругих и прочностных характеристик при комнатной влажности ($W = 12-15\%$) и влажности, соответствующей пределу гигроскопичности, т.е. при $W = 30\%$, когда падение значений названных характеристик стабилизируется (таблицы 1–3) [1–6].

Таблица 1 – Модули упругости древесины сосны при влажности 12...15 %, МПа·10⁻⁴

Источник информации	Вид деформации								
	Растяжение			Сжатие			Сдвиг		
	E_a	E_r	E_t	E_a	E_r	E_t	G_{ra}	G_{ta}	G_{rt}
1. Леонтьев Н.Л., с.103 [1]	1.29	0.045	0.042	1.31	0.066	0.039	0.114	0.071	0.005
Там же, с. 116	1.17	0.051	0.043	1.17	0.062	0.050	0.114	0.071	0.005
Там же, с. 36, 37	1.05/ 1.06	0.042/ 0.043	0.038/ 0.042	1.07/ 1.09	0.062/ 0.067	0.031/ 0.038	0.109/ 0.114	0.084/ 0.091	0.0045/ 0.005
2. Перелыгин Л.М., с. 117 [2]	1.17	0.062	0.050	1.17	0.051	0.043	0.114	0.071	0.065
3. Руководящие технические материалы, [3]	1.34	0.054	0.047	1.42	0.077	0.055	0.123	0.076	0.005
4. Уголев Б.Н., с.186, с.189 [4]	1.23	0.059	0.051	1.23	0.070	0.058	0.123	0.080	0.005
5. Боровиков А.М., Уголев Б.Н., с. 258 [5]	1.19	0.054	0.047	1.19	0.067	0.055	0.123	0.076	0.005
6. Ашкенази Е.К., с.182, [6]	1.17	0.051	0.043	1.17	0.062	0.050	0.114	0.071	0.005
Миним. знач.	1.05	0.042	0.038	1.07	0.051	0.031	0.109	0.071	0.0045
Макс. знач.	1.34	0.062	0.051	1.42	0.077	0.058	0.123	0.091	0.0050
Средн. знач.	1.20	0.052	0.045	1.25	0.064	0.045	0.116	0.081	0.0048

Таблица 2 – Коэффициенты поперечной деформации древесины при влажности 12–15 %

Источник информации	μ_{ra}	μ_{ar}	μ_{ta}	μ_{at}	μ_{tr}	μ_{rt}
1. Леонтьев Н.Л., с.110-111 [1]	0.42	0.03	0.025	0.030	0.085	0.062
Там же, табл. 47, с. 117 [1]	0.49	0.03	0.41	0.037	0.79	0.38
Там же, с.110 [1]	0.10-0.83	0.01-0.09	0.11-0.67	0.01-0.09	0.47-1.25	0.10-0.90
2. Перелыгин Л.М., с. 179 (ссылка на Н.Л. Леонтьева) [1]	0.49	0.03	0.41	0.037	0.79	0.38
3. Руководящие технические материалы, табл. 9, [3]	0.49	0.03	0.41	0.037	0.79	0.38
4. Уголев Б.Н., с. 187 [4]	0.49	0.03	0.41	0.037	0.79	0.38
5. Боровиков А.М., Уголев Б.Н., с. 176 [4]	0.504	0.078	0.465	0.045	0.527	0.306
То же, с. 258 [4]	0.49	0.03	0.041	0.037	0.79	0.38
6. Ашкенази Е.К., с.182 [6]	0.490	0.03	0.41	0.037	0.79	0.38
Минимальные значения	0.10	0.01	0.11	0.01	0.47	0.10
Максимальные значения	0.83	0.09	0.67	0.09	1.25	0.90
Среднее значение	0.47	0.05	0.39	0.05	0.86	0.50

Таблица 3 – Пределы прочности древесины сосны при влажности 12–15 %, МПа

Источник информации	Растяжение			Сжатие, смятие			Скалывание	
	Вдоль волокон	Радиальн.	Тангенциальн.	Вдоль волокон	Радиальн.	Тангенциальн.	Радиальн.	Тангенциальн.
1. Леонтьев Н.Л. [1], с. 153-168	101.0	5.2	3.3	41.5	3.4	5.1	6.3	6.7
2. Перелыгин Л.М. [2], с. 153-168	101.0	5.2	-	41.5	3.4	5.1	6.9	6.7
3. Руководящие технические материалы [3]	101.8	-	-	45.4	-	-	7.4	7.2
4. Уголев Б.Н. [4], с. 168	103.0	-	-	48.5	5.2	7,6	7.5	7.3
5. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. [5], с. 216	103.0-102.0	-	-	46.3-48.0	-	-	7.44-7.55	7.23-7.55
Средн. знач.	102.0	5.2	3.3	45.0	4.0	5.9	7.2	7.1

Результаты. Таким образом, показано, что при точном соблюдении правил выпиливания образцов в соответствии с плоскостями упругой симметрии и использовании стволов одной конкретной вырубki, можно считать древесину сосны действительно ортотропным телом и использовать полученные отношения в обобщенном законе Р. Гука.

Значения модулей сдвига древесины сосны определялись выборочно по ГОСТ, т.к. они, судя по научным публикациям, достаточно стабильны: $G_{ra}=0,114 \cdot 10^4$ МПа, $G_{tr}=0,005 \cdot 10^4$ МПа, $G_{ta}=0,07 \cdot 10^4$ МПа.

Обсуждение. Исследования Н.Н. Чулицкого [7], проведенные с древесиной сосны в абсолютно сухом состоянии, показали, что под действием температуры 80–100 °С в течение 16 суток предел прочности при сжатии вдоль волокон снижается на 5–10%, а удельная работа при ударном изгибе на 15–30%. Снижение происходит, главным образом в течение первых 2–4 суток действия высокой температуры. Влияние повышенной температуры менее всего сказывается на прочности при растяжении вдоль волокон: при повышении температуры с 10 до 100 °С прочность при растяжении снижается примерно на 16%, а при сжатии вдоль волокон – более чем вдвое. Прочность при статическом изгибе также сильно снижается при высокой температуре.

Н.Л. Леонтьев [1] изучал влияние температуры от 20 до 100 °С на прочность при сжатии вдоль и поперек волокон и модуль упругости при влажности древесины от 0 до 100 %. Нагревалась древесина токами высокой частоты. Полученные данные о прочности при сжатии вдоль и поперек волокон приведены в таблица 4.

Таблица 4 – Предел прочности и условный предел прочности при сжатии вдоль и поперек волокон

Свойства	Температура, °С	Прочность при сжатии древесины, МПа, при влажности древесины, %				
		0	15	30	50	100
Предел прочности при сжатии вдоль волокон	20	74,0	35,4	20,1	20,0	20,0
	50	73,2	23,9	12,5	12,7	12,0
	100	64,4	11,4	6,3	6,0	7,3
Условный предел прочности при сжатии поперек волокон	20	3.7*/7.7	2.3/4.1	1.5/2.2	1.3/2.1	1.2/2.0
	50	2.5/5.4	1.7/2.8	1.2/1.3	1.3/1.4	1.1/1.4
	100	2.3/5.0	1.5/1.7	0.8/0.8	0.6/0.7	0.6/0.7

*) В числителе приведены данные при радиальном сжатии, в знаменателе – при тангенциальном.

Данные таблицы 4 показывают, что прочность при сжатии вдоль и поперек волокон понижается как с повышением температуры, так и с повышением влажности древесины, при этом одновременное действие обоих факторов вызывает большое снижение прочности по сравнению с действием одного из них. Влияние влажности наблюдается до предела гигроскопичности, а дальнейшее увеличение влажности практически не отражается на прочности. Влияние же температуры непрерывно на исследованном диапазоне ее изменения.

Влияние повышенной температуры при разной влажности на прочность древесины при растяжении поперек волокон изучал М.М. Чернецов, по данным которого Л.М. Перельгиным [2] составлена табл. 5. Как видно, в этих исследованиях прочности при растяжении поперек волокон, а также в проведенных позднее исследованиях сосны М.Д. Бывших, П.С. Серговский, В.О. Самуйло и В.Н. Быковский, на которых ссылается Л.М. Перельгин [2, с. 208], проявляются такие же закономерности, как и при сжатии.

Совместное влияние температуры и влажности существенно отражается на реологических показателях при растяжении и сжатии в тангенциальном направлении поперек волокон древесины основных пород. Так, для березы при увеличении влажности от 10% до $W_{п.г.}$ мгновенный модуль упругости снижается в 4 раза, а при температуре 95° – в 8 раз; длительный модуль упругости снижается соответственно в 5 и 7 раз, время релаксации – в 4 раза.

Таблица 5 – Влияние повышенной температуры при разной влажности на прочность древесины при растяжении поперек волокон [2]

Порода	Температура, °С	Предел прочности, МПа, при растяжении					
		Радиальном и влажности древесины, %			Тангенциальном и влажности древесины, %		
		15	25	50	15	25	50
Сосна	20	5,0	4,0	3,2	3,2	2,5	5,0
	40	4,5	2,8	2,7	2,7	2,1	2,9
	80	3,5	2,4	2,3	2,3	1,4	1,2

А.В. Шуклин [2, с. 210] изучал воздействие на механические свойства древесины сосны и дуба циклических изменений температуры в разных вариантах (в диапазоне от +60 до –30 °С) при разной влажности древесины (0,12 и 23%) и при различном числе циклов (40; 80 и 120). Результаты испытаний показали, что с увеличением числа циклов механические свойства древесины понижаются при всех вариантах температуры и при всех градициях влажности.

Особенно заметно снижается прочность после первых 40 циклов, затем снижение прочности замедляется. Наиболее заметное понижение механических свойств наблюдается при воздействии знакопеременных температур (при варианте: нагрев с 20 до 60 °С, выдержка 10 мин; охлаждение до –30 °С; выдержка 10 мин, нагрев до +20 °С), а из исследованных механических свойств больше понижается удельная работа при ударном изгибе и условный предел прочности при сжатии поперек волокон, затем прочность при сжатии и скалывании вдоль волокон.

В результате диффузии молекулы воды проникают в объем полимерного материала между звеньями его молекул и, заполняя свободные промежутки, раздвигают эти звенья, а затем молекулы и надмолекулярные агрегаты, увеличивая расстояния между ними. Таким образом, увеличивается объем набухающего полимера и его масса. Процесс набухания прекращается после полного заполнения межмолекулярного пространства водой [8–11].

Вода вызывает набухание связующего и заполнителей полимерной матрицы древесностекловолоконистого композиционного материала, в результате чего могут возникать значительные напряжения, под действием которых появляются трещины, способствующие дальнейшему разрушению элемента конструкции в целом [12–14]. Деструкция и изменение свойств возникают от действия различных зимических водных растворов и воды. Следовательно, универсальной характеристикой стойкости является сопротивление действию воды [13, 15].

Заключение. Таким образом, показано, что при точном соблюдении правил выпиливания образцов в соответствии с плоскостями упругой симметрии и использовании стволов одной конкретной вырубki, можно считать древесину сосны действительно ортотропным телом и использовать полученные отношения в обобщенном законе Р. Гука.

Поскольку вода диффундирует с небольшой скоростью и неравномерно распределяется по толщине материала, в нем возникают напряжения даже в том случае, если деформация не ограничивается жесткими внешними связями. Наружные набухшие слои материала стремятся расширяться и тянут за собой внутренние «сухие» слои, которые сопротивляются этому растяжению, ограничивая деформацию растяжения [12, 15].

В связи с этим по сечению, перпендикулярному фронту диффундирующей жидкости, в материале возникают влажностные напряжения, неодинаковые по величине и знаку. Набухшие внешние слои окажутся сжатыми, а внутренние – растянутыми. Эпюры распределения влажностных напряжений меняются во времени, т. к. из-за пластифицирующего действия воды, меняется модуль упругости отвержденного полимерного раствора [11, 16].

Процесс водонасыщения объясняется им следующим образом: она может проникать в композиционный материал по капиллярам как между полимерсвязующим веще-

ством и нитевидной стеклоарматурой, так и по самой арматуре. В этом случае адгезионные связи различного вида должны ослабевать, что и приводит к снижению характеристик прочности и, в особенности, жесткости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леонтьев, Н. Л. Упругие деформации древесины / Н. Л. Леонтьев. – Л.: Гослесбумиздат, 1952.– 120 с.
2. Перельгин, Л. М. Древесиноведение / Л. М. Перельгин. – М. : Лесн. пром-сть, 1969.– 316 с.
3. Древесина, показатели физико-механических свойств.: Рук. техн. материалы / Ком. стандартов, мер и измерит. приборов – М.: Стандартгиз, 1962.– 74 с.
4. Уголев, Б. Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения / Б. Н. Уголев, А. М. Боровиков. – М. : Лесн. пром-сть, 1986. – 368 с.
5. Боровиков, А. М. Справочник по древесине / А. М. Боровиков, Б. Н. Уголев / Под ред. Б. Н. Уголева.– М.: Лесн. пром-сть, 1989.– 236 с.
6. Ашкенази, Е. К. Анизотропия древесины и древесных материалов / Е. К. Ашкенази.– М.: Лесн. пром-сть, 1978.– 224 с.
7. Чулицкий, Н. Н. Исследование факторов характеристик режимов сушки древесины / Н. Н. Чулицкий // Тр./ ВИАМ.– М.: ВИАМ, 1934.– Вып. 13.– 164 с.
8. Харчевников, В.И. Водостойкий композиционный материал на основе отходов лесного комплекса для железнодорожных шпал / В.И. Харчевников, Т.Н. Стородубцева // Известия высших учебных заведений. Строительство. - 2002. - № 12. - С. 74-78.
9. Соломатов, В. И. Химическое сопротивление композиционных строительных материалов / В. И. Соломатов, В. П. Селяев. – М. : Стройиздат, 1987. – 264 с.
10. Стородубцева, Т. Н. Исследование влияния свойств древесного заполнителя на трещиностойкость композиционного материала / Т. Н. Стородубцева, А. А. Аксомитный // Лесотехнический журнал. - 2014. - Т. 4, № 3 (15). - С. 213-220.
11. Дунаев, В.Ф. Об изменчивости модуля упругости и предела прочности древесины в технологическом цикле / Дунаев В.Ф. // Лесной журнал. – Архангельск, 2014. - № 3. - С. 106-112.
12. Стородубцева, Т.Н. Строительные древесностекловолоконистые композиционные материалы для изделий специального назначения : автореф. ... д-ра. техн. наук : 05.23.05 / Т.Н. Стородубцева ; ВГАСУ. - Воронеж, 2005. - 42 с.
13. Бухонов, Ю. Н. Сопротивляемость и деформативность композиционного материала на основе древесины при изгибе : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ю. Н. Бухонов. – Воронеж, 1998. – 20 с.
14. Стородубцева, Т. Н. Использование древесных отходов и местного техногенного сырья в составах композитов : монография / Т. Н. Стородубцева, А. А. Аксомитный; М-во образования и науки Рос. Федерации, Фед. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Воронеж. гос. лесотехн. ун-т им. Г. Ф. Морозова". - Воронеж, 2016. - 196 с.
15. Общий курс строительных материалов : учеб. пособие для строит. спец. вузов / И. А. Рыбьев, Т. И. Арефьева [и др.] : под ред. И. А. Рыбьева. – М. : Высш. шк., 1987. – 584 с.
16. Стородубцева, Т. Н. Результаты исследования прочностных характеристик древесных композиционных материалов: деп. рукопись / Т. Н. Стородубцева, А. А. Аксомитный; М-во образования и науки Рос. Федерации, Фед. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования "Воронеж. гос. лесотехн. акад.". - Воронеж, 2014. - 33 с.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСИЛИЯ В ТЯГОВОМ КАНАТЕ
КАНАТНЫХ ТРЕЛЕВОЧНЫХ УСТАНОВОК ПРИ ПРЕОДОЛЕНИИ ЛОБОВЫХ
СОПРОТИВЛЕНИЙ**

Шошин А. О., ассист.

Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: raul777gol@mail.ru

**EXPERIMENTAL RESEARCHES OF EFFORT IN THE MAIN LINE OF THE
YARDERS AT THE OVERCOMING OF THE FRONT RESISTANCE**

Shoshyn A. O., Assist.

Belarusian State Technological University
(Minsk, Republic of Belarus)

Аннотация. Экспериментальные исследования в реальных производственных условиях были направлены на определение усилия в тяговом канате при выполнении наиболее опасной операции первичного транспорта – подтрелевки. Исследования усилий выполнялись на трелевочном тракторе с канатно-чokerной оснасткой ТТР-401. Определялись усилия при преодолении хлыстами комлевой частью лобового сопротивления в виде пня. Было выделено 3 характерных ситуации, возникающих при преодолении лобового сопротивления в виде пня: прохождение вертикально вверх по образующей пня; прохождение сбоку по образующей пня; прохождение комбинированным способом. Полученные максимальные усилия превышали массу трелеваемого хлыста в 2–12 раз.

Ключевые слова: трелевка; канат; сопротивление движению, тяговое усилие

Abstract. Experimental studies in real production conditions were aimed at determining the force in the traction rope when performing the most dangerous primary transport operation – lateral hauling. Researches of efforts were carried out on a skidder with a rope-choker rig TTR-401. The efforts were determined when the whips overcame the butt part of the drag in the form of a stump. Three characteristic situations were identified that arise when overcoming drag in the form of a stump: passing vertically up the generatrix of a stump; passing sideways along the generatrix of the stump; passing in a combined way. The obtained maximum efforts exceeded the mass of the trawled whip by 2–12 times.

Key words: yarding; cable; resistance to movement, traction

Введение. Исследованию усилий, возникающих в канатной оснастке канатных трелевочных установок (КТУ), посвящены работы многих авторов в советское время: Белая Н. М., Альшев И. Ф., Коротяев Л. В., Матвеев Э. Н., Журавлев Н. А., Стан И., Тулатов В. В., Бем Н. Д. и др. [1–8].

Белая Н.М. установила, что тяговые канаты, в отличие от несущих, большую часть своего рабочего цикла работают с динамическими нагрузками [1]. Было определено, что наиболее опасная часть цикла работы канатной трелевочной установки – подтрелевка древесины к несущему канату. Динамический коэффициент при выполнении данной операции принимал значение в пределах 1,5–2,4.

Альшев И.Ф. опытным путем установил зависимость коэффициента трения скольжения μ в зависимости от породы и вида трелеваемой древесины: еловые хлысты – 0,44–0,46, хлысты других пород – 0,4–0,43 [2].

Коротяев Л.В., исследуя работу КТУ [3], установил, что увеличение объема пачки хлыстов от 2 до 12 м³ при отсутствии лобовых сопротивлений приводит к уменьшению коэффициента трения скольжения пачки μ от 1,6 до 0,4. В зависимости от вида напочвенного покрова и состава почв, по мере увеличения стрелеванного объема древесины по волоку, ко-

коэффициент μ уменьшается до определенного минимального значения, а потом увеличивается, но до значений, значительно меньших максимального. При отсутствии лобовых сопротивлений увеличение среднего объема хлыста от 0,1 до 1,0 м³ приводит к уменьшению μ от 1,6 до 0,4. Изменение μ от среднего объема хлыста напрямую связано с изменением количества лесоматериалов в пачке, так как увеличение количества хлыстов приводит к увеличению одновременно контактирующих предметов труда с препятствиями на волоке и на пачке.

Виногоров Г.К. устанавливает величины сопротивления перемещению движению как коэффициент трения скольжения в зависимости от вида почвы [9]. Коэффициент сопротивления движению (коэффициент трения скольжения) 0,25–0,56 в зависимости от вида почвы. Величина коэффициента лобового сопротивления может быть в 1,2–1,3 раза превышать значение коэффициента сопротивления движению. В то же время автор отмечает, что лобовое сопротивление может возрасти до очень больших величин, превышающих силу тяги трактора, в случаях упора лесоматериалов в препятствия – пни, корни, валуны и т.д. и эти сопротивления следует рассматривать как недопустимые и расчет по ним вести нельзя.

Изучение вышеописанных работ показало, что вопрос целенаправленного исследования лобового сопротивления от контакта трелюемой пачки и пней практически не рассматривался. Приведенные авторы в своих работах не выделяли из выведенных диапазонов значений коэффициента сопротивления движению степень или долю влияния пней, однако очевидно, часть исследуемой ими выборки несомненно включала этапы преодоления пней трелюемой пачкой. В то же время при выполнении хронометражных исследований работы МКТУ Larix 3T-500 [10] в условиях заболоченного лесфонда было выявлено, что наиболее опасными факторами, уменьшающими производительность труда и значительно повышающими травмоопасность, являются:

- трение пачки о дерево промежуточной опоры.
- сопротивление подтрелевке, вызванное контактом пачки с пнями (до 1,5 м высотой).

Негативное влияние первого фактора может быть уменьшено частичным изменением технологии работы и обучением персонала специальным приемам работы. Наиболее серьезным является второй фактор ввиду того, что на данный момент нет серийно выпускаемых установок, позволяющих выполнять первичный транспорт древесины без подтрелевки, полностью подвесным способом и, таким образом, имевших возможность исключить данный фактор. Из практики применения МКТУ в заболоченных и горных условиях известно, что наиболее часты случаи разрыва тягового каната при преодолении лобовых препятствий. Поэтому важным вопросом является определение возможных границ, кратности значений усилия в тяговом органе по отношению к массе трелюемой пачки при выполнении подтрелевки.

Материалы и методы. Объектом исследования был выбран трелевочный трактор (ТТ) с канатно-чокерной оснасткой ТТР-401, в качестве предмета исследования – усилия в его тяговом канате. Выбор предмета исследования в пользу ТТ, а не специализированной мобильной КТУ обоснован тем, что в реальных производственных условиях (заболоченные лесосеки), достаточно сложно обеспечить исследовательскую работу с дорогостоящим оборудованием, предназначенным для менее экстремальных условий. В случае же с выбранным трактором ТТР-401 эксперимент проводился в летнее на сухой лесосеке с плотной почвой. В то же время, процесс трелевки с помощью ТТ и процесс подтрелевки с помощью существующих мобильных КТУ идентичен, так как в обоих случаях транспорт лесоматериалов происходит частично волоком, частично в полуподвесном положении (угол наклона нити каната к горизонтальной поверхности минимален).

Перед выполнением эксперимента производилась валка отдельного дерева в сторону, обратную от направления трелевки таким образом, что после чокеровки хлыста за комель трелевка производилась в пень только что поваленного хлыста. При выполнении экспериментальных исследований выполнялась подтрелевка пачек, состоящих из одного хлыста, так как при подтрелевке пачки, состоящей из нескольких хлыстов, невозможно

было бы точно оценить степень влияния каждого хлыста, характер контакта с препятствием, взаимное влияние каждого лесоматериала в пачке на сопротивление движению и др.

В качестве измерительной аппаратуры (рисунок 1) для получения экспериментальных данных применялся многоканальный измерительный усилитель сигнала НВМ Spider8, который подключался к ноутбуку с программным приложением Catman с измерительным комплексом применялся кабельный удлинитель с четырьмя жилами. Питание измерительного комплекса осуществлялось с помощью автомобильного аккумулятора. Для определения усилия тяги на перемещение лесоматериалов использовался датчик силы НВМ U9B, с измерительным комплексом применялся кабельный удлинитель с четырьмя жилами. Питание измерительного комплекса осуществлялось с помощью автомобильного аккумулятора.



a – измерительное оборудование (ноутбук, Spider8, аккумулятор); *б* – датчик силы НВМ U9B

Рисунок 1 – измерительное оборудование

Результаты. Выборка при исследовании усилий в тяговом канате трелевочного трактора ТТР-401 на преодоление пней составила 6 опытов. В результате проведенных замеров были получены зависимости между временем на преодоление лобового сопротивления и усилием в тяговом канате (рисунок 2).

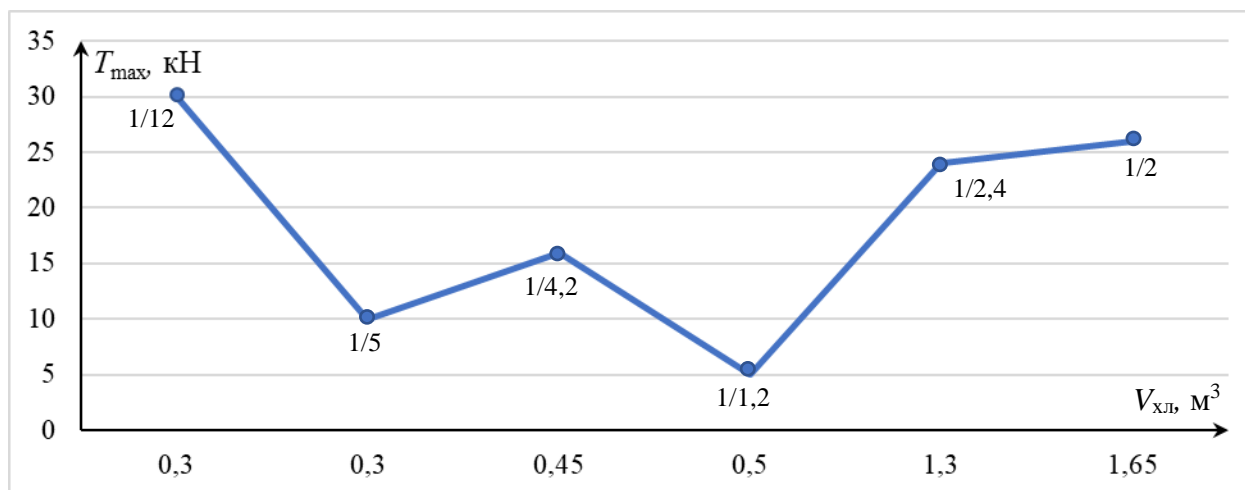


Рисунок 2 – зависимость между тяговым усилием и объемом хлыста

Как можно видеть из графика, отсутствует прямая зависимость между увеличением объема хлыста и максимальным усилием тяги в канате. При равном значении объема хлыста для первых двух опытов ($V_{хл} = 0,3 м^3$) разница в соотношении масса хлыста/тяговое усилие составила 1/12 и 1/5. Для оставшейся выборки данные соотношения составили 1/4,2 ($0,45 м^3$), 1/1,25 ($0,5 м^3$), 1/2,4 ($1,3 м^3$), 1/1,97 ($1,65 м^3$). На графике над каждой точ-

кой, соответствующей конкретному опыту отмечена кратность усилия тяги для данного хлыста по отношению к его массе.

Наибольшие соотношения между усилием тяги и массой трелеваемого лесоматериала наблюдались в случаях прохождения вертикально вверх по образующей пня – 1 способ (2 точки с объемом хлыста $0,3 \text{ м}^3$ на рисунке 2). Вторым по степени превышения усилия тяги над массой хлыста оказался 2 способ преодоления лобового сопротивления (точки с объемом хлыста $0,45, 1,3$ и $1,65 \text{ м}^3$). Наименее опасным способом преодоления хлыстом пня является 3 (точка с объемом хлыста $0,5 \text{ м}^3$).

В исследованной выборке с учетом отбракованных экспериментов было выявлено 3 способа прохождения хлыстом пня (рисунок 3):

- 1) прохождение вертикально вверх по образующей пня (рисунок 3, а);
- 2) прохождение сбоку по образующей пня (рисунок 3, б);
- 3) прохождение комбинированным способом (рисунок 3, в).



а – прохождение вертикально вверх по образующей пня; б – прохождение сбоку по образующей пня; в – прохождение комбинированным способом

Рисунок 3 – Прохождение хлыстов через пень

Анализ зависимостей изменения усилия для всей выборки позволил выявить одинаковую для всех опытов закономерность, выраженную в последовательности трех характерных этапов (рисунок 4):

А) нарастание усилия тяги в канате для преодоления сложившейся ситуации контакта с пнем, силы трения покоя и сопротивления подъему по пню (зона А, рисунок 4);

Б) преодоление пня одним из 3 вышеописанных способов (зона Б, рисунок 4);

В) движение хлыста по почве или пню без явных лобовых сопротивлений (зона В, рисунок 4).

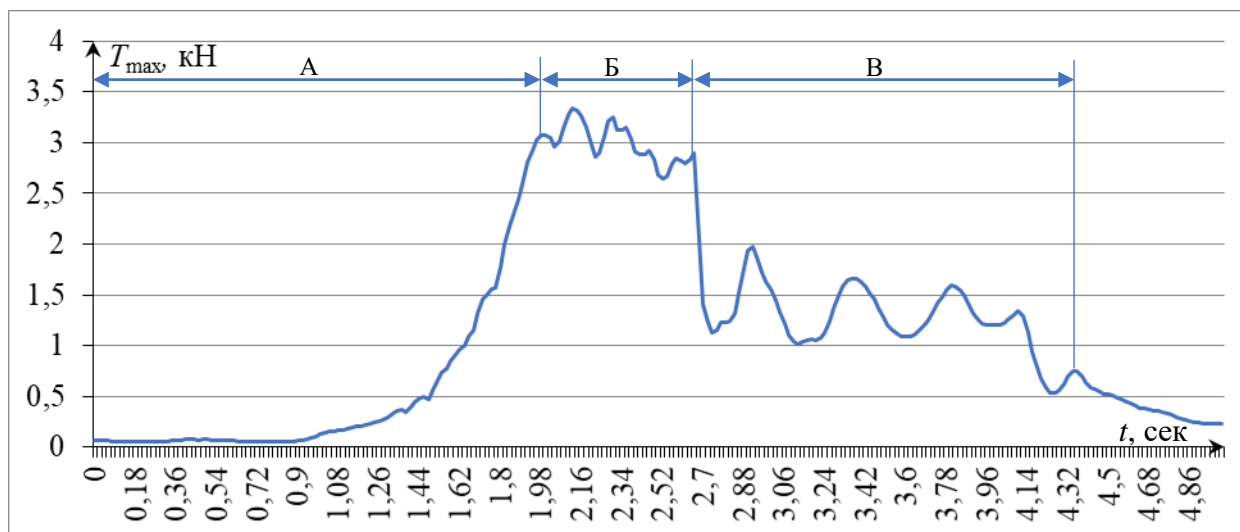


Рисунок 4 – Зависимость усилия в тяговом канате на преодоление лобового сопротивления в виде пня (случай преодоления пня хлыстом объема $0,5 \text{ м}^3$, проходящего по образующей пня)

Обсуждение. Анализ графика зависимости усилий для исследуемой выборки (рисунок 2) и ряда отбракованных опытов исследуемой выборки показал, что значение максимального усилия при подтрелевке, которое соответствует усилию на преодоление пня комлевым концом хлыста может превышать десятикратно массу трелеваемого лесоматериала и такое соотношение не предел. Однако по данной небольшой выборке трудно с уверенностью задать верхнюю границу превышения или его примерный диапазон. Важно отметить, что при выполнении эксперимента планировалось выборка порядка 30 опытов, однако в ряде случаев, при которых трелевались хлысты объемом даже $0,3 \div 0,5 \text{ м}^3$ были зафиксированы максимальные величины для используемого измерительного оборудования ввиду большого лобового сопротивления движению. К тому же, проведение данного опыта сопряжено, как и на практике, со значительными трудностями в обеспечении безопасности для людей.

Заключение. При выполнении подтрелевки и трелевки с использованием мобильных КТУ чокеровщику необходимо стремиться так управлять процессом первичного транспорта (с помощью дистанционного управления), чтобы пачка хлыстов проходила наименьший путь для сокращения времени цикла, одновременно планируя путь перемещения с учетом наименьшего количества лобовых столкновений пачки с возникающими препятствиями. Немаловажная роль в эффективном и безопасном процессе первичного транспорта отводится и вальщику, работа которого заключается в обеспечении направленного повала дерева в сторону, позволяющую наименее трудозатратно выполнить подтрелевку.

Результаты, полученные в ходе исследования, могут послужить основанием для совершенствования технологии работы существующих КТУ, а также проектирования новых типов КТУ, адаптированных, в первую очередь, к условиям работы в условиях заболоченного лесфонда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белая Н. М. Теоретические и экспериментальные исследования стальных канатов подвесных лесотранспортных установок: автореферат ... докт. техн. наук: 05.21.01. Москва, 1967. 42 с.
2. Алышев И. Ф. Исследование сопротивления движению при трелевке лебедками ТЛ-3 полуподвесным способом: автореферат ... канд. техн. наук: 05.21.01. Санкт-Петербург, 1953. 15 с.
3. Коротяев Л. В. Исследование сопротивления движению при трелевке леса: автореферат ... канд. техн. наук: 05.21.01. Свердловск, 1970. 32 с.
4. Матвеев Э. Н. Динамика подъема и стопорения груза на подвесных канатных лесотранспортных установках: диссертация ... канд. техн. наук: 05.21.01. Львов, 1983. 252 с.
5. Журавлев Н. А. Исследование динамики лебедочных механизмов при тяговых режимах нагружения: автореферат ... канд. техн. наук: Львов, 1978, 22 с.
6. Стан И. Исследование динамический усилий в канатах воздушно-трелевочных установок при трелевке леса в горных условиях: автореферат ... канд. техн. наук: Москва, 1965, 32 с.
7. Тулатов В. В. Исследование усилий в стальных канатах и опорах многопролетных воздушно-трелевочных установок при трелевке леса в горных условиях: автореферат ... канд. техн. наук: Ленинград, 1965, 19 с.
8. Бем Н. Д. Силовые режимы и выносливость тягово-несущих канатов лесотранспортных установок: автореферат ... канд. техн. наук: 05.21.01. Воронеж, 1992, 26 с.
9. Виногородов Г.К. Лесосечные работы. М.: Лесная промышленность, 1981. — 272 с.
10. Шошин А. О. Исследование процесса трелевки хлыстов на заболоченных лесосеках канатными установками в зимний период / А. О. Шошин, П. А. Протас, С. П. Мохов, В. В. Гречко / Материалы 1-ой Международной научно-технической конференции "Лесозаготовительное производство: проблемы и решения". – Минск: БГТУ, 2017. – с. 72-76. – ISSN 2522-171X.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Креч В. И., Хорошун Н. В.</i> Состояние развития лесной отрасли Республики Беларусь на современном этапе и задачи по повышению эффективности промышленной деятельности отрасли на ближайшую перспективу	5
<i>Герман А. А., Голякевич С. А., Мохов С. П.</i> Текущее состояние и перспективы развития модельного ряда и конструкций лесопромышленных машин Амкодор ...	9
<i>Цыганов А. Р., Пищов С. Н., Флейшер В. Л., Паал К.</i> Особенности дополнительного образования специалистов лесного комплекса в БГТУ	15
<i>Штоллманн В., Моронгова Я.</i> Роботизация заготовки древесины использованием аэростатических роботов	20
<i>Арико С. Е., Комарович М. Г., Сисенис Л. З., Симанович В. А., Асмоловский М. К., Зимелис А., Кононович Д. А., Беляков А. А.</i> Применение фрезерных орудий Prinoth (Ahwi) в Республике Беларусь	25
<i>Кузнецов А. А., Соколова В. А., Войнаш С. А., Арико С. Е.</i> Запас крупных остатков древесины в лесах средней и северной части тайги.....	30
<i>Боровков А.В.</i> Перспективы применения вторичных древесных ресурсов для повышения почвенного плодородия лесных питомников и выращивания семян хвойных пород в Казахстане.....	35
<i>Višková M.</i> Occupational accidents in the slovak forest sector	41
<i>Тылек П., Германович А. О.</i> Особенности применения лесохозяйственных машин на энергетических плантациях.....	47
<i>Голякевич С. А., Гороновский А. Р., Карсюк Р. А.</i> Потенциал рекуперации энергии в приводах лесозаготовительных машин.....	53
<i>Шустерман К. В., Гурский А. В.</i> Развитие модельного ряда и конструкций лесозаготовительных машин Komatsu	61
<i>Царев Е. М., Рукомойников К. П., Анисимов С. Е., Капитонова Ю. А.</i> Анализ вариантов и поиск альтернативных решений выработки окоренных сортиментов с повышением экологической эффективности утилизации отходов.....	66
<i>Кацадзе В. А., Королько Н. С., Свойкин Ф. В., Свойкин В. Ф.</i> Усовершенствование канатных трелевочных установок для разработки труднодоступных лесосек путем применения каретки сдвоенной конструкции.....	72
<i>Копытков В. В., Кулик А. А., Савченко В. В.</i> Использование вторичных древесных ресурсов для лесопитомнического производства Беларуси.....	76
<i>Таурберген Ю. А., Боровков А. В., Копытков В. В.</i> Особенности использования вторичных древесных ресурсов для выращивания семян саксаула черного в Кызылординской области Казахстана.....	82
<i>Коробкин В. А., Гордейчик А. А., Хоменко А. В.</i> Лесовозные полуприцепы холдинга "МТЗ-холдинг", агрегируемые с тракторами "БЕЛАРУС".....	87
<i>Короленя Р. О., Гендель А. Б.</i> Программное приложение для построения графиков движения лесовозных транспортных средств.....	91
<i>Короленя Р. О., Маркевич М. В.</i> Совершенствование учета и анализа технико-эксплуатационных показателей работы автотранспорта на вывозке древесины....	95
<i>Легкий В. В., Язубец Ю. Н.</i> Максимальное использование мобильности и мощности с гибридными технологиями у рубительных машинах.....	99
<i>Мартынов Б. Г., Михайлов О. А., Спиридонов С. В., Дурманов М. Я.</i> Оценка часового расхода топлива дизеля лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата в режиме пахоты.....	104
<i>Мартынов Б. Г., Михайлов О. А., Спиридонов С. В., Дурманов М. Я.</i> Исследование компонент часового расхода топлива дизеля лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата в режиме пахоты.....	110

<i>Насковец М. Т., Хорошун Н. В.</i> Учет конструктивного исполнения подвижного состава лесовозных автопоездов при решении современных дорожно-транспортных задач	116
<i>Насковец М. Т., Борозна А. А.</i> Коммуникационно-логистические составляющие лесотранспортного процесса	119
<i>Насковец М. Т., Цмак М. М., Занько Н. И.</i> Современные тенденции контейнерных автоперевозок	122
<i>Посметьев В. И., Никонов В. О., Посметьев В. В., Авдюхин А. В.</i> Математическая модель рабочего процесса рекуперации энергии в седельно-сцепном устройстве лесовозного тягача с полуприцепом.....	125
<i>Протас П. А., Мисуно Ю. И.</i> Алгоритм сравнительного анализа оценки воздействия колесного и комбинированного движителей на лесные почвогрунты...	131
<i>Orlovsky L.</i> Time study analyses of skidding with cable-grapple skidder Equus 175N...	137
<i>Протас П. А., Панкратович А. С.</i> Оценка использования древесной щепы из отходов лесозаготовок и лесопиления.....	143
<i>Платонов А. А.</i> Варианты технологических процессов удаления нежелательной растительности с территорий линейных инфраструктурных объектов.....	153
<i>Стородубцева Т. Н., Томилин М. А., Рудько Е. В.</i> Упругие и прочностные характеристики древесины при различной влажности и влиянии температуры.....	154
<i>Шошин А. О.</i> Экспериментальные исследования усилия в тяговом канате канатных трелевочных установок при преодолении лобовых сопротивлений.....	160

Научное издание

**МАТЕРИАЛЫ
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО:
ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ»**

В авторской редакции
Ответственный за выпуск *Е. О. Черник*
Компьютерная верстка: *П. А. Протас, Ю. И. Мисуно*

Подписано в печать 13.09.2021. Формат 60×84 $\frac{1}{8}$.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать ризографическая.
Усл. печ. л. 19,4. Уч.-изд. л. 19,1.
Тираж 35 экз.

Издатель и полиграфическое исполнение:
УО «Белорусский государственный технологический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/227 от 20.03.2014.
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.

