

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



“ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ”

*материалы Международной
научно-технической конференции*

“LOGGING INDUSTRY: PROBLEMS AND SOLUTIONS”

*materials of International
scientific-technical conference*



Минск, БГТУ 2017

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 Международной научно-технической конференции,
посвященной памяти профессора А. С. Федоренчика**

LOGGING INDUSTRY: PROBLEMS AND SOLUTIONS

**Materials of International scientific-technical conference
in memory of Professor Alexander Fedorenchik**



26–28 апреля 2017 г.

г. Минск

УДК 630*31(06)
ББК 65.34
Л 50

Лесозаготовительное производство: проблемы и решения : материалы Международной научно-технической конференции. – Минск : БГТУ, 2017. – 244 с. – ISBN 978-985-530-607-9.

Сборник составлен по материалам докладов Международной научно-технической конференции «Лесозаготовительное производство: проблемы и решения», посвященной памяти профессора А. С. Федоренчика, 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

Члены редколлегии:

ректор, д-р техн. наук И. В. Войтов

зав. кафедрой ЛМиТЛЗ, канд. техн. наук, доцент С. П. Мохов

доц. кафедры ЛМиТЛЗ, канд. техн. наук П. А. Протас

© УО «Белорусский государственный технологический университет», 2017

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

- Председатель конференции:** **Войтов И. В.** – ректор Белорусского государственного технологического университета, д.т.н.
- Сопредседатели:** **Демьяник Л. Ю.** – заместитель Министра лесного хозяйства Республики Беларусь
Диковицкий Г. Н. – заместитель председателя концерна «Беллесбумпром»
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)
Вавилов А. В. – зав. кафедрой «Строительные и дорожные машины» Белорусского национального технического университета, профессор, д.т.н.
Герц Э. Ф. – директор института лесопромышленного бизнеса и дорожного строительства Уральского государственного лесотехнического университета, профессор, д.т.н. (Россия)
Григорьев И. В. – зав. кафедрой технологии лесозаготовительных производств Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета, профессор, д.т.н. (Россия)
Загкас Т. – директор школы лесного хозяйства и окружающей среды университета им. Аристотеля, профессор, д.н. (Греция)
Коробкин В. А. – заместитель генерального конструктора ОАО «Минский тракторный завод», д.т.н.
Кунтыш В. Б. – профессор Белорусского государственного технологического университета, д.т.н.
Лой В. Н. – декан ф-та технологии и техники лесной промышленности Белорусского государственного технологического университета, доцент, к.т.н.
Мохов С. П. – зав. кафедрой лесных машин и технологии лесозаготовок Белорусского государственного технологического университета, доцент, к.т.н.
Насковец М. Т. – зав. кафедрой лесных дорог и организации вывозки древесины Белорусского государственного технологического университета, доцент, к.т.н.
Пасхалис-Якубович П. – профессор Варшавского университета естественных наук, д.н. (Польша)
Протас П. А. – доцент Белорусского государственного технологического университета, к.т.н.
Савельев А. Г. – профессор Латвийского сельскохозяйственного университета, к.т.н. (Латвия)
Сюнёв В. С. – проректор Петрозаводского государственного университета, директор института рационального природопользования на Европейском Севере ПетрГУ, профессор, д.т.н. (Россия)
Черник Е. О. – зав. сектором ИВОНД БГТУ

ORGANIZING COMMITTEE

**Conference
chairman:**

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

Co-chairmen:

Demyanik L. Yu. – Deputy Minister of Forestry
of the Republic of Belarus

Dikovistkiy G. N. – Vice-chairman of Bellesbumprom Concern

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

Vavilov A. V. – Head of Department of Building and Road Machinery,
BNTU, professor, D.Sc. (Engineering)

Gerts E. F. – Director, Institute of Forest Industry Business and Road
Building, Ural State Forestry Engineering University, professor,
D.Sc. (Engineering), Russia

Grigoriev I. V. – Head of Department of Logging Technology,
Saint-Petersburg State Forestry Engineering University, professor,
D.Sc. (Engineering), Russia

Zagas T. – Head of School of Forestry and Natural Environment,
University of Aristotle, professor, PhD, Greece

Korobkin V. A. – Deputy General Designer, OJSC Minsk Tractor Works,
D.Sc. (Engineering)

Kuntysh V. B. – professor, D.Sc. (Engineering), BSTU

Loy V. N. – Dean, Forestry Engineering and Wood Technology Faculty,
BSTU, associate professor, PhD (Engineering)

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

Naskovets M. T. – Head of Department of Forest Roads and Forest
Transportation, BSTU, associate professor, PhD (Engineering)

Paschalis-Yakubovich P. – professor, Warsaw University of Life Sciences,
PhD, Poland

Protas P. A. – associate professor, BSTU, PhD (Engineering)

Savelyev A. G. – professor, Latvian University of Agriculture,
PhD (Engineering), Latvia

Syunev V. S. – Vice-rector, Petrozavodsk State University, Director,
Institute of Environmental Management in the European North, professor,
D.Sc. (Engineering), Russia

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

**Памяти профессора
Александра Семёновича
ФЕДОРЕНЧИКА**



(1950–2015)

АЛЕКСАНДР СЕМЁНОВИЧ ФЕДОРЕНЧИК – УЧЕНЫЙ, УЧИТЕЛЬ, ДРУГ

А. С. Федоренчик родился 14 августа 1950 года в г. Минске в семье рабочего. После окончания школы в 1967 году поступил и закончил Белорусский технологический институт им. С.М. Кирова по специальности «Машины и механизмы лесной и деревообрабатывающей промышленности». Трудовую деятельность начал инженером по технике безопасности труда в Минском лесхозе. Затем продолжил ее в технологическом институте (с 1993 года – Белорусском государственном технологическом университете): заведующим учебной лабораторией, ассистентом (1973–1984 гг.); доцентом кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок (1985–1991 гг.); заместителем декана лесоинженерного факультета (1983–1988 гг.); деканом заочного факультета (1988–1991 гг.). С февраля 1991 года по август 2010 г. – проректором по учебной работе, а с сентября 2010 г. и до конца жизни – профессором кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок. В 1984 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Александр Семёнович Федоренчик – заслуженный работник образования Республики Беларусь, профессор, известный ученый в области ресурсосберегающих процессов лесопользования, биоэнергетики, лесного машиностроения. С 1967 г. и до последних дней его жизнь была тесно связана с Белорусским государственным технологическим университетом.

Являясь членом учебно-методического совета России по специальности «Лесоинженерное дело», членом президиума двух учебно-методических объединений вузов Республики Беларусь по химико-технологическому образованию и образованию в области лесного хозяйства и природопользования, членом-корреспондентом Международной академии технического образования, иностранным членом Российской академии естественных наук (РАЕН), академиком Белорусской инженерной академии, членом научно-технического совета Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь, Республиканского товарищества дружбы «Беларусь – Финляндия»; председателем учебно-методического совета БГТУ Александр Семёнович много сделал для развития высшего лесного образования и его учебно-методического обеспечения.

А.С. Федоренчик проработал в университете 43 года, из них 20 лет проректором по учебной работе. Как проректор он внес значительный личный вклад по превращению университета в крупный многопрофильный учебно-научно-методический центр страны, активно участвовал в разработке и реализации программы развития университета.



Вручение премии Правительства Республики Беларусь за достижения в области качества (ректор БГТУ профессор Жарский И. М. и проректор по учебной работе Федоренчик А. С. с Дипломом и Символом Премии, 2011 г.)



На выставке Лесдревмаш, 1996 г.
Слева направо: Провоторов Ю. И., Запруднов В. И., Редькин А. К.,
Федоренчик А. С., Быков В. В.



Александр Семенович Федоренчик проводит
профориентационную работу со школьниками (2013 г.)



Обсуждение вопросов по проекту «Балтийский ландшафт»
в ГЛХУ «Новогрудский лесхоз» (2013 г.)



С коллективом кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок (2015 г.)

Откликаясь на потребности производства, он разработал и внедрил в образовательный процесс три авторских курса: «Комплексное использование древесного сырья», «Лесная сертификация» и «Энергетическое использование древесной биомассы», ряд методик, технологий, типовых проектов и др.

В качестве ученого А.С. Федоренчик известен как в странах СНГ, так и в странах дальнего зарубежья. За период работы в университете им опубликовано более 300 научных работ, в том числе монография «Энергетическое использование низкокачественной древесины и древесных отходов», учебные пособия с грифом «Технология и оборудование комплексного использования древесного сырья. Практикум», «Лесные машины «Амкодор», «Энергетическое использование древесного сырья. Практикум» и др. Под его руководством выполнялись задания с участием Мирового банка развития и реконструкции и государственные научно-технические программы.

Ученый неоднократно был организатором и участником крупных международных семинаров и конференций по вопросам лесного образования и науки, проведенных в ряде зарубежных стран. Приглашался для чтения лекций в ВУЗы Польши и России. Под его руководством защищены ряд диссертаций, результаты которых внедрены в лесопромышленное производство и позволили создать новые направления его развития.

Трудовая деятельность Александра Семёновича неоднократно отмечалась высокими правительственными наградами.

За высокие профессиональные и личностные качества, умение работать с людьми А. С. Федоренчик пользовался заслуженным авторитетом среди сотрудников, студентов, коллег и производителей. Он постоянно проявлял заботу о своих учениках, был человеком трудолюбивым, добросовестным, способствовал повышению научного уровня своих коллег, аспирантов и студентов, ценил и поддерживал порядочность, доброту и гражданскую активность в людях.

05 июля 2015 года Александр Семёнович Федоренчик внезапно ушел из жизни. До последнего своего дня он оставался активным ученым, талантливым преподавателем, верным другом и хорошим человеком.

Ученики, коллеги, друзья

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

Войтов И. В., ректор, д.т.н., Ледницкий А. В., доц., к.э.н.
Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: ledniz@inbox.ru

**CURRENT AND PROSPECTIVE USES OF WOOD FUEL
IN THE REPUBLIC OF BELARUS**

Voitau I. V., Rector, D.Sc. (Engineering), Lednitsky A. V., Assoc. Prof., PhD (Economics)
Belarusian State Technological University
(Minsk, Republic of Belarus)

The article dwells upon the production aspects and uses of local wood fuels in the Republic of Belarus. It analyzes the current state and outlines prospective uses of wood fuel in the country. The paper also outlines annual economically available wood fuel resources and engineering processes of wood chips production.

Введение. В связи с постоянным удорожанием импортируемых в Беларусь энергетических ресурсов одной из актуальных задач обеспечения национальной безопасности является обеспечение энергетической и, как следствие экономической, безопасности государства. В настоящее время этот показатель для Беларуси равен примерно 15% (в том числе: нефть – 40%, древесное топливо – 28%, торф – 16%, попутный горючий газ – 6%, ветро- и гидро-энергия – 0,2%, прочие виды топлива – 9,8%). Остальные 85% энергоресурсов импортируются, главным образом, из России. Такое соотношение между собственными и импортными энергоресурсами обусловлено не экономическими соображениями, а недостаточностью запасов собственных энергоресурсов. На закупку недостающих энергоносителей и электроэнергии расходуется около 8,5 млрд. долларов США в год, что составляет около 20% объема всего импорта республики и делает ее экономику зависимой от внешних факторов [1].

В структуре потребления топливно-энергетических ресурсов велика доля одного энергоресурса – природного газа (57,2% в топливно-энергетическом балансе, 80% в балансе котельно-печного топлива и 97,2% в топливном балансе энергосистемы). В этой связи для обеспечения энергетической безопасности страны весьма актуальной становится задача диверсификации потребляемых энергоресурсов и их поставщиков. По мнению специалистов выходом из создавшегося положения может стать многовекторный подход. Это и строительство атомной электростанции, крупномасштабное использование энергии ветра и солнца, внедрение энергосберегающих технологий, строительство гидроэлектростанций, более эффективное использование в энергетических целях биомассы и др. Ожидается, что к 2020 году доля природного газа в структуре потребления первичных топливно-энергетических ресурсов снизится почти на 25%, а доля местных видов топлива возрастет до 16,2% против имеющихся 8,3% [1].

В стране постоянно реализуется комплекс мер направленный на увеличение использования местных видов топлива, к которым относят ископаемые и возобновляемые источники энергии, добываемые на территории республики. Предпринимаемые действия позволили за последние 8 лет увеличить долю собственных энергоресурсов в балансе котельно-печного топлива (КПТ) с 16,8% до 26,4%. При этом доля возобновляемых источников энергии (ВИЭ) составила 8,3%. В структуре используемых ВИЭ доминирует древесное топливо. Однако Беларусь не останавливается на достигнутых результатах.

Правительством страны поставлена стратегическая задача обеспечить долю использования собственных энергоресурсов в балансе КПТ не менее 32,0% к 2020 году. В достижении поставленной цели значительная роль отводится использованию низкокачественной древесины и древесных отходов в энергетических целях [1].

1. Ресурсный потенциал для производства древесного топлива. Беларусь – лесная держава. Лесопокрытая площадь в Республике Беларусь на 01.01.2017 составила 8,67 млн. га, лесистость территории – 39,5%. Общий запас насаждений достиг 1,7 млрд. м³, в том числе возможных для эксплуатации 81,3%. Доля лесного комплекса в валовом внутреннем продукте составляет 4,2–4,5%. В нем занято около 110 тысяч человек (3,0% от численности занятых в народном хозяйстве).

Площадь лесов, большую чем в Беларуси, в Европе имеют Швеция – 22 млн. га, Финляндия – 19,5 млн. га. Примерно такое же количество лесов, как и в Беларуси, в Германии – 9,9 млн. га, Украине – 9,5 млн. га, Польше – 8,9 млн. га, Норвегии – 8,7 млн. га [2].

На каждого жителя Беларуси приходится 0,98 га лесов и 166 м³ древесного запаса, что практически в два раза выше среднеевропейского уровня [2].

В среднем за год прирост всех древостоев в республике составляет 31,9 млн. м³. Заготовка древесины в Беларуси в последние годы составляет 15,5–21,5 млн. м³ в год, в том числе по главному пользованию – 5–7 млн. м³, промежуточному – 5,5–7,5 млн. м³, прочим рубкам 5–7 млн. м³.

Объем заготовки дров в последние годы составляет 6,2–8,4 млн. м³. При этом значительная часть (около 3,6–4 млн. м³) заготавливаемых дров отпускается населению, бюджетным организациям. Остальные дрова либо используются в круглом виде котельными ЖКХ, либо измельчаются в топливную щепу. Щепа используется котельными ЖКХ, мини-ТЭЦ, а также отгружается на экспорт.

Прогноз среднегодового объема заготовки и использования древесных топливных ресурсов в Республике Беларусь в 2017–2020 года приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Прогноз среднегодового объема заготовки и использования древесных топливных ресурсов в Республике Беларусь в 2017–2020 годах

Наименование древесных топливных ресурсов	Всего, млн. м ³
1. Возможный объём заготовки дров, всего	9,0
в том числе при проведении:	
– рубок главного пользования	2,8
– рубок промежуточного пользования	4,2
– прочих рубок	2,0
2. Отходы деревообработки	2,0
3. Насаждения ольхи серой	1,0
4. Перестойные насаждения мягколиственных пород	1,0
5. Отходы лесозаготовок (сучья, ветви)	0,9
6. Древесный отпад (ликвидная захламенность и сухостойные деревья)	0,9
Итого возможный объем древесных топливных ресурсов	14,8
Использование древесных топливных ресурсов в качестве котельно-печного топлива, на технологические нужды и населением	9
Остаток топливных ресурсов	5,8

Таким образом, возможный среднегодовой объем заготовки древесных топливных ресурсов в Республике Беларусь в 2017–2020 годах составит 14,8 млн. м³. Среднегодовое потребление населением и организациями в качестве котельно-печного топлива и на технологические нужды, а также поставка на экспорт – 9 млн. м³.

2. Система снабжения энергообъектов древесным топливом. Для заготовки возрастающих объемов древесины и производства топливной щепы в БГТУ был разработан комплекс технологий и ряд отечественных машин. Совместно с ОАО «Минский тракторный завод» было создано семейство колесных лесозаготовительных машин для рубок главного и промежуточного пользования, среди которых харвестеры, форвардеры, прицепные тележки с манипуляторами, различные трелевочные тракторы. Выпуск аналогичных машин был освоен

и ОАО «Амкодор». Отличительной особенностью данных машин является широкое использование в них импортных узлов и технологического оборудования, среди которых гидроманипуляторы, захватно-срезающие устройства, элементы гидропривода и автоматизированных систем управления [2].

Для реализации технологий комплексной заготовки деловой древесины с утилизацией лесосечных отходов в энергетических целях на данных предприятиях также был освоен выпуск мобильных рубильных машин с использованием рубильных агрегатов барабанного типа фирм Jenz GmbH (Германия) и концерна Kesla OYJ (Финляндия) с производительностью 40–160 нас. м³/ч (рисунок 1).



а

б

Рисунок 1 – Мобильные барабанные рубильные машины с гидроманипуляторами:

а – прицепная Беларусь МР-100 ОАО «Минский тракторный завод»;

б – самоходная Амкодор-2904 ОАО «Амкодор»

С ОАО «Минский автомобильный завод» создан автопоезд для перевозки щепы с нагрузкой на рейс 80 нас. м³ (рисунок 2, *а*) и автощеповоз со съемными контейнерами с нагрузкой на рейс 35–40 нас. м³ (рисунок 2, *б*).



а

б

Рисунок 2 – Автомобили для перевозки щепы ОАО «Минский автомобильный завод»:

а – прицепной автопоезд-щеповоз МАЗ-5516+МАЗ-8561; *б* – автощеповоз с механизмом самозагрузки-разгрузки контейнера типа «мультилифт» МАЗ-6501

Производства по выпуску щепы созданы в 57 государственных лесохозяйственных организациях с производственной мощностью более 1,6 млн. м³ в год и объемом производства около 1,45 млн. пл. м³ в год (рисунок 3). Кроме того, определенные мощности по производству топливной щепы созданы в организациях ЖКХ и на частных предприятиях. Производством древесных пеллет и брикетов занимаются более чем в 30 организациях республики. Из них 11 производств по изготовлению пеллет и брикета мощностью 25,0 тыс. тонн в год созданы в системе Министерства лесного хозяйства.



Рисунок 3 – Склад межсезонного хранения топливной щепы ГОЛХУ «Вилейский опытный лесхоз»: а – бурт щепы; б – штабеля дров

Наличие отечественной лесозаготовительной техники с широко представленными в стране зарубежными машинами фирм Jenz GmbH (Германия), Kesla OYJ (Финляндия), Heizomat GmbH (Германия), Bruks (Швеция) позволяет реализовать ряд технологических процессов лесозаготовок с производством топливной щепы в условиях лесосеки, промежуточных и межсезонных складов. Однако, как показывает накопленный отечественный опыт, наибольшее распространение в природно-производственных условиях страны получил технологический процесс производства и поставки топливной щепы потребителю, разработанный в БГТУ, с использованием промежуточного склада [2].

3. Энергообъекты, работающие на древесном топливе. В Республике Беларусь на древесном топливе работает более 3000 котлов мощностью от 0,012 до 20 МВт. Кроме того, в комбинированном цикле, выработки тепловой и электрической энергии работает 12 мини-ТЭЦ. Котлы в республике используются как местного (ООО «Белкотломаш», СООО «Комконт» и др.), так и импортного производства. Строительство мини-ТЭЦ в основном проводилось с использованием паровых котлов Бийского котельного завода (Россия), предтопков ЗАО «AXIS Industries» (Литва) и паротурбинных установок ЗАО «Энерготех» (Россия). Кроме того, на ряде мини-ТЭЦ использовались технологии финской компании Wartsila и австрийской компании Polytechnik. Ряд проектов реализован с применением ORC-модулей и термомасляных котлов.

Среди построенных в республике 12 мини-ТЭЦ, работающих на древесном топливе, необходимо выделить Вилейскую, Пинскую, Петриковскую, Пружанскую, Речицкую, мини-ТЭЦ ОАО «Мостодрев», мини-ТЭЦ ОАО Фандок (г. Бобруйск), как наиболее отвечающие современным подходам, сложившимся в странах с развитой биоэнергетикой.

В результате реконструкции *Вилейской мини-ТЭЦ* два котла ДКВР-10/13, работавшие на мазуте 4320 ч в год при полной нагрузке и 1 котел с нагрузкой 9 т пара/ч, работавший 4320 ч в год, были заменены котлом KE-25-24-350 ЗАО «AXIS Industries» (Литва) с нагрузкой 25 т пара/ч, давлением пара 2,3 МПа, температурой перегретого пара 350°C, работающим на древесном топливе (рисунок 4). Суммарные капитальные вложения на строительство мини-ТЭЦ составили 17,16 млн. дол. США.

Для работы мини-ТЭЦ г. Вилейка требуется 150 тыс. насыпных м³ топливной щепы в год, что составляет 60 тыс. плотных м³ (16 тыс. т у. т.) древесного топливного сырья. Начиная с 2007 года ГОЛХУ «Вилейский опытный лесхоз» поставляет на мини-ТЭЦ г. Вилейки около 48 тыс. пл. м³ топливной щепы в год. Производство топливной щепы осуществляется мобильной системой машин как в условиях лесосеки, промежуточных складов, так и на складе межсезонного хранения топливной щепы.

В результате ввода Вилейской мини-ТЭЦ ежегодная экономия энергоресурсов составляет около 12,5 тыс. т. условного топлива благодаря замещению мазута и газа местными видами топлива. Дополнительный энергосберегающий эффект в размере около 4,5 тыс. т у. т. в год получается за счет выработки электроэнергии.



Рисунок 4 – Вилейская мини-ТЭЦ

Пружанская мини-ТЭЦ является одним из самых энергоэффективных объектов подобного класса, действующих в Беларуси. Финская компания Wartsila поставила в 2009 году энергооборудование способное сжигать топливную щепу влажностью до 60%. Электрическая мощность теплоэлектроцентрали – 3,5 МВт. Пружанская мини-ТЭЦ способна бесперебойно обеспечивать теплом и электричеством весь город (20 тыс. населения). В сутки мини-ТЭЦ потребляет до 200 пл. м³ топливной щепы. Основной объем топлива для станции составляет ГЛХУ «Пружанский лесхоз». Ежедневно лесхоз готовит для этих целей 50–70 пл. м³ щепы и до 120 м³ дровяной древесины. Эксплуатация Пружанской мини-ТЭЦ позволяет ежегодно замещать около 11 млн. м³ природного газа, а также способствует решению вопроса занятости населения на торфяных и лесозаготовительных предприятиях региона.

Речицкая мини-ТЭЦ расположена в г. Речица и является одним из последних энергетических объектов, созданных в Беларуси, с использованием передовых технологий в данной сфере. Мини-ТЭЦ была запущена в эксплуатацию в октябре 2011 года. Генеральным подрядчиком, осуществлявшим комплексное строительство под ключ, являлась фирма Polytechnik (Австрия). На станции установлены термомасленный котел производства Polytechnik мощностью 19,6 МВт в час для сжигания древесного топлива и торфа и паротурбинная установка (ПТУ) мощностью 4,23 МВт. Речицкая мини-ТЭЦ работает на местных видах топлива, замещая ими природный газ. В качестве топлива здесь применяются древесная щепа и брикетированный торф. Вместо воды в котлах используют органическое масло. Оно имеет более низкую температуру испарения и дольше удерживает тепло, что позволяет расходовать топливо более экономно. Мини-ТЭЦ полностью автоматизирована, в смену ее обслуживают всего три человека. Проект реализован с применением передовой технологии с использованием ORC-модулей и термомасляных котлов, что является новшеством для белорусской энергосистемы.

4. Экономическая эффективность производства древесного топлива. Сегодня все усилия направлены на снижение себестоимости производства древесного топлива и повышение его конкурентоспособности по отношению к ископаемым видам топлива путем формирования наиболее эффективных систем машин, оптимизации расположения складов и решения задач логистики доставки топлива.

Анализ данных многолетних наблюдений свидетельствует о том, что на протяжении последних 12 лет конкурентоспособность древесного топлива постоянно изменялась. Наиболее высокие значения данного показателя характерны для начала анализируемого периода, что в первую очередь, обусловлено относительно низким спросом на древесно-топливное сырье. По мере реализации в стране мероприятий, направленных на увеличение использования местных возобновляемых источников древесной биомассы, спрос на древесно-топливное сырье многократно возрос. Это обстоятельство во многом предопределило увеличение стоимости топливной щепы, древесных пеллет и брикетов. Так, например, за последние 12 лет стоимость дров увеличилась в 3,3 раза, опилок – в 32 раза, топливной щепы – в 3,5 раза, древесных пеллет и брикетов – в 2,2 раза.

В настоящее время в Республике Беларусь дрова и топливная щепа конкурентоспособны по сравнению с ископаемыми видами топлива. Так, стоимость топливной щепы в условном выражении ниже стоимости природного газа на 31% и топочного мазута на 34%. Древесные пеллеты и брикеты, несмотря на высокие потребительские качества в настоящее время в стране нашли ограниченное применение на котельных ЖКХ и в основном поставляются на экспорт.

В Беларуси первые поставки древесного топлива на энергетические объекты не принесли значительных доходов и подчас оборачивались убытком для поставщиков. Сегодня средняя цена без НДС реализуемой в республике топливной щепы составляет около 15 долл. США/плотный м³, а при поставке на экспорт – 16 долл. США/плотный м³. Это позволило поставщикам и потребителям найти зону взаимовыгодного сотрудничества. Дальнейшее развитие частного рынка заготовки древесно-топливного сырья, производства и доставки топливной щепы будет способствовать снижению ее цены. Рост цен на традиционные энергоносители окажет значительное влияние на повышение экономической эффективности производства древесного топлива и переосмысление традиционно сложившихся стереотипов о первичных источниках энергии.

Заключение.

1. Тема исследования возобновляемых источников сырья и биологического топлива находится среди приоритетов устойчивого развития и поддерживается правительствами многих развитых лесодобывающих и лесоперерабатывающих стран Европы, включая Республику Беларусь [2]. В этом контексте повышение энергоэффективности и внедрение энергосберегающих технологий становится первоочередной задачей для большинства национальных экономик. Данным процессам способствуют как рост цен на энергоносители, так и увеличивающийся объем выбросов парниковых газов, который приводит к негативным последствиям связанным с изменением климата и окружающей среды.

2. Ожидается, что к 2020 году доля природного газа в структуре потребления первичных топливно-энергетических ресурсов в Беларуси снизится почти на 25%, а доля местных видов топлива возрастет до 16,2% против имеющихся 8,3% [1]. Сравнивать целесообразность использования природного газа и древесного топлива только по ценовому фактору не совсем корректно. При покупке газа валюта вывозится из страны и увеличивается отрицательное сальдо внешнеторгового баланса. Поскольку древесина является местным топливом, формирующаяся инфраструктура по его заготовке, транспортировке и хранению работает на благо государства. Предприятия создают рабочие места, платят налоги, задействуют не востребуемое ранее сырье и отходы. Перевести эту пользу в денежный эквивалент довольно сложно.

3. В настоящее время в Республике Беларусь создана новая система обеспечения энергетических объектов древесным топливом, требующая ресурсного и финансового обеспечения. Разработаны отечественные машины и оборудование, технологии, выбраны наиболее целесообразные формы организации производства. Сегодня все усилия направлены на снижение себестоимости производства древесного топлива и повышение его конкурентоспособности по отношению к ископаемым видам топлива путем формирования наиболее эффективных систем машин, оптимизации расположения складов и решения задач логистики доставки топлива. Решение данной задачи требует хорошего информационного обеспечения, выполнения многовариантных технико-экономических расчетов, поиска принципиально новых технических, технологических и организационно-управленческих методов [1, 2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Ледницкий А.В. Экономическая эффективность выработки тепловой и электрической энергии при сжигании древесного топлива // Труды Бел. гос. технол. ун-та. Сер. VII. Экономика и управление. Минск: БГТУ, 2016. С. 82–86.

2. Федоренчик, А. С. Энергетическое использование низкокачественной древесины и древесных отходов / Монография / А.С. Федоренчик, А.В. Ледницкий. Минск: БГТУ, 2010. – 446 с.

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА
В ОРГАНИЗАЦИЯХ МИНИСТЕРСТВА ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Демьяник Л. Ю., зам. Министра, Шут В. П., нач. отдела,
Худицкая М. А. консультант отдела**
Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: mlh@mlh.gov.by

**CURRENT CONDITION OF FOREST INDUSTRIAL PRODUCTION
IN THE ORGANIZATIONS OF THE MINISTRY OF FORESTRY
THE REPUBLIC OF BELARUS**

**Demyanik L. Yu., Deputy Minister, Shut U. P., Head of Department,
Khudzitskaya M. A., Department consultant**
Ministry of Forestry the Republic of Belarus
(Minsk, Republic of Belarus)

The article provides up-to-date information on the current state of logging production in the organizations of the Ministry of Forestry the Republic of Belarus. The main problems and prospects of the industry development are given.

Леса, которыми покрыто почти 40% территории республики, занимают ключевое место среди природных богатств Беларуси и являются уникальным возобновляемым ресурсом. Все леса в Беларуси - исключительная собственность государства. Лесной фонд республики составляет более 9,5 млн. га, запас древесины на корню оценивается в 1,7 млрд. куб. метров. Ежегодный прирост составляет порядка 32 млн. куб. метров древесины. Искусственно созданные леса занимают 25 % покрытых лесом земель. Средний возраст лесов Республики Беларусь – 53 года, средний запас на 1 га – 205 куб. метров, средний запас спелых и перестойных древостоев 258 куб. метров на 1 га.

Лесной фонд Республики Беларусь представлен преимущественно хвойными лесами. 50,3% всего фонда составляют сосновые, 9,2% – еловые насаждения. Остальные покрытые лесом земли – лиственные леса, из которых 3,3 % представлено твердолиственными породами: дуб, граб, ясень, клен, вяз и др. Около половины площадей (46,0%) – средневозрастные леса. Молодняки занимают 18,7% покрытых лесом земель, припевающие насаждения – 22,8%, спелые и перестойные – 12,5%.

По ряду характеристик лесосырьевых ресурсов Беларусь входит в десятку ведущих лесных государств Европы. Более половины площади белорусских лесов отнесено к специальным категориям защиты флоры, фауны, почв и вод.

Лесной комплекс Республики Беларусь объединяет отрасли и производства, выполняющие функции как воспроизводства, охраны, защиты лесов, так и заготовки и переработки древесного сырья и отходов.

Древесина является основным продуктом лесного хозяйства, реализуется потребителям и используется в качестве сырья в лесопильно-деревообрабатывающей промышленности. Продукция лесопромышленного комплекса вносит вклад в формирование валового внутреннего национального продукта.

Создан механизм обеспечения потребителей лесной продукцией (в том числе деревообрабатывающего производства - древесным сырьем), основанный на обязательной продаже древесины в заготовленном виде и древесины на корню на конкурсной основе на биржевых торгах. Это обеспечивает равный доступ к сырью организациям всех форм собственности, прозрачность совершаемых сделок по ценам в соответствии со спросом и предложением.

Структура лесопромышленного производства организаций Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь представлена следующими направлениями:

- лесозаготовки;
- деревообработка.

Лесозаготовки включают в себя заготовку и вывозку древесины, производство деловой древесины и круглых лесоматериалов, выпуск технологического сырья. Начиная с 2010 года наблюдается стабильный рост объемов заготовки древесины по Республике Беларусь.

Если в 2010 году в целом по республике заготовлено 15,5 млн. куб. метров древесины, то в прошлом году общий объем заготовки древесины составил 21,1 млн. куб. метров (таблица 1). К 2020 году объем заготовки должен достигнуть более 23 млн. куб. метров древесины (согласно Государственной программе «Белорусский лес»).

Таблица 1 – Заготовка древесины в лесах Беларуси

год	Заготовлено, тыс. куб. метров		
	всего	в том числе	
		деловая древесина	дровяная древесина
2010	15,5	9,3	6,2
2011	17,7	10,1	7,6
2012	18,1	10,6	7,4
2013	18,5	10,9	7,6
2014	19,6	11,3	8,3
2015	18,5	11,2	7,3
2016	21,1	12,6	8,4

За 2016 год в системе Минлесхоза из всех видов рубок заготовлено 15,1 млн. куб. метров ликвидной древесины. Силами Минлесхоза заготовлено 4,75 млн. куб. метров дровяной древесины. Доля заготовки дровяной древесины организациями Минлесхоза за 2016 год составила 56,5 % от общей заготовки дров по республике. Предприятиями Минлесхоза обеспечена вывозка древесины в размере 11,8 млн. куб. метров. Рост объема вывозки древесины к уровню 2010 года составил 131,3%.

Достижение данных показателей стало возможным благодаря развитию в организациях Минлесхоза парка многооперационной лесозаготовительной и вывозной техники. Так, на начало 2017 года в организациях Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь насчитывалось 199 харвестеров, 264 форвардера, 657 сортиментовозов, 1185 тележек для перевозки древесины и др. техника.

В настоящее время отраслью достигнут уровень заготовки древесины механизированным способом от общего объема заготовки древесины в 47,0%. Общий объем заготовки древесины харвестерами в отрасли составил 7,0 млн. куб. метров (темп 112 % к уровню 2015 года).

Следует подчеркнуть, что в белорусских лесах в основном эксплуатируется многооперационная лесозаготовительная техника отечественного производства. В Республике Беларусь производятся лесохозяйственные тракторы и форвардеры МТЗ, автопоезда сортиментовозы МАЗ, харвестеры и форвардеры Амкодор.

В настоящее время в отрасли эксплуатируется 140 харвестеров отечественного производства, что составляет 70% от общего их количества, а также 256 форвардеров отечественного производства, что составляет 97% от общего их количества.

Деревообработка включает в себя выпуск древесины и продукции из древесины, элементов для строительной и мебельной промышленности, сушеной продукции, оцилиндрованных и окоренных изделий, строганных и погонажных изделий. В настоящее время в системе Минлесхоза осуществляет деревообрабатывающую деятельность 70 цехов и 6 мастерских участков. В рамках выполнения отраслевой Программы промышленного развития дере-

вообрабатывающих производств Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь на 2015-2020 годы, утвержденной постановлением коллегии Министерства лесного хозяйства от 24 декабря 2014 года, на техническое переоснащение деревообрабатывающих производств в 2016 году направлено денежных средств в сумме 14,2 деноминированных млн.руб.

В 2016 году реализовано 22 проекта, в том числе по направлениям: модернизация лесопильных производств – 5 проектов; установка позиционного оборудования – 10 проектов; создание производства по выпуску сушеной продукции – 1 проект, установка оборудования по выпуску оцилиндрованной (окоренной) продукции – 2 проекта; создание производств по изготовлению древесного топлива – 4 проекта.

По итогам работы деревообрабатывающих цехов Минлесхоза в 2016 году переработано 3,1 млн. куб. метров древесины, что составляет 121,8% к уровню прошлого года, в том числе деловой 1,65 млн. куб. метров (104,8%).

За 2016 год в цехах выпущено 730 тыс. куб. метров пилопродукции, что составляет 106,2% к 2015 году. Объем высушенной продукции увеличился на 6,1 тыс. куб. метров и составил 87,3 тыс. куб. метров, или 107,5% к уровню 2015 года. Объем выпуска товарной продукции в деревообрабатывающих производствах (цехах) Минлесхоза в 2016 году увеличился по сравнению с 2015 годом на 114,2% (с 116,8 до 133,4 млн. руб.).

В целях повышения эффективности создаваемой инфраструктуры по производству древесного топлива и удешевления стоимости щепы Минлесхозом используются прогрессивные технологии для сбора, транспортировки и переработки древесного топливного сырья с применением современных машин и механизмов, разработанные БГТУ.

По состоянию на 1 января 2017 года в лесхозах отрасли создано 57 производств по изготовлению щепы топливной суммарной мощностью 1,610 млн. куб. метров, а также 22 новых экспортоориентированных производства древесного топлива с добавленной стоимостью, в том числе:

- 11 производств по изготовлению пеллет и брикета мощностью 25,0 тыс. тонн в год (созданы в лесхозах, имеющих для организации рентабельного производства необходимое количество сырья – отходов деревообработки);

- 11 производств по изготовлению дров колотых мощностью 30,0 тыс. куб. метров в год.

За 2016 год Минлесхозом произведено 1,746 млн. куб. метров щепы топливной, в том числе собственными силами – 1,446 млн. куб. метров.

В настоящее время основным сырьем для производства древесной топливной щепы являются дрова и отходы деревообработки.

В ходе реализации государственной программы перехода на местные виды топлива во многих регионах Беларуси появились потребители топливной щепы: в основном это котельные системы жилищно-коммунального хозяйства. Спрос на прессованное топливо (древесные брикеты и топливные гранулы) на внутреннем рынке только начинает зарождаться.

Задания облисполкомов по заготовке древесного топлива выполняются лесхозами отрасли в полном объеме. Так, за 2016 год заготовлено 5785,7 тыс. куб. метров древесного топлива. Реализовано - 5669,2 тыс. куб. метров.

Существуют невостребованные остатки древесного топлива, которые на начало 2017 года составили 1441,5 тыс. куб. метров, в том числе дров 1350,8 тыс. куб. метров, щепы топливной 35,6 тыс. куб. метров.

Эффективное управление лесопромышленным производством в лесном комплексе в значительной степени зависит от транспортного освоения покрытых лесом территорий. В этой связи в первую очередь большое внимание следует уделять формированию дорожно-транспортной инфраструктуры лесопользования. Кроме того, в соответствии с п.п. 5.3 п. 5 Правил противопожарного обустройства лесов Республики Беларусь (ТКП 193 - 2009 (02080)) в перечень важнейших задач мероприятий по противопожарному обустройству лесного фонда входит создание условий для их успешного тушения, что невозможно без дорог.

Подпрограммой 2 “Строительство лесохозяйственных дорог” в рамках Государственной программы “Белорусский лес” на 2016 – 2020 годы, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 18 марта 2016 г. № 215 (в редакции постановления Совета Министров Республики Беларусь от 20 декабря 2016 г. № 1048), было предусмотрено в 2016 году в лесном фонде Минлесхоза построить и ввести в эксплуатацию 100 км лесохозяйственных дорог.

В 2016 году в лесном фонде Министерства лесного хозяйства построено и введено в эксплуатацию 13 лесохозяйственных дорог общей протяженностью 101,216 км.

Основной задачей организаций Минлесхоза в области реализации лесоматериалов является обеспечение потребности потребителей внутреннего рынка сырьем. На экспорт осуществляется реализация не востребованной на внутреннем рынке низкосортной древесины (балансов и древесного технологического сырья).

За 2016 год реализация круглых лесоматериалов лесхозами отрасли на внутреннем рынке составила 9,3 млн. куб. метров (107% к аналогичному периоду прошлого года), в том числе 6,0 млн. куб. метров деловой древесины или 65% от общего объема реализации, 3,3 тыс. куб. метров дров, или 35% от общего объема реализации.

По сравнению с аналогичным периодом прошлого года объем реализации деловой древесины увеличился на 0,8 млн. куб. метров, или на 15%. Значительно увеличился спрос в 2016 году на балансовую древесину и сырье древесное технологическое.

Реализация пиломатериалов (таблица 2) на внутреннем рынке за текущий год составила 365,9 тыс. куб. метров и увеличилась по сравнению с аналогичным периодом прошлого года на 10,2 тыс. куб. метров, или 103%.

Таблица 2 – Информация о реализации пиломатериалов в 2016 году

ГПЛХО	Реализация на внутреннем рынке, тыс. куб. метров		
	2015 год	2016 год	% 2016 к 2015
Брестское	44,0	43,3	98
Витебское	39,9	46,8	117
Гомельское	79,2	76,3	96
Гродненское	37,7	39,7	105
Минское	91,0	96,2	106
Могилевское	64,0	63,6	99
Минлесхоз:	355,7	365,9	103

В 2016 году основные направления деятельности Минлесхоза и подчиненных организаций в области повышения качества и стандартизации были определены Планом мероприятий по повышению качества выпускаемой продукции в организациях Минлесхоза.

Согласно Плану мероприятий в отрасли постоянно проводится комплекс работ по обеспечению качества производимой лесопроductии, соблюдению требований технических нормативных правовых актов, метрологическому обеспечению.

Национальным техническим комитетом по стандартизации ТК ВУ 23 «Лесоматериалы», созданным при УП «Белгипролес», продолжается работа по совершенствованию отраслевых стандартов. В 2016 году проведена проверка научно-технического уровня 35 технических нормативных правовых актов (ТНПА) применяемых в лесном хозяйстве, лесозаготовке и деревообработке, в т. ч. по приведению их в соответствие с Лесным кодексом Республики Беларусь от 24 декабря 2015 года № 332-3. Внесены изменения в 19 стандартов, проводится пересмотр 6 ТНПА. Постоянно проводится формирование и ведение отраслевого фонда ТНПА, осуществляется его комплектование, учет и актуализация. Ежеквартально вы-

пускается «Информационный бюллетень технических нормативных правовых актов и других документов по стандартизации, применяемых в системе Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь».

В течение года Минлесхозом осуществляется методическое и научно-техническое руководство проведением работ по управлению качеством в организациях отрасли, оказывается консультативная помощь по практическому применению ТНПА.

В перспективе развития промышленного производства лесной отрасли планируется в ближайшем будущем обеспечить:

- всех потребителей внутреннего рынка древесиной;
- долю механизированной заготовки древесины с учетом привлечения услуг сторонних организаций на уровне не менее 50%;
- своевременное выполнение в полном объеме мероприятий отраслевой программы по энергосбережению на 2017 год;
- выполнение мероприятий программы по модернизации деревообрабатывающих производств Минлесхоза на 2016-2020 годы;
- выставление на биржевые торги всего планируемого к заготовке в 2017 году объема круглых лесоматериалов;
- исполнение заключенных договоров по реализации лесопродукции на внутренний и внешний рынки;
- введение системы электронного учета древесины.

**АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЗАГОТОВКИ ЩЕПЫ
МОБИЛЬНЫМИ РУБИЛЬНЫМИ МАШИНАМИ**

**Германович А. О., ассист., к.т.н., Лой В. Н., декан ф-та ТТЛП, к.т.н.,
Пищов С. Н., директор института повышения квалификации и переподготовки, к.т.н.**
Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: germanovich@belstu.by

**ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF CHIPPING
BY MOBILE CHIPPERS**

**Hermanovich A. O., Assist., PhD, Loy V. N., Dean of the Forestry Engineering and Wood
Technology Faculty, PhD,
Pischov S. N. Director of the Institute of training and retraining, PhD**
Belarusian State Technological University
(Minsk, Republic of Belarus)

For the Republic of Belarus the energy problem is always relevant; of current interest, as the country has almost no reserves of fuel minerals resources. In average the country consumed energy equivalent to more than 30 mln. tons of standard fuel, annually and only about 15% is covered by its own resources. Every year more than 3 bln. US dollars are spent from the national budget for the purchase of the missing energy and electricity, which is more than 30% in the volume of total imports of the republic and makes our economy vulnerable and dependent on external suppliers.

Эффективность работы лесозаготовительного комплекса машин зависит от четкого выполнения технологии. Существующие технологии заготовки щепы при помощи рубильных машин имеют определенные особенности ввиду присущих данным машинам преимуществ и недостатков.

Исходя из современной технологии лесосечных работ, предусматривающей заготовку древесины на лесосеке хлыстами или сортиментами, возможны следующие принципиальные технологические схемы заготовки щепы при помощи мобильных рубильных машин. Наиболее характерными из них являются (рисунок 1): производство щепы непосредственно на волоке лесосеки вслед за выполнением заготовки круглых лесоматериалов; производство щепы на погрузочном пункте (верхнем складе), расположенном на лесосеке, по ходу выполнения лесосечных работ или по завершении последних; производство щепы на промежуточном лесном складе (гибком лесоэнергетическом терминале (ЛЭТ)), вблизи автомобильных дорог общего пользования либо железнодорожных путей; производство щепы у потребителя (на нижнем лесном складе лесозаготовительного предприятия, на деревообрабатывающем предприятии, на складе приготвления и хранения резервных запасов топливной щепы вблизи ТЭЦ).

Технология работы мобильной рубильной машины состоит из повторяющегося цикла, который включает две наиболее затратные временные составляющие. Первая из них – технологическая (стационарная), представляет собой затраты времени связанные непосредственно с процессом измельчения древесного сырья в щепу, а вторая – транспортная ($t_{тр}$), включающая переезды от одного места концентрации сырья к другому (рисунок 2) [1, 2]. Стационарная составляющая технологического цикла работы самоходной рубильной машины включает в себя время на установку технологического оборудования в рабочее положение ($t_{уст}$), время работы рубильной машины, затраченное на переработку древесного сырья на щепу (t_p), время на складывание технологического оборудования в транспортное положение ($t_{скл}$), время на подготовительно-заключительные операции ($T_{п.з}$). Время $t_{уст}$, $t_{скл}$, $T_{п.з}$ являются фактически постоянными величинами, а их незначительное изменение зависит лишь от квалификации оператора, конструктивных особенностей машины, природно-производственных факторов.

Время, затраченное на установку ($t_{уст}$), состоит из выбора места технологической стоянки и установки машины у штабеля древесного сырья ($t_{в.м}$); расстопаривания предохранительной штанги подающего транспортера ($t_{р.штг}$); запуска автономного двигателя ($t_{з.д}$); опускания транспортера с подыманием боковых бортов ($t_{о.т}$); установки щепопровода к месту сбора щепы ($t_{у.щ}$); установки гидроманипулятора в рабочую зону ($t_{у.г-м}$); выход на рабочие обороты автономного двигателя ($t_{р.о}$).

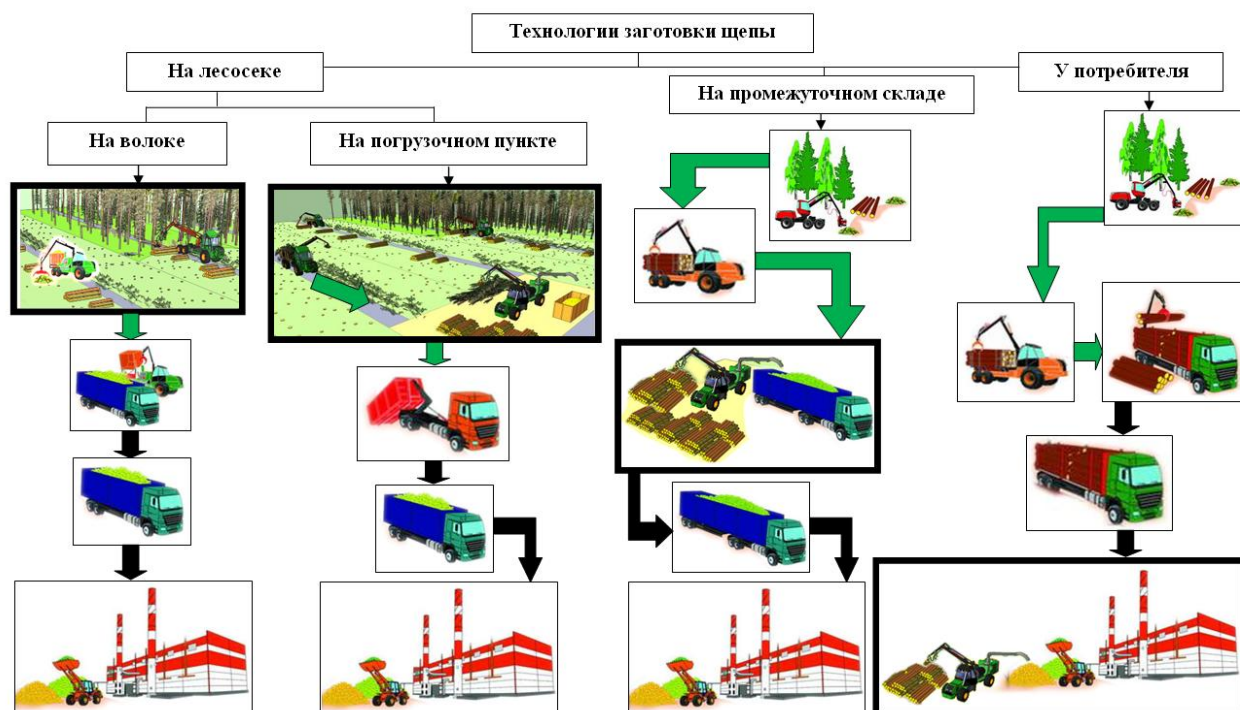


Рисунок 1 – Схема технологий получения щепы

Время работы рубильной машины, затраченное на переработку древесного сырья на щепу (t_p), включает время таких основных операций, как загрузка древесным сырьем подающего транспортера (t_3); подача древесного сырья к рубильному барабану (t_n); измельчение древесного сырья в щепу ($t_{изм}$), а также время на дополнительные операции - перемещение машины вдоль штабеля древесного сырья ($t_{п.щ}$); смещение щепопровода по мере увеличения высоты насыпи щепы ($t_{с.щ}$). Дополнительные операции с целью увеличения производительности оператор старается проводить с совмещением основных операций.

Время, затраченное на складывание технологического оборудования в транспортное положение ($t_{скл}$) состоит из времени снижения оборотов автономного двигателя до холостых ($t_{х.о}$); подъема подающего транспортера в транспортное положение ($t_{п.т}$); установку щепопровода в транспортное положение ($t_{с.щ}$); установку гидроманипулятора в транспортное положение ($t_{с.г-м}$); выключение автономного двигателя ($t_{вык.д}$); стопорение предохранительной штанги транспортера ($t_{с.штг}$).

Если объемы древесного сырья на одной технологической стоянке перерабатываются в щепу менее чем за смену, то мобильная рубильная машина переезжает на другое место концентрации сырья и технологический цикл повторяется. Мобильная рубильная машина за смену может заготавливать щепу на нескольких местах, где сконцентрированы объемы древесного сырья (Vm) (рисунок 3) и ее сменная производительность будет варьироваться в широких диапазонах [3].

Важным показателем, характеризующим эффективность работы рубильной машины, является количество измельченной древесины в единицу времени (производительность). Рубильная машина обладает высокой производительностью, когда она работает с постоянной загрузкой ее рубильной установки максимальным объемом сырья при стационарном поло-

жении. На основе ранее проводимых исследований [4], а также эмпирических наблюдений в процессе выполнения эксплуатационно-технологических испытаний сменную производительность мобильных рубильных машин в обобщенном виде можно выразить следующим образом:

$$\Pi_{\text{см}} = 3600 \cdot [(T - T_{\text{п.з}}) \cdot \varphi - \frac{l_0 + \sum_{i=1}^{m-1} l_i + l_b}{v_{\text{ср}}} - (t_{\text{ус}} + t_{\text{ск}}) \cdot m] \cdot \varphi_{\text{п}} \cdot b_1 \cdot h_1 \cdot n_{\text{п}} \cdot k_3 \cdot c_0,$$

где T – продолжительность смены, с; $T_{\text{п.з}}$ – время на подготовительно-заключительные операции, с; φ – коэффициент использования рабочего времени; l_0 и l_b – расстояния соответственно от гаража до первого места концентрации сырья и от последнего места концентрации сырья до гаража, м; l_i – расстояние между i -м и $(i+1)$ -м местами концентрации сырья, м; m – количество мест концентрации сырья, перерабатываемого в щепу мобильной рубильной машиной за смену; $v_{\text{ср}}$ – средняя скорость передвижения мобильной рубильной машины от одного места концентрации сырья до другого, м/с; $t_{\text{ус}}$ и $t_{\text{ск}}$ – время соответственно перевода рубильной машины из транспортного положения в рабочее и наоборот, с; $\varphi_{\text{п}}$ – коэффициент, учитывающий своевременную подачу щеповоза; b_1 и h_1 – ширина и высота загрузочного окна соответственно, м; $n_{\text{п}}$ – скорость подачи сырья, м/с; k_3 – коэффициент заполнения сечения окна; c_0 – коэффициент использования рубильной установки по времени.

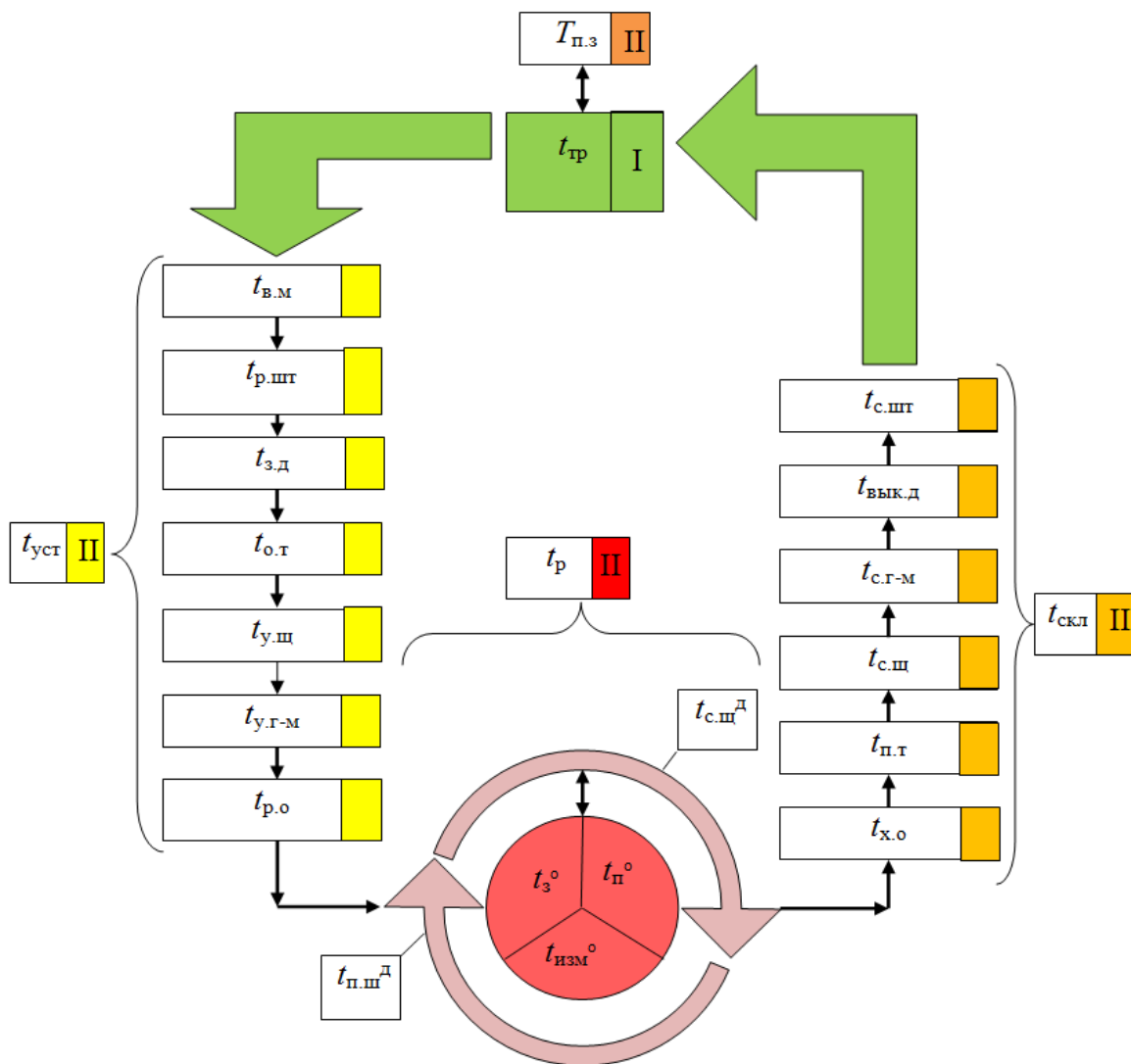


Рисунок 2 – Технологический цикл работы мобильной рубильной машины

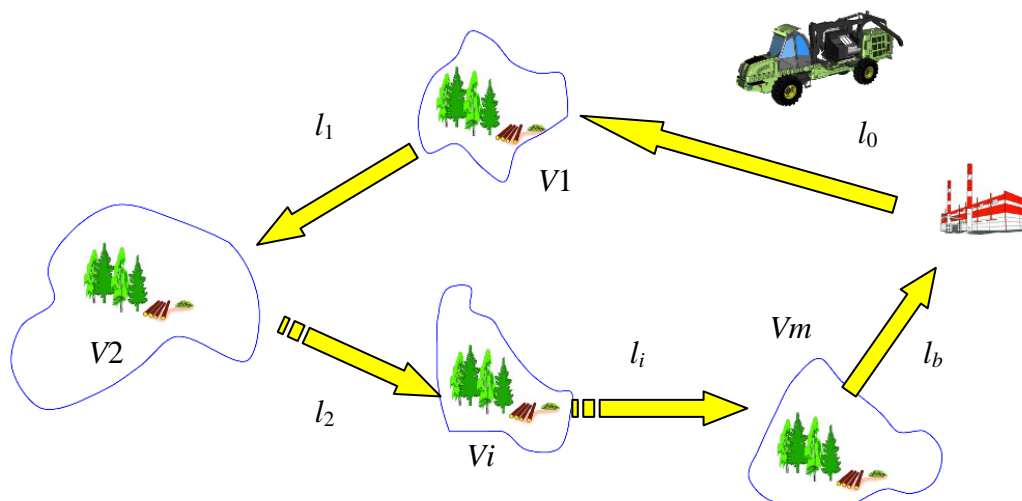


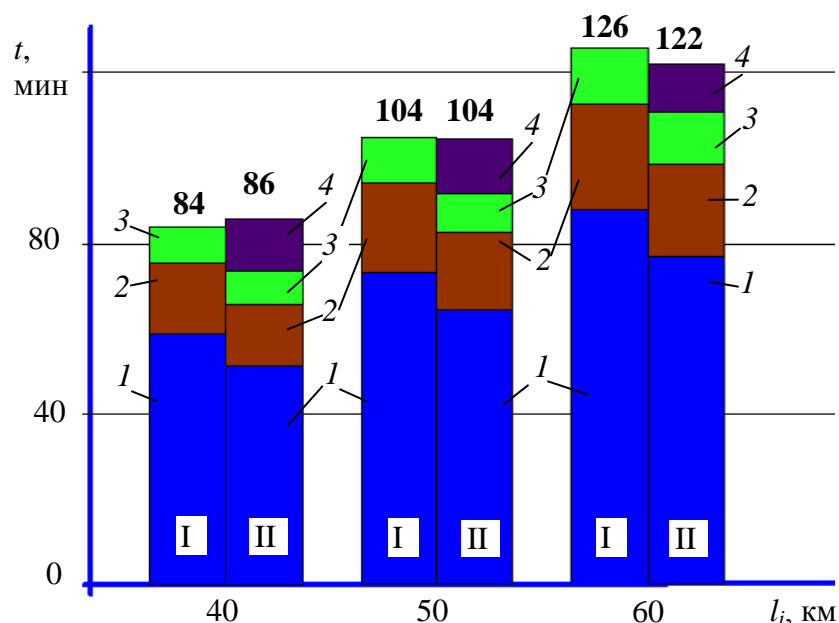
Рисунок 3 – Схема движения мобильной рубильной машины по местам концентрации древесного сырья

Время, затрачиваемое непосредственно на саму работу измельчения древесного сырья, определяется как разность между общим сменным временем и временем, затраченным на подготовку рубильной машины к работе, ее переезды, установку и складывание в транспортное положение технологического оборудования.

Как было отмечено ранее, что сменная производительность мобильных рубильных машин достаточно высокая при условии работы в стационарном режиме, однако ввиду наличия такого отличительного преимущества, как мобильность, данные машины работают, как машины периодического действия из-за переездов от одного места концентрации сырья к другому, поэтому их сменная производительность в мобильном режиме будет значительно ниже, чем в стационарном. Одним из факторов, влияющих на сменную производительность, является сама возможность передвижения к лесосеке, а также скорость движения, развиваемая рубильной машиной при перемещении от лесосеки к лесосеке. Поэтому немаловажно для мобильной рубильной машины иметь максимально возможную скорость движения, а также высокую проходимость. Переезд к местам концентрации древесного сырья возможен двумя способами. Первый – непосредственно самой машиной (самостоятельно), второй – при помощи автотягача с низкорамным полуприцепом (тралом) [5].

С целью определения критического расстояния, при котором передвижение собственным ходом мобильной рубильной машины будет не целесообразным, были выполнены экспериментальные переезды двумя способами. В результате сравнительного анализа (рисунок 4) двух способов передвижения рубильной машины (диапазон расстояния от 10 до 100 км с процентным соотношением типов дорог) было установлено, что при расстоянии 50 км время переездов уравнивается.

Прицепные рубильные машины не развивают скорость более чем 20 км/ч, рубильные машины на базе форвардера обладают максимальной скоростью – 30 км/ч, а у рубильных машин на автомобильном шасси максимальная скорость передвижения находится в пределах 70-80 км/ч. Поэтому сменная производительность рубильной машины будет зависеть от типа шасси, т. е. от минимально затраченного времени на переезды по местам концентрации древесного сырья. Так, при суточном пробеге мобильной рубильной машины, равном 50 км, сменная производительность машины на автомобильном шасси составит 650 нас. м³/ч, что на 23% меньше, чем у машины, базой которой является форвардер, и на 32% меньше прицепной рубильной машины. Таким образом, мобильные рубильные машины с одинаковой рубильной установкой, но с разным базовым шасси будут иметь различные сменные производительности в связи с разной развиваемой скоростью.



1 – время движения по дорогам с асфальтобетонным покрытием; 2 – время движения по дорогам с гравийным покрытием; 3 - время движения по грунтовым дорогам; 4 - время на погрузку/разгрузку автотягача; I – самостоятельный переезд рубильной машины; II – переезд рубильной машины при помощи автотягача с низкорамным полуприцепом

Рисунок 4 – Затраты времени при переезде на расстояние (l_i) 40, 50, 60 км

Таким образом, исходя из технических возможностей (проходимость, максимальная скорость движения) различных типов шасси мобильных рубильных машин, целесообразно использовать прицепную рубильную машину для заготовки щепы у потребителя (нижний склад, ТЭЦ), ввиду ее низкой проходимости и невысокой скорости движения. Мобильную рубильную машину на базе автомобильного шасси необходимо применять на дальние переезды с максимально сконцентрированным объемом сырья, а мобильную рубильную машину на базе форвардера - на небольшие переезды (до 50 км) к местам концентрации сырья, находящимся в лесном массиве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Германович А. О. Обоснование параметров мобильной рубильной машины на базе многофункционального шасси для производства топливной щепы: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / А. О. Германович. – Минск, 2015. – 26 с.
2. Германович, А. О. Оценка влияния различных факторов на производительность мобильной рубильной машины / А. О. Германович // Труды БГТУ. – 2014. – № 2: Лесная и деревооб. пром-сть. – С. 20–23.
3. Германович, А. О. Анализ сменной производительности мобильных рубильных машин / А. О. Германович, В. Н. Лой // Механика технологических процессов в лесном комплексе: Междунар. науч.-техн. конф., Воронеж, 25–27 мар. 2014 г. / Воронеж. гос. лесотехн. акад. – Воронеж, 2014. – С. 50–54.
4. Федоренчик, А. С. Расчет производительности самоходных отечественных рубильных машин / А. С. Федоренчик // Труды БГТУ – 2014. – № 2. Лесная и деревооб. пром-сть. – С. 13-16.
5. Лой, В. Н. Анализ транспортной составляющей технологического цикла мобильной рубильной машины / В. Н. Лой, А. О. Германович // Труды БГТУ. – 2014. – № 2: Лесная и деревооб. пром-сть. – С. 24–27.

**ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТРЕЛЕВОЧНЫХ ВОЛОКОВ
НА ЗАБОЛОЧЕННЫХ УЧАСТКАХ ЛЕСОСЕЧНОГО ФОНДА**

Мисуно Ю. И., инж., Протас П. А., доц., к.т.н.

Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: julia.misuno@yandex.by

**INCREASING OF THE OPERATING CAPACITY OF SKID ROADS
ON THE SWAMPY SITES OF TIMBER CUTTING AREA**

Misuno Yu. I., Engineer, Protas P. A., Assoc. Prof., PhD

Belarusian State Technological University
(Minsk, Republic of Belarus)

When developing a swamped timber cutting area, it is necessary to ensure the patency of the machines and at the same time to preserve the ability of the soil to reforestation. The technological process established that the movement of machinery should be carried out only within the skid roads. The article gives recommendations on how to provide the necessary operating capacity of skidding for moving of forest machines.

В составе Государственного лесного фонда Республики Беларусь избыточно увлажненных земель насчитывается почти 1,5 млн. га, или 16%. Разработка лесосек в таких условиях ограничивается несущей способностью грунтов и доступностью освоения лесных участков. В то же время, несмотря на сложности при проведении лесосечных работ на заболоченных участках, в Беларуси ежегодно устанавливается норма освоения труднодоступного лесфонда. На данных территориях произрастает значительный запас, в основном, мягколиственных насаждений, который необходимо осваивать ввиду повышения спроса на древесное сырье на внутреннем рынке страны, а также из-за необходимости соблюдения санитарно-экологических требований.

Основной вопрос при разработке заболоченного лесфонда заключается в обеспечении проходимости техники по переувлажненным участкам, при этом сохраняя их способность к эффективному лесовозобновлению. Технологическим процессом и нормативными требованиями установлено, что движение техники должно осуществляться только в пределах трелевочного волока (технологического коридора). В итоге задача сводится к тому, чтобы обеспечить необходимые эксплуатационные параметры трелевочного волока с целью повышения его работоспособности.

Понятие работоспособности трелевочного волока рассматривается как возможность применения тех или иных тракторов на трелевке древесины [1–3]. В работе [1] отмечается, что, когда глубина колеи достигает предельной величины, обусловленной лесохозяйственными требованиями и (или) проходимостью трактора, работоспособность волока считается исчерпанной. Образование колеи в значительной степени зависит от типа и физико-механических характеристик почвы, характеристик используемой машины (давление на грунт, скорость движения, тип движителя), количества проходов по одному следу. Кроме того, требуемая работоспособность волока может определяться исходя из принятой технологии лесозаготовительных работ, среднего запаса леса на гектаре, протяженности волока, рейсовой нагрузки трелевочного трактора.

Большаков Б. М. в работе [3] предложил оценивать работоспособность трелевочного волока общим объемом трелеваемой по волоку пачки до полной потери проходимости трелевочного трактора, углублением колеи на величину, большую значения дорожного просвета.

В общем, работоспособность трелевочного волока рассматривается как показатель обеспечения проходимости техники в процессе трелевки всего объема заготовленных лесоматериалов на пашеке.

Однако рассматривать понятие работоспособности трелевочного волока только с эксплуатационной точки зрения будет неверным, так как при определенных лесоводственно-экологических ограничениях движение машины по волоку может быть невозможным даже без потери или снижения ее проходимости. Таким образом, работоспособность трелевочного волока должна оцениваться в комплексе эксплуатационно-экологических показателей.

При проектировании технологического процесса освоения заболоченных лесосек применяется сочетание ряда мероприятий, направленных на повышение работоспособности трелевочного волока. К ним относятся:

1. обоснованный выбор типа движителя с учетом условий эксплуатации;
2. рациональная ширина пасаки с целью минимизации количества проходов по волоку;
3. сезонность проведения работ;
4. армирование трелевочного волока.

Характер сочетания основных мероприятий по обеспечению эффективной работы машины с минимальным ущербом для почвогрунта определяется на основании рекомендованных критериев оценки эксплуатационно-экологической совместимости [7].

В Республике Беларусь для работы на грунтах с низкой несущей способностью, помимо трелевочных тракторов с канатно-чокерной оснасткой используются специализированные колесные многооперационные машины с шарнирно-сочлененной рамой. При этом выбираются харвестеры и форвардеры с колесной формулой 6К6 или 8К8 с установкой радиальных широкопрофильных шин и съемных гусениц на колеса тандемных тележек.

Увеличить возможную работоспособность волока, если она меньше требуемой, можно, используя одни и те же трелевочные машины, за счет уменьшения ширины пасаки. В этом случае количество проходов по волоку будет меньшим, однако увеличится общая площадь технологических элементов лесосеки, которая не должна превышать допустимых пределов, регламентируемых в СТБ 1360–2002 и СТБ 1361–2002.

При невозможности изменения ширины пасаки и длины волока из технологических и лесоводственных соображений работоспособность волока может быть повышена за счет проведения работ в зимний или летний сезон, а также при помощи укрепления волока порубочными остатками в виде сучьев, ветвей и вершин деревьев.

Так, в зимнее время плотность почвогрунта от воздействия движителя машины увеличивается незначительно, а значит, использование трелевочной техники с грузом относительно безопасно в этот период. Вода в жидком состоянии обволакивает поверхность твердых частиц почвогрунта, снижает трение частиц между собой, а при приложении нагрузки способствует уплотнению. Превратившись в лед, она уже не снижает силу трения между частицами грунта, а оказывает дополнительное сопротивление. Переуплотнение почвогрунта наиболее опасно осенью и весной из-за сильного насыщения водой. Летом степень переуплотнения зависит от выпавшего количества осадков [4].

При укреплении лесотранспортных путей порубочными остатками в виде сучьев и ветвей происходит также более равномерное распределение нагрузок от движителя лесотранспортной машины, что особенно актуально на грунтах с низкой несущей способностью [2]. В спелых насаждениях объем таких отходов в зависимости от породного состава, возраста насаждений, типа и бонитета леса достигает 20% [5] от общего запаса насаждений, отводимых в рубку, около 75% из них малопригодны для дальнейшей переработки и могут быть использованы в качестве верхнего укрепляющего слоя трелевочного волока. В условиях лесозаготовок Беларуси при допустимой ширине волока 4–5 м толщина настила из сучьев и ветвей может достигать до 30 см [6]. При этом на грунтах III типа местности при толщине армированного слоя 15–20 см форвардер с пачкой сортиментов около 10 м³ может совершить 6–10 рейсов до разрушения армированного слоя.

Оценка работоспособности трелевочного волока с учетом сезонности проведения работ и армирования волока порубочными остатками может быть произведена через значение допустимого давления движителя лесной машины на почвогрунт. Такой подход позволяет

рассматривать как эксплуатационную составляющую – проходимость машин, так и экологическую – допустимую глубину колеи и уплотнение почвогрунтов.

Для определения допустимого значения давления движителя на почвогрунт можно воспользоваться формулой:

$$P_{\text{доп}} = q_s \cdot g \cdot k_{\text{укр}} \cdot k_{\text{сез}}, \quad (1)$$

где q_s – несущая способность почвогрунта;

g – ускорение свободного падения тела;

$k_{\text{укр}}$ – коэффициент укрепления трелевочного волока порубочными остатками;

$k_{\text{сез}}$ – коэффициент сезонности проведения работ.

Связь показателей работоспособности трелевочного волока и допустимого давления движителя на почвогрунт можно осуществить через значение предельной глубины колеи (деформации почвогрунта).

Деформация почвогрунта на волоке напрямую зависит от нагрузки, оказываемой движителем лесной машины. Во многих существующих расчетных методиках для определения глубины колеи необходимо знать величину давления движителя на опорное основание. В работе [8] Агейкин Я. С. предложил формулу для определения глубины колеи:

$$h_{\text{гл}} = \pi \cdot p \cdot q_s \cdot a \cdot b \cdot J \cdot Q_1 / 2 \cdot E \cdot (p_s - p), \quad (2)$$

где p – нагрузка от движителя на почвогрунт;

a – коэффициент затухания напряжений в грунте;

b – ширина штампа;

J – коэффициент, учитывающий соотношение длины и ширины штампа;

Q_1 – параметр, учитывающий толщину мягкого слоя грунта;

E – модуль деформации почвогрунта.

Если установить предельное или допустимое значение глубины колеи, то из расчетной формулы можно выразить значение допустимого давления на почвогрунт.

$$P_{\text{доп}} = \frac{2 \cdot E \cdot h_{\text{доп}} \cdot q_s}{2 \cdot E \cdot h_{\text{доп}} + \pi \cdot q_s \cdot a \cdot b \cdot J \cdot Q_1}. \quad (3)$$

Приравняв полученное выражение (3) с формулой (1), получим связь работоспособности волока с показателем допустимого давления движителя на почвогрунт.

$$\frac{2 \cdot E \cdot h_{\text{доп}} \cdot q_s}{2 \cdot E \cdot h_{\text{доп}} + \pi \cdot q_s \cdot a \cdot b \cdot J \cdot Q_1} = q_s \cdot g \cdot k_{\text{сез}} \cdot k_{\text{укр}}. \quad (4)$$

Оценку работоспособности трелевочного волока можно осуществить непосредственно через значения коэффициентов $k_{\text{укр}}$ и $k_{\text{сез}}$. Так, например, можно задаться значением работоспособности волока равной 1, если свойства почвогрунта, параметры принятой системы машин и разрабатываемой лесосеки позволяют осуществить разработку лесосеки в любой период и без армирования порубочными остатками. По мере необходимости проведения дополнительных мероприятий по укреплению трелевочного волока путем армирования и организации работ в зимнее/летнее время, показатель работоспособности будет меняться. Таким образом его можно представить, как произведение принятых коэффициентов ($P_{\text{т.в.}} = 1 \cdot k_{\text{укр}} \cdot k_{\text{сез}}$).

Полученные расчетные значения работоспособности волока необходимо сравнить с требуемым значением, для того, чтобы на этапе проектирования технологического процесса произвести необходимые изменения. Значение требуемой работоспособности должно соответствовать параметрам волока, при которых будет обеспечена трелевка всех заготовленных на пасеке лесоматериалов. При этом работа лесных машин должна быть эффективной, а состояние почвогрунта соответствовать лесоводственно-экологическим требованиям.

Требуемое значение работоспособности волока будет зависеть от: количества проходов по волоку; допустимой глубины колеи; показателя тягово-сцепной проходимости; допустимой плотности почвогрунта после разработки лесосеки.

Степень повышения работоспособности волока можно охарактеризовать через принятые коэффициенты укрепления волока $k_{укр}$ и сезонности проведения работ $k_{сез}$.

Значение коэффициента $k_{укр}$ будет зависеть от двух факторов: толщины армирующего слоя и числа проходов техники по одному волоку, а коэффициента $k_{сез}$ – от сезона проведения работ: летом, весной и осенью он будет зависеть от влажности почвогрунта, зимой – от степени промерзания почвогрунта.

Произведенный анализ работ [9–11] и соответствующих исследований по данному вопросу, позволили сформировать значения для этих коэффициентов (таблицы 1 и 2).

Таблица 1 – Значения коэффициента $k_{укр}$

Количество проходов	1–5	5–10	10–20	30–40
$k_{укр}$	1,75–2,3	1,5–1,7	1,4	1,2

Таблица 2 – Значения коэффициента $k_{сез}$

Сезон проведения работ	Лето	Осень, весна	Зима
$k_{сез}$	0,7–1	0,5–1	1,5–7,5

ЛИТЕРАТУРА

1. Бит, Ю.А. Работоспособность волоков при рубках ухода / Ю.А. Бит, Н.А. Тюрин, В.Н. Поляков // Лесное хозяйство. – 1985. – № 9. – С. 36–37.
2. Протас, П.А. Работоспособность трелевочных волоков на грунтах повышенного увлажнения / П.А. Протас, Г.И. Завойских // Лесная и деревообрабатывающая промышленность: труды БГТУ. Сер. II. – Минск, 2005. – Вып. XIII. – С. 28–30.
3. Большаков Б.М. Снижение отрицательных последствий от воздействия трелевочных систем на лесную почву : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.21.01 / Б.М. Большаков ; СПб. гос. лесотехн. акад. – СПб., 1998. – 43 с.
4. Андронов, А.В. Снижение воздействия машин на почвогрунт при проведении рубок ухода / А.В. Андронов, В.Д. Валяжонков, Ю.А. Добрынин // Вес. КрасГАУ. – 2014. – №7. – С. 151–157.
5. Матвейко, А.П. Малоотходные и безотходные технологии в лесном хозяйстве и лесной промышленности: учеб. пособие. – Мн.: БГТУ, 1999. – 84 с.
6. Протас, П.А. Использование отходов лесозаготовок для укрепления волоков – элемент ресурсосберегающей технологии / П.А. Протас, Г.И. Завойских, С.С. Макарчик, А.С. Федоренчик // Леса Европейского региона – устойчивое управление и развитие: Материалы Международной науч.-практ. конференции. – Мн.: БГТУ, 2002. – Ч. 2. – С. 252–255.
7. Протас, П.А. Структурная схема и критерии оценки эксплуатационно-экологической совместимости лесных машин с почвогрунтами / П.А. Протас, Ю.И. Мисуно // Труды БГТУ: Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – №2 (184). – Минск, 2016. – С. 248–253.
8. Агейкин, Я.С. Проходимость автомобилей / Я.С. Агейкин. – М.: Машиностроение, 1981. – 232 с.
9. Протас, П.А. Актуализация лесосырьевого потенциала обеспечением эксплуатационно-экологической совместимости систем машин с почвогрунтами на принципах устойчивого лесопользования: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / П.А. Протас. – Минск, 2010. – 192 с.
10. Протас, П.А. Оценка влияния лесозаготовительных машин на лесные почвы: дис. ... маг. техн. наук: 05.21.01 / П.А. Протас. – Минск, 2000. – с. 110.
11. Велли, Ю.А. Здания и сооружения на крайнем севере / Ю.А. Велли, В.В. Докучаев, Н.В. Федоров. – Ленинград: Госстройиздат, 1963. – 492 с.

**PRODUCTIVITY OF HARWARDER VIMEK BIOCOMBI
IN EARLY THINNING IN LATVIA**

**Zimelis A., Scientific Assist., Mg.sc.ing., Lazdiņš A., senior researcher, Dr. silv.,
Kaleja S., scientific assist., Mg.silv., Spalva G., scientific assist., Mg.silv., Rozītis G., student**
Latvian State Forest Research Institute "Silava"
(Salaspils, Republic of Latvia), agris.zimelis@llu.lv

**ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ХАРВАРДЕРА VIMEK BIOCOMBI
НА РУБКЕ УХОДА ЗА ЛЕСОМ В ЛАТВИИ**

**Зимелис А., ассист., маг. техн. наук, Лаздиньш А., вед. научн. сотрудник, д-р. лесов.,
Калея С., ассист., маг. лесов., Спалва Г., ассист., маг. лесов., Розитис Г., студ.**
Латвийский Государственный Лесохозяйственный исследовательский институт «Силава»
(Саласпилс, Республика Латвия)

Во время эксперимента было спилено 17410 деревьев, средний диаметр которых на высоте 1,3 м составлял 3 см, а объем ствола – 0,006 м³. В целом за время рубки ухода было заготовлено и привезено 105 м³ биотоплива. При этом производительность харвардера Vimek на транспортировке лесоматериала в оптимальных условиях не ниже производительности John Deere 810 и аналогичного форвардера среднего класса. Также было установлено, что самая низкая себестоимость (23 € м⁻³) была у биотоплива, полученного после поздно выполненной рубки ухода, а самая высокая (42 € м⁻³) – при пилении подроста.

Introduction. Average fuel consumption of Vimek 610 Biocombi harwarder intrials was 4.5 L perproductive work hour, which conform manufacturers provided information about fuel consumption while working in harvester mode.

Comparing soil compaction in strip roads, Italian researchers concluded that Vimek 610 BioCombi has significantly less impact to soil. Also soil porosity, which before trials were 40 %, working with Vimek 610 BioCombi decreased to 30 %, but with larger harwarder – to 20 %. 1-4 % of residual trees were damaged; this number was lower for smaller harwarder [1].

According to results of research Italian scientists concluded that the smallest Vimek 610 BioCombi harwarder is more suitable for pre-commercial thinning (PCT), mainly because it can directly load felled trees in the load bunk [2].

During pre-commercial thinning trials in Latvia (2014) 13 loads of biofuel (unpruned, whole small trees), were prepared and extracted, average load during trials were 2.3 t naturally moist materials. To prepare and extract 1 t of biofuel on average 18 minutes of direct work time was necessary, but for 1 loose m³ biofuel – 6 minutes. With these productivity indicators during productive work hour one can prepare and extract 9.6 loose m³ of biofuel. Time study of performing pre-commercial thinnings and extracting biofuel shows that proportion of productive work time is 95 % from total work time [3].

Costs of trials performed in Latvia shows that average work hour costs for Vimek 610 BioCombi harwarder are 22 €; meanwhile, average productive work hour costs are 28 €. Cost of preparing and extracting biofuel was 2.9 € loose m³. By decreasing average annual workload down to 1000 productive work hours, biofuel preparation and extraction costs would increase to 4 € loose m³ [3].

Materials and methods. To perform the trial, 4 stands in compartment No. 711 and 2 stands in compartment No. 712 were selected nearby Talsi city. Criteria for stand selection were average tree height, stand density and terrain suitability for mechanized logging operation.

Thinning (PCT and delayed thinning) were performed without creation of wider openings for technological corridors but by driving between remaining trees (distance between "ghost roads" were 6-10 m, width of road 2-2.5 m, which is less than average distance between the re-

maining trees). First, tractor drove into stand while cutting ‘ghost road’ and on the way back it thinned rest of the stand. Trees felled during cutting of ‘Ghost road’ first were laid on the ground at the side of ‘ghost road’ and on the way back they were loaded into the harwarder cargo compartment and forwarder to a roadside with rest of the trees that were removed on the way out. To prepare full load, operators had to plan ‘ghost roads’ length ‘with reserve’ so there were always some trees left on the ground for next trip.

During thinning time study the machine operations were divided in accounting elements. A shock and waterproof field computer Allegro CX with SDI software was used in time studies. Thinnings were performed by 2 experienced harvester operators, who worked before on John Deere 1070 harvester. Work time consumption was determined for each work cycle separately. Work cycle, in context of this research, is crane work cycle. Productive time elements for understory removal and thinning are: driving in to stand, reaching tree, grabbing tree, cutting tree, pulling stem from cutting place to piling place, direct loading of extracted stems into cargo compartment, stem bucking, understory cutting, driving in stand during loading, other work related activities, reaching for logs while loading, grabbing logs while loading, loading of logs into cargo space, arranging load, driving out of stand with load, reaching for logs while unloading, grabbing logs while unloading, unloading logs, arranging log pile, driving during unloading.

To calculate stand volume professor’s I. Liepas developed single tree volume calculation formula was used [4].

For cost and income calculations LSFRI Silava model (Microsoft Excel environment) was used. It was developed to provide functionality of the Forestry Research Institute of Sweden Skogforsk developed FLIS model, using the time study results and other data obtained in earlier studies in Latvia [5].

Results and discussion. Two experienced operators participated in this trials. Each of them worked 2 full 8 hour shifts. Time study included all time when engine was running (to harmonize with machine hours) and small repairs with engine off. Time study didn’t include long repairs and other idleness.

While working with Vimek BioCombi 610.2 harwarder in thinnings, average productive work time consumption to prepare 1 m³, depending on used method, is characterized by power equation (Figure). While increasing of the average extracted tree DBH, the most rapid growth of productivity is observed in PCT’s, while in understory extraction and delayed thinning increase of productivity is similar and slightly slower.

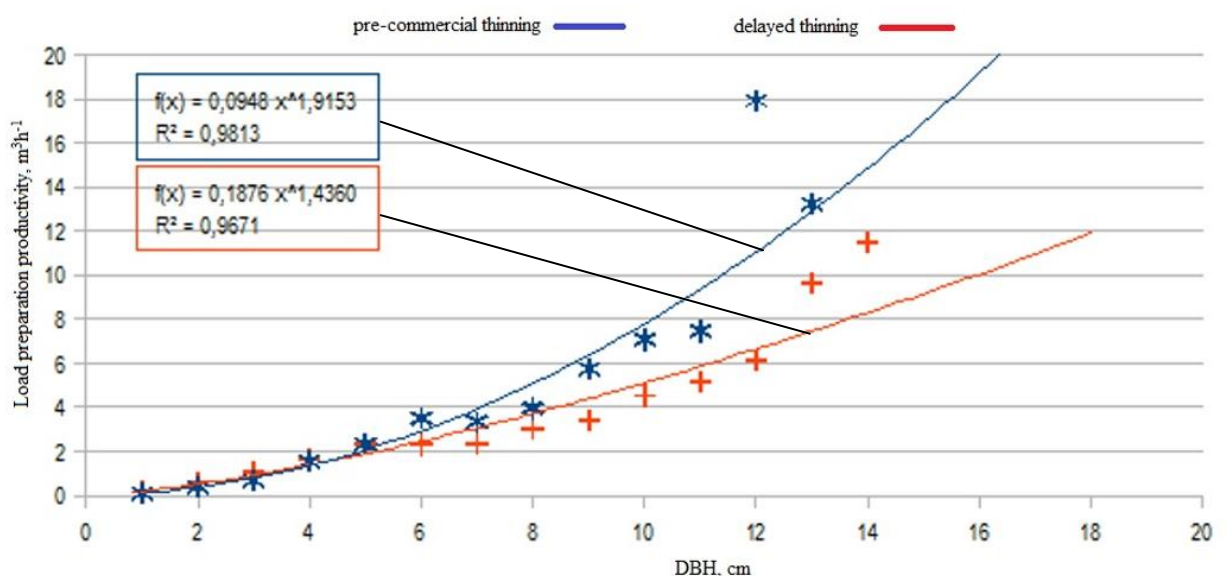


Figure – Productivity indicators for tree felling and processing depending from DBH of extracted tree

In all types of cuttings considerable proportion of work time was spent to cut trees (from 13% in delayed thinning to 19% in PCT). Also, significant share of productive work time was spent to load load trees into a cargo space (from 7% in delayed thinning to 12% in PCT). Driving in and out from stand was also considerable consumer of work time (from 11% in delayed thinning to 36% in understory removal). Driving in stand while loading consumes from 7% of productive time in understory removal to 10 % in PCT. In delayed thinning 9% of productive work time is spent to put extracted logs to the ground while cutting ‘ghost road’ and 10% of productive work time is spent to pick up logs that were placed to the ground earlier, respectively, putting of extracted trees to the ground increases loading time approximately 2 times. It was identified in the study that tilt function is very helpful while loading full trees into a harwarder loading space, however separate study is necessary to quantify specific effect of this function.

Average tree DBH in different type of cuttings were determined according to actual DBH of extracted trees during the trials. Indicators, which characterize different type of cutting, are given in table 1.

Table 1 – Cutting type specific input data in cost calculation model

Indicators	Cutting type	
	Pre-commercial thinning	Delayed thinning
Average felled tree DBH, cm	2.6	4.2
Forwarder load, m ³	0.9	1.3
Productive time for loading, min per load	33.5	26.3
Productive time for unloading, min per load	2.4	2.3

Pre-commercial thinning biofuel costs amount to 37 € m⁻³, cutting an average tree of 2.6 cm. Biofuel cost decreased to about 2 times (up to 23 € m⁻³), when the load average diameter of the tree is at least 4 cm. Positive cash flow reached when the load average diameter of the tree is at least 3.5 cm. Delayed thinning costs amount to 23 € m⁻³, cutting an average tree of 4.2 cm. Biofuel cost drops to 18 € m⁻³, when the load average diameter of the tree is at least 6.3 cm. The study was implemented with in the scope of the JSC funded research project 'Research program on forest biofuel and mechanization of forest operations' (agreement No 5-5.9_003v_101_16_47).

Conclusions

1. Productivity of Vimek BioCombi 610.2 harwarder in thinnings and understory removal is equal to average productivity figures in similar conditions other studies that were obtained during this project. Prime cost of biofuel is affected mainly by harvesting method and forwarding distance.

2. Vimek harwarder does not need network of regular technological corridors in thinnings and understory removal to operate efficiently. Average distance between remaining trees in thinning is at least 2,5 m which is enough for harwarder to pass without cutting of trees just to expand road.

3. To reduce cost at pre-commercial thinning the dimensions of the sawing wood should not be less than 4 cm, and at delayed thinning the dimensions of the sawing wood should not be less than 6.3 cm.

REFERENCES

1. R. Spinelli, N. Magagnotti, F. Di Fulvio, D. Bergström, M. Danelon, and G. Alberti, “Comparison of Cost Efficiency of Mechanized Fuel Wood Thinning Systems for Hardwood Plantations on Farmland,” *Croat. J. For. Eng.*, vol. 35, no. 2, pp. 111–123, 2014.
2. F. Wester and L. Eliasson, “Productivity in Final Felling and Thinning for a Combined harvester-forwarder,” *Int. J. For. Eng.*, vol. 14, no. 2, p. 7, 2003.
3. A. Lazdiņš, A. Zimelis, and G. Spalva, “Vimek BioCombi harvardera ražības novērtējums jaunaudžu kopšanā,” *Salaspils*, 2015.
4. Liepa I, *Pieauguma mācība*. Jelgava: Latvijas Lauksaimniecības universitāte, 1996.
5. A. Lazdiņš, A. Zimelis, and S. Kalēja, “Biokurināmā sagatavošana jaunaudžu kopšanā, pirmajā krājas kopšanā un grāvju trašu apaugumā ar moipu griezējgalvu,” *Salaspils*, 2015.

**IMPACT OF FORWARDING CONDITIONS ON PRODUCTIVITY OF FORWARDER
KRAMAN BISON 10000**

Kaleja S.,¹ assistant, Mg.silv., **Lazdins A.**,¹ senior researcher, Dr. silv.,
Johansson P. O.,² independent expert, Mg.silv.,
Spalva G.,¹ assistant, Mg.silv., **Skola U.**,³ stud.

¹Latvian State Forest Research Institute "Silava"
(Salaspils, Republic of Latvia), santa.kaleja@silava.lv, andis.lazdins@silava.lv

²(Kingdom of Sweden), andis.lazdins@silava.lv

³Latvia University of Agriculture
(Jelgava, Republic of Latvia), andis.lazdins@silava.lv

**ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПОДВОЗКИ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ
НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ФОРВАРДЕРА KRAMAN BISON 10000**

Калэя С.,¹ ассистент, маг. лесов., **Лаздинш А.**,¹ вед. научный сотрудник, д-р. лесов.,
Ёханссон П. О.,² независимый эксперт, маг. лесов.,
Спалва Г.,¹ ассистент, маг. лесов., **Скола У.**,³ студ.

¹Латвийский Государственный Лесохозяйственный исследовательский институт «Силава»
(Саласпилс, Латвийская Республика)

²(Королевство Швеция)

³Латвийский сельскохозяйственный университет
(Елгава, Латвийская республика)

The aim of this study is to investigate potential uses of Kranman Bison 10000 6WD forwarder in thinning under normal and difficult forwarding conditions, to determine productivity, average load size and forwarding costs. In normal forwarding conditions productivity of forwarding increase by 11%. The average forwarded load is 2.0 m³ and the average load capacity is 80%, accordingly. Prime cost of chainsaw-prepared roundwood is 8.7 € m⁻³, but, when using harvester for preparing roundwood, it is possible to reduce the prime cost by about 2.9 € m⁻³.

Key words: forwarding conditions, soil bearing capacity, forwarding productivity.

Introduction.

Roundwood forwarding is one of forestry operations and it is necessary to assess how it is influenced by various factors. Productivity of forwarding is affected by characteristics of the forest area, bearing capacity, weather conditions, technological and technical conditions. Bearing capacity of soil in the harvest site and in the forwarding road outside the harvest site has a significant impact on forwarder movement, but this factor can be adapted. When making forwarding roads, forest site type should be taken into account. Increased fertilizations lowers the bearing capacity of soil [6; 3].

Forwarding conditions are classified according to the terrain classification system in particular countries. [4] According to the guidelines of Joint stock company "Latvia's State Forest" there are four types of forwarding conditions in state forests. Forwarding conditions in forest types *Cladinoso-callunosa*, *Vacciniosa*, *Myrtillosa* and *Hylocomiosa* are characterized as good, with good bearing capacity of soil, forwarding can be done for all seasons. Forwarding conditions in forest types *Oxalidoso*, *Aegipodiosa*, *Callunoso-sphagnosa*, *Vaccinioso-sphagnosa*, *Myrtilloso-sphagnosa*, *Callunosa mel.*, and *Vacciniosa mel.* are characterized as average, with moderate bearing capacity of soil. Forwarding is possible throughout the whole year, when tracks are mounted. Forwarding conditions are bad in forest types *Myrtillosoi-polytrichosa*, *Drypteriosa*, *Myrtillosa mel.*, *Mercurialosa mel.*, *Callunosa turf. Mel.*, *Vaccin-*

iosa turf. Mel., *Myrtillosa turf. Mel.* and *Oxalidosa turf. Mel.*, characterized by weak bearing capacity of soil. Forwarding is possible only by mounting tracks and putting low-grade roundwood into forwarding roads and forwarding roads outside a stand to improve the bearing capacity. Forwarding conditions in forest types *Sphagnosa*, *Caricoso-phragmitosa*, *Dryopterioso-caricosa* and *Filipendulosa* are characterized as extreme with very bad bearing capacity of soil. Forwarding can be done only when forwarders are equipped with tracks on the rear and front axle or soil is frozen or dried out. [2; 6; 3]

Reduction of soil damage in forwarding is one of the criteria for sustainable forest management as well have direct impact on the forwarding productivity. Incorrect evaluation of forwarding conditions and forwarding techniques can not only have a significant impact on the environment, but also increase forwarding costs. Choices of properly equipped forwarder can prevent risks outlined above [4].

The aim of this study is to investigate potential uses of Kranman Bison 10000 6WD forwarder in thinning under normal and difficult forwarding conditions and to determine productivity, average load size and forwarding costs.

Materials and Methods.

The study was conducted in stands (25.8 ha) representing fertile *Hylocomiosa* (45% of the total area or 11.6 ha), *Myrtillosa mel.* (28% of the total area or 7.2 ha), *Myrtillososphagnosa* (20% of the total area or 5.1 ha) and *Myrtillosa turf.mel.* (7% of the total area or 2.0 ha) site types in central part of Latvia nearby Jelgava in forests of *Forest Research Station territory*.

Study of forwarding was carried out with small weight six-wheel Kranman Bison 10000 6WD forwarder, of the payload of 2.5 t. In this study forwarding productivity data were obtained in stands, where roundwood was prepared with a chainsaw and Vimek 404 T5 harvester, working in normal and difficult forwarding conditions. "Normal forwarding conditions" mean that soil bearing capacity is good and moist areas are not crossed, whereas "difficult forwarding conditions" mean that bearing capacity of soil is moderate or weak, moist areas are crossed and it is necessary to strengthen forwarding roads with harvesting residues. Detailed work studies are done of forwarding 455 m³ round wood. Most of the forwarded roundwood (335 m³ or 74%) was prepared with Vimek 404 T5 harvester and the rest (120 m³ or 26%) was prepared with a chainsaw. The average length of forwarding distance in this study was 286 m. Forwarding operations were implemented in July – September, 2016. Prime cost calculation of forwarding was done according to calculation models used similar studies carried out previously [1]. Average indicators of forwarding in calculation are used. In order to determine the significance level of data T-test was used.

Results.

Within the study Kranman Bison 10000 forwarder had worked 250 hours in total. 230 loads were forwarded during the study, including 63 loads from areas, harvested with a chainsaw, and 167 loads from areas, harvested with Vimek 404 T5 harvester. The average forwarded load is 2.0 m³ (the maximum load is 2.5 m³, therefore the average load capacity is 80%).

The average forwarding time per load is 33 minutes of productive time (productive time percentage is 94% from total engine hours of the machine). When forwarding roundwood from areas, harvested with a chainsaw, 31.1 min per load were spent but when forwarding from areas, harvested with Vimek 404 T5 harvester, 33.2 min per load were spent. On average loading and unloading take 15.4 and 5.7 min per load, accordingly. Statistically significant differences were not identified when comparing working time consumption for forwarding depending on the harvesting method.

Statistically significant differences can be observed in operations related to movement (driving time on average makes up 30% of total time), but these differences can be explained with length of the forwarding distance and location of pails, therefore movement elements are not included when assessing statistical differences of harvesting methods.

Productive working time in normal and difficult forwarding conditions are, respectively, 95% and 98% of the total working time. The average speed of the forwarder was 55.3 m min^{-1} , in normal forwarding conditions 63.6 m min^{-1} (average load 1.88 m^3) and 46.9 m min^{-1} (average load 1.94 m^3) in difficult forwarding conditions. The speed of the forwarder in normal forwarding conditions was considerably higher than in difficult forwarding conditions. When forwarding roundwood from areas with normal forwarding conditions, 28.9 min per load were spent, but forwarding from areas with difficult forwarding conditions required 32.1 min per load. On average loading and unloading in normal and difficult forwarding conditions takes, accordingly, 13.7 and 5.3 min and 13.5 and 5.4 min per load. The differences are not statistically significant. In normal forwarding conditions the average length of forwarding distance was 417 m, but in difficult forwarding conditions – 235 m, respectively.

Forwarding of 1 m^3 on average takes 16 minutes of productive working time. Comparing average productive time for forwarding of 1 m^3 depending on the harvesting method, no statistically significant differences were identified.

Analyzing work elements, statistically significant differences ($p = 0.00002 < 0.05$) were observed in working time consumption required for roundwood gripping at loading. Time consumption was 9% less, when roundwood was prepared with a chainsaw, comparing with roundwood, prepared with harvester. Differences ($p = 0.003 < 0.05$) were observed in working time consumption required for inserting round wood in the load. Time consumption was 29% less, when inserting chainsaw-prepared roundwood which is explained with more convenient placement of roundwood. There are statistically significant differences ($p = 0.002 < 0.05$) in working time consumption required for roundwood gripping at unloading – it was 10% less for chainsaw-prepared round wood. Statistically significant differences ($p = 0.002 < 0.05$) were also found in time required for roundwood unloading. Time required for unloading of roundwood that was prepared of harvester was 7% less. It could be explained with layout of roundwood in load. Driving during unload required 40% less time when chainsaw-prepared roundwood was unloaded ($p = 0.01 < 0.05$).

When analyzing forwarding work time depending on forwarding conditions, more productive work time was spent for forwarding of 1 m^3 round wood in difficult forwarding conditions than in normal conditions, but differences are not statistically significant. Statistically significant differences ($p = 0.0007 < 0.05$) were observed in forwarder driving speed, however contrary to the expectations the average forwarder speed was higher in difficult forwarding conditions. This is due to a longer flat stage in forwarding distance, which allowed to significantly increase the average speed.

Summary of the main forwarding productivity indicators depending on working method shows that unloading productivity was 7 m^3 per productive hour, when forwarding chainsaw-prepared roundwood, and 8 m^3 per productive hour – with harvester prepared round wood. Loading productivity was 21 and 20 m^3 per productive hour, respectively, and driving speed was 59.0 and 43.5 m min^{-1} .

Summary of the main forwarding productivity indicators depending on forwarding conditions shows that unloading productivity in difficult forwarding conditions was 8 m^3 , but in normal forwarding conditions was 9 m^3 per productive hour. Loading productivity was 21 and 21 m^3 per productive hour, respectively, and driving speed was 63.6 and 46.9 m min^{-1} .

Study results prove that the best application of Kranman Bison 10000 is forwarding small stands or individual trees, when logging with a chainsaw. Forwarder can work on soils

with weak bearing capacity, however productivity can be significantly hindered by stumps and uneven terrain.

Prime cost of a Kranman Bison 10000 working hour with a 5% rate of return is 20 € (prime cost of a productive working hour is 24 €). Roundwood forwarding prime cost, when working 1172 productive hours annually, is 7.14 € m⁻³. Average costs of forwarder are 28.7 thousand € annually, including personal costs 46%.

If harvesting is carried out with a chainsaw and forwarding – with Kranman Bison 10000, the prime cost of round wood is 23.6 € m⁻³, including 18.6 € m⁻³ harvesting and forwarding. If harvesting is carried out with Vimek 404 T5 harvester and forwarding – with Kranman Bison 10000, the prime cost of round wood is 20.7 € m⁻³, including 16.2 € m⁻³ of harvesting and forwarding.

Forwarding prime cost is significantly influenced by forwarding distance and machine utilization rate (average annual working hours). Forwarding prime cost significantly increases, when forwarder works less than 1000 hours annually.

The study was implemented within the scope of the JSC funded research project 'Research program on forest biofuel and mechanization of forest operations' (agreement No 5-5.9_003v_101_16_47).

REFERENCES

1. Lazdiņš, A. Sortimentu struktūras ietekme uz kopšanas un pievešanas ražīgumu lapkoku audzēs (Impact of assortment structure on productivity of harvesting and forwarding in deciduous stands) / Salaspils: Latvian State Forest Research Institute "Silava", 2013. 60 p.

2. Liepa, I., Miezīte, O., Luguza, S., Šulcs, V., Straupe, I., Indriksons, A., Dreimanis, A., Saveljevs, A., Drēska, A., Sarmulis, Z., Dubrovskis, D. Meža tipoloģija (Typology of forest) / Jelgava: Latvian Agricultural University Faculty of Forestry, 2014. 118 p.

3. Sarmulis, Z., Saveljevs, A. Meža darbi un tehnoloģijas (Forest works and technologies) / Jelgava: Latvian Agricultural University Faculty of Forestry, 2015. 146 p.

4. Tiernan, D., Zeleke, G., Owende, P.M.O., Kanali, C.L., Lyons, J., Ward, S.M. Effect of Working Conditions of Forwarder productivity in Cut-to-length Timber Harvesting on Sensitive Forest Sites in Ireland / Biosystems Engineering (87), 2004. pp 167-177.

5. Usitalo, J. Introduction to Forest Operations and Technology / JVP Forest Systems, 2010. 287 p.

6. Vadlīnijas pievešanas apstākļu noteikšanai (The guidelines for determination of forwarding conditions) / Rīga: JSC "Latvian State Forest", 2015. 4 p. http://www.lvm.lv/images/lvm/Profesionaliem/Me%C5%Beizstr%C4%81de/Pielikumi/Pievesanas_apstaklu_noteikšanas_vadlinijas_v.03.pdf.

**ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ХАРВЕСТЕРА VIMEK 404 T5
НА РУБКАХ УХОДА В ЛАТВИИ**

**Зимелис А., ассистент, маг.техн.наук, Лаздиньш А., ведущий научный сотрудник, д-р. лесов.,
Калея С., ассистент, маг. лесов., Спалва Г., ассистент, маг. лесов., Розитис Г., студ.**
Латвийский Государственный Лесохозяйственный исследовательский институт «Силава»
(Саласпилс, Республика Латвия), agris.zimelis@llu.lv

PRODUCTIVITY OF HARVESTER VIMEK 404 T5 IN FOREST THINNING IN LATVIA
Zimelis A., scientific assistant, Mg.sc.ing., Lazdiņš A., senior researcher, Dr. silv., Kaleja S.,
scientific assistant, Mg.silv., Spalva G., scientific assistant, Mg.silv., Rozitis G., student
Latvian State Forest Research Institute "Silava"
(Salaspils, Republic of Latvia)

The aim of the study is to assess the productivity of 404 T5 harvester Vimek thinning, the forest types, the restore type, regular and irregular pavement round timber structures and the impact on productivity. The study compared data obtained through the 404 T5 Vimek harvester summer season. The term "summer maintenance" means the period from 03.06.2016 till 15.08.2016. care until the summer – 7 stands JSC "Latvia State Forest" owned forest areas and Kandavas Vanemas forest stations with a total area of 9.6 ha. A total of 8 073 summer cultivated areas cut trees or 350 m² (average felled tree D 1.3 = 9 cm stem volume – 0.04 m³). Most of the areas have cultivated coniferous trees.

Keywords: Vimek 404 T5, care, harvester

Состояние вопроса. Харвестер VIMEK 404 T5 является одним из самых маленьких серийных харвестеров, доступных на рынке лесной техники [1]. Эта лесозаготовительная машина почти в 2 раза легче харвестера среднего класса (4,4 тонны против 10–12 тонн). Для работы в качестве исполнителя (контрактора) работ для АО "Латвийские государственные леса" система учёта работы должна соответствовать стандарту STAFORD [2].

Первые исследования харвестера VIMEK 404 T5 прошли в рамках программы "Производство, переработка и промышленная логистика заготовки возобновляемых энергоресурсов" в начале 2015 года в Швеции, сотрудничая с компанией VIMEK AB. Целью исследования было выполнение хронометража заготовки и подвоза лесоматериалов после рубок ухода в условиях Швеции и подготовка рекомендаций для применения техники в условиях Латвии [3]. Была высказана возможность применения техники в насаждениях высотой в диапазоне от 9 м до 15 м. Применение техники позволит уменьшить ширину технологических коридоров с целью увеличить объём лесозаготовки в последующих рубках ухода. Подобное исследование выполнено в Швеции, но там дополнительно был выполнен анализ антропогенных факторов [4].

В соответствии с результатами исследования харвестер VIMEK 404 T5 – самая эффективная из серийных лесозаготовительных машин, которые прошли тестирование в рамках проекта "Производство, переработка и промышленная логистика заготовки возобновляемых энергоресурсов". В течение года машиной удалось пройти рубками ухода до 800 га лесонасаждений и заготовить 25 тыс. м³ лесоматериалов. Однако, применение этого харвестера ограничено полнообъёмностью выполнения всех рубок ухода в процессе лесовыращивания и неприемлемо на рубках главного пользования, за исключением насаждений ольхи серой.

В весенний период, когда вводятся ограничения лесохозяйственной деятельности, технику рекомендуется применять на сведениях маломерной древесной растительности и на санитарных рубках, где применение большой лесозаготовительной техники не окупается, а ручной труд – опасен [3].

Материал и методы исследования. В эксперименте применялась малогабаритная лесозаготовительная машина – харвестер VIMEK 404 T5 в производственных условиях. Эксперимент выполнен в лесонасаждениях АО "Латвийские государственные леса" в период с 03.06.2016. по 15.08.2016. на площади 9,6 га (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристика лесонасаждений перед рубками ухода

Лесонасаждение	Тип леса	Главная порода	Площадь насаждения, га	D, см	H, м	Вырубленный объём, м ³ /га
711-332-9	<i>Oxatidosa</i>	ель	3.2	3	3	25
712-294-16	<i>Myrtiltososphagnosa</i>	сосна	2.8	2	2	7
714-230-15	<i>Hylocomiosa</i>	сосна	0.9	9	7	66

В производственных условиях выполнен хронометраж работы, применяя полевой компьютер учёта времени ALLEGRO CX с программатурой SDI с точностью фиксации времени в центминутах (1 минута= 100 центминут). Хронометраж выполнен по распределению работы на элементы (таблица 2). Дополнительно выполнен учёт расхода горючего (Aic Systems), скорость передвижения в лесонасаждении и учёт общего рабочего времени.

Таблица 2 – Элементы хронометража работы харвестера

Категория рабочего времени	Сокращение	Разъяснение
Информативное поле	D	D (мм) – средний диаметр вырубаемых деревьев на высоте 1,3 м
	Число	Количество захваченных деревьев
	Порода	Порода вырубаемого дерева (ель, сосна, берёза)
Продуктивное время	Sniedzās	Подвод рабочей головки к дереву
	Satver	Захват вырубаемого дерева
	Zāģe	Валка дерева
	Zari un pamežs	Валка подлеска
	Atzaro	Обрезка сучьев и раскряжёвка
	Auto	Число прогона хлыста через сучкорезные ножи
	Noliek	Подтаскивание срезанного дерева к месту раскряжёвки
	Citi darbi	Работы, связанные с рабочим процессом
	Iebrauc	Заезд на лесосеку
	Izbrauc	Выезд из лесосеки
	Pārvietojas	Переезды харвестера по лесосеке
Время, несвязанное с основной работой	Pārtraukums	Несвязанное с работой время

Качество выполнения рубки ухода и производительность труда выполнены методом пробных площадок. Пробные площадки размещены по длинной диагонали площади лесосеки перед машинной рубкой ухода равномерно. Радиус пробной площадки 5.64 м (площадь 100 м²).

Характеристика лесонасаждений: средний диаметр растущих деревьев, высота древо-стоя и запас. Для определения запаса лесонасаждения использована формула проф. И. Лиэпа [5]:

$$M = k \cdot G \cdot (H + 4),$$

где G – площадь поперечного сечения древостоя (m^2),

H – средняя высота древостоя (м),

k – коэффициент (сосна – 0.39; ель – 0.415; береза – 0.385; осина – 0.405; ольха чёрная – 0.4; ольха серая – 0.38).

Объём растущего дерева определялся по формуле проф. И. Лиёпа [5]:

$$V = \psi \cdot H \cdot D,$$

где ψ – коэффициент (сосна – $1.6541 \cdot 10^{-4}$, ель – $2.3106 \cdot 10^{-4}$, лиственные деревья – $0.9090 \cdot 10^{-4}$);

D – диаметр дерева на высоте 1,3 м.

Результаты и оценка. На рисунке 1 представлено распределение заготовленных деревьев на рубках ухода *машинизированным способом*. Чтобы сохранить высокую производительность труда при машинизированной лесозаготовке, рекомендуется не работать с деревьями диаметром менее 6 см.

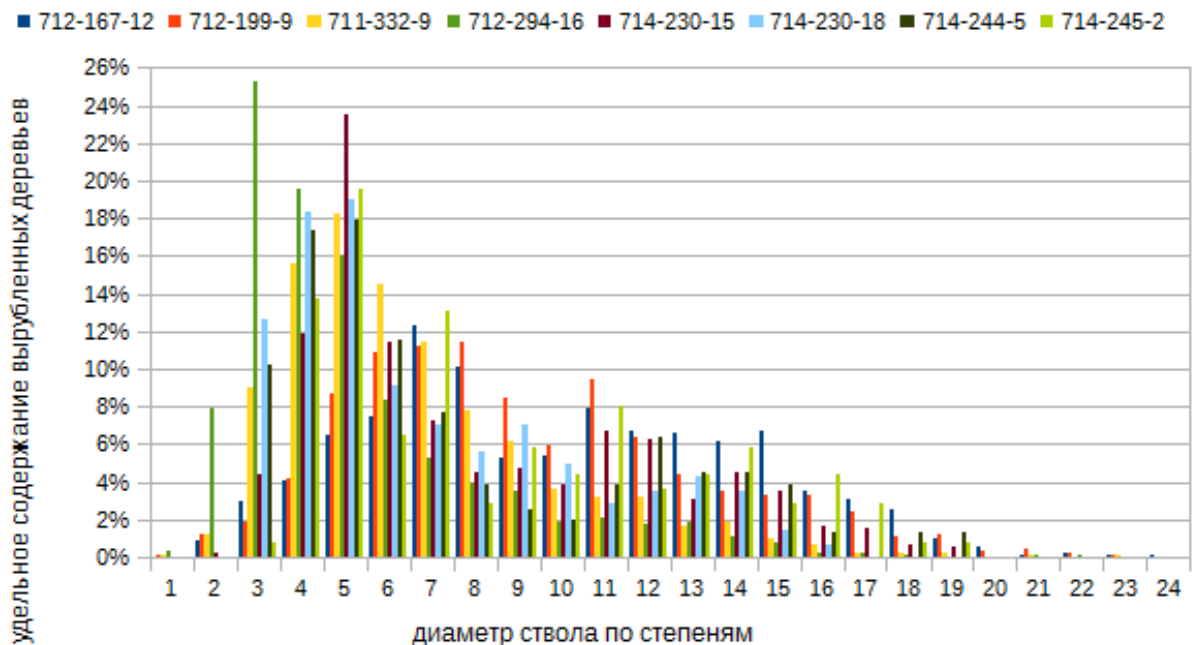


Рисунок 1 – Распределение вырубленных деревьев по степеням диаметров

В летний период учёт рабочего времени выполнен в размере 84 рабочих часа, из которых 68 часов – продуктивное рабочее время. В среднем, на заготовку $1 m^3$ круглых пиломатериалов с корой ушло 11,7 минут продуктивного рабочего времени.

Удельное содержание продуктивного рабочего времени в среднем составило 81% от рабочего времени (продолжительности смены). Распределение среднего продуктивного времени на заготовку $1 m^3$ круглых пиломатериалов показало, что самое большое время тратится на обрезку сучьев и раскряжёвку - в среднем 5 минут/ m^3 , за ним следует передвижение по лесосеке в среднем 2.5 минут/ m^3 , подвод рабочей головки к дереву – в среднем 1.2 минут/ m^3 , срезание дерева – в среднем 1.1 минут/ m^3 и на прочие работы, связанные с прямой работой – в среднем 0.7 минут/ m^3 .

Самая малая затрата времени уходит на укладку сортиментов – в среднем 0.2 минут/ m^3 , въезд на лесосеку и выезд из лесосеки – в среднем соответственно 0.4 минут/ m^3 и 0.3 минут/ m^3 , а срезание подлеска – в среднем 0.3 минут/ m^3 и захват деревьев – в среднем 0.5 минут/ m^3 . В среднем за продуктивный час заготавливалось 117 деревьев. Обобщая, можно заключить, что удельное значение продуктивного рабочего времени сравнительно большое (81%) и рабочее время используется эффективно. За 1 час продуктивного времени заготавливалось в среднем $5.2 m^3$ круглых лесоматериалов при среднем объёме хлыста дерева $0.04 m^3$.

На рисунке 2 представлено изменение производительности харвестера от среднего объёма хлыста дерева в зависимости от наличия подлеска.

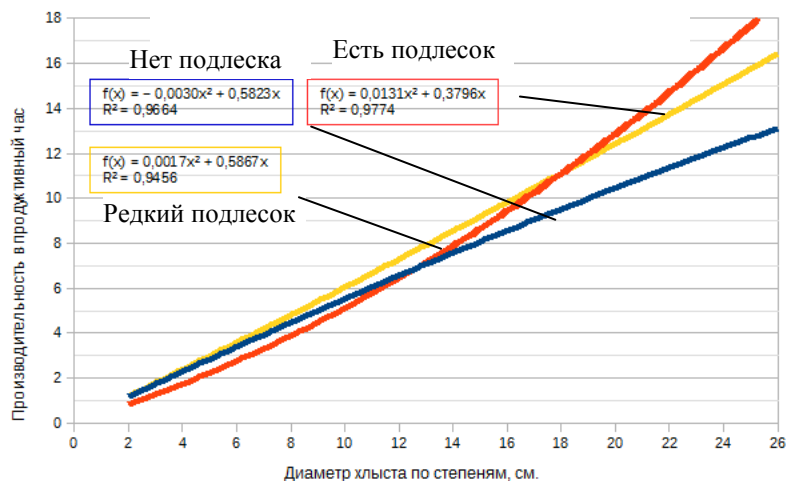


Рисунок 2 – Производительность харвестера в лесонасаждениях в зависимости от среднего объёма хлыста дерева и наличия подлеска

В летний период на рубках ухода показатели производительности харвестера в продуктивный час выше в древостоях, где редкий подлесок. В этот же период статистически существенно различается производительность труда в узколиственном осушенном типе леса ($p=0.0003$), в вересково-торфяном типе леса ($p=0.02$) и типе леса-черничника (0.0003). Также статистически существенно различаются производительность труда, сравнивая производительность в зеленомошниковом типе леса от переувлажненного зеленомошникового ($p=0.007$) и кисличного ($p=0.03$).

Данное исследование проводилось акционерным обществом „Latvijas valsts meži” и Латвийским государственным институтом лесоведения „Silava” 11 октября 2011 года в рамках меморандума „О сотрудничестве в области научных исследований”.

Выводы и рекомендации.

1. В летний период на рубках ухода харвестер VIMEK на заготовку 1 м³ круглых лесоматериалов затрачивает 11.7 минут продуктивного рабочего времени.
2. В летний период констатировано, что производительность харвестера статистически существенно различается от типа условий роста лесонасаждений, проходимых рубками ухода.
3. Харвестер VIMEK 404T5 при среднем объёме хлыста вырубаемого дерева 0.04 м³ достижима в размере 5.2 м³/продуктивный час работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. Lazdiņš, U. Prindulis, S. Kalēja, M. Daugaviete, and A. Zimelis, “Productivity of Vimek 404 T5 harvester and Vimek 610 forwarder in early thinning,” *Agron. Res.*, vol. 14, no. 2, pp. 475–484, 2016.
2. T. Räsänen, J.-A. Sorsa, and M. Oy, “StanForD 2010 – Naming and design rules,” *Vantaa*, 2010.
3. A. Lazdiņš, A. Zimelis, and U. Prindulis, “Vimek Harvester 404 T5 un piedējtraktora 610 ražīgums jaunaudžu kopšanā Zviedrijā,” *Salaspils*, 2015.
4. M. Jonsson, “En jämförelse avseende beståndsgående-och stickvägsgående galningsmaskiner (A comparison regarding stand-thinning and strip road-going thinning machines),” p. 27, 2014.
5. Liepa I, *Pieauguma mācība*. Jelgava: Latvijas Lauksaimniecības universitāte, 1996.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕСНЫХ ДОРОГ ПУТЕМ
ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОРЕШЕТОК И ГЕОСЕТОК**

Науменко А. И., ассист., к.т.н., Бавбель Е. И., доц., к.т.н., Лыщик П. А., проф., к.т.н.
Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: Andrei_Naymenko_bsty@mail.ru

IMPROVING THE DESIGN OF FOREST ROADS BY USE OF GEOGRIDS

Naumenko A. I., Ass., PhD., Bavbel J. I., Assoc. Prof., PhD., Lyshchik P. A., Prof., PhD
Belarusian State Technological University
(Minsk, Republic of Belarus)

The article is devoted to the study of the road construction performance of the reinforcement cage "geogrid-tsementogrunт". As the filler cells geogrid use local soil reinforced composite binder based on Portland cement and microfillers. As used microfillers waste industrial production, in particular milled waste asbestos-cement production and granitoid screenings obtained by crushing gravel on Mikashevichy field.

Дорожные конструкции воспринимают различные виды внешних воздействий, основными из которых являются воздействия от автомобильной нагрузки и погоднo-климатических факторов. Кроме внешних воздействий, дорожные конструкции должны воспринимать нагрузки (иногда значительные) от собственной массы. Основными элементами дорожной конструкции – дорожная одежда и земляное полотно. Дорожную одежду считают достаточно прочной, если под воздействием всех нагрузок она сохраняет в течение заданного срока сплошность и требуемую ровность покрытия. Земляное полотно считают устойчивым, если изменение его несущей способности, высотных и геометрических параметров не выходит за расчетные пределы в течение срока службы.

В последние годы, с появлением большегрузных автомобильных поездов, значительно возросла колесная автомобильная нагрузка, которая вызывает предельные вертикальные и горизонтальные напряжения и деформации в конструктивных слоях дорожной одежды и верхних слоях земляного полотна. Это вызывает необходимость строить все более мощные и дорогостоящие конструкции.

Напряжения и деформации проникают на глубину до 1,5 м от поверхности покрытия, постепенно затухая в рабочем слое земляного полотна. Колесная нагрузка вызывает прогиб дорожной одежды и приводит к появлению в монолитных слоях (асфальтобетон, цементобетон, материалы, укрепленные минеральным или органическим вяжущим) растягивающие напряжения, а в несвязных слоях основания (грунты, не обработанные вяжущим) – касательные напряжения, которые зависят от величины действующей нагрузки на колесо и площади отпечатка колеса.

Нагрузки от автомобильных колес прилагаются многократно, что приводит к усталости и постепенному разрушению структуры материалов в монолитных слоях. Дискретные материалы (щебень, гравий) также постепенно изнашиваются, теряя несущую и распределяющую способность.

Горизонтальные усилия достигают больших значений в местах прохождения транспортных средств, при изменении скорости, на крутых уклонах и кривых. Горизонтальные усилия затухают в верхних слоях покрытия.

Кроме колесной нагрузки на прочность и долговечность дорожной одежды и земляного полотна значительное влияние оказывают погоднo-климатические факторы: нагревание – охлаждение; водонасыщение – высушивание; замораживание – оттаивание.

Температура воздуха оказывает более существенное влияние на свойства материалов дорожных одежд, содержащих органические вяжущие. При низких температурах повышает

ся их модуль упругости и хрупкость, при повышенных – снижается модуль упругости и сдвигоустойчивость. Свойства материалов, укрепленных минеральными вяжущими, в меньшей степени зависят от температуры. Однако в обоих случаях в монолитных покрытиях возникают настолько большие температурные напряжения, что это приводит к появлению температурных трещин.

При водонасыщении наиболее существенно снижается прочность связных (глинистых) грунтов земляного полотна (в 2 раза и более), так как конденсационные структурные связи, обеспечивающие их высокую прочность в сухом состоянии, обратимо разрушаются. Многие группы грунтов при увлажнении набухают, а дорожно-строительные материалы, в том числе и монолитные, снижают прочность при водонасыщении.

Высушивание зачастую сопровождается увеличением прочности материалов. Однако цикличность водонасыщения – высушивания (расширения – сжатия) приводит к расшатыванию структуры, снижению плотности и прочности материалов дорожных конструкций.

С одной стороны замораживание приводит к значительному увеличению прочности многих водонасыщенных материалов дорожных конструкций. Так, прочность замерзших глинистых грунтов возрастает на порядок, но при этом неотвратно проявляется такое негативное явление, как морозное пучение. Это может привести к появлению растягивающих напряжений в верхней зоне монолитных слоев дорожных одежд и появлению трещин.

Негативные последствия циклического замораживания – оттаивания материалов осенью и весной однозначны, особенно если материалы насыщены влагой. При этом наибольшее число циклов воспринимает покрытие дорожной одежды, материал которого испытывает напряжения различного рода, главным образом из-за замерзающей и расширяющейся влаги.

Укрепленные грунты разнообразного состава и свойств характеризуются изменением прочности и деформационных свойств в весьма широком диапазоне. Такие изменения в свойствах и прочностных характеристиках будут зависеть от вида применяемого вяжущего материала, его дозировки, от свойств и состава грунта, от климатических условий местности.

Несмотря на эти колебания свойств укрепленные грунты в целом принято рассматривать как полужесткие и нежесткие материалы, что дает возможность использовать для назначения конструкции дорожных одежд существующие теории расчета, предназначенные для дорожных одежд нежесткого типа [1, 2].

Практический опыт проектирования и строительства автомобильных дорог с применением укрепленных грунтов в конструкциях дорожных одежд показывает, что в назначении тех или иных слоев, их сочетании и толщины не может быть шаблона и единого решения для всех условий. Не все условия изучены с достаточной полнотой, однако уже сейчас накоплен большой опыт, позволяющий обосновать применение укрепленных грунтов в дорожных основаниях и покрытиях.

В процессе разработки и совершенствования технологии укрепления грунтов наметились три основных направления:

- приготовление и укладка смеси с использованием многопроходных машин (дорожные одежды);
- приготовление и укладка смеси с использованием однопроходных многороторных грунтосмесительных машин;
- приготовление смесей из местных и привозных грунтов в стационарных или полустационарных смесительных установках с последующим транспортированием готовой смеси к месту укладки.

Каждый из указанных способов работ имеет свои преимущества и недостатки, однако в большинстве случаев отдается предпочтение смешению на дороге, органически и наиболее полно отвечающему главной идее по использованию грунта, как наиболее дешевого местного дорожно-строительного материала.

Совершенствование методов укрепления грунтов и разработка новых методов, использование более совершенных машин при производстве работ по обработке грунта позволяет в

дальнейшем расширить диапазон применения укрепленных грунтов и повысить их значение в создании прочных дорожных одежд различного типа.

Устройство земляного полотна, слоев дорожных конструкций и дорожной одежды должно отвечать требованиям, которые предъявляются нормативными документами и правилами. В частности строительство на лесных автомобильных дорогах в Республики Беларусь подчиняется техническому кодексу установившейся практики ТКП 500-2013 «Лесные автомобильные дороги. Нормы проектирования и правила устройства».

Покрытия из укрепленных грунтов по конструкции могут быть однослойными или двухслойными. В случае пригодности грунта верха земляного полотна для укрепления покрытие получают методом смешения на дороге при помощи грунтосмесительных машин или дорожных фрез. Предпочтительной будет всегда такая конструкция, которая предусматривает под покрытием дренирующий слой. Он может быть получен в результате отсыпки верха или всего земляного полотна грунтом, привозимым автомобилями из карьера. Общая толщина отсыпки должна быть такой, чтобы было возможно получить дренирующий слой снизу и слой укрепленного грунта сверху.

Слой грунта, укрепленный цементом или другими вяжущими веществами, может служить основанием и под цементобетонные монолитные и сборные покрытия. В этом случае между покрытием и основанием устраивают выравнивающий слой толщиной 0,03–0,05 м из смеси грунта с вяжущим или из крупнозернистого песка. Смеси распределяют перед укладкой покрытия.

Приведенный анализ дорожных конструкций лесных автомобильных дорог показывает, что дорожная одежда и земляное полотно работает в очень сложных, постоянно меняющихся условиях. Строительство и реконструкция многих автомобильных дорог высоких технических категорий осуществляется в сложнейших климатических и грунтово-гидрологических условиях. Меняется состав автомобильного движения. За последние 10 лет доля легковых и большегрузных автомобилей в составе транспортного потока в увеличилась в 2–3 раза. Постоянно растут скорости движения транспорта и требования к ровности и прочности покрытия.

В этих условиях традиционные подходы к конструированию дорожных одежд и земляного полотна не могут дать надежные долговременные результаты. Использование новых принципов конструирования с введением в дорожные конструкции новейших разработок и материалов является объективной необходимостью.

Цель применения конструктивного слоя из цементогрунта и арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт» – создание усиленного слоя дорожной одежды, имеющего улучшенные характеристики по отношению к слою из заполнителя:

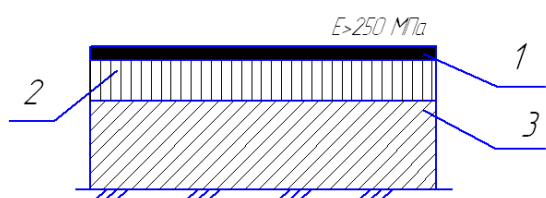
- повышенную прочность (повышенную сопротивляемость возникающим напряжениям сдвига);
- повышенную жесткость (модуль упругости слоя повышается по отношению к модулю упругости заполнителя);
- пониженные температурные деформации при заполнителе, содержащем композиционные вяжущие.

Решаемые с помощью данной методики задачи:

– снижение толщин слоев дорожной одежды или повышение прочности дорожной конструкции при сохранении толщин слоев, в частности: улучшение динамических характеристик дорожной конструкции, снижение темпов накопления остаточных деформаций (колееобразования), возникающих за счет деформации самого несущего слоя и нижележащих слоев;

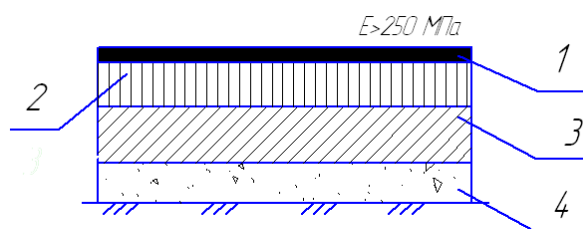
– создание возможности расширенного применения более жестких заполнителей на основе малоцементного композиционного вяжущего при создании несущего слоя основания.

Основные конструктивные решения – устройство слоя покрытия, несущего или дополнительного слоя основания дорожной конструкции [1, 2] представлены на рисунке 1 и 2 и в таблице 1.



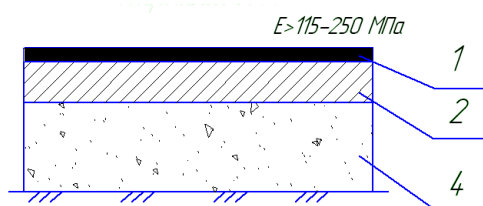
I тип:

1 – слой поверхностной обработки на основе щебня и битума; 2 – покрытие из асфальтобетона; 3 – основание из цементогрунта



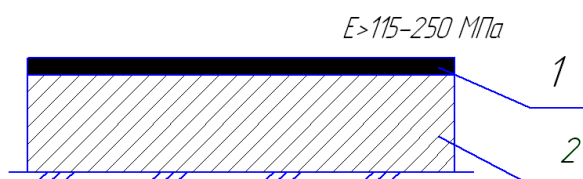
II тип:

1 – слой поверхностной обработки на основе щебня и битума; 2 – покрытие из асфальтобетона; 3 – основание из цементогрунта; 4 – дренирующий слой из зернистого материала



III тип:

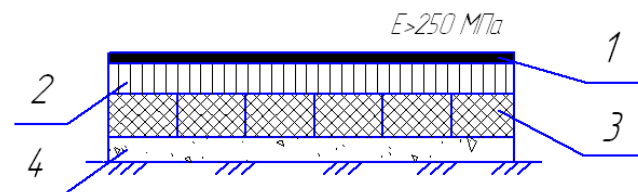
1 – слой поверхностной обработки на основе щебня и битума; 2 – покрытие из цементогрунта; 4 – дренирующий слой из зернистого материала



IV тип:

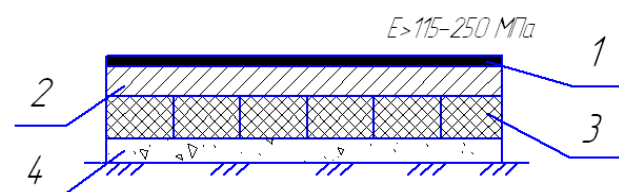
1 – слой поверхностной обработки на основе щебня и битума; 2 – покрытие из цементогрунта

Рисунок 1 – Дорожные конструкции из цементогрунта



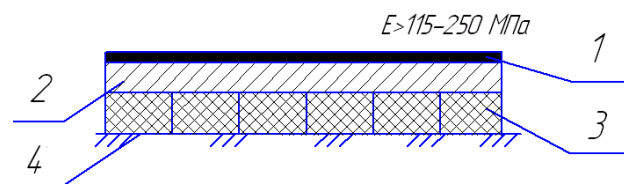
I^{AK} тип:

1 – слой поверхностной обработки на основе щебня и битума; 2 – покрытие из асфальтобетона; 3 – арматурный каркас «георешетка-цементогрунт»; 4 – дренирующий слой из зернистого материала



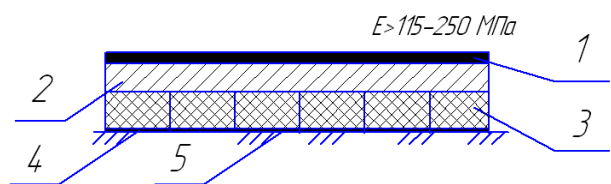
II^{AK} тип:

1 – слой поверхностной обработки на основе щебня и битума; 2 – покрытие из цементогрунта; 3 – арматурный каркас «георешетка-цементогрунт»; 4 – дренирующий слой из зернистого материала



III^{AK} тип:

1 – слой поверхностной обработки на основе щебня и битума; 2 – покрытие из цементогрунта; 3 – арматурный каркас «георешетка-цементогрунт»; 4 – грунт земляного полотна



IV^{AK} тип:

1 – слой поверхностной обработки на основе щебня и битума; 2 – покрытие из цементогрунта; 3 – арматурный каркас «георешетка-цементогрунт»; 4 – дренирующий слой из зернистого материала; 5 – геосинтетическая прослойка

Рисунок 2 – Дорожные конструкции из арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт»

Таблица 1 – Основные конструктивные решения дорожных конструкций

Номер слоя на рисунках 1 и 2	Область применения	Получаемый эффект
I и II тип – 3	Устройство несущего слоя из цементогрунта	Повышение прочности и морозоустойчивости, снижение толщины слоя
I ^{AK} , II ^{AK} , III ^{AK} и IV ^{AK} тип – 3	Устройство арматурно-каркаса «георешетка-цементогрунт»	Повышение прочности, снижение колеобразования при повышении трещиностойкости за счет создания блочной структуры слоя
III, IV, III ^{AK} и IV ^{AK} тип - 2	Покрытие из цементогрунта	Повышение прочности, снижение толщины слоя

Назначение конструктивных решений дорожных одежд с применением конструктивного слоя на основе арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт» выполняются в соответствии с ТКП 45-3.03-112-2008. При этом указанные конструктивные композитные слои рассматриваются как сплошные квазиоднородные слои, имеющие повышенные прочность на растяжение при изгибе (за счет прочности и деформативности полос геопластика) и сопротивляемость сдвигу (за счет работы заполнителя в замкнутой ячейке из пластика). В связи с этим расчет такого слоя на растяжение при изгибе и сдвиг не производится, а в качестве его расчетной характеристики при расчете конструкции дорожной одежды используется только модуль упругости.

Расчет армированных нежестких дорожных одежд выполняются с учетом ТКП 500-2013 и ТКП 45-3.03-112 в следующей последовательности:

- 1) рассчитывается неармированная дорожная одежда (рисунок 1);
- 2) производится ориентировочная оценка снижения толщины несущих слоев основания для дорожных одежд из арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт»: для капитальных усовершенствованных типов покрытий – 15-20 %; для облегченных типов – 30-40 %; для переходных и низших – 40-50 %;
- 3) при заданных пониженных толщинах дорожных одежд определяются значения расчетного модуля упругости композитного слоя (арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт»);
- 4) определяются расчетные значения коэффициентов прочности армированной конструкции;
- 5) производится сравнение расчетных значений коэффициентов прочности армированной конструкции с требуемыми значениями коэффициентов прочности (по ТКП 500-2013 и ТКП 45-3.03-112). Конструкция принимается, если удовлетворяются условия по прочности по всем рассчитываемым критериям.
- 6) в случае, если условие по прочности не соблюдается по какому-либо критерию, производится повторный расчет конструкции, начиная с п. 3 и с измененными исходными данными (увеличение толщины слоев дорожной одежды, улучшение характеристик материалов слоев и т.п.).

Повторный расчет также выполняется, если по решающему критерию расчета получаемые значения коэффициента прочности армированной дорожной одежды превышает требуемые значения более чем на 5% – в этом случае выполняется перерасчет с уменьшением толщин слоев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дорожная конструкция из цементогрунта: № 11182 патент на полезную модель, МПК С 01 С 7/36, 7/32 / П. А. Лыщик, Е. И. Бавбель, А. И. Науменко; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № u 20150145; заявл. 29.04.15., опубл. 2016.10.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2016. – № 4. – С. 82.
2. Дорожная конструкция из арматурного каркаса: № 11183 патент на полезную модель, МПК С 01 С 7/36, 7/32 / П. А. Лыщик, Е. И. Бавбель, С. В. Красковский, А. И. Науменко; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № u 20150145; заявл. 29.04.15., опубл. 2016.10.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2016. – № 4. – С. 82.

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ РАБОТЫ ПОД ПОЛОГОМ ДРЕВОСТОЯ

**Азаренок В. А., проф., д.с-х.н., Герц Э. Ф., доц., д.т.н., Теринов Н. Н. д.с-х.н.,
Перепечина Т. А., асп.**

Уральский государственный лесотехнический университет
(Екатеринбург, Россия), e-mail: gerz.e@mail.ru

TRANSPORT SYSTEM FOR WORK IN STAND

**Azarenok V. A., Prof., D.Sc., Gerz E. F., Assoc. Prof., D.Sc., Terinov N. N., D.Sc.,
Perepechina T. A., asp.**

Ural State Forest Engineering University
(Ekaterinburg, Russia)

Comparison of room for maneuver under the canopy the stand of transport systems with different hitch. Established that the smallest possible turning radius of the transport system consisting of a tractor with a front wheel steering is achieved by the dissolution of its acquisition and the maximum trailer when recruiting for an equal length of the loading platforms. When driving on radial curves broadening corridor necessary for the smooth passage of the transportation system is determined by its total length of the transport system and the minimum at acquisition the dissolution tractor, wheel which follows the path of the tractor rear wheels. Established that the transport system to the advantage of the dissolution, the criterion for the minimum corridor width required for passage, most obviously with a minimum turning radius and increases with the length of the loading platform. At small length of the loading platform to use as a trailer hitch, the least efficient in comparison with other hitch while logging timber under the canopy of the stand.

Выполнение рубок ухода и выборочных рубок в спелых и перестойных древостоях предполагает, как правило, технологии с шириной пасаки более 20 метров. Ширина пасаки при этом является одной из косвенных характеристик определяющих минимально возможную интенсивность изреживания древостоя. Возможность разрубки пасаки такой ширины манипуляторными лесозаготовительной машины (ЛЗМ) ограничивается не только максимальным вылетом манипулятора, но и резким снижением возможности доставки захватно-срезающего устройства к деревьям подлежащим рубке (доступности) по мере увеличения их ширины и густоты формируемого древостоя [1]. Доступность деревьев отведенных в рубку не только определяет возможный диапазон параметров рубок, но и характеризует риски повреждения деревьев оставляемых на доращивание в процессе выполнения рубок. Таким образом, доступность деревьев отведенных в рубку на лесосеке может служить не только мерой возможности реализации поставленной задачи, но и мерой повреждения подроста и деревьев, оставляемых на доращивание, а значит одним из показателей экологичности рубок, определяемой степенью сохранности всех компонентов леса.

Одним из вариантов решения задачи, по выравниванию доступности деревьев отведенных в рубку по всей ширине пасаки, является использование ЛЗМ работающих под пологом древостоя. Возможность перемещения ЛЗМ в насаждении под пологом древостоя при выполнении рубок ухода и выборочных рубок определяется как её конструктивными параметрами, так и характеристиками насаждения.

Наибольшие сложности вызывает перемещение лесотранспортными системами древесины из удаленных от волоков зон недосягаемых манипуляторным ЛЗМ. Возможность маневрирования между деревьями, оставляемыми на доращивание, определяется как габаритами и маневренностью лесотранспортной системы, так и в значительной степени габаритами трельюемого пакета древесины. Ширина коридора может и должна определяться как большая из двух величин: по границам траектории перемещения движителей и по траекториям перемещения грузовой платформы. При этом общая длина лесотранспортной мини ма-

шины (ЛТМ) оказывает влияние на маневренность машины (ограничивает минимальный радиус поворота) и приводит к дополнительному уширению необходимого для маневрирования коридора.

Существенное влияние на дополнительное уширение прохода необходимого для ЛТМ оказывает общая компоновка и ее механизм поворота. В ЛТМ, как правило, используются гусеничные или колесные движители.

Механизм поворота машин с гусеничным движителем обеспечивает минимальный радиус поворота. Для разворота машине необходима круговая площадка с диаметром близким к длине машины. Однако такие повороты приводят к сдвигу и минерализации почвы, что рассматривается как значительный экологический ущерб лесной экосистеме. Разделение движителей на гусеничные и колесные не является строгим, поскольку современные колесные движители могут, при необходимости, трансформироваться в гусеничные за счет съемных гусениц. Поэтому мы ограничимся сравнением шасси с колесным движителем и двумя вариантами поворота: шарнирно-сочлененной рамой и передними поворотными колесами.

Колесное шасси имеет, как правило, два передних поворотных колеса. При движении таких шасси по дуге радиусы поворота передних и задних колес не совпадают, что приводит к уширению необходимого для прохода ЛТМ коридора [2].

При расстоянии между мостами ЛТМ (l_m) и ширине машины (b) движении переднего внешнего поворотного колеса по максимальному радиусу (R_{nm}) заднее, внутреннее, определяющее ширину необходимого коридора, будет двигаться по минимальному радиусу величиной: $R_{zm} = \sqrt{R_{nm}^2 - l_m^2} - b$.

При этом $R_{zm} \gg l_m + b$, а уширение необходимого прохода составит: $CD_n = R_{zm} - b$

Движение передних и задних колес по одной общей траектории обеспечивается синхронным поворотом обеих пар колес (мостов) например шарнирно-сочлененным шасси. Минимальный радиус поворота такого шасси определяется при угле поворота колес на 45^0 . Вместе с тем ширина требуемого коридора для проезда ЛТМ с двумя парами колес при движении по одной кривой, может не ограничиться шириной трактора. На поворотах с малыми радиусами грузовая платформа может оказывать существенное влияние на уширение необходимого прохода. Для грузовых платформ передние и задние колеса, которых движутся при маневрировании по одной дуге дополнительное уширение определится величиной $CD_{ш}$:

Уширение необходимого для прохода ЛТМ коридора составит:

$$CD = R_n - \sqrt{R_n^2 - (l_m / 2)^2}$$

где (R_n) - радиус поворота колеса по внутренней дуге

Для перемещения лесных, длинномерных грузов в погруженном положении наряду с расположением грузовой платформы в пределах шасси лесотранспортной машины широко используются транспортные системы (ТС), включающие тягач с прицепным элементом, в качестве которого могут использоваться **полуприцеп, прицеп или роспуск** [3].

Перемещение легких, малогабаритных ТС под пологом древостоя в процессе подтрелевки древесины к волокам предполагает наличие коридоров (проходов) между деревьями и необходимость маневрировать объезжая препятствия. При повороте ТС ширина необходимых для этого коридоров определяется, при равных прочих обстоятельствах, не только маневренностью тягача и габаритами транспортного пакета, но и способностью прицепного элемента следовать при повороте за тягачом с минимальными отклонениями. Выбор прицепных устройств, позволяющих минимизировать ширину необходимых проходов при маневрировании ТС, в процессе трелевки древесины, определяет в значительной степени возможность их работы под пологом древостоя.

Рассмотрим процесс поворота ТС, включающей двухосный тягач с передними управляемыми колесами, с различными прицепными элементами при маневрировании.

Ширина коридора необходимого для беспрепятственного перемещения ТС с полуприцепом по радиальной кривой составит: $B_{nnp} = R_{nm} - R_{n/n}$;

где R_{nm} - радиус поворота переднего внешнего колеса тягача при повороте ТС, м;

$R_{n/n}$ - радиус поворота внутреннего колеса полуприцепа при повороте ТС, м;

При этом радиус поворота внешнего заднего колеса тягача составит:

$$R_{змн} = \sqrt{(R_{nm}^2 - l_m^2)}$$

где l_m - база ЛТМ (расстояние между осями), м;

Радиус поворота внутреннего колеса полуприцепа определится из уравнения:

$$R_{n/n} = \sqrt{R_{змн}^2 - l_{n/n}^2} - b$$

где $l_{n/n}$ - длина полуприцепа (расстояние между его осью и задним мостом тягача, м;

b - ширина ТС, м.

Минимальный радиус поворота ТС с полуприцепом определится из условия $R_{n/n} = 0$.

Дополнительное уширение коридора необходимого для перемещения ТС составит:

$$CD_{nn} = B_{nnp} - b$$

При поворотах ТС с **прицепом** его передние и задние колеса будут двигаться по кривым различных радиусов.

Ширина коридора необходимого при повороте ТС с прицепом составит:

$$B_{np} = R_{nm} - R_{zn}$$

Радиус поворота переднего наружного колеса прицепа составит:

$$R_{nm} = \sqrt{((R_{змн} - b/2)^2 - l_0^2)} + b/2$$

Радиус поворота заднего внутреннего колеса прицепа составит:

$$R_{zn} = \sqrt{((R_{nm} - b/2)^2 - l_n^2)} - b/2;$$

Минимальный радиус поворота ТС с прицепом определится из условия $R_{zn} = 0$.

Дополнительное уширение коридора необходимого для перемещения ТС при повороте составит: $CD_n = B_{np} - b$.

Конструкция **ропуска**, поворот колес которого осуществляется двумя перекрещивающимися тягами, закрепленными на краях ходовой тележки ропуска и тягача, обеспечивает движение задних колес тягача и колес ропуска по одному радиусу. Общая ширина коридора необходимого при повороте для прохода ТС, включающей тягач и ропуск, составит:

$$B_p = R_{nm} - R_0$$

где R_0 - элемент ТС имеющий минимальный радиус поворота (средняя часть внутреннего борта грузовой платформы), м;

$$R_0 = \sqrt{((R_{змн} - b/2)^2 - l_p^2/4)} - b/2;$$

где $R_p = R_{змн}$ - радиус поворота наружного заднего колеса тягача и ропуска, м.

Дополнительное уширение необходимого коридора при повороте транспортной системы включающей тягач и ропуск составит: $CD_p = B_p - b$

Минимальный радиус поворота ТС с роспуском ограничен взаимным положением поворотных колес роспуска и задних колес тягача. Максимальными будут углы близкие к 90° . Минимальный радиус перемещения заднего внешнего колеса тягача составит:

$$R_{\text{зми}} \geq \sqrt{(l_p^2 - (b/2)^2 - l_p^2/4)} + b/2$$

Графическая интерпретация результатов расчетов дополнительного уширения коридора необходимого при повороте для прохода ТС с колесным тягачом длиной 2 метра и передними поворотными колесами и различными прицепными элементами (прицеп, полуприцеп, роспуск) при длине грузовой платформы 4 метра представлена на рисунке 1.

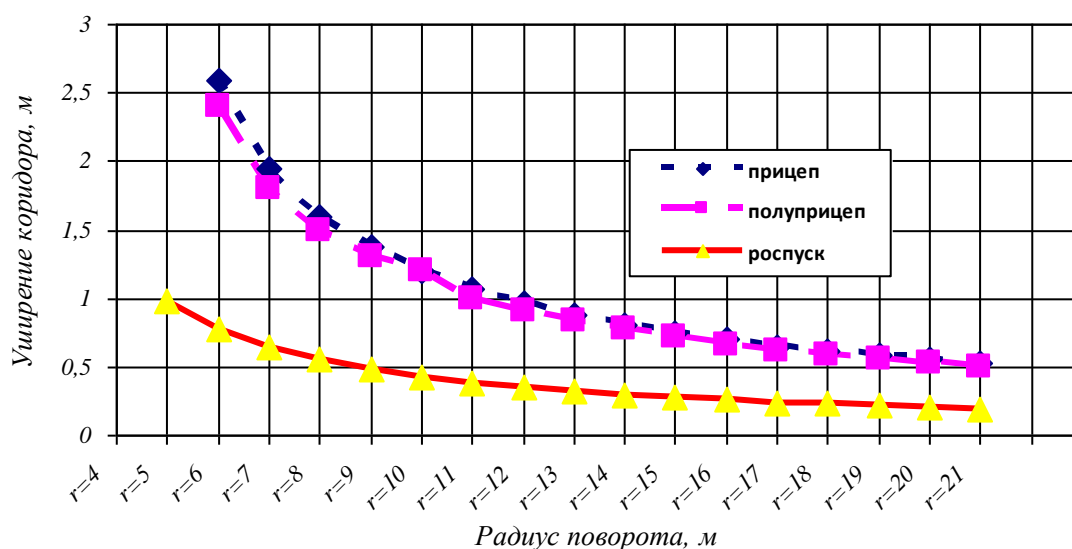


Рисунок 1 – Зависимость уширения коридора необходимого для беспрепятственного прохода ТС при повороте от радиуса поворота при длине грузовой платформы 4 метра

При радиусе поворота внешнего колеса тягача 10 метров график зависимости уширения коридора, необходимого ТС с колесным тяговым модулем и передними поворотными колесами длиной 2 метра и различными прицепными элементами (прицеп, полуприцеп, роспуск) в зависимости от длины грузовой платформы, приведен на рисунке 2.

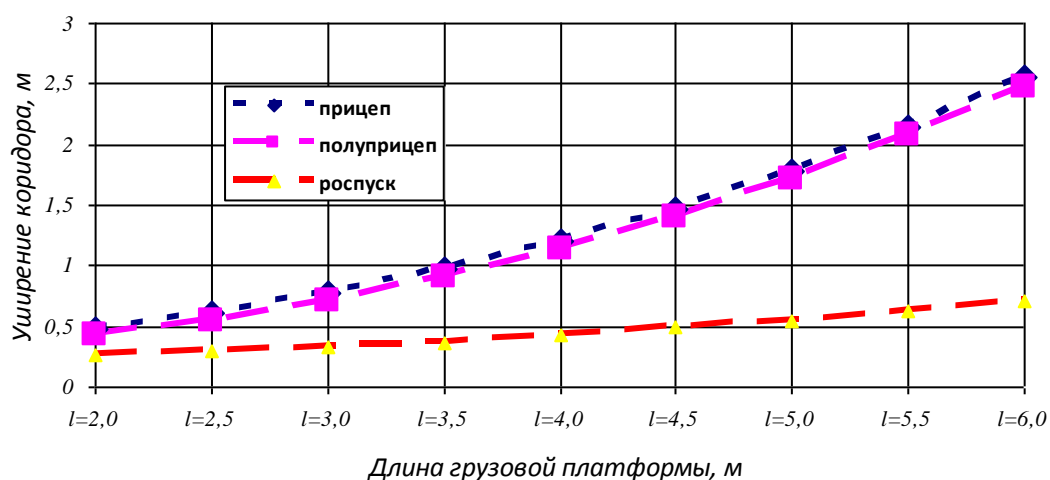


Рисунок 2 – Зависимость уширения коридора необходимого для прохода ТС от длины грузовой платформы при радиусе поворота ведущих колес 10 метров

Минимальный радиус поворота ТС шириной 1,5 метра с колесным тягачом длиной 2 метра и передними поворотными колесами в зависимости от длины грузовой платформы приведен на рисунке 3.

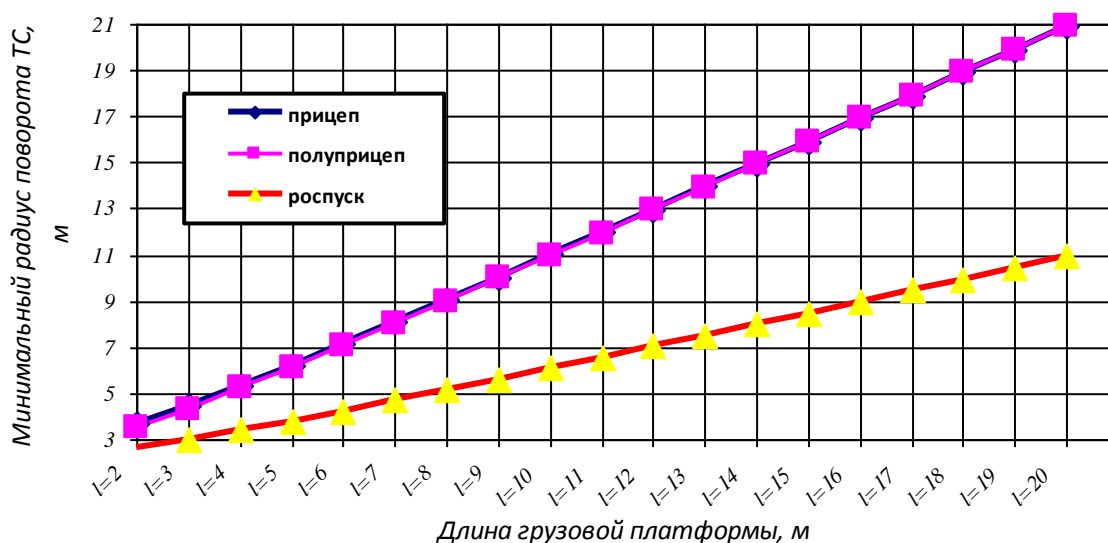


Рисунок 3 – Зависимость минимального радиуса поворота ТС шириной 1,5 м и длиной тягача 2 м от длины грузовой платформы

Таким образом, можно заключить что:

1. Минимальный радиус поворота ТС определяется ее общей длиной и типом прицепного устройства. При равной длине грузовой платформы наименьший минимальный радиус поворота ТС, включающей роспуск, а наибольший у ТС с прицепом. Увеличение минимального радиуса поворота ТС при работе с прицепом в сравнении с полуприцепом определяется наличием дышла и его длиной;

2. При движении ТС по радиальным кривым уширение коридора, необходимого для беспрепятственного прохода, определяется ее общей длиной и минимально при комплектации тягача роспуском, колеса которого повторяют траекторию задних колес тягача. Преимущество ТС с роспуском наиболее очевидно при минимальных радиусах поворота и возрастает по мере увеличения длины грузовой платформы;

3. При равной длине грузовой платформы прицеп имеет худшие показатели маневренности в составе ТС, т. к. при равных прочих габаритах ее длина больше на длину дышла прицепа. При малой длине грузовой платформы использование прицепа при трелевке лесоматериалов под пологом древостоя наименее рационально.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герц Э. Ф., Безгина Ю. Н., Иванов В. В., Крюк В.И. Вероятность заготовки деревьев при выборочных рубках манипуляторной машиной // Леса России и хозяйство в них. 2014. №2. С. 40-42.
2. Безгина Ю. Н., Герц Э. Ф., Иванов В. В., Перепечина Т. А., Уразова А. Ф., Теринов Н. Н. [Какое шасси нужно машине, работающей под пологом древостоя? /Леса России и хозяйство в них.](#) - 2014. - № 2. - С. 30-32.
3. Безгина Ю. Н., Герц Э. Ф., Иванов В. В., Перепечина Т. А., Теринов Н.Н., Уразова А.Ф. Условия и возможность работы лесотранспортных машин под пологом древостоя//Resources and Technology. 2016. Т. 13. № 2. С. 20-33.

КАНАТНЫЕ ДОРОГИ ЛАРИКС НА БОЛОТАХ

Веселы П., к.т.н.

Учебное Лесное Предприятие Лес Масарыка (Кржтины, Чешская Республика),
Университет им. Мендела
(Брно, Чешская Республика), premysl.vesely@slpkrtiny.cz

LARIX CABLEWAY IN THE SWAMP

Vesely, P., PhD

Training Forest Enterprise Masaryk Forest (Křtiny, Czech Republic),
Organic part of Mendel University
(Brno, Czech Republic)

In mountainous areas and on a swampy terrain cableways often represent the only real solution to the problem of timber skidding. From the results it can be seen that productivity in swampy terrains is comparable with the productivity of Larix forest cableway operating in mountainous areas, in a skidding down or up. The exploitation of forest cableways in the marshland has brought some valuable knowledge or specific problems to other users of this technology. A total of 2156 m³ of timber, mostly alder, was skidded for 54 days, of which there were 30 days of operation of the cableway, 9 days the installation and dismantling of the cableway. The achieved average skidding output of the Larix 3T cableway was 71.87 m³ per day. If considering the construction and dismantling of the cableway on all routes, the productivity was 55.28 m³ per day. The average fuel consumption of the Larix 3T cableway (or, in fact, the Zetor Forterra 114 Tractor, was 0.55 l per m³. The forest cableway Larix 3T of the Czech company Training Forest Enterprise Masaryk Forest in the Křtiny was chosen correctly and in difficult conditions of the swamps is surely a good choice.

Введение. Трелевка лесоматериала является операцией технологического процесса лесоэксплуатации и транспорта, при которой возникают самые большие повреждения почвы и насаждений. Трелевка лесоматериала с помощью лесных канатных дорог по сравнению с той же деятельностью выполняемой тракторами имеет существенные преимущества в области защиты окружающей среды. В горных областях и на болотистой местности канатные дороги часто представляют единственное реальное решение проблемы трелевки лесоматериала.

Основная часть. Канатная трелевка лесоматериалов позволяет:

- улучшить экологическое состояние лесов;
- расширить технологические возможности предприятий в освоении лесфонда с учетом имеющейся дорожной сети;
- применять выборочные технологии рубок с возможностью выполнения подтрелевки;
- сократить затраты на строительство лесовозных усов;
- улучшить ритмичность работы предприятий в течение года;
- значительно понижается требование к плотности дорожной сети, в случае трелевки лесоматериала с помощью канатной дороги требуется расстояние между дорогами от 800 до 1000 м, при тракторной трелевке – 100 м;
- при использовании канатных дорог не повреждается лесная почва сжатием и коррозией истиранием, как в случае перемещения колесной (тракторной) техники для трелевки. В результате повышенной транспортной эрозии за счет передачи сил от шин на почву, ее сжатием и трением груза о местность происходит долговременное повреждение лесного грунта;
- отчетлива также экономия энергии; при приближении лесоматериала трактором необходимо транспортировать полную собственную массу трактора до места загрузки и при работе по склону опять тормозить гравитационную составную массы машины. Масса каретки канатной дороги, которая способна приближать на несущем канате приблизительно одинаковый груз

как универсальный колесный трактор, представляет всего несколько процентов массы трактора.

Испытание канатной установки Lagix 3T на болотах. Идея состояла в том, чтобы проверить и продемонстрировать жизнеспособность лесной канатной установки на равнинах, где местность непроходима колесными и гусеничными тракторами (болотистые почвы, торфяная залежь, насаждения после наводнений) и сравнить производительность и трудности трелевки древесины канатной установкой в этих местностях с условиями труда в гористой местности, где канатная установка "у себя дома".

Эти работы проводились на заболоченных почвах лесных насаждений в Польше на Учебном Лесном Предприятии в г. Сиemiанице, Университета Естественных Наук в г. Познань (рисунок 1, 2).



Рисунок 1 – Насаждения после вырубki и трелевки



Рисунок 2 – Трелевка установкой Lagix 3T в полуподвесном положении

В насаждениях было предложено суммарно 6 рабочих делянок (лесосек) длиной 300-500 метров. Все делянки были так определены, что между ними оставались пояса не вырубленных деревьев шириной около 30 метров

Первые четыре делянки разрабатывались путем сплошных рубок, оставляя подрост и защитные полосы ширины 20-30 м по краям насаждения. Другие две проходили путем выборочной рубки – наиболее крупные деревья ольхи и березы, другие породы оставлялись, защитные полосы по краям насаждения тоже. Это были насаждения в возрасте 81-90 лет, с преобладанием относительно высококачественной мебельной и шпонной ольхи, смешанной с березой и ясенем. Средний запас насаждений был 250-350 м³/га, средний объем заготавливаемой древесины составлял около 0,80 м³, канатная установка трелевала стволы без сучьев полной длины до диаметра тонкого конца 12 см.

Работа с канатной установкой проходила в период февраля-апреля, работу с канатной установкой обеспечивали всегда два оператора УЛП ЛМ Кржтины, которые после 10 дней работы сменялись другими 2 операторами. Рубку и после трелевки раскряжевку и штабелевку проводили 2-3 работника УЛП Сиemiанице, трелевку древесины от канатной установки на погрузочный пункт осуществлял один скидер, временами в зависимости от производительности канатной установки и два скидера марки ЛКТ-81Т. Длина трелевки для скидеров 500-600 м. Демонтаж старых и постройку новых трасс канатной установки на делянках осуществляли все члены экипажа и на фактический демонтаж и строительство никогда не требовалось больше чем 1,5 дня. На водно-болотных условиях есть проблема с анкерными деревьями для канатной установки чтобы отвечали на соответствующую сумму поддержки. Деревья, выбранные для поддержания подвески каната должны быть хорошо укорененные, чтобы обеспечить стабильность и поддерживать вес около 6-8 т. Для каждого случая в трассах было разрешено дополнительное дерево, которое являлось резервным (рисунок 3). Деревья, которые были главной опорой несущего каната канатной установки, были разнесены на 150 - 200 м.

В феврале, в начале работ, процесс затрудняли климатические условия, температура ночью понижалась до -20°C , в течение дня чуть выше нуля. Вода, смешанная с грязью и торфом прилипла к канатной установке, канатам и всем металлическим частям, где формировалась весьма проблематичная ледяная корка (рисунок 4). Несколько раз было необходимо вырезать и сделать свободным шкив башни или клиновую канавку шкива в каретке.



Рисунок 3 – Резервные деревья для поддержки несущего троса

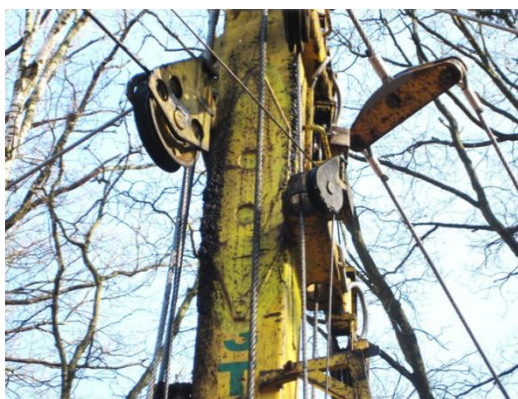


Рисунок 4 – Вода, смешанная с грязью и торфом, прилипла к канатной установке, канатам и всем металлическим частям

Результаты. Всего было стреловано $2\ 156\ \text{м}^3$ древесины, в основном ольха, в течение 54 дней, из которых было 30 дней работы канатной установки, 9 дней состоялся монтаж (постройка) и демонтаж канатной установки на трассе (маршруте) включая дни транспорта канатной установки, 8 дней простоя из-за дождя и укрепления трелевочной дороги после дождя для скидера ЛКТ-81Т и 7 дней остальных простоев – воскресенье, праздники и т.д.

Достигнутая средняя производительность трелевки канатной установкой Larix 3T была 71,87 м³ в сутки. Если считать строительство и демонтаж канатной установки на всех трассах, производительность была 55,28 м³ в сутки. Средний расход топлива канатной установки Larix 3T (или фактически трактора Зетор Фортерра 114) составил 0,55 л/м³.

С экономической точки зрения, стоимость трелевки канатной дорогой немножко выше чем при использовании традиционных методов, но потому, что как-либо других альтернатив трелевки в этих условиях нет, является полностью удовлетворительной по сравнению с прибылью за отпущенную древесину.

Эксплуатация лесных канатных дорог на болотистой местности позволила сделать следующие выводы:

- сеть твердых транспортных дорог в большинстве крупнейших болотистых областей обладает недостаточной плотностью ниже 10 пм/га. С помощью канатной дороги лесоматериал трелюется к мягкой транспортной дороге и потом нужен его дальнейший транспорт с помощью скидеров, трелевочных тракторов или форвардеров на погрузочный пункт для дальнейшей обработки;

- из-за приемлемых финансовых затрат нужно лесоматериал от канатной дороги удалять в виде целых стволов. Производство сортиментов в насаждении проблематичное и понижает производительность канатной установки и всей технологии;

- повышенные требования к техническим параметрам канатной дороги, особенно в области грузоподъемности и тяговой силы;

- если в горах выбираются по возможности такие рабочие позиции канатной дороги с таким профилем местности трассы, где нет необходимости устанавливать проездные опоры, на равнинной местности, из-за провисания несущего каната, без строительства опор нельзя обойтись и их нужно подвешивать на деревья на расстоянии 100–150 м друг от друга. Строительство каждой опоры представляет приблизительно 2 часа физически трудоемкой работы независимо от типа канатной дороги.

- повышенные требования к дополнительному креплению всех деревьев используемых в качестве мачты или башмака из-за их пониженной стабильности в мокрой местности;

- для составления груза в насаждении недостаточно одного работника, нужен второй. Причиной является трудное хождение на местности, где ноги проваливаются и выше колен и трудное протягивание крепежных элементов вокруг стволов, которые часто погружены в воду или в болото;

- повышенные требования к психике персонала обслуживающего канатную дорогу из-за всегда присутствующих насекомых – комаров в летние месяцы;

- сохранение подроста, почвы и общего состояния ландшафта в этом методе рубки и трелевки не подлежит никакому сомнению. Никакая колесная или гусеничная машина не сможет обеспечить это и вывести ценную мебельную древесину из такой местности без существенного повреждения почвы и подроста;

- другая очень важная вещь, при каких эксплуатационных затратах (труда, энергии и технологических), возможно трелевать древесину из таких насаждений другими средствами, например вертолетом.

Заключение. Стандартная суточная выработка канатной установки в холмистой местности в пределах 40-80 м³ в сутки. Из результатов видно, что производительность в болотах сравнима с производительностью лесных канатных дорог Ларикс, работающих в горных районах, в трелевке вниз или вверх.

Несмотря на незначительные перипетии надо отметить, что лесная канатка Larix 3T в связи с чисто механической кареткой KOS-31 была выбрана правильно и в сложных условиях болот, вероятно, является хорошим выбором. Именно то, что каретка KOS-31 без электроники, гидравлики и очень точной механики и одновременно канатная установка Larix 3T крепкая, прочная с хорошей силой тяги и общей надежностью, и обеспечило ее производи-

тельную работу в заболоченных условиях. Эти небольшие испытания подтвердили обоснованность такого решения в этом типе условий.

О том, что лесные канатные дороги Larix чешской фирмы УЛП ЛМ в г. Кржтины могут найти применение при трелевке лесоматериала в болотистых областях Республики Беларусь, Польши, Германии и России нет сомнения.

Хотелось бы надеяться, что медленно растущее давление на экологическое хозяйство, защиту природы и ландшафта, будет открывать пространство для таких проектов по трелевке канатными установками, которые несомненно докажут свои самые сильные стороны – это и минимальная эрозия в насаждении, и максимальная защита подроста и почвы, при достаточно высокой производительности.

Резюме.

Трелевка лесоматериала с помощью лесных канатных дорог по сравнению с той же деятельностью выполняемой тракторами имеет существенные преимущества в области защиты окружающей среды. В горных областях и на болотистой местности канатные дороги часто представляют единственное реальное решение проблематики трелевки лесоматериала.

Идея испытания канатной установки Ларикс 3Т на болотах была проверить и продемонстрировать ее жизнеспособность на местности непроходимой колесными и гусеничными тракторами (болотистые почвы, торфяная залежь, насаждения после наводнений) и сравнить производительность и трудности трелевки древесины канатной установкой в этих местностях с условиями труда в гористой местности, где канатная установка "у себя дома".

Из результатов видно, что производительность в болотах сравнима с производительностью лесных канатных дорог Ларикс, работающих в горных районах, в трелевке вниз или вверх. Эксплуатация лесных канатных дорог на болотистой местности принесла несколько ценных знаний или специфических проблем для других пользователей этой технологии.

Следует подчеркнуть, что только с использованием современных канатных дорог, которые обладают способностью быстрого монтажа, автоматизированного перемещения груза и радиоуправления, можно выбрать такие экономически еще приемлемые рабочие процессы, при которых повреждение самосева, подроста и остающихся деревьев материнского насаждения будет минимальное

Лесная канатка Ларикс 3Т в связи с чисто механической кареткой KOS-31 чешской фирму Учебное лесное предприятие Лес Масарыка в г. Кржтины была выбрана правильно и в сложных условиях болот, вероятно, является хорошим выбором. Эти небольшие испытания подтвердили обоснованность такого решения в трелевке древесины из заболоченных почв в лесах Республики Беларусь, Польши, Германии, России и других стран мира.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смолка, П.: Pozyskanie drewna w trudnym terenie. Warszawa, Gazeta przemyslu drzewnego, 24 PL, 2011 – s. 42.

ЗАГОТОВКА ТОПЛИВНОЙ ЩЕПЫ С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕ-ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ С ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕМ ОТ ДВИГАТЕЛЯ ВНЕШНЕГО СГОРАНИЯ НА ДРЕВЕСНОМ ТОПЛИВЕ

Анисимов П. Н., ст. преп., Онучин Е.М., доц., к. т. н.

Поволжский государственный технологический университет
(Йошкар-Ола, Россия), anisimovpn@volgatech.net, onuchinem@volgatech.net

CHIPPING OPERATION BY USING CHIPPING-TRANSPORT MACHINE WITH ENERGY SOURCE OF THE WOODCHIP-FUEL EXTERNAL COMBUSTION ENGINE

Anisimov P. N., Sen. Lect., Onuchin E. M., Assoc. Prof., PhD

Volga State University of Technology (Yoshkar-Ola, Russia)

The paper presents the chipping-transport machine design for production of dry wood chip fuel on the cutting area. The power-producing unit of a mobile chipper consist of the Stirling engine with the wood -fuel gas generator. Also the paper presents the whole-tree-chipping systems by using the chipping-transport machine and cutting plans for clear felling silvicultural system in man-made forests for energy and for select and clear sanitation salvage cutting.

Для производства топливной щепы, а также для утилизации непригодного для делового использования древесного сырья санитарных рубок находят применение самоходные рубительные установки [1-3]. Общими недостатками таких машин при работе на лесосеке являются большая масса и потребление дорогого моторного топлива. Имеется ряд разработок самоходных измельчающих машин с энергообеспечением от газогенераторных двигателей внутреннего сгорания [4, 5]. Преимуществом использования двигателя внешнего сгорания является меньшая требовательность к составу генераторного газа. Это позволяет не производить глубокую очистку с охлаждением топливного газа перед сжиганием в двигателе. Исследования показывают, что при энергообеспечении от двигателя Стирлинга потребление древесного топлива измельчающей машиной на собственные нужды может составлять менее 10-15% от производимой топливной щепы [6-8, 11].

Нами предлагается устройство измельчающе-транспортной машины (далее ИТМ) для заготовки сухой топливной щепы на лесосеке, имеющей энергообеспечение от двигателя внешнего сгорания на древесном топливе.

Разработанная ИТМ (рис. 1) состоит из базовой машины 1 с колесной формулой 4x4 и двумя полурамами, на которой установлены кабина оператора 2, двигатель Стирлинга 3 и газогенератор 4; шарнирно соединенного с передней полурамой базовой машины рубительного модуля 5, на котором установлены рубительный агрегат 6 и его приемное окно 7, щепопровод 8, манипулятор 9 с грейфером 10, в виде клещевого захвата, или захватно-срезающего устройства, или харвестерной головки; а также прицепа 11, на котором установлен контейнер-сушилка 12, соединённый с двигателем Стирлинга воздуховодом 13.

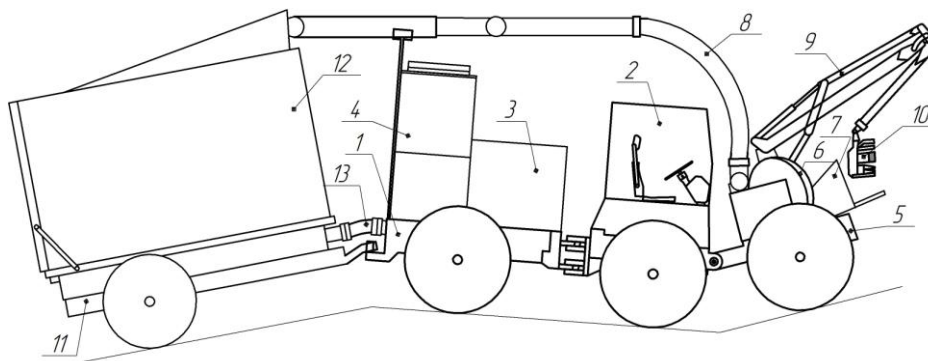


Рисунок 1 – Устройство измельчающе-транспортной машины

Модульность машины позволяет повысить универсальность машины и снизить материалоемкость некоторых технологических операций. К примеру, при транспортировке контейнера со щепой, передний рубительный модуль может быть отсоединен и оставлен на месте измельчения. После выгрузки щепы машина возвращается к месту измельчения. Прицеп может быть отсоединен в тех случаях, когда полученную при измельчении древесного сырья щепу необходимо разбрасывать или формировать из неё кучу.

Для запуска машины необходимо загрузить газогенератор древесным топливом и вывести его на номинальный режим. Вырабатываемый генераторный газ подается на сжигание в нагреватель двигателя Стирлинга. Запуск двигателя Стирлинга осуществляется с помощью пускового электродвигателя. Оператор, находясь в кабине, управляет самоходным шасси машины и манипулятором. Машина вместе с прицепом подъезжает к дереву, спиливает и валит его или подъезжает к куче древесного сырья и захватывает его грейфером. Манипулятором древесное сырье подается в приемное окно рубительного агрегата для измельчения в щепу. Щепу направляет в контейнер-сушилку по щепопроводу, имеющему поворотный механизм. Периодически щепу подается в газогенератор для его дозагрузки. Воздух, охлаждающий холодильник двигателя Стирлинга в смеси с дымовыми газами подается по воздухопроводу в контейнер-сушилку в качестве сушильного агента. При полном заполнении контейнера-сушилки от базовой машины рубительный модуль отцепляется, и машина транспортирует щепу по лесосеке, затем выгружает в контейнер щеповоза.

В процессе производства сухой топливной щепы на лесосеке разрабатываемая многофункциональная машина совершает следующие технологические операции:

- передвижение по лесосеке между пачками древесного сырья, между деревьями и погрузочной площадкой;
- захват и срезание дерева или захват древесного сырья из пачки (кучи, штабеля) в зависимости от функционала грейфера манипулятора;
- подача манипулятором древесного сырья в рубительную установку;
- измельчение древесного сырья в щепу и подача щепы в прицепной контейнер;
- сушка щепы в контейнере;
- перемещение прицепного контейнера со щепой на погрузочную площадку;
- выгрузка щепы в контейнер щеповоза.

Предлагаются системы машин и схемы разработки лесосек при производстве топливной щепы с помощью разрабатываемой ИТМ.

При заготовке топливной щепы из древесного сырья сплошных санитарных рубок и сплошных рубок в специальных лесных энергетических плантациях, с целью сохранения подроста, рекомендуется использовать схему разработки лесосек, изображенную на рисунке 2. При работе по этой схеме, валочно-пакетирующая машина (ВПМ) движется челночными ходами перпендикулярно лесовозному усу с последовательным приближением и удалением от него, спиливает деревья и укладывает их в пачки позади себя. Пачки деревьев укладываются на волок.

Уложенные пачки деревьев, могут быть оставлены на некоторое время для естественной подсушки [9, 12]. Древесное сырье, заготавливаемое при санитарных рубках, измельчается в щепу сразу. Многофункциональная машина для производства топливной щепы движется по лесовозному усу в таком направлении, что подъезжает к пачкам деревьев со стороны комлей. После заполнения контейнера ИТМ переезжает на соседний свободный от пачек деревьев пасечный волок и возвращается по нему, либо разворачивается и возвращается на погрузочную площадку по этому же пасечному волоку. Преимущество такой схемы разработки лесосек (рисунок 2) в том, что ВПМ не имеет холостых ходов, а укладка пачек деревьев на волок и измельчение на месте позволяет сохранять подрост.

Заготовку топливной щепы при выборочных санитарных рубках и рубках ухода рекомендуется осуществлять с использованием схемы разработки лесосек с сохранением подроста, изображенной на рисунке 3.

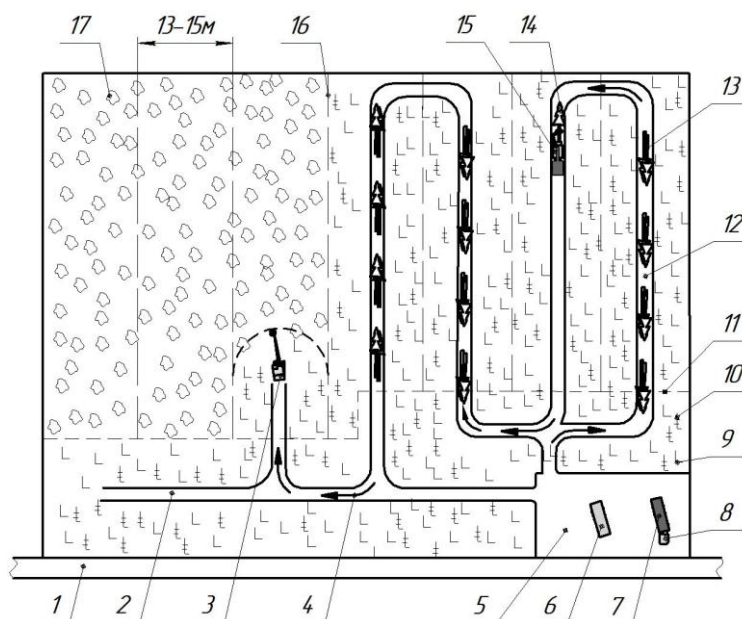


Рисунок 2 – Схема разработки лесосек при заготовке топливной щепы при сплошных санитарных рубках и сплошных рубках в специальных лесных энергетических плантациях на базе валочно-пакетирующей машины (ВПМ) и машины для производства топливной щепы: 1 – лесовозный ус; 2 – магистральный технологический коридор; 3 – ВПМ; 4 – направления рабочих ходов ВПМ; 5 – погрузочная площадка; 6 – пустой контейнер щеповоза; 7 – контейнер заполненный щепой; 8 – трактор; 9 – пни; 10 – сохраненный подрост; 11 – граница зоны безопасности; 12 – пасечный технологический коридор; 13 – пачки деревьев 14 – дерево в процессе измельчения в щепу; 15 – измельчающе-транспортная машина для заготовки топливной щепы; 16 – граница пасек; 17 – насаждения до рубки

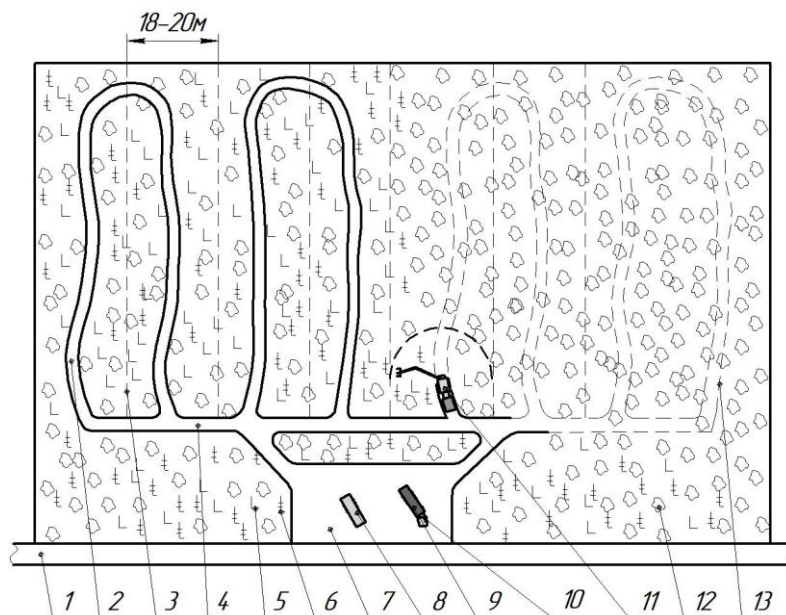


Рисунок 3 – Схема разработки лесосек при рубках ухода и санитарных рубках с сохранением подроста с использованием многофункциональной машины для производства топливной щепы: 1 – лесовозный ус; 2 – пасечный технологический коридор; 3 – граница пасек; 4 – магистральный волок; 5 – пни; 6 – сохраненный подрост; 7 – погрузочный пункт; 8 – пустой контейнер щеповоза; 9 – контейнер заполненный щепой; 10 – трактор; 11 – валочно измельчающе трелевочная машина для заготовки топливной щепы; 12 – насаждения до рубки; 13 – направление технологического коридора

Лесосека при рубках ухода разрабатывается пасаками, имеющими ширину 1,5-2 величины вылета манипулятора [10]. Многофункциональная машина для заготовки щепы движется по намеченному визиру и на технологических стоянках выбирает деревья на полупасаках. Спиленное дерево по возможности валится в направлении движения на будущий волок и тут же на месте измельчается. После заполнения контейнера машина возвращается на погрузочную площадку для выгрузки щепы в контейнер щеповоза.

Если же манипулятор оснащен харвестерной головкой, то деревья перерабатываются на сортименты, деловая древесина укладывается рядом с волоком, а оставшаяся часть дерева измельчается на месте. Затем сортименты подбираются форвадером.

Преимущество данной схемы в минимальном количестве машин в системе при производстве щепы из древесного сырья рубок ухода и выборочных санитарных рубок.

В работе предложена машина и схемы её работы при производстве щепы на лесосеке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпачев С.П. Производство топливной щепы в лесу с помощью лесного комбайна с харвестерной головкой [Текст] / С.П. Карпачев, Е.Н. Щербаков, И.А. Грачев // Лесопромышленник. - 2009. - № 3-4.

2. Селиверстов А.А. Использование передвижных рубительных машин для производства топливной щепы в условиях республики Карелия [Текст] / А.А. Селиверстов, Ю.В. Суханов, В.С. Сюнёв, В.К. Катаров // Лесопромышленник. - 2012. - № 2(62). – С. 19-23.

3. Тикачев В. Мобильные рубительные машины и измельчители биомассы [Текст] / В. Тикачев // Журн. ЛесПромИнформ. - 2010. - № 3 (69). - С. 42-55.

4. Бородастов Г.В., Смолин В.Н., Волков А.А., и др. Лесозаготовительная машина // Патент РФ № 95121553. Опубликовано: 27.01.2008.

5. Диденко, В.Н. Обоснование и разработка автономной установки по производству пеллет с энергообеспечением от перерабатываемого сырья / В.Н. Диденко, Д.А. Плотников // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2008. №9. С.61-67.

6. Анисимов, П.Н. Разработка схемно-конструктивных решений энергетической установки на древесном топливе для мобильных рубительных машин / П.Н. Анисимов, Е.М. Онучин, А.С. Архипова // АИЭТТК: проблемы и перспективы рационального использования. 2016. Т. 3. №. 1. С. 12-16. DOI: 10.12737/17760.

7. Анисимов, П.Н. Оценка и способы повышения энергетической эффективности производства топливной щепы / П.Н. Анисимов, Е.М. Онучин // Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность: материалы XXI всероссийской научно-технической конференции / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во «Скан», 2015. – 1 Т. – С. 252-255.

8. Пат. 2532053 РФ, МПК А01G23/00 (2006.01); В27L11/00 (2006.01). Мобильная технологическая линия по производству топливной щепы / Анисимов П.Н., Онучин Е.М., Медяков А.А. № 2013120459/13; Приоритет от 30.04.2013; опубл. 27.10.2014, Бюл. № 30. 5 с.

9. Анисимов, П.Н. Математическая модель и экспериментальное исследование естественной сушки деревьев сосны и березы в пачках на лесосеке / П.Н. Анисимов, Е.М. Онучин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 117. – С. 1326-1337.

10. Ширнин, Ю.А. Технология и машины лесосечных работ [Текст]: моногр. / Ю.А. Ширнин; М-во образования и науки Рос. Федерации, Марийский гос. техн. ун-т. - Йошкар-Ола: МарГТУ, 2004. - 304 с.

11. Anisimov, P.N. The study of biomass moisture content impact on the efficiency of a power-producing unit with a gasifier and the Stirling engine / P.N. Anisimov, E.M. Onuchin, M.M. Vishnevskaya, J.N. Sidiyanov, A.A. Medjakov // Journal of Applied Engineering Science – 14(2016)3, 395, 401 - 408.

12. Anisimov, P.N. Modeling Pine and Birch Whole Tree Drying in Bunches in the Cutting Area / P.N. Anisimov, E.M. Onuchin, M.M. Vishnevskaya // Croatian Journal of Forest Engineering – 38(2017)1, 11-17.

**МЕТОДИКА И АНАЛИЗ ДИНАМИКИ НАГРУЖЕНИЯ И УСТАЛОСТНОЙ
ДОЛГОВЕЧНОСТИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕСНЫХ МАШИН**

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

**METHODOLOGY AND ANALYSIS OF DYNAMIC LOADING AND FATIGUE LIFE
BEARING CONSTRUCTION OF FOREST MACHINES**

Golyakevich S. A., Assoc. Prof., PhD., Goronovsky S. A., Assoc. Prof., PhD
Belarussian State Technological University
(Minsk, Republic of Belarus)

The work is devoted to the analysis of dynamic loading, stress-strain state and fatigue life of multi-operational forest machines. The results of analysis for the bearing construction of the Amkodor-2551 harvester are presented. On his example, the main approaches to modeling the dynamics of manipulator, articulated machines are described. In conclusion, proposed changes in the design of the technological half-frame harvester, which allowed to increase its fatigue life.

Исследования отечественных и зарубежных ученых показывают, что наиболее прогрессивным методом определения нагруженности конструкций машин является математическое моделирование динамики их работы [1-8]. Важными достоинствами такого подхода являются возможности многократного сокращения объема сложных и трудоемких экспериментальных исследований и простого варьирования компоновочных параметров машин. Полученные в результате моделирования данные о действующих нагрузках используются при их непосредственном анализе, или являются исходными данными для проведения анализа напряженно-деформированного состояния конструкций. Учет двигателя, как заданного источника мощности и энергетических параметров рабочих органов, обеспечивает возможность комплексной оценки взаимовлияния показателей динамической нагруженности машины, энергетических и временных затрат на выполнение технологических операций.

В результате анализа конструкций многооперационных лесозаготовительных машин установлены особенности, не позволяющие использовать известные математические модели для оценки их динамической нагруженности. Это наличие в технологическом цикле операций работы манипулятора, блокирование шарнира сочленения полурам при их выполнении, продолжительная работа машин на переходных режимах, возможность использования нескольких способов выполнения одной технологической операции, оснащенность подвесных устройств рабочих органов гасителями колебаний, соединение движителя с несущей конструкцией без использования упругодемпфирующих устройств, использование наклонных платформ в конструкциях манипуляторов.

Кроме того, современные многооперационные лесозаготовительные машины, как правило, создаются на базе высоко унифицированных несущих конструкций. Оценка их нагруженности должна проводиться как для операций технологического цикла работы харвестера, так и форвардера. При этом, для возможности сравнения получаемых результатов по нагруженности несущих конструкций таких машин важно использовать общую математическую модель их работы.

Для исследования динамической нагруженности отмеченных несущих конструкций разработана математическая модель схема которой представлена на рисунке 1.

При разработке модели приняты следующие допущения: величины радиальной жесткости колес описываются соответствующими функциональными зависимостями от действующей нагрузки, а в поперечной и продольной плоскости постоянны; жесткости гидравлических систем наклона опорной платформы манипулятора и жесткость телескопического

звена постоянна, демпфирующие свойства элементов системы пропорциональны первой производной по деформации, связи элементов модели голономны, стрела и рукоять манипулятора представляют собой единое целое, а положение центра тяжести манипулятора и значения его моментов инерции определяются относительным положением звеньев.

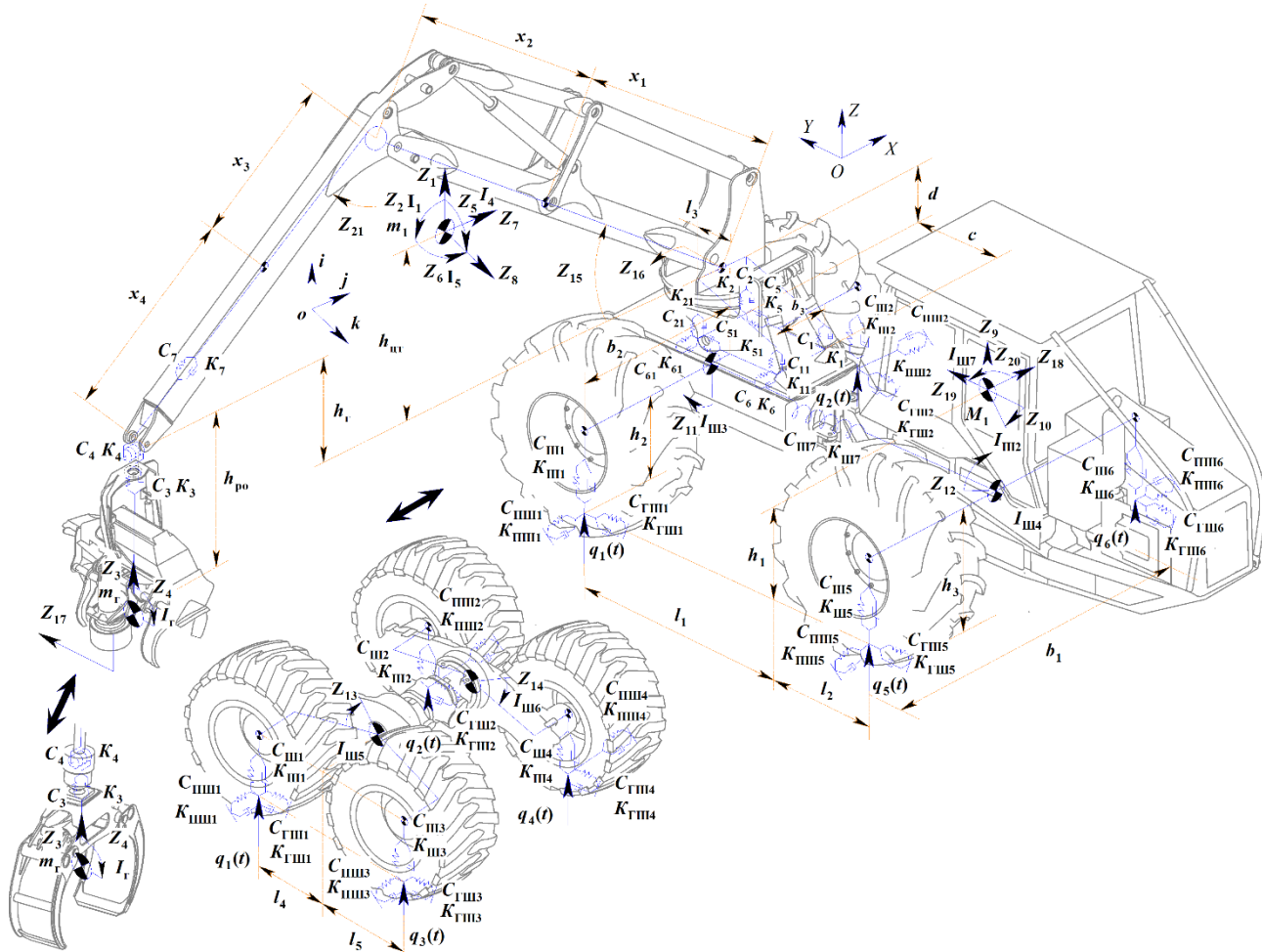


Рисунок 1 – Пространственная схема математической модели многооперационной лесозаготовительной машины

Наличие шарнирного сочленения в несущих конструкциях специализированных лесозаготовительных машин приводит к значительным отличиям в их моделировании в сравнении с машинами с «жесткими» рамами. Крутильная жесткость полурам в поперечной и изгибная жесткость рамы в продольной плоскости значительно больше жесткости механизма блокировки горизонтального шарнира, что подтверждают исследования [4]. Поэтому в математической модели распределенная масса базового шасси заменена сосредоточенной M_1 (кг), а каждый из модулей обладает выделенным моментом инерции относительно продольной оси $I_{ш3}, I_{ш4}$ (кг·м²).

Движение элементов шасси многооперационной лесозаготовительной машины в пространстве описывается обобщенными координатами: Z_9, Z_{18}, Z_{19} – поступательного движения сосредоточенной массы шасси M_1 (кг) по осям OZ, OY, OX , м; Z_{10}, Z_{20} – вращательного движения шасси (рад) в плоскости YOZ и XOY с моментами инерции рамы $I_{ш2}, I_{ш7}$ (кг·м²); Z_{11}, Z_{12} – вращательного движения (рад) задней и передней полурам в плоскости XOZ с моментами их инерции $I_{ш3}, I_{ш4}$ (кг·м²) соответственно. Ввиду наличия в конструкции заднего модуля многооперационной машины с колесной формулой 6К6 балансирных опор в модель введены обобщенные координаты Z_{13}, Z_{14} (рад), описывающие их вращательное движение в плоскости YOZ и моменты инерции $I_{ш5}, I_{ш6}$ (кг·м²).

Для харвестера Амкодор–2551 проведены исследования нагруженности и напряженно-деформированного состояния его технологической полурамы на операции натяга дерева. Изменение действующих на полураму нагрузок, в зависимости от положения манипулятора харвестера приведено в таблица 1.

Таблица 1 – Нагрузки действующие на технологическую полураму харвестера

Z_{16} , град	R_1 , кН	R_{11} , кН	R_2 , кН	R_{21} , кН	$M_{кр.ш}$, Н·м	$M_{изг.ш}$, кН·м	$R_{в.ш}$, кН
0	75,0	75,0	-89,7	-89,7	0	-62,3	-40,9
15	72,6	72,2	-9,7	-164,5	7,1	-59,8	-39,6
30	65,3	64,5	69,9	-229,1	14,4	-52,6	-35,7
45	53,5	52,5	143,9	-279,1	22,1	-41,1	-29,7
60	38,1	36,8	206,8	-311,1	30,2	-26,0	-21,8
75	20,1	18,7	254,7	-322,8	39,9	-8,6	-12,6
90	0,8	0,8	284,2	-313,6	57,7	9,9	-2,8

Общий вид напряженно–деформированного состояния технологической полурамы при выполнении натяга дерева диаметром 0,24 м при вылете манипулятора 9,3 м при $Z_{16}=90^\circ$ представлен на рисунке 2.

В ряде элементов несущей конструкции харвестера наибольшие эквивалентные напряжения возникают при других положениях манипулятора. Значения действующих эквивалентных напряжений на участках полурамы, отмеченных на рис. 2, при $Z_{16}=90^\circ$ и а также при $Z_{16}=0^\circ$ приведено в таблице 2.

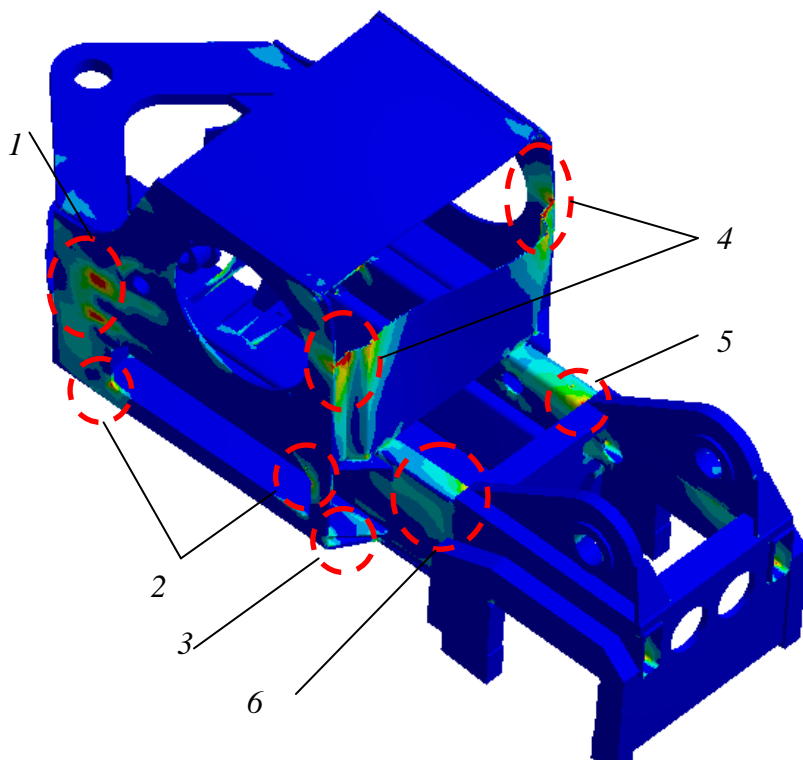


Таблица 2 – Эквивалентные напряжения в элементах технологической полурамы харвестера

Номер участка (рис.2)	Величина эквивалентных напряжений, МПа	
	$Z_{16}=90^\circ$ (рис.1)	$Z_{16}=0^\circ$ (рис.1)
1	281,3	193,1
2	172,2	136,3
3	100,4	107,3
4	274,1	157,7
5	217,1	178,5
6	202,1	-

1 – участок крепления шарнира сочленения к технологическому модулю; 2 – передние стенки боковых отсеков полурамы; 3 – участок крепления нижней полки бокового отсека полурамы; 4 – участок крепления переднего листа; 5 – левый лонжерон на участке установки опорной рамки манипулятора; 6 – правый лонжерон на участке установки опорной рамки

Рисунок 2 – Распределение эквивалентных напряжений в элементах технологической полурамы харвестера «Амкодор- 2551» при $Z_{16}=90^\circ$

Для описания наклонного участка кривой усталости стали 09Г2С использовано выражение:

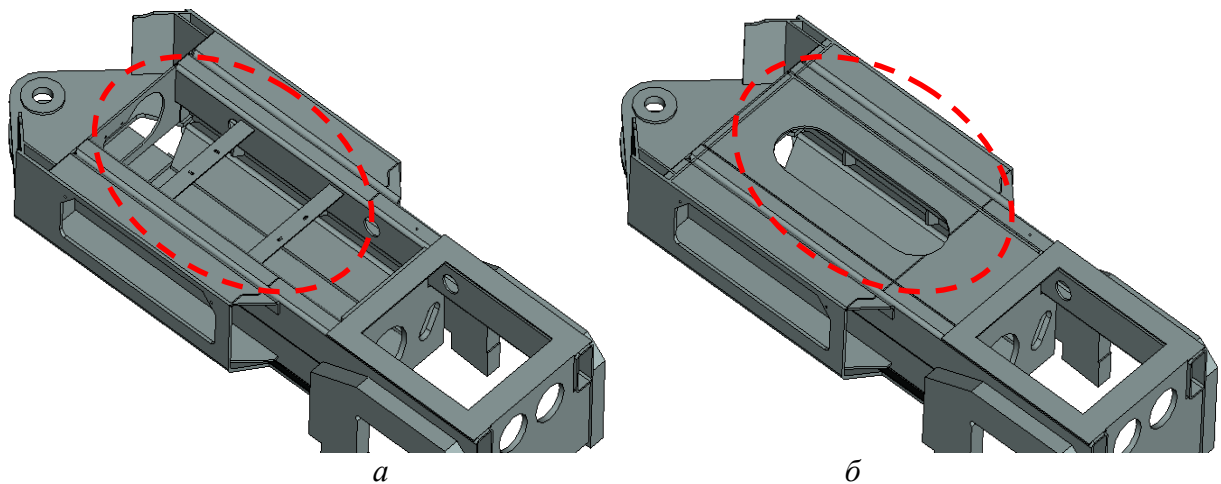
$$N = \begin{cases} \frac{\sigma_{Rd}^{m_N} \cdot N_G}{\sigma_a^{m_N}} & \text{при } \sigma_a \geq \sigma_R; \\ \infty & \text{при } \sigma_a < \sigma_R, \end{cases}$$

где N – число циклов нагружения до разрушения при амплитуде напряжения равной σ_a ; N_G – абсцисса точки перегиба на кривой усталости; m_N – параметр, характеризующий угол наклона левого участка кривой усталости к оси абсцисс; σ_{Rd} – предел усталости элемента детали, МПа.

При проведении анализа использовались следующие усталостные характеристики конструкционной стали 09Г2С: $\sigma_T=317$ МПа, $\sigma_B=517$ МПа, $R=-1$, $N_G=6 \cdot 10^6$, $\sigma_R=120$ МПа. Где m_N – характеристика угла наклона кривой усталости к оси абсцисс; N_G – точка перегиба кривой усталости; R – характеристика цикла нагружения; σ_T – предел текучести материала, МПа; σ_B – предел прочности материала, МПа; σ_R – предел выносливости материала, МПа. Приведенные усталостные характеристики материалов взяты из [9] для образцов диаметром $d=180$ мм, диаметр галтельного концентратора $d_H=160$ мм, радиус скругления галтели $\rho=5$ мм, теоретический коэффициент концентрации напряжений $\alpha_\sigma=2,5$. Полученная расчетным путем величина $m_N=9,9$.

Заключение. На основе проведенных исследований установлено, что снижение действующих напряжений в несущей конструкции харвестера возможно за счет следующих изменений в конструкции технологической полурамы:

1. Переход к коробчатому сечению полурамы путем замены 2-х поперечин соединяющих левый и правый верхние лонжероны на перфорированный лист толщиной 6 мм как показано на рисунке 3. Это позволит уменьшить действующие напряжения на участках 2–6 рисунок 2. Величина действующих эквивалентных напряжений на отмеченных участках после изменения конструкции не превышает: 96,7 МПа; 61,9 МПа; 118,8 МПа; 27,4 МПа; 22,3 МПа соответственно. Масса несущей конструкции увеличится не более чем на 12 кг.

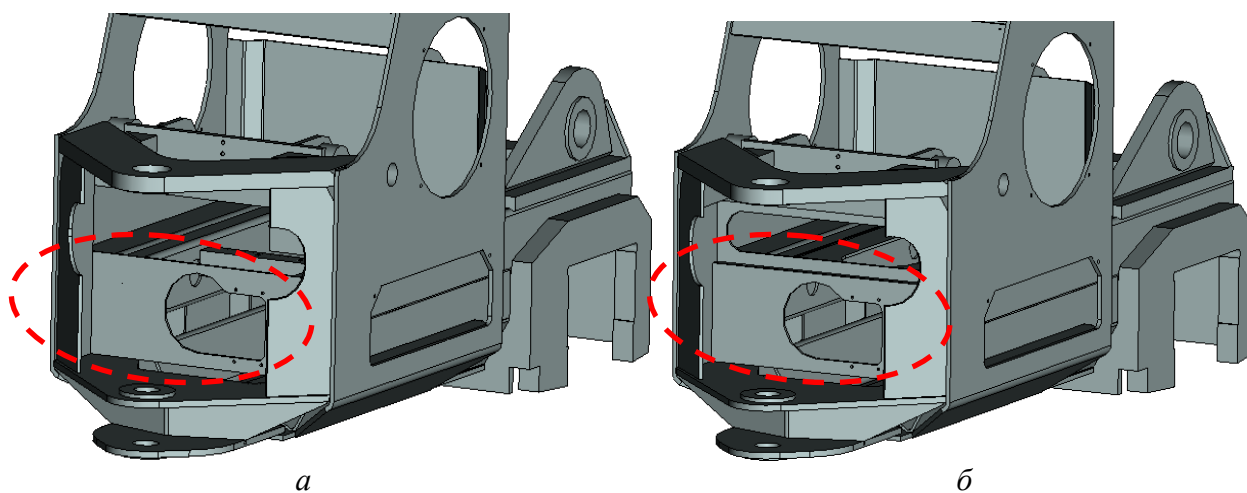


a – до изменений; *б* – после изменений

Рисунок 3 – Изменение №1 конструкции технологической полурамы харвестера

2. Введение в конструкцию дополнительной вертикальной пластины соединяющей левую и правую стенки полурамы в области установи шарнирного сочленения (рисунок 4).

Такое изменение конструкции снизит действующие касательные напряжения до 29,3 МПа. Выполненная перфорация листа позволит снизить массу вновь устанавливаемого элемента конструкции (масса пластины – 6,3 кг) и обеспечить возможность установки гидроцилиндров складывания полурам.



a – до изменений; *б* – после изменений

Рисунок 4 – Изменение №2 конструкции технологической полурамы харвестера

3. Смещение пластин соединяющих верхнюю и нижнюю опору шарнира с их задними стенками и пластиной крепления гидроцилиндров наклона платформы (масса каждой пластины увеличится не более чем на 1,3 кг), а также введение дополнительных поддерживающих элементов в виде «косынок» (толщина – 6 мм, масса до 0,7 кг) в местах крепления гидроцилиндров наклона опорной платформы манипулятора. Действующие эквивалентные напряжения во вновь введенных элементах несущей конструкции не превышают 87,4 МПа. Это, в соответствии с характеристиками сопротивления усталости стали 09Г2С, при учете дополнительных факторов влияющих на долговечность деталей (отмечены выше) обеспечит усталостную долговечность технологической полурамы харвестера «Амкодор-2551» не менее чем на $1 \cdot 10^6$ циклов нагружения при уровне доверительной вероятности 0,9.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голякевич, С. А. Повышение надежности несущих конструкций многооперационных лесозаготовительных машин выбором режимов работы на основе энергетического потенциала: автореф. дис. ... канд. техн. наук. -Минск: 2013. -24 с.
2. Арико С. Е. Математическая модель работы харвестерной машины 4К4//Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. 2010. Вып. XVIII. С. 113-117.
3. Мохов С.П. Анализ тенденций развития конструкций многооперационных лесозаготовительных машин/С. П. Мохов //Труды БГТУ. Лесная и деревообаб. пром-сть. 2012. № 2. С. 18-20.
4. Golyakevich S.Goronovsky A. Workload estimation of harvesters during the operations of work cycle // Transport. Issue 28 (3). Vilnius, 2013, pp. 323-330
5. Лесные машины «Амкодор»: учеб.-метод. пособие/А. С. Федоренчик, А. А. Герман, П. А. Протас; БГТУ. -Минск: БГТУ, 2013. -239 с.
6. Голякевич С. А. Математическая модель для оценки несущих конструкций многооперационных лесозаготовительных машин//Труды БГТУ. № 2: Лесная и деревообаб. промышленность. 2013. С. 65-72.
7. Симанович В.А. Влияние динамической нагруженности на эксплуатационные показатели колесных лесных машин / Симанович В.А., Кононович Д.А., Исаченков В.С.// Труды БГТУ. №2. Лесная и деревообр. пром-сть. 2016. № 2 (184). С. 54-57
8. Голякевич, С. А. Основы проектирования лесных машин и системы автоматизированного проектирования: учеб.-метод. пособие в 2 ч./С. А. Голякевич, А. Р. Гороновский. - Минск: БГТУ, 2015. -Ч. 1. -140 с.
9. Трощенко, В. Т. Сопротивление усталости металлов и сплавов. В 2 т. Т 1 / В.Т. Трощенко, Л. А. Сосновский. Киев: Наукова думка, 1987. – 510 с.

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
МНОГООПЕРАЦИОННЫХ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН**

Голякевич С. А., доц., к.т.н.

Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), gsa@belstu.by

**ENERGY ASPECTS OF FUNCTIONING OF MULTI-OPERATIONAL
LOGGING MACHINES**

Golyakevich S.A., Assoc. Prof., PhD

Belarussian State Technological University
(Minsk, Republic of Belarus)

The work is devoted to the study of the efficiency of multi-operation forest machines. Results of estimation fuel efficiency of logging machines are given. As a criterion for assessing efficiency, the energy potential of productivity has been adopted. The efficiency of the hydraulic pumps of the drive is analyzed depending on their operation mode. The methods of performing operations for their duration.

Переход лесозаготовительного производства к механизированной технологии заготовки сортиментов привел к существенному росту себестоимости круглых лесоматериалов. Их структуру преимущественно составляют: балансовая стоимости самих машин, затраты на их ремонт, заработную плату операторов и энергетическое обеспечение машин. Доля затрат на энергетическое обеспечение в общей структуре себестоимости лесоматериалов на сплошных рубках главного пользования в хвойных древостоях при работе комплекса машин «харвестер + форвардер» в среднем составляет 46–63%. В условиях заболоченных, ветровальных, буреломных и низкобонитетных лесосек этот показатель часто превышает 65–70%. Удельный расход топлива у харвестеров [1], работающих на рубках главного пользования, варьируется в широком диапазоне: от 0,493–0,97 л/м³ при работе в высокобонитетных хвойных древостоях с объемом ствола 0,75 – 1,35 м³ до 1,745 – 2,87 л/м³ при объеме ствола до 0,13 м³.

Зарубежные харвестеры, работающие в условиях Республики Беларусь показывают меньшую величину удельного расхода топлива, чем харвестеры производства ОАО «Амкодор». Так, в схожих условиях эксплуатации при объеме ствола сосны 0,3 – 0,49 м³ удельный расход топлива харвестера Амкодор-2551 (с двигателем ММЗ Д260.9) составляет порядка 1,51 л/м³. В тех же условиях для харвестера Ponsse Ergo 8w (двигатель Mercedes-Benz OM906LA) – 0,847 л/м³, для Ponsse Beaver (Mercedes-Benz OM904LA) – 0,947 л/м³, для Silvatec-8266 (Mercedes-Benz OM906LA) – 1,348 л/м³, для Komatsu 901.4 (66СТА) – 0,652 л/м³, для HSM-405H2 8WD (IVECO–175 кВт) – 0,919 л/м³. Как видно, в схожих условиях эксплуатации расход топлива у харвестера Амкодор–2551 больше до 2,3 раза или до 0,885 л/м³. Экстраполируя данную величину на средний годовой объем заготовки одного лесхоза 70 – 120 тыс. м³ получим перерасход топлива 61,95 – 106,2 тыс. л, что при цене дизельного топлива–1,23 руб/л составляет 76,2 – 130,6 тыс. руб.

Данные экспериментальных исследований указывают на значительные расхождения реальных величин расхода топлива с [1]. К примеру, для харвестера Амкодор-2551 в древостое с породным составом 8С2Е, средним объемом ствола сосны – 0,37 м³, ели – 0,31 м³ экспериментально полученные топливные затраты при сплошнолесосечной рубке главного пользования составили 1,172 л/м³ (согласно нормативу – 1,51 л/м³). Исследования проводились на преимущественно равнинной территории с грунтами II типа. Перед началом исследования выполнены работы по расчистке лесосеки от тонкомерной-древесно-кустарниковой растительности.

Структура энергетического потребления многооперационных лесных машин существенно зависит от конструкции самой машины, параметров приводов ее рабочих органов и движителя, условий эксплуатации и проведенных подготовительных работ на лесосеке, типов выполняемых операций и способов их реализации, скоростных и силовых режимов работы, навыков оператора и параметров систем управления. Основным источником энергии для многооперационных лесных машин являются двигатели внутреннего сгорания, которые устанавливаются в качестве общего источника для технологического оборудования и движителя (харвестер, форвардер) либо по отдельности для данных потребителей (рубильные машины).

Существенным отличием лесных машин от техники иного назначения является высвобождение большого количества механической энергии при движении предмета труда в процессе направленной валки дерева, при торможении хлыста в процессе обрезки сучьев, при опускании манипулятора на погрузочно-разгрузочных операциях и т.д. Рекуперация данной механической энергии позволит в будущем существенно сократить энергетическое, а соответственно топливное потребление многооперационных машин. Исследования в данной области активно ведутся иностранными учеными и компаниями [2]. Так, в конструкцию современных манипуляторов для лесозаготовительной техники планомерно внедряются гидравлические рекуператоры. Однако, сейчас их основной задачей является обеспечение плавной работы манипулятора на пусковых режимах, особенно при одновременном задействовании двух и более гидравлических потребителей [3].

Значительное снижение удельного энергопотребления многооперационных машин также может быть достигнуто за счет использования адаптированных под конкретные условия эксплуатации способов и режимов выполнения операций. Весьма актуальна реализация согласованного регулирования режимов работы двигателя и гидропривода технологического оборудования. Важно реализовать систему автоматизированного регулирования величин давления и расхода в гидросистемах на основе единых исходных данных, о параметрах обрабатываемого предмета труда. При этом, получившие широкое распространение в сельскохозяйственной технике системы управления чувствительные к нагрузке (Load Sensing) и системы независимого от нагрузки распределения потока (LUDV flow sharing) не в полной степени соответствуют требованиям предъявляемым лесозаготовительными машинами и являются для них не достаточно прогрессивными.

Перспективным следует считать создание систем регулирования мощности привода технологического оборудования и трансмиссии с логикой управления, основанной на характеристиках условий движения и предмета труда (диаметр, длина выпиливаемого сортимента, количество участвующих в операции потребителей и др.). На современном этапе развития техники реализация такой системы возможна.

В настоящее время подобная система разрабатывается совместно сотрудниками ОАО «Амкодор» и Kesla GmbH. Ее общая концепция заключается в следующем. В зависимости от интервала диаметра обрабатываемого дерева проводится корректировка величины давления в гидроцилиндрах прижатия передних и задних (при их наличии) сучкорезных ножей и в гидромоторах подающих вальцов (рисунок 1).

В системе допустимо устанавливать только 3 величины ограничивающих диаметров, т.е. разбивать весь диапазон диаметров на 4 интервала для каждой из пород. Интервалы поддерживаемых в системе давлений указываются по средством соответствующего программного интерфейса в виде процентной величины относительно максимально допустимого давления гидравлической жидкости в подающей магистрали (рисунок 2).

При обработке дерева с диаметром менее указанного в строке Diameter range (рисунок 2) максимальные давления ограничиваются величинами указанными в столбце Min. Аналогично, при работе с деревьями, диаметром более максимально установленного, система не будет ограничивать величину давления. В иных диапазонах она будет регулироваться пропорционально между ограничивающими данный диапазон процентными показателями. Регулирование происходит за счет изменения подачи гидравлического насоса до уровня расхода на по-

требителях. Такой подход обеспечивает регулирование давления по кусочно-линейной функции, что достаточно для промышленного использования.

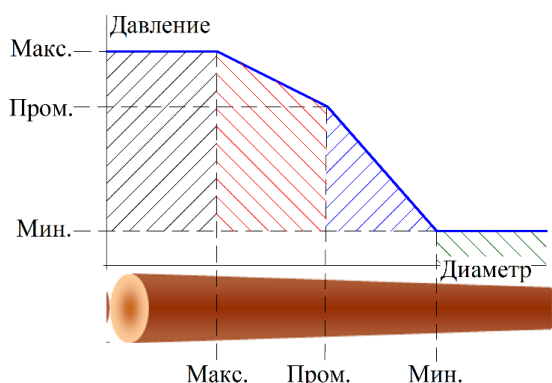


Рисунок 1 – Принципиальная схема логики регулирования давления

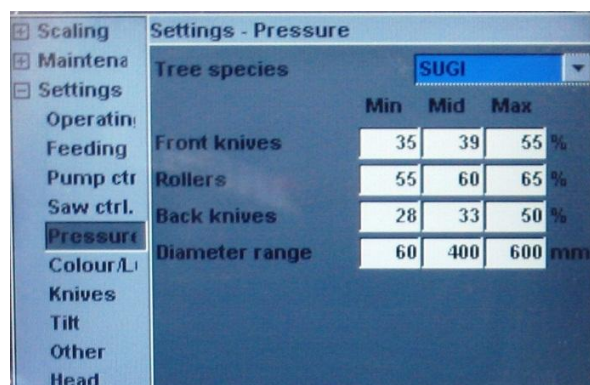


Рисунок 2 – Программный интерфейс системы управления давлением

Однако для эффективного функционирования такой системы необходимы выверенные данные регулирования режима работы привода каждого из потребителей. Решение о параметрах регулирования должно приниматься на основании анализа энергетического баланса машины работающей в различных условиях эксплуатации. Кроме того, рационально добиваться уровня снижения топлива не только за счет пропорционального регулирования гидронасоса, но и за счет выбора рациональных режимов работы двигателя с учетом КПД работы обоих агрегатов. Однако ни совместное ни раздельное регулирование частоты вращения коленчатого вала двигателя и подачи гидронасоса в настоящий момент не реализовано, поэтому перспективным направлением является разработка логики и систем совместного регулирования двигателя и гидронасоса.

Методика проведения исследований. Под эффективностью работы лесозаготовительной машины будем понимать наименьшую величину времени выполнения каждой операции приходящуюся на единицу КПД машины в целом, при соблюдении технологических, лесохозяйственных, экологических и эксплуатационных требований в заданных условиях работы. В этой связи первичной задачей исследования являлось определение КПД отдельных агрегатов привода технологического оборудования, КПД технологических операций и продолжительности их проведения.

В процессе исследований анализировались режимы работы идеализированного привода технологического оборудования харвестера. В качестве допущений принято, что: гидравлические и механические потери мощности на участке между гидронасосом и исполнительными органами не зависят от режима работы привода и составляют 15% от потребляемой мощности; КПД гидравлического насоса зависит от давления в системе и его текущей объемной подачи (рисунок 3), а также от частоты вращения входного вала гидронасоса (рисунки 4, 5); изменение расхода топлива двигателя определяется его теоретическими кривыми нагрузочной и скоростной характеристик. Для определения энергетических затрат каждой из операций разработаны математические описания работы исполнительных механизмов технологического оборудования. Их анализ проведем на примере сравнения двух способов выполнения операции обрезки сучьев (рисунок 6): с прямой подачей дерева вальцами (1) и с дополнительным надвиганием харвестерной головки манипулятором (2).

Так, мощность $N_{хг}(t)$ (Вт), требуемая для обрезки сучьев при подаче дерева вальцами в каждый момент времени t описывается выражением с ограничивающими неравенствами:

$$\left(m_{дер} \ddot{Z}_{17} + 0,5 \left(F_p + (F_{приж} + m_{дер} g) \mu + F_{ц} \right) + \frac{m_{дер} g (k_{цг} H_{дер} - Z_{17})}{H_{дер} - Z_{17}} f_{кр} \right) \dot{Z}_{17} = N_{хг}(t);$$

$$N_{хг}(t) \leq N_{хг}^{max} \eta_{хг}; \ddot{Z}_{17} \leq a_{хг}^{max}; \dot{Z}_{17} \leq v_{хг}^{max}; Z_{17} \leq L_{сопт},$$

где Z_{17} – обобщенная координата перемещения дерева в момент времени t относительно харвестерной головки, м; $L_{\text{сорт}}$ – длина выпиливаемого сортимента, м; $\eta_{\text{хг}}$ – КПД привода валцов харвестерной головки; $N_{\text{хг}}^{\text{max}}$ – мощность привода валцов харвестерной головки, Вт; $N_{\text{хг}}(t)$ – потребляемая мощность привода валцов харвестерной головки в каждый момент времени, Вт; $a_{\text{хг}}^{\text{max}}, v_{\text{хг}}^{\text{max}}$ – максимальное ускорение (м/с^2) и максимальная скорость (м/с) протаскивания дерева валцами; $F_{\text{р}}, F_{\text{вол}}$ – силы резания сучьев и сопротивления волочению дерева, Н; $F_{\text{приж}}$ – суммарное усилие прижатия валцов к обрабатываемому дереву, Н; μ – коэффициент трения качения ствола по направляющему валцу; $F_{\text{ц}}$ – сила сопротивления вращению валцов в цапфах, Н; $f_{\text{кр}}$ – коэффициент сопротивления волочению кроны; $k_{\text{цт}}$ – коэффициент, который определяется соотношением между высотой дерева $H_{\text{дер}}$ (м) и высотой положения его центра тяжести.

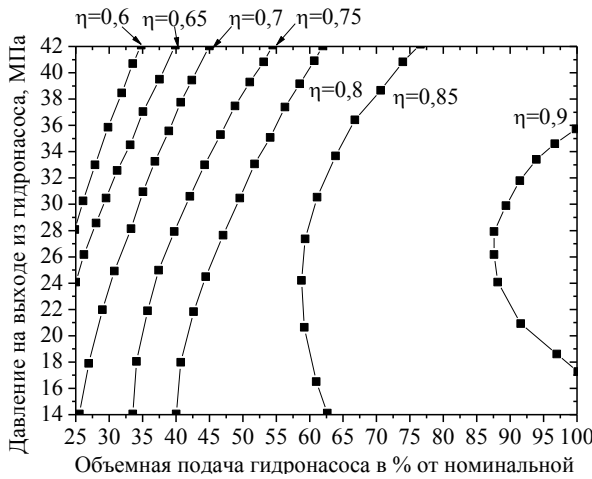


Рисунок 3 – Зависимость КПД насоса от объемной подачи и давления в гидросистеме. Частота вращения входного вала – 2800 об/мин

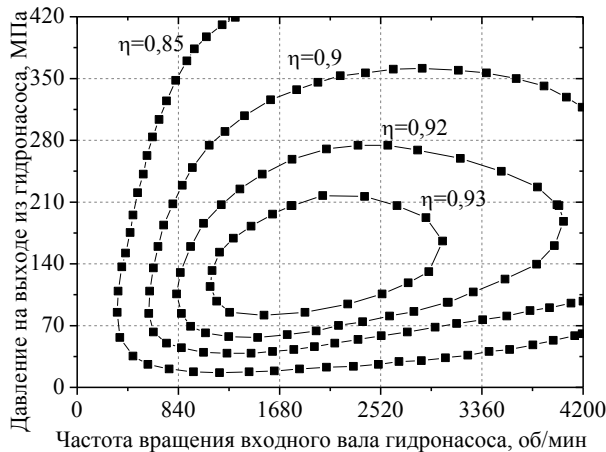


Рисунок 5 – Зависимость КПД гидравлического насоса от частоты вращения его входного вала и давления в гидросистеме. Полная объемная подача

Мощность $N_{\text{хг}}(t)$ (Вт), потребляемая харвестерной головкой при использовании совмещения работы с манипулятором определяется выражением с учетом ограничений:

$$\left(m_{\Gamma} \ddot{Z}_{17} + 0,5 \left(F_{\text{р}} + \left(F_{\text{приж}} + m_{\text{дер}} g \right) \mu + F_{\text{ц}} \right) - F_{\text{ман}} \right) \dot{Z}_{17} = N_{\text{хг}}(t);$$

$$N_{\text{хг}}(t) \leq N_{\text{хг}}^{\text{max}} \eta_{\text{хг}}; \dot{Z}_{17} \leq a_{\text{хг}}^{\text{max}}; \dot{Z}_{17} \leq v_{\text{хг}}^{\text{max}}; Z_{17} \leq L_{\text{сорт}},$$

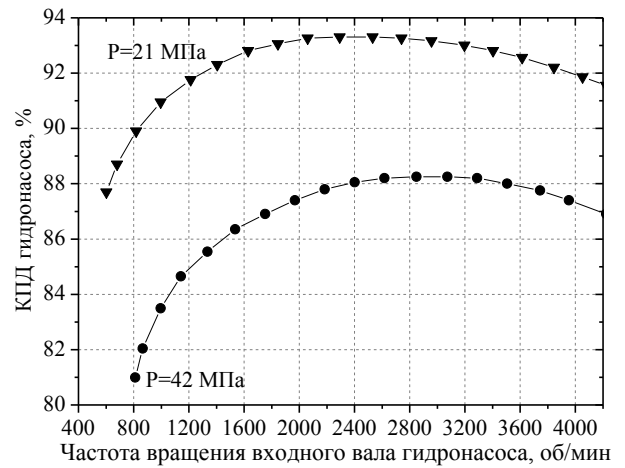


Рисунок 4 – Зависимость КПД гидравлического насоса от частоты вращения его входного вала. Полная объемная подача

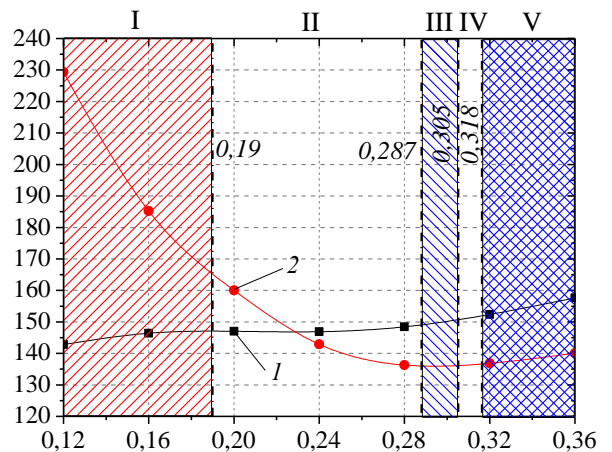


Рисунок 6 – Оценка эффективности операции обрезки сучьев по величине ЭПП

где $F_{\text{ман}}$ – горизонтальная сила, действующая на харвестерную головку со стороны манипулятора, Н; $\eta_{\text{хг}}$ – коэффициент полезного действия (КПД) привода харвестерной головки; $m_{\text{г}}$ – масса рабочего органа харвестера, кг.

В случае протаскивания дерева с указанным совмещением, усилие волочения $F_{\text{вол}}$ (Н) не влияет на общее усилие протаскивания, но ограничивает область возможного использования такого способа. Для его осуществления в каждый момент времени t поворота манипулятора должно обеспечиваться горизонтальное усилие натяжения подвесной скобы харвестерной головки $F_{\text{ман}}$ удовлетворяющее условию $-F_{\text{вол}} \leq F_{\text{ман}} \leq F_{\text{вол}}$. При этом потребляемая приводом механизма поворота манипулятора мощность $N_{\text{пов.ман}}(t)$ в каждый момент времени определяется выражением с учетом ограничений:

$$N_{\text{пов.ман}}(t) \leq N_{\text{пов.ман}}^{\text{max}} \eta_{\text{пов.ман}}; \left(I_5 \frac{\ddot{Z}_{17}}{l_{\text{г}}} + M_{\text{сопр}} + F_{\text{ман}} l_{\text{г}} \right) \frac{\dot{Z}_{17}}{l_{\text{г}}} = N_{\text{пов.ман}}(t);$$

$$N_{\text{пов.ман}}(t) \leq N_{\text{пов.ман}}^{\text{max}} \eta_{\text{пов.ман}}; \frac{\ddot{Z}_{17}}{l_{\text{г}}} = \ddot{Z}_{16} \leq \varepsilon_{\text{ман}}^{\text{max}}; \frac{\dot{Z}_{17}}{l_{\text{г}}} = \dot{Z}_{16} \leq \omega_{\text{ман}}^{\text{max}}; Z_{17} = \sqrt{2l_{\text{г}}(1 - \cos(Z_{16}))} \leq L_{\text{сопр}},$$

где $\varepsilon_{\text{ман}}^{\text{max}}$, $\omega_{\text{ман}}^{\text{max}}$ – максимально допускаемые угловое ускорение ($\text{рад}/\text{с}^2$) и угловая скорость ($\text{рад}/\text{с}$) движения манипулятора; $N_{\text{пов.ман}}^{\text{max}}$ – максимальная мощность привода поворота манипулятора, Вт; Z_{16} – обобщенная координата угла поворота стрелы манипулятора в горизонтальной плоскости, рад; $N_{\text{пов.ман}}(t)$ – используемая в момент времени t мощность привода поворота манипулятора, Вт; $M_{\text{сопр}}$ – момент сопротивления повороту манипулятора в конструкции его опоры, Н·м; $\eta_{\text{пов.ман}}$ – КПД привода поворота манипулятора; I_5 – момент инерции поворота манипулятора ($\text{кг} \cdot \text{м}^2$) при вылете манипулятора $l_{\text{г}}$ (м).

Результаты. Анализируя результаты моделирования (рис. 6) следует отметить, что обрезка сучьев с деревьев в сосновых древостоях при $d_{1,3}$ до 0,19 м (рис.6 область I) характеризуется возможностью использования только прямого способа подачи дерева вальцами на сучкорезные ножи, что связано с малой массой предмета труда. В сосновых древостоях с $d_{1,3}$ от 0,19 м до 0,287 м (область II) возможно использовать оба рассматриваемых способа. Однако эффективность применения способа с совмещением в древостоях с $d_{1,3}$ до 0,225 м до 8-11% ниже, чем при выполнении операции без совмещения, что обусловлено необходимостью повторного перемещения дерева к месту раскряжевки после выполнения операции таким способами, и увеличивает продолжительности обработки одного дерева на 4–7 с. Проведение операции обрезки сучьев в сосновых древостоях с $d_{1,3}$ более 0,287 м при использовании способа с непосредственной подачей дерева вальцами не возможно по причине недостаточного тягового усилия протаскивающих вальцов (до 23 кН). При этом применение способа обрезки сучьев с дополнительной подачей харвестерной головки манипулятором возможно до $d_{1,3} = 0,32$ м. При анализе способа с дополнительной подачей головки манипулятором рассматривался случай, при котором тяговое усилие манипулятора составляет 75% от силы сопротивления волочению кроны дерева. Поэтому в случае выполнения обрезки сучьев таким способом максимальный обрабатываемый диаметр дерева $d_{1,3}$ может быть увеличен за счет большего усилия подачи манипулятором, но не более силы сопротивления волочению кроны дерева.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нормы расхода топлива на многооперационную лесозаготовительную технику в организациях министерства лесного хозяйства и рекомендации по их применению // Минск, 2011, 50 с.
2. Голякевич С. А. Анализ эксплуатационных режимов работы многооперационных лесозаготовительных машин//Труды БГТУ. 2013. № 2: Лесная и деревообработ. промышленность. С. 72-78.
3. Gellerstedt, S. Operation of the Single-Grip Harvester: Motor-Sensory and Cognitive Work / S. Gellerstedt / J. of Forest Engineering. – 2002. – Vol. 13, № 2. – P. 45 – 47.

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
ОАО «АМКОДОР»**

Герман А. А., первый заместитель генерального конструктора
ОАО «Амкодор – управляющая компания холдинга»
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: kanz@amkodor.by

**PROSPECTS FOR DEVELOPMENT OF FORESTRY MACHINERY
AMKODOR**

German A. A., first deputy general designer
JSC Amkodor – the managing company of the holding company
(Minsk, Republic of Belarus)

The article reflects the prospects for development of logging equipment of the largest producer JSC Amkodor. Statistical data are provided on the volumes of forest machinery output and the volume of their sales in the domestic and foreign markets. Comparative characteristics of the place forest machines Amkodor among the world leaders in the production of logging machines are given. The work reflects the interaction of the holding with other industry enterprises, as well as educational and scientific divisions of the republic. The article gives brief information about the promising developments of machines for logging and forestry purposes.

Холдинг «Амкодор» является крупнейшим производителем специальных лесозаготовительных машин не только на территории Республики Беларусь но и среди стран СНГ. К настоящему времени ведется выпуск 17 наименований машин, среди которых 4 харвестера, 5 форвардеров, рубильная машина, трелевочные трактора с различными видами технологического оборудования, комбинированная машина для реализации сортиментной и хлыстовой заготовки древесины, челюстные лесопогрузчики и многое другое. Созданные на ОАО «Амкодор» системы лесозаготовительных машин успешно перекрывают большинство потенциальных условий эксплуатации республики, начиная от рубок прочистки до рубок главного пользования в спелых и перестойных лесах. В качестве примера показано распределение фактических условий использования систем машин «харвестер+форвардер».

Рассматривая динамику объемов производства лесозаготовительных машин на ОАО «Амкодор» следует отметить, что, не смотря на общемировые тенденции к сокращению выпуска техники крупными машиностроительными заводами в период с 2010 года, наблюдается повышение спроса на лесозаготовительные машины «Амкодор». Так, если в 2010 году было произведено только 54 лесные машины, то уже в 2011 году – 113, в 2012-м – 123, в 2013-м – 144. Данный объем выпуска сохраняется и по настоящее время, а в перспективных планах предприятия на 2018 год достигнуть выпуска в 200 лесных машин, чему значительно будет способствовать открытия нового сборочного производства в Логойске. Высокие объемы производства лесных машин в значительной степени способствуют реализации программы технического перевооружения предприятий лесного комплекса республики и выполнения показателей объема заготовки древесины с использованием механизированных технологий.

Общая локализация узлов и агрегатов лесных машин «Амкодор» в разрезе компаний холдинга достигает 85%, что способствует значительному вкладу в республиканскую программу импортозамещения. Не освоенные в производстве узлы и агрегаты закупаются только у ведущих мировых производителей, среди которых Kesla (технологическое оборудование), NAF (планетарные балансирные мосты), Grammer (сидения), Sauer-Danfoss (гидравлические компоненты и интегрированные гидравлические системы), Palram (поликарбонатные и противоударные стекла) и другие.

Холдинг активно ведет наращивание экспорта лесозаготовительных машин. Если в 2010 году на 1 машину, проданную за рубеж приходилось 3,7 машины, проданных на внут-

реннем рынке, то к 2014 году данный показатель достиг величины 1:1,3, не смотря на общий прирост в объеме выпуска более чем в 1,2 раза. В настоящее время объем экспорта лесных машин превышает объем их продаж на внутреннем рынке. Машины ОАО «Амкодор» занимают устойчивое место и на рынке Российской Федерации. Так, уже в 2015 году доля рынка занимаемая нашими машинами увеличилась с 8% до 12%. По данному показателю холдинг занимает 3 место среди ключевых мировых производителей (рисунок 1). География поставок лесозаготовительной техники в Российскую Федерацию насчитывает более 30 областей от Калининграда до Владивостока. В Российской Федерации ОАО «Амкодор» также обладает собственной сетью учебных центров в 6 федеральных округах. Положительными качествами производимых машин считаю более низкую цену в сравнении с импортными аналогами, простоту в обслуживании и высокую ремонтпригодность, отсутствие сложных электронных систем и наличие широкой сети сервисных центров в странах СНГ. Следствием реализации указанных качеств является низкая себестоимость заготовки древесины, что обуславливает высокий спрос и конкурентоспособность машин «Амкодор» в странах СНГ.

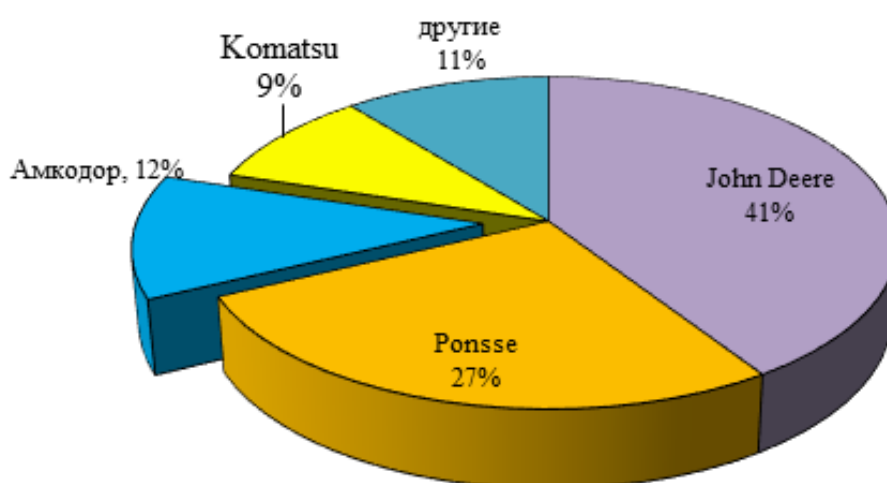


Рисунок 1 – Доля лесных машин ОАО «Амкодор» на рынке Российской Федерации в сравнении с другими производителями

Для повышения уровня квалификации специалистов, работающих в лесозаготовительном производстве с лесопромышленными машинами Амкодор при заводе открыт филиал кафедры «Лесных машин и технологии лесозаготовок» Белорусского государственного технологического университета [1]. Совместно с сотрудниками кафедры издаются учебные пособия, ведется подготовка специалистов по 2-м специальностям первой ступени высшего образования. Также на предприятии прошли обучение более 1000 машинистов лесозаготовительных машин. По тематикам связанным с разработкой лесных машин Амкодор защищено 2 кандидатские диссертации, ведется активная научная работа [2–3]. В планах – дальнейшее развитие сотрудничества с университетом.

Холдинг активно ведет разработку новых лесозаготовительных машин. Уже сейчас, разрабатываются новые тяжелые харвестеры повышенной удельной мощности: Амкодор-2561 и Амкодор-2571 с мощностями двигателей 280 л.с. и 300 л.с. соответственно, а также харвестера на гусеничном ходу Амкодор-925 с мощностью двигателя 280 л.с. а также многих других (рисунок 2).

Завод уделяет пристальное внимание не только производству лесозаготовительных, но и лесохозяйственных машин. Так, в 2016 году совместно с БГТУ начата разработка мульчера Амкодор-2021 предназначенного для подготовки почвы лесосек к лесовосстановлению. Мульчер будет базироваться на новом лесохозяйственном шасси, которое, в будущем, будет использовано как универсальная платформа для агрегатирования с различным активным и пассивным лесохозяйственным оборудованием.



a – Амкодор-2561; *б* – Амкодор-2571; *в* – Амкодор-925; *г* – мульчер «Амкодор»
Рисунок 2 – Перспективные лесные машины ОАО «Амкодор»

Важным направлением развития завода также является постоянное повышение качества выпускаемых машин. Ежедневно конструктора холдинга разрабатывают новые решения для повышения надежности машин, повышения производительности и топливной экономичности, обеспечения комфорта оператора и др. Так, с целью повышения экономичности харвестеров и оптимизации режимов работы их гидросистем в харвестере Амкодор-2561 внедрена новая система регулирования работы гидравлического насоса, в харвестере Амкодор-2571 нашла отражение перспективная система раздельного гидравлического привода харвестерной головки, манипулятора и движителя от двух регулируемых гидравлических насосов разной номинальной производительности. В целом, на конструкции и системы используемые в лесных машинах Амкодор сотрудниками предприятия получено более 40 патентов.

Постоянное развитие линейки выпускаемой техники, сотрудничество с ведущими производственными и научными учреждениями, совершенствование технологий производства, внимание к качеству лесных машин и потребностям потребителей открывает перед ОАО «Амкодор» перспективы расширения географии реализации машин не только на ближнее, но и на дальнее зарубежье.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федоренчик А.С. Лесные машины «Амкодор» / А.С. Федоренчик, А.А. Герман, П.А. Протас // Учебно-методическое пособие для студентов спец. 1-46 01 01 "Лесоинженерное дело", 1-36 05 01 "Машины и оборудование лесного комплекса", 1-75 01 01 "Лесное хозяйство". – БГТУ. – Минск, 2015. – 19 с.
2. Голякевич С.А. Повышение надежности несущих конструкций многооперационных лесозаготовительных машин выбором режимов работы на основе энергетического потенциала: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / С.А. Голякевич. – БГТУ. – Минск, 2013. – 23 с.
3. Германович А.О. Обоснование параметров мобильной рубильной машины на базе многофункционального шасси для производства топливной щепы автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / А.О. Германович. – БГТУ. – Минск, 2015. – 19 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТРЕЛЕВКИ ХЛЫСТОВ НА ЗАБОЛОЧЕННЫХ ЛЕСОСЕКАХ КАНАТНЫМИ УСТАНОВКАМИ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Шошин А. О.¹, асп., Протас П. А.¹, доц., к.т.н.,

Мохов С. П.¹, доц., к.т.н., Гречко В. В.², директор

¹Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: shoshyn@belstu.by, protas77@rambler.ru

²ЧУП «Белросалдер»

(Минск, Республика Беларусь), e-mail: alteros15@gmail.com

STUDY OF THE CABLE CRANE TREE-SKIDDING PROCESS ON SWAMPY LOGGING SITES IN THE WINTER SEASON

Shoshyn A. O.¹, PhD student, Protas P. A.¹, Assoc. Prof., PhD,

Mokhov S. P.¹, Assoc. Prof., PhD, Grechko V. V.², director

¹Belarusian State Technological University

(Minsk, Republic of Belarus)

²Private unitary enterprise «Belrosalder»

(Minsk, Republic of Belarus)

At the moment, for a number of logging enterprises in the country, the issue of the full development of the allowable cutting area due to the presence of significant wetlands is quite acute. Annually, from 2003 to 2016 [1], the share of hard-to-reach forest fund is at least 10% of the total volume of the estimated cutting area for main use and is in the range of 12-18%. In recent years, their share is kept at the level of 12-13%, the absolute volume of timber in the hard-to-reach forest fund is at the turn of 1.4 million m³.

Введение. В Республике Беларусь на оказании лесозаготовительных услуг лесхозам для разработки труднодоступного лесфонда с применением специальных лесных машин работает мобильная канатная трелевочная установка Larix 3Т в единичном экземпляре. Она используется с 2010 года и за этот период работала в Старобинском, Суражском, Бобруйском и Узденском лесхозах. На сегодняшний день установка функционирует в Березинском биосферном заповеднике. При этом данный вид лесной техники не получил широкого применения в нашей стране, и поэтому различные аспекты ее применения в условиях заболоченного лесфонда мало исследованы и не в полной мере освещены в научной литературе.

Основная часть. Цель исследований – получение практических данных о работе мобильных канатных трелевочных установок в условиях зимнего заболоченного лесфонда, получение опытных показателей для выработки рациональной технологии заготовки древесного сырья. Предмет исследования – процесс первичного транспорта хлыстов мобильной канатной установкой.

Экспериментальные наблюдения за мобильной канатной трелевочной установкой Larix 3Т проводились в зимнее время в декабре 2016 года в ГПУ «Березинский биосферный заповедник», в 16 выделе 83 квартала Барсуковского лесничества. Средняя температура за период наблюдений колебалась от –3 до –6°С. Вид пользования – главное, вид рубки – сплошная, сплошнолесосечная. Площадь лесосеки 7,7 га. По лесорубочному билету объем деловой древесины 1954 м³, дровяной 402 м³. Средний запас на 1 га – 298 м³. Средний объем хлыста – 0,49 м³. Состав – 9ОЛч1Б+Е. Тип условий местопроизрастания – А₄. В качестве исследуемого участка выбрана делянка со средней длиной сторон 445 м и 160 м. Наблюдения за работой установки проводились при среднем расстоянии трелевки 400 м.

Экспериментальные исследования представляли собой хронометраж процесса первичного транспорта хлыстов исследуемой установки. При этом при проведении данных ис-

следований подтрелевка (рисунок 1, *а*) и трелевка (рисунок 1, *б*) были объединены в единый процесс – рабочий ход.

Известно, что процесс подтрелевки считается наиболее трудоемкой операцией по степени динамической нагрузки на тяговый канат [2], поэтому ей было уделено отдельное внимание. Так, было отмечено, что осуществление этой операции не представляет собой приближенно непрерывный процесс, как, например, холостой ход или трелевка, а состоит из кратковременных дискретных включений-выключений тягового каната («поигрываний»). Чокеровщик визуально анализирует предстоящие для трелюемого лесоматериала препятствия и, исходя из своего опыта, осуществляет управление процессом перемещения с помощью пульта. Это делается для безопасного прохождения лесоматериалов через препятствия на пашеке (пни, ветви, сучья, микронеровности рельефа, лежащие лесоматериалы и др.). На цикл подтрелевки оказывают влияние лесорастительные факторы и опыт работы чокеровщика. Лесорастительные факторы в первую очередь определяются наличием высоких пней (рисунок 2), стоящих на корневых лапах (в отдельных случаях шейка корня может находиться на высоте до 1,5 м) [3].



а



б

Рисунок 1 – Выполнение рабочего хода:

а – подтрелевка, *б* – трелевка



Рисунок 2 – Характерный вид заболоченной лесосеки

Исследования рабочего хода. При исследовании процесса рабочего хода кроме изучения самого цикла производился также анализ характерных возникающих производственных ситуаций. Полученные в результате хронометража рабочего хода данные обрабатывались методами математической статистики [4, 5]. Для исследуемой операции по выборке случайных величин был сформирован интервальный статистический ряд наблюдаемых значений времени и построены диаграммы относительных частот (рисунок 3) с одинаковыми длинами интервалов. Количество интервалов k определялось по формуле (1) [4, 5] и составило 6:

$$k = 1 + 3,21 \cdot \lg n, \quad (1)$$

где n – объем выборки.

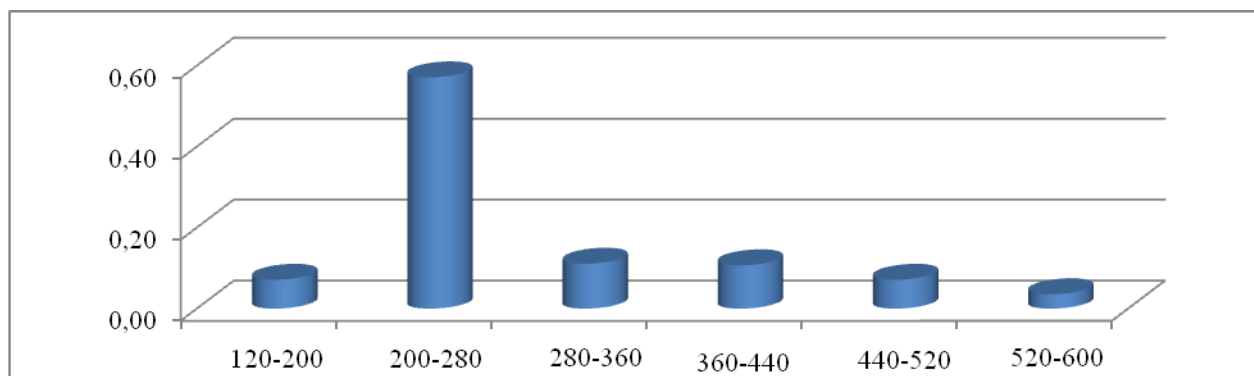


Рисунок 3 – Диаграмма распределения случайной величины при выделении интервалов одинаковой длины

Диаграмма представляет собой отображение вероятности появления случайной величины из заданных диапазонов с одним ярко выраженным преобладающим интервалом значений [200, 280) секунд. Для данного интервала относительная частота составляет 0,58. Это значение наибольшее из всех, полученных в результате хронометража, и позволяет заключить о преобладании значений случайной величины из данного интервала над остальными. Предварительно можно предположить, что значения этого интервала являются «нормальными». Однако для точного определения «нормальности» конкретного диапазона значений выборки, определения аномальных отклонений и выделения закономерностей процесса рабочего хода для возможной его классификации по типам был определен доверительный интервал для математического ожидания случайной величины по формуле (2) [4, 5]. Для его нахождения рассчитаны среднее арифметическое и несмещенная оценка дисперсии для группированного статистического ряда (3) [4, 5]. При расчете задавались следующими данными: доверительная вероятность – 0,95; количество степеней свободы – 27; коэффициент Стьюдента для заданных условий – 2,0484 [4].

$$\bar{y} - \frac{t \cdot s}{\sqrt{n}} \leq M_y \leq \bar{y} + \frac{t \cdot s}{\sqrt{n}}, \quad (2)$$

где \bar{y} – среднее арифметическое; t – коэффициент Стьюдента; s – несмещенная оценка дисперсии; n – объем выборки; M_y – математическое ожидание случайной величины.

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^k (y_i^* - \bar{y})^2 \cdot n_i^*, \quad (3)$$

где y_i^* – середина i – ого интервала; n_i^* – относительная частота появления значения середины i – ого интервала.

Рассчитанный доверительный интервал составил $204 \leq M_y \leq 288$. Таким образом, с вероятностью 95 % можно сделать вывод о том, что случайная величина должна покрывать интервал между доверительными пределами 204 и 288 секунд. Очевидно, что значения случайной величины для интервала [200; 280) полностью пересекаются со значениями доверительного интервала, который еще незначительно пересекается с интервалом [280; 360) секунд. Вышесказанное позволяет сделать вывод, что значения интервала [200; 280) секунд и частично [280; 360) секунд соответствует ритмичному режиму работы. Это же подтверждается визуальными наблюдениями процесса трелевки в натуральных условиях и укрупненным теоретическим расчетом. Интервальный ряд со значениями [120; 200) секунд принимает значения меньшие, чем при «нормальных» интервалах, что в подавляющем большинстве случаев связано с «идеальными» условиями работы (рабочий ход без подтрелевки, отсутствие пней на

пути при небольшом расстоянии подтрелевки и др.). В то же время приближенная нормальность третьего интервала объясняется наличием незначительных задержек на редкие перечонокровки и прерывистую подтрелевку. В отличие от первых трех интервалов, значения для остальных трех можно отнести к аномальным и их источники необходимо установить. Это может быть вызвано целым рядом причин, в том числе нарушением технологии работы, низкой квалификацией рабочих, сложными лесорастительными условиями и т.д.

Выполненные натурные наблюдения показали:

- при выполнении операции трелевки отсутствовали явные сдерживающие факторы;
- абсолютное большинство случаев задержек при выполнении рабочего хода было связано с подтрелевкой.

Фактические причины заключались в невозможности и аварийной опасности преодоления естественных препятствий, в основном пней и естественных промежуточных опор. Для полной наглядности 3 аномальных интервала были объединены в один и отображены на отдельной диаграмме на рисунке 4. Над каждым из интервалов отображена относительная частота появления случайной величины для данного интервала.

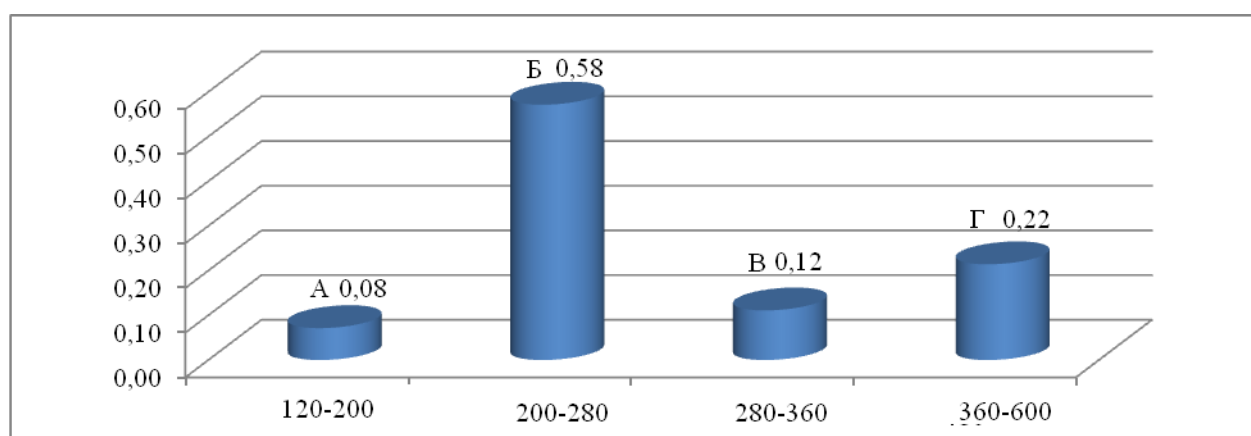


Рисунок 4 – Диаграмма распределения случайной величины при выделении отдельного «нехарактерного» интервала

Для каждого интервала были определены основные специфические особенности работы, выделены группы А-Б-В-Г (таблица 1). Характеристики каждой группы были сформулированы на основе визуальных наблюдений за процессом трелевки и данных хронометража.

В качестве небольших препятствий, приведенных в таблице 1, были определены измельченные сучья и ветви, частично выступающие из почвы корни, микронеровности рельефа и др. Труднопреодолимые препятствия – лежащие лесоматериалы, неизмельченные сучья и ветви, пни, корневые лапы и др. Основным природным препятствием являются высокие пни, стоящие на корневых лапах. Важно понимать, что приведенное разделение на группы в большинстве случаев, однако не всегда связано только лишь с расстоянием подтрелевки. Так, например, процесс перехода от подтрелевки к трелевке (поворот пачки), сопровождающийся трением пачки о запасную/основную промежуточную опору для несущего каната, может наблюдаться при любом расстоянии подтрелевки, однако при этом далеко не всегда наблюдается опасность аварийной ситуации (излом естественной опоры). Для предотвращения таких случаев выполняются дополнительные операции: расслабление тягового каната, прогон каретки по направлению рабочего хода, трелевка пачки волоком до момента выведения из контакта пачки и естественной опоры. Увеличение расстояния подтрелевки и ухудшение процесса транспорта к несущему канату напрямую связаны с увеличением вероятности встречи предмета труда с природными препятствиями.

Таблица 1 – Характеристика процесса рабочего хода для каждой группы

Интервалы	Характеристика
А	<ul style="list-style-type: none"> – Подтрелевка пачек, находящихся в большинстве случаев под несущим канатом, максимальное расстояние подтрелевки до 10 м. – Часто объем пачки меньше рейсовой нагрузки (0,5-0,7 от V_n), вследствие этого скорость рабочего хода увеличена. – Безпрепятственная подтрелевка без перечоковок. – Режим движения пачки при выполнении рабочего хода приближается к непрерывному. – Трение пачки об опору без выполнения дополнительных операций.
Б	<ul style="list-style-type: none"> – Среднее расстояние подтрелевки 10-60 м. – Подтрелевка без труднопреодолимых препятствий, присутствуют небольшие препятствия. Без перечоковок. – Трение пачки об опору без выполнения дополнительных операций.
В	<ul style="list-style-type: none"> – Среднее расстояние подтрелевки 30-60 м. – Постоянные небольшие препятствия, в редких случаях труднопреодолимые. – До 1 перечоковки. – Трение пачки об опору без выполнения дополнительных операций.
Г	<ul style="list-style-type: none"> – Подтрелевка пачек, находящихся у дальнего конца полупасеки, среднее расстояние подтрелевки 30-60 м. – Многократные небольшие и труднопреодолимые препятствия за рейс, от 1 и более перечоковок. – Трение пачки об опору с выполнением дополнительных операций.

Как показывает сопоставление диаграммы (рисунок 4) и данных таблицы 1, около 22 % (интервал Г) времени на рабочий ход выполняется со значительным увеличением времени цикла ввиду лесорастительных особенностей труднодоступного фонда страны и особенностей технологии разработки лесосек. Это составляет около четверти эффективного времени работы и оказывает весьма значительное влияние на производительность установки. Основными причинами, сдерживающими увеличение времени на рабочий ход, являются пни, сидящие на корневых лапах, и зацепы пачки за промежуточные опоры. Поэтому для совершенствования процесса первичного транспорта древесины на заболоченных лесосеках необходима разработка технологии и подбор канатных установок для ведения лесозаготовительных работ с учетом вышеуказанных сдерживающих факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Постановления Совета Министров РБ «О размере лесосечного фонда на и объемах реализации древесины на корню из лесосечного фонда по таксовой стоимости» за 2003-2016 гг.
2. Белая Н. М. Теоретические и экспериментальные исследования стальных канатов подвесных лесотранспортных установок: автореферат ... докт. техн. наук: 05.21.01 / Н. М. Белая – Москва, 1967 – 42 с.
3. Федоренчик А. С. Технология разработки черноольховых лесосек порослевого происхождения / А. С. Федоренчик, Г. И. Завойских, В. Ф. Шамаль. / Республиканский межведомственный сборник научных трудов. Технология и оборудование заготовки и переработки древесины. Минск: Вышэйшая школа, 1989 – 16-21 с.
4. Марченко В. М. Высшая математика. В 2 ч. Ч. 2 : учеб. пособие для студентов учреждений высшего образования по техническим специальностям / В. М. Марченко [и др.]; под ред. В. М. Марченко. – Минск: БГТУ, 2014. – 337 с.
5. Пижурин А. А. Исследования процессов деревообработки / А. А. Пижурин, М. С. Розенбит. – М.: Лесная промышленность, 1984. – 232 с.

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЕЗЖАЕМОСТИ ЛЕСНЫХ ДОРОГ С НИЗКОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТЬЮ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ

Насковец М. Т., доц., к.т.н., Линкевич А. Ю., магистрант
Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: naskovets@belstu.by

INCREASING THE EXTENSION OF FOREST ROADS WITH LOW BEARING CAPACITY OF BASES

Naskovets M. T., Assoc. Prof., PhD., Linkevich A. Y., Master degree student
Belarusian State Technological University
(Minsk, Republic of Belarus)

The article presents the theoretical bases of interaction with weak bases. New constructions of forest roads containing layers of geosynthetic materials and wooden elements, for use on bases with low bearing capacity.

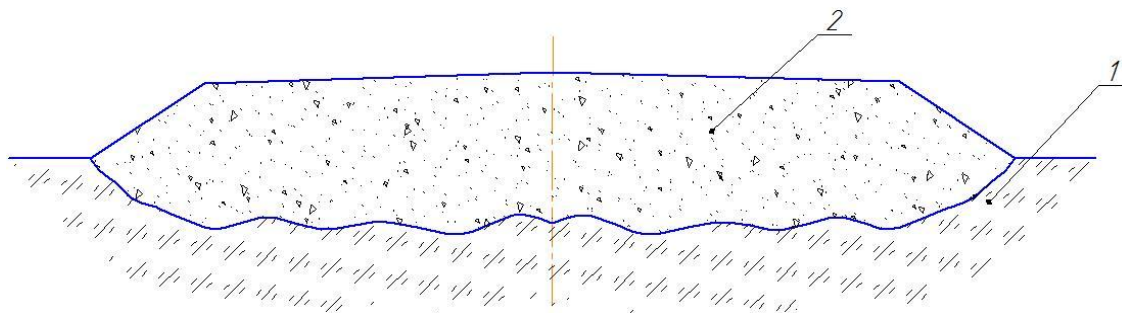
The construction of forest roads with the help of the solution suggestion will make it possible to reduce the subsidence of the structure in the subsoil.

В последнее время в Республике Беларусь наблюдается тенденция увеличения объемов строительства автомобильных дорог на покрытых лесами территориях. Состав дорожно-транспортных сетей пополняется не только дорогами различных категорий круглогодичного действия, но и дорогами сезонного и временного предназначения. При проектировании дорог такого типа необходимо в значительной степени учитывать как региональные грунтово-гидрологические условия, где планируется их строительство, так и негативное влияние на эксплуатацию устроенных транспортных путей погодных-климатических факторов. Как правило, дорожные конструкции, предназначенные для функционирования в сложных условиях местности, должны содержать прослойки, которые позволяют повысить несущую способность грунтовых оснований.

В процессе эксплуатации лесохозяйственных дорог при воздействии нагрузок от тяжелого подвижного состава происходит просадка и перемешивание грунта покрытия с основанием, что приводит к образованию различного рода разрушений дорожных конструкций.

Одной из самых сложных задач является процесс строительства дорожных конструкций на слабых основаниях. Главные трудности в данном случае связаны с обеспечением стабильности дальнейшей работы земляного полотна.

В случае отсыпки грунта непосредственно на слабое основание (рисунок 1), на границе взаимодействия происходит формирование различного рода ломаных линий.



1 – слабое основание; 2 – отсыпaeмый грунт

Рисунок 1 – Вариант контакта насыпи со слабыми торфяными основаниями

Во время отсыпки грунта насыпи на слабое основание происходит его неравномерное внедрение в основание. Проседание насыпи в данном случае происходит из-за уплотнения

грунта или выжимания его в стороны. Это приводит к деформации грунтового основания и как следствие разрушение дорожной конструкции.

В этой связи чтобы усилить слабые грунты основания и повысить их несущую способность устраиваются разделяющие и армирующие прослойки из геосинтетических материалов.

Укладка геосинтетики позволяет исключить проникновение минерального грунта в толщу слабого грунта. При этом важное значение имеет то, каким образом взаимодействует насыпь с поверхностью грунтового основания.

Геосинтетические материалы – это материалы, в которых как минимум одна из составных частей изготовлена из синтетических (натуральных) полимеров в виде плоских форм, лент или трехмерных структур, применяемые в геотехнике или других областях строительства в контакте с грунтом и/или другими строительными материалами.

Классификация геосинтетических материалов (далее – ГМ) приведена в таблице 1 (в скобках сокращения, принятые в международной практике) и основана на учете их функционального назначения, особенностей материалов, определяемых составом сырья и технологией изготовления.

В связи с тем, что ГМ применяются в геотехнике и становятся составными элементами грунтовых массивов, они классифицированы по водопроницаемости и разделены на три класса: водопроницаемые, водонепроницаемые и геокомпозиционные. Классы материалов подразделены на группы. Каждая группа в зависимости от способа изготовления, типа сырья разделяется на виды.

Таблица 1 – Классификация геосинтетических материалов

Геосинтетические материалы (GSY)			
Классы			
1. Водопроницаемые		2. Водонепроницаемые	
Группы			
Геотекстили (GTX)	Геотекстильподобные материалы (GTP)	Глиноматы (GCL)	Геомембраны (GMB)
Виды			
Нетканые (GTX – N) Вязаные (GTX – K) Геоткани (GTX – W)	Георешетки (GGR) Геосетки (GNE) Геоматы (GMA) Геоячейки (GCE)	Бентонитовые маты	Полиэтиленовые ПВХ – мембраны Битумные
Класс 3. Геокомпозиционные материалы (GTX+GGR, GMA+GMB, GCL+GMB)			

При строительстве автомобильных дорог в сложных природных условиях ГМ применяют в качестве:

- преимущественно защитных элементов или прослоек, укладываемых на подготовленную поверхность слабого основания, при обеспеченной устойчивости всей дорожной конструкции;
- армирующих элементов для обеспечения устойчивости насыпей на слабых основаниях, служащих одновременно в качестве защитных;
- защитно-армирующих элементов при строительстве временных дорог на слабых основаниях;
- вертикальных дренирующих элементов для ускорения консолидации грунтов слабого основания.

Введение в дорожные конструкции прослоек из ГМ не вносит существенных изменений в обычную технологию производства работ. Определенные особенности связаны лишь с

устройством слоев, непосредственно контактирующих с прослойкой и введением дополнительной операции по укладке ГМ. Последняя операция ввиду технологичности ГМ, удобной формой их поставки обычно не сдерживает строительный поток.

Для ускорения производства работ по укладке ГМ можно применять различные устройства: установку для укладки вертикальных упрочняющих прослоек из ГМ, устройство для раскатки рулонов ГМ, прямоугольную раму для монтажа объемных георешеток и др.

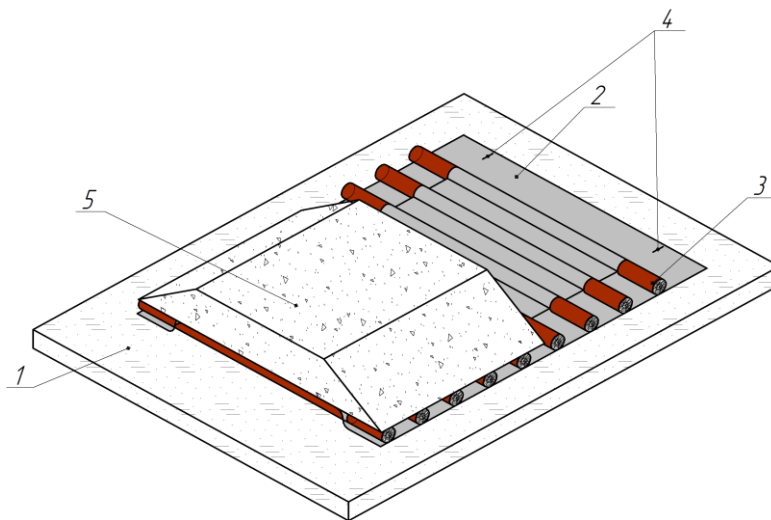
Остальные операции следует вести по типовым технологиям в соответствии с положениями действующих нормативных документов.

Ниже приведены конструкции с применением геосинтетических материалов, разработанные на кафедре лесных дорог и организации вывозки древесины.

Дорожная конструкция на основе разреженного деревянного настила

Дорожная конструкция состоит из: основания из слабого грунта, прослойки из геосинтетического материала с прорезями для пропускания через них поперечных деревянных элементов, слоя отсыпаемого песчаного грунта толщиной 20–25 см. (рисунок 2).

Предлагаемый способ устройства осуществляется следующим образом: по поверхности подготовленного основания из слабого грунта 1 раскатывают гибкую прослойку из синтетического текстильного материала 2 посредством раскатки его из рулона с последующим выполнением в гибкой прослойке по ее длине с обеих сторон, в местах укладки поперечных элементов 3, прорезей 4 симметричных оси дороги. Укладка поперечных элементов 3 производится путем их протаскивания через прорези 4 в синтетическом текстильном материале до упора в него вершинных и комлевых частей. Затем поверх гибкой прослойки 2 отсыпают слой насыпного грунта 5, обеспечивая после отсыпки слоя работу ее в упругой стадии [1].



- 1 – основание из слабого грунта; 2 – гибкая прослойка из синтетического текстильного материала; 3 – поперечные элементы; 4 – прорези, симметричные оси дороги;
5 – земляное полотно

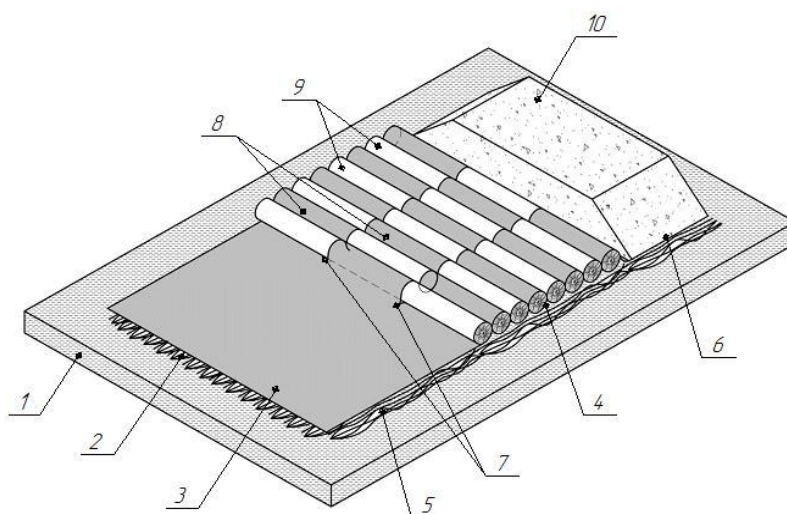
Рисунок 2 – Схема и описание конструкции на основе разреженного деревянного настила

Дорожная конструкция на основе сплошного деревянного настила

Данная конструкция применяется на 2 типе местности с использованием гибких синтетических материалов и деревянных поперечин [2].

Дорожная конструкция состоит из: слабого грунтового основания, слоя хворостяной выстилки толщиной 15–20 см, прослойки из геосинтетического материала, поперечных деревянных элементов и слоя песчаного грунта толщиной 20–25 см. (рисунок 3).

Способ устройства заключается в следующем: на автомобильной дороге, характеризующейся различной несущей способностью грунтов на слабое основание 1 укладывается хворостяная выстилка 2, поверх которой раскатывается геотекстильный материал 3. Затем на участке дороги 4, характеризующейся более низкой несущей способностью по отношению к предыдущему 5 и последующему 6 участкам, в геотекстильном материале 3 устраиваются прорезы 7 с образованием полос 8 на всем его протяжении. Таких полос должно быть как минимум 3. После чего поднимают вверх через одну каждую из полос 8 и под ними пропускают элементы поперечного настила 9 равные ширине геотекстильного материала 3, которые доводят до упора в неразрезанный геотекстильный материал. Далее производят опускание поднятых полос 8 и последующее поднятие смежных полос с аналогичным заведением следующего поперечного элемента 9 в настил до упора в предыдущий элемент. Данный процесс продолжают до конца участка дороги с более низкой несущей способностью, на котором выполнены прорезы, поверх устроенных участков дороги отсыпают грунт насыпи. По окончании формирования настила производят отсыпку грунта земляного полотна 10 и устраивают дорожную одежду.



1 – слабое основание; 2 – хворостяная выстилка; 3 – геотекстильный материал; 4 участок дороги, характеризующийся более низкой несущей способностью по отношению к предыдущему 5 и последующему 6 участкам; 7– прорезы; 8 – полосы; 9 – поперечный элемент; 10 – земляное полотно

Рисунок 3 – Схема и описание конструкции на основе сплошного деревянного настила

Разработанные способы устройства лесохозяйственных автомобильных дорог на основаниях с низкой несущей способностью грунтов, позволяют равномерно распределять передаваемые нагрузки от насыпей через упрочняющие прослойки на слабые основания. Предложенные конструкции позволяют снизить объемы земляных работ на 20% и на 25–30 % повысить несущую способность, заменить дорогостоящие дорожно-строительные материалы на местные грунты, а также эффективно применять геосинтетические материалы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Способ устройства слани на болоте: патент Респ. Беларусь, МПК Е 01 С ,3/00/ М. Т. Насковец, А. И. Драчиловский; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № 17748 от 30.12.2013 г.
2. Способ формирования лесной автомобильной дороги на слабом основании с участками с низкой несущей способностью: патент Респ. Беларусь, МПК Е 01 С ,3/00/ М. Т. Насковец, А. И. Драчиловский, А. Ю. Линкевич; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № 19447 от 30.08.2015 г.

**ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ ДОРОЖНО-РЕМОНТНОГО ПУНКТА
(БРИГАДЫ), ЗВЕНА ДЛЯ СОДЕРЖАНИЯ И РЕМОНТА ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ
ДОРОГ И ПЛОЩАДОК**

**Насковец М. Т.¹, доц., к.т.н., Заец С. С.², магистр техн. наук,
Хорошун Н. В.³ магистр техн. наук,**

¹Белорусский государственный технологический университет

²ГЛХУ «Дятловский лесхоз»

³Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: naskovets@belstu.by

**APPROACHES TO FORMING ROAD REPAIR POINT (TEAM)
FOR THE MAINTENANCE AND REPAIR OF FORESTRY ROADS AND SITES**

**Naskovets¹ M. T., Assoc. Prof., PhD., Zaets S. S.², Master degree student,
Khoroshun N. V.³ Master degree student**

¹Belarusian State Technological University

²SFE "Diatlovo Forestry"

³Ministry of Forestry of The Republic of Belarus
(Minsk, Republic of Belarus)

The article deals with the scientific approach to the formation of a road repair point (team) for the maintenance and repair of forest roads and sites in which one team of the united workers of different professions: fitters, machinists, mechanics building end ect.

Практика показывает, что бригадно-механизованная система получила свое распространение по мере создания специализированных дорожных машин для выполнения работ по ремонту и содержанию дорог и обеспечения ими всех дорожно-ремонтных пунктов (ДРП) [1 – 4].

Бригадно-механизованная система позволяет организовать проведение работ на современной организационно-технической основе с наибольшей механизацией и машинизацией всех работ. Бригадно-механизованная система предусматривает разделение дорог участка на части протяжением 30 – 100 км, передаваемые в ведение ДРП (таблица 1).

Таблица 1 – Протяжение лесохозяйственных дорог, находящихся в ведении дорожно-ремонтных пунктов и линейных мастеров

Подразделения дорожной службы	Категории лесохозяйственных дорог				
	I ^a _л	I ^b _л	II _л	III _л	IV _л
Дорожно-ремонтный пункт (ДРП), км	30 – 40	40 – 55	55 – 70	70 – 90	90 – 100
Линейный мастер (ЛМ), км	10 – 15	15 – 20	15 – 20	15 – 20	15 – 20

Руководит ДРП начальник, ответственный за охрану вверенного ему протяжения дорог и проведение всех работ по их ремонту и содержанию. В подчинении начальника ДРП находятся бригадир или мастер с бригадой рабочих, механик, отвечающий за работу машин, и линейные мастера, осуществляющие надзор за дорогой. Бригада рабочих насчитывает 7 – 10 человек, имеющих различную квалификацию и способных, применяя машины и оборудование, осуществлять работы не только по содержанию и текущему ремонту, но в значительной части и по среднему ремонту. Это главное преимущество бригадно-механизованной системы, так как бригада может быть скомплектована из рабочих необходимых профессий

соответственно проводимым работам и работы можно выполнять с применением машин. Это позволяет не только значительно улучшить и ускорить проведение всех работ, но и осуществлять такие работы.

Механик ДРП отвечает за работу транспорта, дорожных машин и оборудования и осуществляет своевременный их ремонт. Для надзора за дорогой и охраной дорожных сооружений начальник ДРП имеет 2 – 4 линейных мастера (ЛМ). Линейный мастер отвечает за 10 — 20 км дороги, которые он обязан ежедневно осмотреть, когда идет интенсивное движение. Организационная управленческая структура ДРП представлена на рисунке.



Рисунок – Организационная управленческая структура ДРП (звена)

Задачи дорожной ремонтной бригады (звена):

- обеспечение круглогодичного, непрерывного, безопасного и комфортного движения транспортных средств с установленными расчетными для дороги скоростями и расчетными осевыми нагрузками, а также движения пешеходов;

- обеспечение технически исправного состояния сооружений и расчетного срока их службы при минимальных затратах труда и материально-технических ресурсов;

- систематическое улучшение транспортно-эксплуатационного состояния сооружений с учетом роста интенсивности движения и массы транспортных средств на лесохозяйственных дорогах;

- поддержание в надлежащем состоянии внешнего вида сооружений.

Комплекс работ предусматривает: постоянный надзор за сооружениями; постоянный уход; профилактику предупреждения появления дефектов; планово-предупредительный ремонт (ППР); ремонт; реконструкцию.

Исходя из состояния дорог, объемов работ по реконструкции, ремонту сооружений, финансовых возможностей при принятии решения о создании производственных подразделений рекомендуются различные варианты создания ДРП, указанные в таблице 2.

Наиболее предпочтительными на наш взгляд типами ДРП являются объединения, выполняющие собственными силами надзор, уход, профилактику и планово-предупредительный ремонт или работы только по содержанию.

Для выполнения специфических дорожных работ по содержанию дорог, содержанию конструкций и элементов дорог, очистку подводящих и отводящих русел и т.д. лесхозам целесообразно заключать договора с дорожными подразделениями (ДРСУ), в ведении которых находятся главные дороги.

Таблица 2 – Варианты создания ДРП

Номер варианта (типа)	Выполнение работ силами	
	производственных подразделений (ДРП)	привлеченных сторонних организаций по контракту на конкурсной основе
ТИП 1	Содержание, ремонт и реконструкция	–
ТИП 2	Содержание и ремонт	Реконструкция
ТИП 3	Содержание и планово-предупредительный ремонт	Ремонт и реконструкция
ТИП 4	Содержание	Планово-предупредительный ремонт, ремонт, реконструкция

В соответствии с сообщениями линейных мастеров начальник ДРП ежедневно назначает на следующий день место и вид работ, подлежащих выполнению бригадой. Бригадно-механизированная система организации службы содержания и ремонта дорог имеет целью обеспечить возможно более полную механизацию всех работ, своевременное и быстрое их выполнение. Сравнение работы участков обслуживаемых по отличной от бригадно-механизированной системе показало, что последние выполняют тот же объем работ с затратой средств на 25 – 40 % меньше [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила по охране труда при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог / М-во транспорта и коммуникаций РБ; М-во труда и соц. защиты РБ. – Мн., 2002. – 200 с.
2. РД 0219.1.19-2001. Положение о кадровой службе дорожного хозяйства. – Мн., 2001. – 16 с.
3. РД 0191.1.20-2001. Руководство по операционному контролю качества работ при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог и искусственных сооружений. – Мн., 2001. – 42 с.
4. РД 0219.1.30-2003. Благоустройство и озеленение автомобильных дорог общего пользования Республики Беларусь. – Мн., 2003. – 56 с.
5. Насковец, М.Т. Хорошун, Н.В., Комплектование дорожной техникой лесных ремонтно-строительных бригад с целью улучшения эксплуатационных качеств автомобильных дорог. Материалы международной научн. – практ. конф., Могилев 14 – 15, апреля 2016 г. – Могилев: Белорусско – Российский университет, 2016. – С .162 – 163.

ПОВРЕЖДЕНИЕ ЛЕСНОЙ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Дручинин Д. Ю., доц., к.т.н.

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова
(Воронеж, Россия), druchinin.denis@rambler.ru

DAMAGE OF THE FOREST SOIL AND PLANT ENVIRONMENT AT CARRYING OUT FOREST HARVESTING OPERATIONS

Druchinin D. Yu., Assoc. Prof., PhD

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov
(Voronezh, Russia)

Factors of negative impact of the forest harvesting equipment on the forest soil and superficially located roots of woody plants, such as the soil panning, rutting from a large number of machines run, damage of root systems are considered. It is noted that successful renewal of forest plantings depends on the correct combination of define measures when carrying out the timber harvesting allowing to minimize impact of the equipment on a forest ecosystem.

Введение. В связи с постоянно возрастающим объемом лесозаготовок с учетом эколого- и ресурсосберегающих технологий не следует забывать, что качество лесозаготовительных операций в значительной степени определяет успех дальнейшего лесокультурного производства. Слова русского лесоведа Г.Ф. Морозова «Рубки – синоним лесовосстановления» только подтверждают тот факт, что лесозаготовки тесно связаны с последующим лесовосстановлением.

Под качеством лесозаготовок понимается максимальное сохранение сложных многофакторных взаимосвязей и взаимодействия компонентов растительного сообщества, лесного фитоценоза, подроста главных пород, лесной подстилки напочвенного покрова, сложившегося веками микроклимата на осваиваемой территории, занятой лесом. Большое значение имеет сохранение структуры и плодородия почвы, не допуская перемешивания почвенных горизонтов и сохраняя на месте верхний плодородный слой. Дальнейшее успешное возобновление и создание высокопродуктивных лесных массивов возможно при правильном сочетании технологических процессов с использованием современных технических средств [1].

Основная часть. При современных механизированных лесозаготовках перемещающиеся по лесосеке лесные машины оказывают влияние на почву и поверхностно расположенные корни древесных растений.

Существующая технология заготовки леса с использованием комплекса многооперационных машин приводит к значительному по площади уничтожению почвенно-растительного покрова с образованием колеи на большой площади лесосеки и почти полностью уничтожает подрост.

При использовании тяжелой агрегатной техники в летнее время минерализация лесосеки достигает 70 %, в зимнее – 40 %. Сохранение подроста наблюдается не более 500 растений на гектар при высоте до 0,5 м [2, 3].

Основное повреждение лесных почв лесозаготовительными машинами заключается в уплотнении почвы, кроме того, значительным изменениям также подвергаются и водно-физические свойства почвенно-растительного покрова – его плотность на пасечных волоках увеличивается в 1,5...2,0 раза, водопроницаемость снижается в десятки и сотни раз [1-6].

Так, при трелевке поверхность почвы значительно уплотняется и сильно минерализуется в результате сдирания лесной подстилки, перемешивания ее с минеральными горизонтами почвенно-растительного покрова или вдавливания в почву. Без учета площади погруженных площадок, занимающих до 50% площади лесосеки, площадь с уплотненной минера-

лизированной поверхностью лесосеки занимает около 60%. В целом, по всей площади лесосеки уплотненная минерализованная в разной степени поверхность составляет 85% [1].

Уплотнение почвы влияет на интенсивность роста деревьев. Корни делают почву более структурной. После прорастания корня в почве, она становится более разрыхленной, обеспечивая доступ воздуха к корневым волоскам. Почва оказывает большое влияние на развитие и разрастание систем деревьев. Такие породы, как сосна, береза, осина, имеют глубоко залегающие корневые системы. Ель же укореняется поверхностно, что делает ее корни особенно подверженными повреждениям при движении техники в лесу из-за усиленного разрастания в горизонтальном направлении [2, 3].

При этом независимо от глубины распространения стержневых крупных корней основная масса всасывающих корешков и корневых окончаний расположена в верхнем слое почвы, поскольку он обладает лучшими физическими свойствами, содержит основное питание и обеспечивает достаточный подвод кислорода к корешкам за счет наличия почвенных пор. Из-за уменьшения объема пор вследствие уплотнения почвы сильно меняется воздушно-водный режим, что ухудшает физиологическое функционирование корневых систем растений.

Последствия отрицательных воздействий мощной лесозаготовительной техники на лесные участки сохраняются долгое время. На участках интенсивного использования гусеничных машин почва остается уплотненной в течение 16...40 лет. Замеры, проведенные через 16 лет после работы машин, показывают, что почва уплотнена на 9...18% больше, чем на неповрежденных участках [2].

Если почва не уплотнена, то корневые ходы, трещины и другие внутрипочвенные полостные образования способствуют усиленному развитию корней и обеспечивают их прирост.

Уплотнение почвы в большей мере отрицательно влияет на развитие мелких корней деревьев, диаметр которых равен 10 мм и меньше. Количество таких корней составляет более 93% от всей корневой системы, а зона их распространения вокруг ствола достаточно обширна.

Увеличение давления на почву и числа проходов движителей машин по лесосеке поставили перед лесоводами серьезную проблему переуплотнения почв, которая с каждым годом становится все острее. Причем переуплотнение почв происходит не только в верхнем слое, но и на глубине 40-50 см.

В результате этого корневая система растений формируется в пределах почвообрабатывающего слоя (25...30 см), содержание влаги в котором неустойчиво, что в значительной степени отражается на продуктивности растений и деревьев.

Установлено, что статическое давление машины на почву более 80 кПа препятствует развитию мелких корней, а при давлении на почву 30-50 кПа их рост может быть затруднен. Давление на почву 90 кПа уменьшает рост молодняков на 15% в течение 3...4 лет после воздействия [2, 4].

Помимо уплотнения почвы происходит срез ее верхнего слоя из-за буксования лесозаготовительных агрегатов с механическими трансмиссиями.

Повреждения корневых систем вследствие движения лесных машин главным образом возникают в зоне технологического коридора и вблизи его.

Современные технологии разработки лесосек предусматривают многократные проходы машин по ней. Вследствие этого площадь лесосеки подвергается за сезон значительному воздействию ходовых систем [6, 7].

70 % объема корневой системы древесных растений находится в верхнем гумусовом слое, поэтому колеса или гусеницы движущихся агрегатов вызывают переломы и разрывы корней, а также обдиры их коры.

При использовании современной технологии лесозаготовок на основе сортиментной заготовки древесины с использованием харвестеров и форвардеров, на лесосеке не остается

глубокой колеи, так как обрезанные харвестерной головкой с дерева сучья укладываются под колеса машины, что в дальнейшем позволяет ее передвигаться, не оставляя колеи и сохраняя лесную подстилку (рисунок 1) [8]. Однако в весенне-летний период, когда прочность корневой коры минимальна (для сосны – 43 Н/см² в поперечном направлении и 57 Н/см² в продольном направлении, для ели – 40 Н/см² и 70 Н/см² соответственно), возникает опасность ее обдира. За счет сдвига абразивных частиц песчаных и гравийных почв обдиры коры наблюдаются не только у поверхностных корней, но и у глубокозалегающих [4, 6].



Рисунок 1 – Сортиментная заготовка древесины

В случае повреждения корней в пределах 50 см от комлевой части дерева возможно поражение растений стволовой гнилью. Заражению корневой губкой, в первую очередь, подвержены крупные корни, поэтому их повреждение особенно опасно.

В целом, можно отметить, что лесная техника оказывает большое влияние на лесные экосистемы и последующие процессы лесовосстановления, которые во многом зависят от сохранения верхнего почвенного покрова, в особенности, лесной подстилки, и подроста на лесосеке. Актуальным является уменьшение негативного воздействия лесозаготовительных машин на лесную почвенно-растительную среду в виде вышерассмотренных факторов.

Выводы. Таким образом, проведение лесозаготовительных работ в соответствии с лесоводственно-экологическими требованиями для минимизации воздействия техники на лесную экосистему возможно при выполнении следующих мероприятий:

1. Преобладание в практике лесозаготовок сортиментной технологии с использованием многооперационных машин, оказывающих минимальное отрицательное воздействие на лесные почвы и позволяющих сохранить подрост и подлесок. Харвестеры и форвардеры могут заменить целый комплекс лесозаготовительных машин: валочных, трелевочных, сучкорезных, раскряжевочных и погрузочных, тем самым сокращая число проходов машин по лесосеке;

2. Оснащение технических средств гидроманипуляторными установками, позволяющими выполнять технологический процесс при минимуме перемещений агрегата, сохраняя тем самым почвенный покров и естественный подрост. Например, при проведении лесовосстановительных работ в скандинавских странах и Канаде широкое распространение получили дискретные посадочные агрегаты на базе гидроманипуляторной установки харвестера или экскаватора. Данный вид техники позволяет силами одной машины выполнять полный комплекс лесовосстановления с широкими функциональными возможностями и высокой производительностью (рисунок 2) [9];



Рисунок 2 – Дискретный посадочный агрегат на базе харвестера

3. Выбор лесозаготовительной техники, оснащенной гидростатической трансмиссией, которая снижает уровень негативного воздействия на почву в виде повреждения ее верхнего слоя из-за буксования движителей;

4. Использование машин с колесными движительными системами. Уменьшение отрицательного влияния на лесную почвенно-растительную среду может быть обеспечено за счет увеличения числа колес и применения гусеничных цепных лент, одеваемых на колесные машины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бартенев, И. М. Природоохранные технологии лесопользования и лесовосстановления / И. М. Бартенев // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. Т. 2. № 3-4 (8-4), 2014. с. 121-126.

2. Ермичев, В. А. Влияние уплотнения лесных почв на их лесорастительные свойства / В. А. Ермичев, В. Н. Лобанов, Г. Н. Кривченкова, А. В. Артемов // Актуальные проблемы лесного комплекса. № 21, 2008. с. 206-209.

3. Рубинская, А. В. Технологические мероприятия по снижению техногенной нагрузки на окружающую среду при лесозаготовительном процессе / А. В. Рубинская, А. П. Мохирев, Н. В. Городецкая, Н. С. Кузьмик // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. № 116, 2016. с. 625-636.

4. Тихонов, И. И. Заготовка древесины полудеревьями / И. И. Тихонов. СПб: СПбГЛТУ, 2013. 108 с.

5. Борозна, А. А. Лесоводственно-экологические проблемы выборочных рубок / А. А. Борозна, Т. В. Якушева, В. Н. Язов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. Т. 2. № 5-4 (10-4), 2014. с. 38-41.

6. Питухин, А. В. Минимизация техногенного воздействия на лесную среду в процессе лесозаготовок / А. В. Питухин, В. С. Сюнев // Фундаментальные исследования. № 9, 2005. с. 116-120.

7. Вадбольская, Ю. Е. Снижение воздействия лесных машин на почву при рубках ухода / Ю. Е. Вадбольская, Д. В. Кондратюк // Леса России и хозяйство в них. № 3, 2015. с. 36-40.

8. Иванов, Н. А. Новой стратегии лесопользования – лесные машины нового поколения / Н. А. Иванов, Ю. С. Салин // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. № 3, 2009. с. 136-138.

9. Дручинин, Д. Ю. Разработка устройства для выкопки саженцев с комом почвы и подготовки посадочных мест на базе манипуляторных энергетических средств / Д. Ю. Дручинин, М. В. Шавков, А. С. Миляев // Лесотехнический журнал. Т. 4. № 4 (16), 2014. с. 167-174.

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ЖИВОГО НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПОСЛЕ СПЛОШНЫХ УЗКОЛЕСОСЕЧНЫХ РУБОК В СМЕШАННЫХ НАСАЖДЕНИЯХ

Ильинцев А. С.^{1,2}, науч. сотр., магистрант, Амосова И. Б.¹, доц., к. с.-х. н.

¹Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства
(Архангельск, Россия), e-mail: a.ilintsev@narfu.ru

²Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова
(Архангельск, Россия), e-mail: i.b.amosova@yandex.ru

FEATURES OF CHANGES OF THE LIVING GROUND VEGETATION AFTER CLEAR CUTTINGS IN MIXED FOREST STANDS

Ilintsev A. S.^{1,2}, Resear., Graduate, Amosova I. B.¹, Assoc. Prof., PhD

¹Northern Research Institute of Forestry
(Arkhangelsk, Russia),

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov
(Arkhangelsk, Russia)

The results of the study showed that clear-cut of 2012 is characterized by the smallest diversity and homogeneity in comparison with natural forest stands and clear-cuts in 1993 and 1994. When geobotanical descriptions were marked medium, and low viability of the majority of forest herbaceous plants, which manifests itself in a general decrease in the percent cover of the layer, stunting and reduced productivity. On the old clear-cuts were marked by a large number of ecological niches, which is reflected in the diversity of life forms.

Сплошные рубки являются основным способом заготовки древесины в спелых лесах Архангельской области. Доля сплошных рубок в общем объеме вырубленной древесины за 10 летний период составляет около 86%, а в общей площади рубок – 75% [3]. Известно, что сплошные рубки в значительной мере преобразуют лесную среду [1, 4]. Так вырубка лесов приводит к сокращению площади сохранившихся в ненарушенном состоянии экосистем, что делает невозможным устойчивое существование популяций определенных видов растений и животных. С другой стороны, антропогенные местообитания являются путями распространения заносных видов, отдельные из которых способны внедряться в естественные сообщества [2]. Поэтому изучение устойчивости лесных экосистем является важной задачей лесного хозяйства.

Цель исследования – изучить изменение видового состава живого напочвенного покрова на свежей и старых рубках после проведения сплошных узколесосечных рубок.

Объекты исследования расположены в 94 и 95 кварталах Емцовского учебно-опытного лесхоза САФУ. Исходные насаждения представлены послепожарными, разновозрастными (от 65 до 202 лет), смешанными сосново-елово-березовыми древостоями, с примесью лиственницы, черничного типа леса, произрастающие на легкосуглинистых подзолистых почвах. Сплошные узколесосечные рубки 1993 и 1994 гг. были проведены в летне-осенний период. В центре лесосек прорубались магистральные волокна, далее к ним намечались пасечные волокна. Эти рубки использовались в качестве погрузочных площадок, на которые трелевались хлысты после длительно-постепенных рубок. Сплошная узколесосечная рубка 2012 г. проведена в зимний период и является завершающим этапом длительно-постепенной рубки 1993 г. Разработка лесосек осуществлялась бензомоторными пилами, трелевка хлыстов осуществлялась трактором с чокерной оснасткой ТДТ-55. При очистке всех лесосек, порубочные остатки складывали на волокна.

В данной работе представлен анализ травяно-кустарничкового яруса на основе проведенных геоботанических описаний. Временные пробные площадки закладывали в естественном фитоценозе (контроль) и на сплошных узколесосечных рубках, всего было сделано 20

описаний (10×10 м). Для изучения дифференциации напочвенного покрова после рубок использовали таксономический, географический, биоморфологический (по классификациям К. Раункиера и Н. А. Секретаревой, [5]) и экологический (по отношению к факторам освещенности, влажности и трофности субстрата) анализы.

Распределение таксонов по крупным систематическим группам в целом совпадает для таежных лесных фитоценозов Архангельской области [6]. В каждом варианте выделено от 5 до 3 ведущих семейств. Наибольшее количество видов в одном семействе колеблется от 4 до 2. Числа родов и видов очень близки, что указывает на одновидовое присутствие родов на площадях (таблица 1).

Таблица 1 – Число таксонов в вариантах исследования, в абсолютных значениях

Тип варианта	Число		
	Семейств	Родов	Видов
Нетронутый лес	20	26	28
	Poaceae (3), Orchidaceae (3), Pyrolaceae (2), Ericaceae (2), Scrophulariaceae (2)		
Сплошная вырубка 2012 г.	12	13	15
	Poaceae (2), Ericaceae (2), Scrophulariaceae (2)		
Сплошные вырубки 1993-94 гг.	22	26	30
	Poaceae (4), Scrophulariaceae (3), Pyrolaceae (2), Ericaceae (2), Fabaceae (2)		

В нетронutom лесном фитоценозе к одному из ведущих семейств относится Orchidaceae. Большинство видов этого семейства, произрастающих в области, весьма чувствительны к изменению экологических условий, особенно увлажнения. В вариантах со сплошными рубками виды из семейства Orchidaceae отсутствуют. В нетронutom насаждении и в варианте с 22-23-х летними рубками все ведущие семейства представлены видами приуроченными к лесным сообществам.

На всех площадках доминируют одни и те же широтные и долготные группы, преобладающие на территории области и в целом характерные для таежной бореальной зоны (рисунок 1).



Рисунок 1 – Распределение видов по географическим группам

Среди выявленных трех широтных групп подавляющее количество видов относится к собственно бореальной группе (Б) (от 87 до 100%). Выделено пять долготных групп, среди которых преобладают евразийская (ЕА) (от 39 до 40%), циркумбореальная (ЦБ) (от 24 до 34%) и евразийско-американская (ЕААМ) (от 20 до 32%). По 1/3 видов (32%) относятся к бореальному евразийскому (Б-ЕА) и бореальному циркумполярному (Б-ЦБ) элементам флоры.

Построенные спектры биоморф травяно-кустарничкового яруса в изучаемых вариантах (таблица 2) подтверждают зональную и фитоценотическую специфику, с преобладанием криптофитов и высокой долей хамефитов.

Таблица 2 – Спектры биоморф по двум системам классификации*

	Спектры биоморф	
	по К.Раункиеру	по Секретаревой, 2004 г.
Контроль	3,5Ph14,3Nh10,7Ch64,4K7,1Th	3,6Клн7,1КС3,6КСпр10,7Т-КС28,6Тдк14,3Тк10,7Трд3,6Ткот-ст3,6Тстл3,6Тнпл3,6Ткл7,1Од
СР 1993-94 г.	23,3Nh13,3Ch56,4K7,0Th	10,0КС3,3КСпр10,0Т-КС20,0Тдк16,8Тк6,7Трд3,3Тпд3,3Ткот3,3Тст3,3Ткот-ст3,3Тстл6,7Тнпл3,3Ткис6,7Од
СР 2012 г.	26,7Nh20,0Ch40,0K13,3Th	13,3КС6,7КСпр6,7Т-КС20,0Тдк13,3Тк13,3Трд6,7Тстл6,7Тнпл13,3Од

*Жизненные формы: по К. Раункиеру – Ph-фанерофиты, Nh-хамефиты, Ch-гемикриптофиты, К-криптофиты, Th-терофиты; по Н.А. Секретаревой – Клн-кустарники-лианы, КС-кустарнички, КСпр-простратные кустарнички, Т-КС-полукустарнички; Т-травы – Тдк-длиннокорневищные, Тк-короткорневищные, Трд-рыхлодерновинные, Тпд-плотнокорневищные, Т-кот-корнеотпрысковые, Ткот-ст-корнеотпрысковые-стержнекорневые, Тстл-столонообразующие, Ткис-кистекокорневые, Тнпл-наземноползучие, Од-однолетники.

Наиболее разнообразный биоморфологический спектр на площадках с вырубкой 22-23 летней давности. На данном этапе сукцессии восстановления лесного фитоценоза формируется большое количество экологических ниш, что отражается на разнообразии жизненных форм. Спектр жизненных форм на участке со сплошными рубками в 2012 г. отличается наименьшим количеством биоморф, что может быть связано с начальными этапами лесовосстановительной сукцессии, когда часть биоморф исчезла под влиянием сильных стрессовых факторов (изменения освещенности и влажности, резкими суточными перепадами температур).

Соотношение экологических групп по трем факторам похоже во всех вариантах и характерны для лесных таежных фитоценозов. По отношению к фактору освещенности во всех вариантах исследования преобладает группа семигелиофитов, занимающая более 50% от всей совокупности растений данного яруса. Данная группа наиболее характерна для смешанного типа леса. Группа гелиофитов появляется только на рубках 22-23 летних, поросших смешанным молодняком. В варианте, где рубка проводилась в 2012 г., отсутствие гелиофитов можно объяснить начальными этапами сукцессии, достаточно высокой задерненностью напочвенного покрова мхами.

По отношению к влажности преобладающей группой, во всех вариантах, являются мезогигрофиты (более 50% растений). Высокая доля гигрофитов (от 18 до 23%) отмечается только в вариантах с высокой сомкнутостью полога. Данная группа специфична для таежных лесных сообществ – территорий с высокой влажностью воздуха и субстрата. Наибольшее разнообразие экологических форм по отношению к влажности зафиксировано в сообществах

со сплошными рубками более 22-23 лет назад. Это подтверждает, что данная территория наиболее гетерогенна.

По отношению к трофности субстрата преобладают мезоевтрофы (более 25% растений) и евмезотрофы (более 18%). В варианте сплошной рубки 2012 г. это соотношение более резко смещается в сторону мезоевтрофов и увеличивается доля олигомезотрофов (с 12% - контроль до 26%).

Таксономический анализ, биоморфологический спектр и соотношение экологических групп растений выделяют среди вариантов исследования сплошную рубку 2012 г. отличающуюся наименьшим разнообразием и однородностью. Как отмечалось выше, это указывает на сильный стрессовый характер условий среды, после рубки древостоя. При геоботаническом описании отмечена средняя и низкая жизненность большинства лесных травянистых растений, проявляющаяся в общем снижении проективного покрытия яруса (55%, в других вариантах более 65%), низкорослости и снижением продуктивности (мало цветonoсов и плодов), изменение окраски листьев (повышается количество антоциана).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (№ 16-34-50130).

ЛИТЕРАТУРА

1. Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность: В 2 кн. / Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов. М.: Наука, 2004. Кн. 1. / Отв. ред. О. В. Смирнова. 2004. 479 с.

2. Геникова, Н. В. Формирование состава растительных сообществ в условиях антропогенно фрагментированного ландшафта у границы южной и средней тайги / Н. В. Геникова, Е. П. Гнатюк, А. М. Крышень, Н. И. Рыжкова // Труды Карельского научного центра РАН. № 2. 2014. С. 27-35

3. Ильинцев, А. С. Анализ использования лесов в Архангельской области за период с 2006 по 2014 гг. / А. С. Ильинцев, С. В. Третьяков // Известия Самарского научного центра РАН. Вып. 5. 2016. С. 29-35

4. Мелехов, И. С. Лесоводство: 2-е изд. / И. С. Мелехов. М.: МГУЛ, 2003. 320 с.

5. Секретарева, Н. А. Сосудистые растения Российской Арктики и сопредельных территорий / Н. А. Секретарева. – М.: товарищество научных изданий КМК, 2004. 131 с.

6. Шмидт, В. М. Флора Архангельской области / В. М. Шмидт. СПб.: изд-во С.-Петербург. ун-та, 2005. 346 с.

**ВЛИЯНИЕ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА ЖИВОЙ
НАПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ СОСНЯКОВ ЧЕРНИЧНЫХ И КИСЛИЧНЫХ
В РЕЗУЛЬТАТЕ РУБОК УХОДА**

Левковская М. В., старший преподаватель
Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина
(Брест, Республика Беларусь), e-mail: lemarivik@mail.ru

**INFLUENCE OF LOGGING EQUIPMENT ON THE GROUND COVER OF
WHORTLEBERRY AND SORREL PINE FORESTS AFTER THINNING**

Levkovskaya M. V., Senior Lecturer
Brest State University named after A.S. Pushkin
(Brest, Republic of Belarus)

In this article presents the results from research of dynamics of the living ground cover of whortleberry and sorrel pine forests. The research was carried out in pure and mixed pine of Brest region, passed by mechanized thinning of weak and moderate intensity using with multioperational machines. The results of studies on the species diversity of the living ground cover pure and mixed whortleberry and sorrel pine forests.

Напочвенный растительный покров является важным компонентом лесного биогеоценоза, которому при лесотипологических исследованиях должно уделяться большое внимание, в частности при изучении фитоценотической структуры и продуктивности кустарничково-моховой растительности, как под пологом, так и на вырубках в различных типах леса [1]. При проведении рубок ухода разреживание полога древостоя и изменение его состава и структуры влечет за собой изменение световых условий под пологом насаждений, что оказывает существенное влияние на динамику растительности травяного и кустарничкового ярусов [2, 3]. Растительный покров хорошо отражает изменившиеся экологические условия в результате антропогенного воздействия. Оказавшись вне влияния материнского полога древостоя и создаваемого им микроклимата живой напочвенный покров развивается в новых условиях. На вырубке в большей степени увеличилась освещенность, возросла интенсивность испарения, более резкими стали колебания температуры, усилилось действие ветра, т.е. в целом изменяется микроклимат. Изменения, происходящие в живом напочвенном покрове, затрагивают как его качественные, так и количественные характеристики [3]. Воздействие различной техники при рубках приводят к неоднозначным лесоводственно-экологическим последствиям на лесосеке в различных географических условиях [4].

Цель работы – изучить изменение живого напочвенного покрова на волоках и пасеках в сравнении с контролем после проведения рубок ухода в сосновых насаждениях некоторых лесхозов Брестской области.

Изучение видового разнообразия и динамики живого напочвенного покрова проводилось после прореживаний и проходных рубок (2009–2012 гг.) на 5 пробных площадях (ПП) размером 0,5 га в сосняках черничных (*Pinetum myrtilosum*) и сосняках кисличных (*Pinetum oxalidosum*) Брестского ГПЛХО в 2012 г. Сосновые культуры созданы на различных категориях лесокультурной площади (вырубки, земли бывшего сельхозпользования и т.п.).

Исследование лесной растительности осуществлялось на ПП методом учетных площадок (раункиеров) с использованием морфолого-эколого-географического метода. Для получения полной фитоценотической характеристики живого напочвенного покрова фиксировался весь видовой состав. Устанавливались встречаемость видов методом Раункиера, проективное покрытие отдельных видов и яруса в целом, обилие в баллах по шкале обилия по Друде [1, 5]. Напочвенный покров формируется под влиянием техногенного воздействия различной интенсивности и характеризуется наличием синантропных видов.

Пробная площадь 1 заложена в сосняке кисличном (Барановичский лесхоз, Малаховское лесничество, кв. 77 вид. 8). Почва дерново-подзолистая, песчаная, тип условий местопроизрастания – С₂. Состав древостоя – 10С+Е, бонитет – I А, полнота – 0,78, возраст – 35 лет. Сосна имеет среднюю высоту 21,6 м при среднем диаметре 23,6 см.

Жизнеспособный подрост *Picea abies* (L.) Karst., *Betula pendula* L., *Quercus robur* L., *Populus tremula* L., *Ulmus laevis* Pall относится по высоте к среднему (1,1 м). Подлесок средней высотой 1,7 м и проективным покрытием 9% представлен *Sambucus racemosa* L., *Frangula alnus* L., *Corylus avellana* L., *Juniperus communis* L., *Sorbus aucuparia* L., одиночными экземплярами *Viburnum opulus* L., *Euonymus europaea* L., *Salix caprea* L., *Padus avium* Mill. [6, 7].

Изменение светового режима благоприятно сказалось на развитии живого напочвенного покрова на волоках: *Rubus caesius* L., *Rubus idaeus* L. со средней высотой 0,96 м.

Из папоротников в живом напочвенном покрове принимают участие *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott, *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn., *Dryopteris spinulosa* (O.F. Muell.) Watt, встречаемость которых составляет 70%.

Биологическое разнообразие растительности составляет 20 видов. В напочвенном покрове наблюдается разрастание и расселение следующих лесных видов: *Hieracium umbellatum* L., *Poa nemoralis* L., *Stellaria holostea* L.

Удаление древесного полога на технологических коридорах приводит к появлению на освещенных участках видов, характерных для более разреженных сосняков, лесных полян, опушек, рудеральных местообитаний: *Erodium cicutarium* (L.) L'Her, *Campanula patula* L., *Galeopsis tetrahit* L., *Galium album* Mill., *Geum urbanum* L., *Glechoma hederacea* L., *Rorippa sylvestris* (L.) Bess., *Scabiosa columbaria* L., *Torilis japonica* (Houtt.) DC. Встречаются одиночными экземплярами *Agrimonia eupatoria* L., *Hypericum perforatum* L., *Ranunculus repens* L.

Встречаемость и обилие доминанта травянисто-кустарничкового яруса покрова *Oxalis acetosella* L. соответственно 55% и 6 баллов. Проективное покрытие по мохово-лишайниковому ярусу составляет 80%. Видовой состав мохово-лишайникового яруса представлен 4 видами мхов, среди которых доминируют *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Dicranum polysetum* Sw., встречаются *Racomitrium canescens* (Hedw.) Brid., *Ditrichum flexicaule* Hampe с обилием 1–2 балла [6, 7].

Прореживание было проведено зимой 2009 года со слабой интенсивностью с применением на трелевке погрузочно-транспортной машиной МПТ 461.1.

Пробная площадь 2 заложена в сосняке кисличном (Кабаковское лесничество, Ивацевичский лесхоз, кв. 56, вид. 2.) Почва дерново-подзолистая, песчаная. Эдафотоп С₂. Состав древостоя – 8С₂Б, бонитет – IА, полнота – 0,81, возраст – 45 лет. Средняя высота и диаметр древостоя составляют 21,8 м и 22,8 см.

Под пологом насаждения произрастают *Betula pendula* L., *Quercus robur* L., *Populus tremula* L. Средняя высота древесных видов составляет 0,6 м. Подлесок представлен *Salix caprea* L., *Sambucus racemosa* L., *Sorbus aucuparia* L., *Frangula alnus* L. Единично встречаются *Rubus caesius* L., *Rubus idaeus* L.

Изменение светового режима и ослабление конкуренции между деревьями за влагу и питательные вещества благоприятно сказалось на развитии живого напочвенного покрова [3]. Значительным запасом характеризуется в сосняке группа разнотравья: *Bidens tripartita* L., *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., *Galeopsis tetrahit* L., *Galium album* L., *Hieracium umbellatum* L., *Maianthemum bifolium* L., *Pilosella officinarum* F. Schultz et Sch. Bip., *Trientalis europaea* L., *Mycelis muralis* (L.) Dumort., *Stellaria media* (L.) Vill., *Veronica chamaedrys* L., *Veronica officinalis* L., *Viola canina* L.

Из папоротников в живом напочвенном покрове принимают участие *Dryopteris spinulosa* (O.F. Muell.) Watt (обилие – 4 балла), проективное покрытие составляет 6%. Характерно присутствие мегатрофа *Oxalis acetosella* L. с баллом обилия 6.

В составе травяно-кустарничкового яруса появляются растения открытых местообитаний, сорняки: *Achillea millefolium* L. s. str., *Carex ovalis* Good., *Echium vulgare* L.,

Erodium cicutarium (L.) L'Her, *Hypericum perforatum* L., *Impatiens noli-tangere* L., *Saponaria officinalis* L., *Trifolium repens* L., *Urtica urens* L. с проективным покрытием 3%. На открытых местах рубки возросло участие светолюбивых злаков: *Milium effusum* L., *Poa nemoralis* L.

Моховой ярус представлен *Bryum capillare* Hedw., *Ditrichum flexicaule* Hampe, *Polytrichum juniperinum* Hedw, *Racomitrium canescens* (Hedw.) Brid. с баллом обилия 1–2.

Проходная рубка была проведена в 2010 г. при наличии снежного покрова с интенсивностью 10% с применением на трелевке погрузочно-транспортной машиной МПТ 461.1.

Пробная площадь 3 заложена в сосняке черничном (Ивацевичский лесхоз, Бронно-Горское лесничество, кв. 136 выд. 5). Почва дерново-подзолистая, глеевая, песчаная, эдафотоп В₃. Состав древостоя – 10С+Б+Е+Ос, бонитет – I, возраст – 63 года. Средние таксационные показатели древостоя: высота 21 м; диаметр 23 см.

Под пологом насаждения произрастают *Betula pendula* L., *Quercus robur* L., *Picea abies* (L.) Karst. Подлесок редкий, представлен *Corylus avellana* L., *Frangula alnus* L., *Juniperus communis* L., *Sorbus aucuparia* L.

Изменение светового режима благоприятно сказалось на развитии *Vaccinium myrtillus* L. (встречаемость – 85%, проективное покрытие – 60%), *Calluna vulgaris* L. (встречаемость – 65%, проективное покрытие – 31%), *Melampyrum sylvaticum* L., за счет появления молодых растений, увеличения количества побегов и разрастания. Быстрое разрастание перечисленных видов и злаков *Poa nemoralis* L., *Festuca ovina* L., *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv. приводит к задернению почвы и меньшей встречаемости зеленых мхов (40%).

В составе живого напочвенного покрова преобладают мезофиты: *Dryopteris spinulosa* (O.F. Muell) Watt., *Maianthemum bifolium* L., *Ledum palustre* L., *Trientalis europaea* L.; присутствуют представители сырых лесов *Scirpus sylvaticus* L., *Carex vulpina* L.

Удаление древесного полога на технологических коридорах приводит к появлению на освещенных участках видов характерных для более разреженных сосняков, лесных полян и опушек: *Geranium sylvaticum* L., *Genista tinctoria* L., *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., *Stellaria media* (L.) Vill., *Viola tricolor* L., На открытых местах рубки возросло участие разнотравья: *Senecio vulgaris* L., *Solidago virgaurea* L.

Видовой состав мохово-лишайникового яруса представлен 5 видами мхов, среди которых появляется р. *Sphagnum* L. В составе мохового покрова доминирует *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., встречаются *Dicranum polysetum* Sw., *Racomitrium canescens* (Hedw.) Brid., *Polytrichum juniperinum* Hedw.

Проходная рубка была выполнена летом 2011 года с интенсивностью 25%. Транспортировку древесины выполняли погрузочно-транспортной машиной МПТ 461.1.

Пробная площадь 4 заложена в сосняке черничном (Пружанский лесхоз, Брашевичское лесничество, кв. 68, выд. 14). Почва дерново-подзолистая, песчаная, эдафотоп В₃. Состав древостоя – 10 С+Б+Д, бонитет – I. Возраст – 53 года. Сосна имеет среднюю высоту 22,5 м, средний диаметр 25 см. Подрост со средней высотой 0,7 м, представлен *Betula pendula* L., *Quercus robur* L., *Populus tremula* L.

Подлесок хорошо развит, в составе *Salix caprea* L., *Corylus avellana* L., *Juniperus communis* L., *Salix aurita* L., *Sorbus aucuparia* L., *Malus sylvestris* L. средней высотой 0,9 м, общим проективным покрытием 35%.

В травяно-кустарничковом ярусе доминируют *Rubus caesius* L., *Rubus idaeus* L. средней высотой 40 см. Проективное покрытие *Vaccinium myrtillus* L. составляет 30%, встречаемость – 60%. Под пологом присутствуют теневыносливые виды: *Trientalis europaea* L., *Lycopodium clavatum* L., *Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt.

Проведение рубки привело к развитию светолюбивых растений *Vaccinium myrtillus* L., *Vaccinium vitis-idaea* L., *Stellaria graminea* L., и появлению *Potentilla erecta* (L.) Raeusch. и злаков *Poa nemoralis* L., *Festuca ovina* L., *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv. Обилие *Dryopteris spinulosa* (O.F. Muell) Watt. достигает 3 баллов.

Проективное покрытие по мохово-лишайниковому ярусу снижено до 30%. Видовой состав мохово-лишайникового яруса представлен 8 видами мхов, среди которых доминирует

Pleurozium schreberi (Brid.) Mitt. (обилие – 4 балла), *Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp. in B.S.G. (проективное покрытие 8%), встречаются *Bryum capillare* Hedw., *Ditrichum flexicaule* Hampe, *Dicranum polysetum* Sw., *Racomitrium canescens* (Hedw.) Brid., *Ptilium crista-castrensis* (Hedw.) De Not., появляется р. *Sphagnum* L.

Проходную рубку проводили зимой 2012 года с интенсивностью 15%. Транспортировку древесины выполняли форвардером Vimek 608, погрузочно-транспортной машиной МПТ 461.1, изготовленной на базе МТЗ-82.

Пробная площадь 5 заложена в сосняке черничном – контроль (Пружанский лесхоз, Брашевичское лесничество, кв. 80, выд. 21). Почва дерново-подзолистая, глеевая, песчаная, эдафотоп Вз. Состав древостоя – 10С+Б+Д, бонитет – I. Полнота – 0,9. Возраст – 53 года. Средние высота и диаметр деревьев составляют соответственно 21,9 м и 29,4 см.

На участке отмечено наличие таких древесно-кустарниковых и полукустарниковых видов как *Betula pendula* L., *Quercus robur* L., *Frangula alnus* L., *Sorbus aucuparia* L., *Salix aurita* L., *Salix caprea* L., *Juniperus communis* L., единичными экземплярами *Pyrus communis* L., *Rubus caesius* L., *Rubus idaeus* L.

В живом напочвенном покрове доминируют *Vaccinium myrtillus* L. с встречаемостью 85%, куртинно расположенные *Vaccinium vitis-idaea* L., *Trientalis europaea* L., *Maianthemum bifolium* L., *Dryopteris spinulosa* Watt., обилие которых составляет 1–2 балла, жизненность – 2–3 балла. Встречается *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv. с баллом обилия 2. На контроле характерна большая сомкнутость полога по сравнению с другими пробными площадями, что снижает вероятность появления светолюбивых трав. На контрольном участке зафиксировано наименьшее видовое разнообразие.

Проведение рубок ухода оказывает влияние на видовое разнообразие и сохранность живого напочвенного покрова, фитоценотическая структура которого изменяется в направлении увеличения встречаемости, проективного покрытия и обилия гелиофитов в коридорах, особенно злаков и разнотравья. В коридорах наблюдается развитие и интенсивный рост подростов древесных и кустарниковых пород. После проведения рубок ухода увеличивается проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса за счет разрастания светолюбивых видов, в составе подростов доминируют *Betula pendula* L., *Quercus robur* L., *Picea abies* (L.) Karst., *Populus tremula* L. Жизнеспособный подрост относится по высоте к среднему.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юркевич, И. Д. О продуктивности живого напочвенного покрова под пологом и на вырубках в некоторых сосновых типах леса / И. Д. Юркевич, Э. П. Ярошевич // Ботаника. – 1971. Вып. XIII. С. 50–61.
2. Климчик, Г. Я. Трансформация и восстановление живого напочвенного покрова в сосняках, пройденных рубками леса / Г. Я. Климчик, Л. С. Пашкевич // Труды БГТУ. Сер. I, Лесн. хоз-во. 2007. Вып. XV. С. 108–112.
3. Решетников В. Ф., Колодий П. В. Влияние механизированных рубок ухода на живой напочвенный покров и возобновительную способность древесно-кустарниковых пород / В. Ф. Решетников, П. В. Колодий // Экологические и социальные проблемы лесного хозяйства Республики Беларусь. 1991. С. 48–55.
4. Федоренчик А. С., Меркуль В. Г., Соколовский И. В. Типизация лесных территорий Беларуси для разработки требований по организации и проведению лесосечных работ / А. С. Федоренчик, В. Г. Меркуль, И. В. Соколовский // Труды БГТУ. 1999. Вып. VII. С. 8–12.
5. Федорук, А. Т. Ботаническая география. Полевая практика / А. Т. Федорук. Минск: БГУ, 1976. 224 с.
6. Определитель высших растений Беларуси / под ред. В. И. Парфенова. Минск: Дизайн ПРО, 1999. 472 с.
7. Флора Беларуси. Мохообразные : в 2 т. / под ред. В. И. Парфенова. Т. 1: Andreaeopsida – Bryopsida / Г. Ф. Рыковский, О. М. Масловский. Минск: Тэхналогія. 2004. 437 с.

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВМЕСТИМОСТИ ЛЭТ
НА ЗАГРУЗКУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Леонов Е. А., ст. преп., к.т.н., Клоков Д. В., доц., к.т.н.
Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), lmitlz@belstu.by

**THEORETICAL STUDY OF INFLUENCE OF FOREST ENERGY TERMINAL
CAPACITY ON LOADING TECHNOLOGICAL EQUIPMENT**

Leonov E. A., Sen. Lect., PhD., Klovov D. V., Assoc. Prof., PhD
Belarusian State Technological University
(Minsk, Republic of Belarus)

The article presents a mathematical models of the chippers taking into account raw material reserves. The models are based on the application of queuing theory, probability criteria states. The aim of the theoretical studies was to determine the effect of the capacity of the forest energy terminal on the degree of loading of technological equipment. The developed methodology allows to determine the optimum values of interoperational stocks of raw materials at the forest energy terminal

Исторически сложилось так, что Беларусь зависит от импорта энергоресурсов. Устойчивое ее жизнеобеспечение может быть достигнуто, прежде всего, путем диверсификации производства энергии с максимальным вовлечением местных топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), а также снижением удельного энергопотребления за счет берегающих мероприятий [1]. Государственные программы по удовлетворению потребностей в тепловой и электрической энергии за счет использования местных ТЭР, реализованные в нашей стране, являются основным движущим фактором развития сектора производства энергии из древесного топлива.

В настоящее время в Беларуси в различных министерствах и ведомствах, а также на частных предприятиях на древесном топливе работают свыше 3000 котлов мощностью от 0,012 до 20 МВт, а также 11 мини-ТЭЦ с установленной электрической мощностью от 1,2 до 4,23 МВт и тепловой мощностью от 6,5 до 16,4 МВт. Ввод в действие Вилейской мини-ТЭЦ (16,0 тыс. т у. т. или 60 тыс. плотных м³ древесины), котельной «Осиповичи» (10,2 тыс. т у. т. или 38,7 тыс. пл. м³ древесины), Белорусской ГРЭС (8,25 тыс. т у. т. или 22,2 тыс. пл. м³ древесины), мини-ТЭЦ ОАО «Мостовдрев» (10 тыс. т у. т. или 38 тыс. пл. м³ древесины), Пинской ТЭЦ (23,1 тыс. т у. т. или 88 тыс. пл. м³ древесины), Пружанской мини-ТЭЦ (22,0 тыс. т у. т. или 83,4 тыс. пл. м³ древесины), Петриковской мини-ТЭЦ (7,0 тыс. т у. т. или 26,3 тыс. пл. м³ древесины), котельной «Россоны» (8,0 тыс. т у. т. или 30,3 тыс. пл. м³ древесины) и других объектов, работающих на биотопливе, требует решения задач не только гарантированного обеспечения их древесным топливом, но и эффективного процесса его производства.

В Беларуси с 2005 г. начала реализовываться стратегия, предусматривающая установку энергоагрегатов с автоматизированной загрузкой, что привело к устойчивому спросу на древесную щепу. В 2016 г. производственные мощности предприятий системы Минлесхоза (основных поставщиков древесного топлива на энергообъекты) составили 5785,7 тыс. м³ древесного топлива, в том числе 1745,8 тыс. м³ топливной щепы.

Предусматривается, что использование древесной биомассы, включая низкокачественную древесину, отходы лесозаготовок и деревообработки, будет играть важную роль в выполнении национальных плановых заданий и позволит довести долю местных ТЭР в балансе котельно-печного топлива до 32% в 2020 г. [2]. В качестве сырья для производства топливной щепы к 2020 г. планируется использовать до 7 млн. м³ дров, 0,5 млн. м³ отходов лесозаготовок, около 1,5 млн. м³ отходов деревообработки.

В Беларуси, как показывает практика, обеспечение устойчивого снабжения энергообъекта сырьем возможно путем создания технологически гибкого лесозаготовительного терминала (ЛЭТ), который наилучшим образом отвечает требованию переработки древесного сырья в широком диапазоне размерно-качественных характеристик, возможности его хранения и подготовки к использованию в соответствии с запросами энергообъекта (мини-ТЭЦ) [3, 4].

Под ЛЭТ понимают временное или постоянное техническое сооружение, предназначенное для складирования, измельчения древесной биомассы и бесперебойного снабжения энергообъектов древесным топливом. Отличительными особенностями ЛЭТ являются:

- применение мобильной системы специализированных машин;
- гибкий технологический процесс измельчения сырья, допускающий изменение мест и зон работы машин, хранения сырья и древесного топлива;
- переработка древесного сырья в широком диапазоне размерно-качественных характеристик;
- возможность выбора и изменения места расположения ЛЭТ в транспортно-технологической схеме освоения ресурсов сырья в зависимости от конкретных производственных условий;
- возможность разделения ЛЭТ на несколько составных частей;
- возможность функциональной и территориальной интеграции с другими структурными образованиями (лесными складами, биржами сырья, деревообрабатывающими производствами, энергообъектами и др.).

Пример ЛЭТ, интегрированного с лесным складом ГОЛХУ «Вилейский опытный лесхоз», представлен на рисунке 1. Техническая реализуемость концепции ЛЭТ обеспечена применением мобильной системы машин: сортиментовозов производства ОАО «Минский автомобильный завод»; рубильных машин выпускаемых ОАО «Минский тракторный завод», ОАО «Амкодор»; фронтальных погрузчиков ОАО «Амкодор»; автощеповозов ОАО «Минский автомобильный завод») [3].

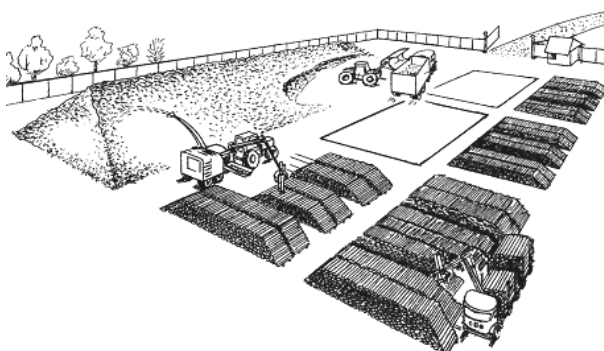


Рисунок 1 – Технологическая схема функционирования ЛЭТ при производстве топливной щепы

Реализация технологических процессов производства топливной щепы в условиях ЛЭТ требует рациональной организации работы применяемых для этих целей машин, в том числе передвижных рубильных машин – основного оборудования в технологической цепочке производства древесного топлива. Рассмотрим модели работы рубильных машин с учетом запасов в условиях ЛЭТ, базирующиеся на теории массового обслуживания.

Для анализа работы на ЛЭТ одной рубильной машины воспользуемся теорией одномашиной лесопромышленной системы с запасом) [5]. Для такой модели характерны следующие состояния: S_0 – рубильная машина технически исправна, но не работает из-за отсутствия сырья либо по другим организационным причинам; S_1 – рубильная машина осуществляет измельчение древесного сырья, запас пуст; S_2 – рубильная машина осуществляет измельчение древесного сырья, в запасе одна единица сырья и т. д.; S_{m+1} – рубильная машина осуществляет измельчение древесного сырья, в запасе m единиц сырья (рисунок 2).

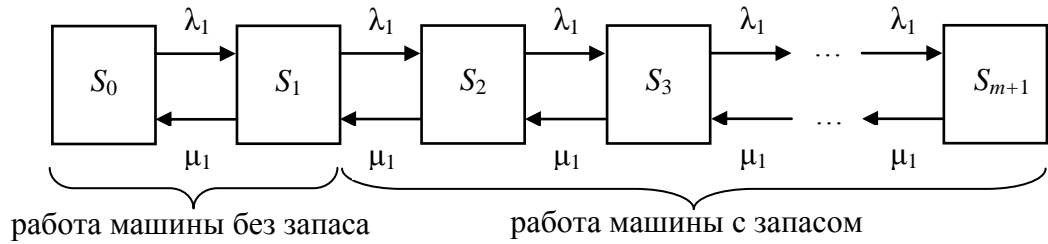


Рисунок 2 – Размеченный граф состояний одномашинной системы с запасом

Здесь λ_1 – интенсивность поступления сырья на измельчение; μ_1 – интенсивность измельчения сырья.

Для одномашинной системы с запасом в общем виде алгебраические выражения для определения значений зависимостей вероятностей состояний оборудования от интенсивностей соответствующих событий равны:

$$P_0 = \left[\frac{1 - \rho_1^{m+2}}{1 - \rho_1} \right]^{-1} = \frac{1 - \rho_1}{1 - \rho_1^{m+2}}; \quad P_1 = \rho_1 \cdot P_0; \quad P_2 = \rho_1^2 \cdot P_0; \quad \dots; \quad P_{m+1} = \rho_1^{m+1} \cdot P_0. \quad (1-4)$$

В выражениях (1-4) параметр ρ_1 – коэффициент загрузки рубильной машины, который представляет собой отношение интенсивности подачи сырья на обработку к интенсивности обработки предмета труда:

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1}. \quad (5)$$

Вероятность работы рубильной машины (коэффициент загрузки во времени), определяется по выражению:

$$P_p = 1 - P_0 = \frac{\rho_1 \cdot (1 - \rho_1^{m+1})}{1 - \rho_1^{m+2}}. \quad (6)$$

При работе одной рубильной машины вероятность простоя лесовозных автопоездов ввиду заполнения площадки ЛЭТ, определяется по выражению:

$$P_{пр} = P_{m+1} = \rho_1^{m+1} \cdot P_0 = \frac{\rho_1^{m+1} \cdot (1 - \rho_1)}{1 - \rho_1^{m+2}}. \quad (7)$$

Для анализа работы на ЛЭТ нескольких однотипных рубильных машин воспользуемся теорией многомашинной лесопромышленной системы с запасом) [5]. Для такой модели характерны следующие состояния: S_0 – рубильные машины технически исправны, но не работают из-за отсутствия сырья либо по другим организационным причинам; S_1 – измельчение древесного сырья осуществляет одна машина, остальные простаивают, запас пуст; S_2 – измельчение древесного сырья осуществляют две машины, остальные простаивают, запас пуст и т. д.; S_n – измельчение древесного сырья осуществляют n машин, запас пуст; S_{n+1} – измельчение древесного сырья осуществляют n машин, в запасе одна единица сырья; и т. д.; S_{n+m} – измельчение древесного сырья осуществляют n машин, в запасе m единиц сырья (рисунок 3).

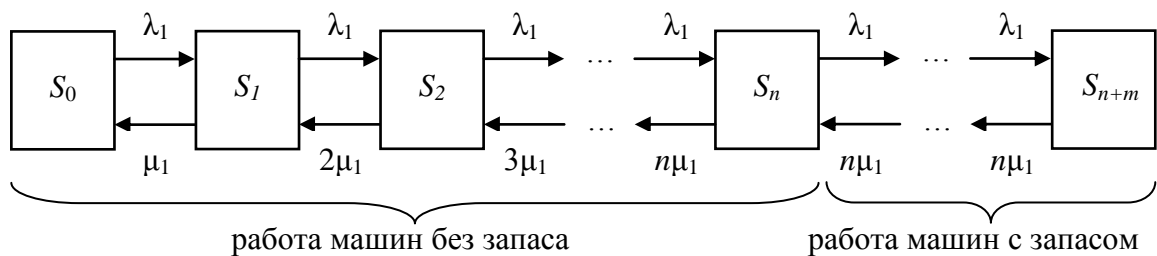


Рисунок 3 – Размеченный граф состояний многомашинной системы с запасом

Для многомашинной системы с запасом в общем виде алгебраические выражения для определения значений зависимостей вероятностей состояний оборудования от интенсивностей соответствующих событий равны:

$$P_0 = \left[1 + \frac{\rho_1}{1!} + \frac{\rho_1^2}{2!} + \frac{\rho_1^3}{3!} + \dots + \frac{\rho_1^n}{n!} + \frac{\rho_1^n}{n!} \cdot \frac{\rho_1 - \left(\frac{\rho_1}{n}\right)^{m+1}}{1 - \frac{\rho_1}{n}} \right]^{-1}; \quad (8)$$

$$P_1 = \frac{\rho_1}{1} P_0; P_2 = \frac{\rho_1^2}{2!} P_0; \dots; P_n = \frac{\rho_1^n}{n!} P_0; P_{n+1} = \frac{\rho_1^{n+1}}{nn!} P_0; P_{n+2} = \frac{\rho_1^{n+2}}{n^2 n!} P_0; \dots; P_{n+m} = \frac{\rho_1^{n+m}}{n^m n!} P_0. \quad (9-14)$$

Вероятность работы всех рубильных машин (коэффициент загрузки во времени), в общем виде определяется по выражению:

$$P_p = P_n + P_{n+1} + P_{n+2} + \dots + P_{n+m} = \frac{\rho_1^n}{n!} \left[1 + \frac{\rho_1}{n} + \frac{\rho_1^2}{n^2} + \dots + \frac{\rho_1^m}{n^m} \right] \cdot P_0 =$$

$$= \frac{\rho_1^n}{n!} \left[\frac{1 - \left(\frac{\rho_1}{n}\right)^{m+1}}{1 - \frac{\rho_1}{n}} \right] \cdot \left[1 + \frac{\rho_1}{1!} + \frac{\rho_1^2}{2!} + \frac{\rho_1^3}{3!} + \dots + \frac{\rho_1^n}{n!} + \frac{\rho_1^n}{n!} \cdot \frac{\rho_1 - \left(\frac{\rho_1}{n}\right)^{m+1}}{1 - \frac{\rho_1}{n}} \right]^{-1}. \quad (15)$$

При работе n рубильных машин вероятность простоя лесовозных автопоездов ввиду заполнения площадки ЛЭТ, определяется по выражению:

$$P_{пр} = P_{n+m} = \frac{\rho_1^{n+m}}{n^m n!} \cdot \left[1 + \frac{\rho_1}{1!} + \frac{\rho_1^2}{2!} + \frac{\rho_1^3}{3!} + \dots + \frac{\rho_1^n}{n!} + \frac{\rho_1^n}{n!} \cdot \frac{\rho_1 - \left(\frac{\rho_1}{n}\right)^{m+1}}{1 - \frac{\rho_1}{n}} \right]^{-1}. \quad (16)$$

На рисунках 4 и 5 приведены теоретические исследования влияния величины межоперационного запаса сырья на вероятности загрузки рубильных машин и простоя автопоездов при работе одно- и многомашинных систем.

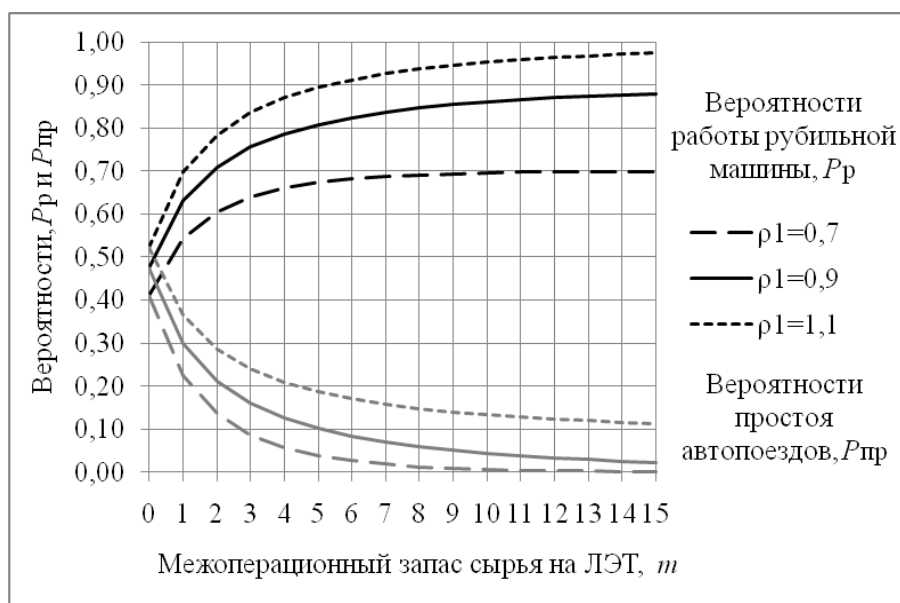


Рисунок 4 – Зависимости вероятностей работы рубильной машины и простоя автопоездов от величины межоперационного запаса сырья на ЛЭТ

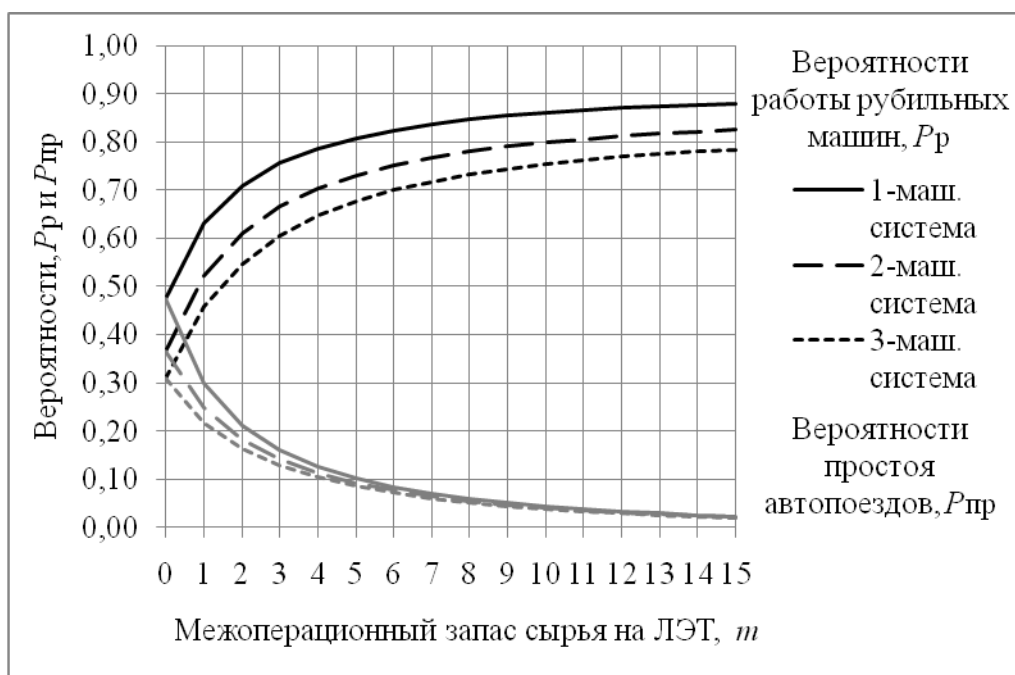


Рисунок 5 – Зависимости вероятностей работы рубильных машин и простоя автопоездов от величины межоперационного запаса сырья на ЛЭТ

На основании проведенных теоретических исследований установлено, что применение многомашинных систем в условиях ЛЭТ приводит к снижению простоя лесовозных автопоездов, обеспечивающих терминал древесным сырьем. В частности, при незначительных межоперационных запасах сырья на ЛЭТ использование трех рубильных машин снижает вероятность простоя автопоездов до 34% в сравнении с использованием одномашинной системы данного оборудования. При этом указанный параметр нивелируется с увеличением величины межоперационного запаса древесного сырья.

В тоже время применение многомашинных систем снижает загрузку основного технологического оборудования по измельчению древесного сырья. В частности, с увеличением количества рубильных машин на ЛЭТ от одной до трех снижает вероятность их одновременной работы на 11-34%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Национальная программа развития местных и возобновляемых энергоисточников на 2011–2015 годы: утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 10.05.2011, № 586. – Минск, 2011. – 36 с.
2. Леонов Е. А. Исследование хранения древесного топлива у потребителей // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообр. пром-сть. 2009. Вып. XVII. С. 89–93.
3. Федоренчик А. С., Леонов Е. А. Лесоэнергетические терминалы: оптимизация параметров // Лесное и охотничье хозяйство. 2012. № 9. С. 10–15.
4. Кулак М. И., Федоренчик А. С., Леонов Е. А. Прогнозирование хранения запасов топлива в условиях лесоэнергетических терминалов // Наука и инновации. 2012. № 7 (113). С. 69–72.
5. Игнатенко, В. В. Моделирование и оптимизация процессов лесозаготовок: учеб. пособие для студентов специальности «Лесоинженерное дело» / В. В. Игнатенко, И. В. Турлай, А. С. Федоренчик. – Минск: БГТУ, 2004. 180 с.
6. Редькин, А. К. Основы моделирования и оптимизации процессов лесозаготовок: учеб. для вузов / А. К. Редькин. – М.: Лесн. пром-сть, 1988. 256 с.

**TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC VALUATION OF LOGGING RESIDUES
PRODUCTION FOR ENERGY: A LITHUANIAN CASE STUDY**

Činga G., Lecturer, Vitunskas D., Lecturer

Aleksandras Stulginskis University

(Kaunas, Republic of Lithuania), e-mail: gintautas.cinga@asu.lt, dalius.vitunskas@asu.lt

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОИЗВОДСТВА
ОТХОДОВ РУБОК ДЛЯ ЭНЕРГИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ ЛИТВЫ**

Чинга Г., преподаватель, Витунскас Д., преподаватель

Университет Александраса Стульгинскиса

(Каунас, Литовская Республика)

В исследовании анализируются затраты времени, производительность труда и затраты на производство отходов лесозаготовок. Данные были собраны на лесосеках лесного хозяйства Шакияйского лесхоза (SFE) путем регистрации времени выполнения технологических операций и пути передвижения машины. Результаты показывают, что основным фактором, влияющим на производительность и издержки производства, является расстояние транспортировки. По данным 2016 год экономически оправданное расстояние производства порубочных остатков составило 500 м, которое может варьироваться в зависимости от цены на лесозаготовительные отходы.

Ключевые слова: лесозаготовительные отходы, производительность, себестоимость продукции.

Introduction. In order to reduce the Lithuanian energy sector's dependence on expensive imported fossil fuels, especially natural gas and petroleum products, it is essential to maximize the use of renewable energy resources. The largest share of the renewable energy resources in Lithuania takes energy wood, including timber harvesting residues. Energy resources include timber firewood and logging residues - branches, tops and small trees in precommercial thinning.

Lithuanian forest sector is increasing production of logging residues, especially in state forest enterprises. SFE produces and sells logging residues at logging sites, extracted to the roadside, or chipped.

The main part of the costs in production of fuel wood from logging residues is extraction expenses (Laitila et al. 2013). According to Asikainen (2000), logging residues harvesting cost depends on the site and stand parameters, the road network, technological solutions and human factors. The role of modern information systems is also increasing nowadays. Analysis of biofuel production and transportation costs made by Dzenajavičienė, Kveselis, Tamonis (2013) showed that the most important factors that determine the result of biofuel production is the extraction distance, volume of residues per ha, as well as transportation distance to biofuel boilers. Other authors conclude that costs of residues extraction are high because of the small trailer loaded on waste volume (Potassium, Leinonen, 2005). Making production decisions easier, marginal units of income and costs, rather than total ones should be calculated and valued. In this case, the production should be extended until the marginal costs equals the marginal income for an additional unit of output (Krugman, Wells, 2013).

The aim of the study is to evaluate time consumption, productivity and costs of extraction of logging residues as well as economic viability of production, taking into account the extraction distance.

Materials and methods. Data of logging residues extraction was collected in clearcut area of Šakiai SFE. Forwarder Ponsse Wissent was used for extraction. The work cycle was broken into the following elements: 1. Driving, unloaded, 2. Collection of load, 3. Driving, loaded; 4. Unloading; 5. Other operations (maintenance, etc.); 6. Regulated breaks; 7. Unregulated breaks.

Duration of the elements was measured and recorded. In addition, by using a GPS receiver Topcon FC-25A coordinates of machine movement were recorded every 3 seconds. Driving distances for each operation were calculated using ArcGIS application. Forwarder operational costs were calculated as a sum of labour, operational and capital costs (Mizaras, 2012).

Results. It was found that efficiency of logging residues extraction is mainly determined by an average distance of the extraction (Fig. 1).

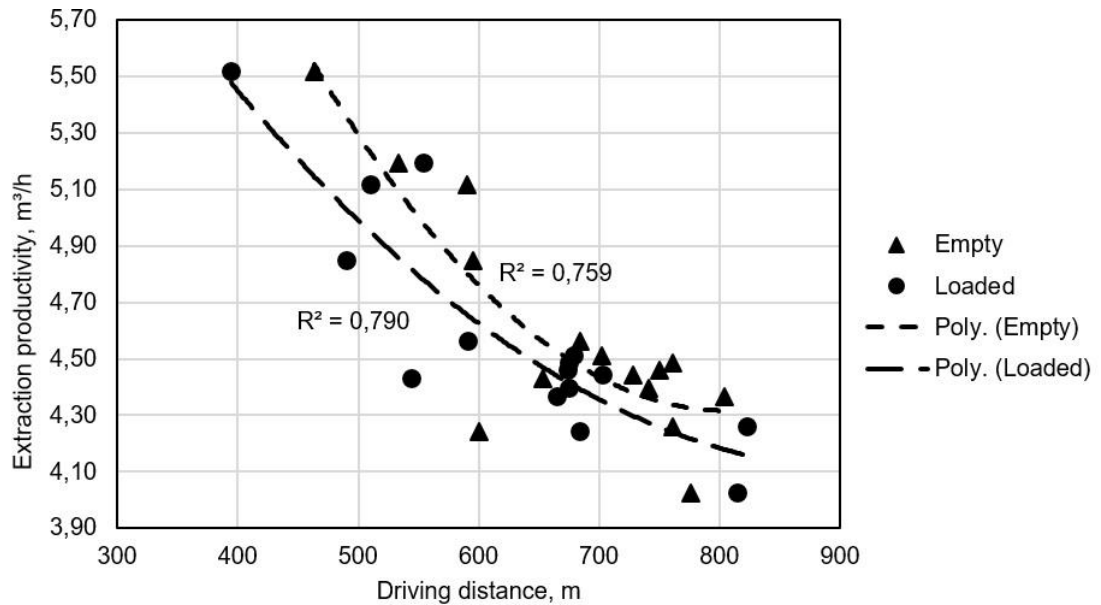


Fig. 1 – Productivity of logging residues extraction

When logging residues extraction productivity is $36,48 \text{ m}^3$ per 8 hours shift, extracting cost reaches € $6,92/\text{m}^3$. The major part of the cost per shift includes operational costs, namely 46 percent, or 116 €/shift. The capital cost is 31 percent, or 78.2 €/shift. The remaining 23 percent accounted labour costs (Fig. 2), 58 €/shift.

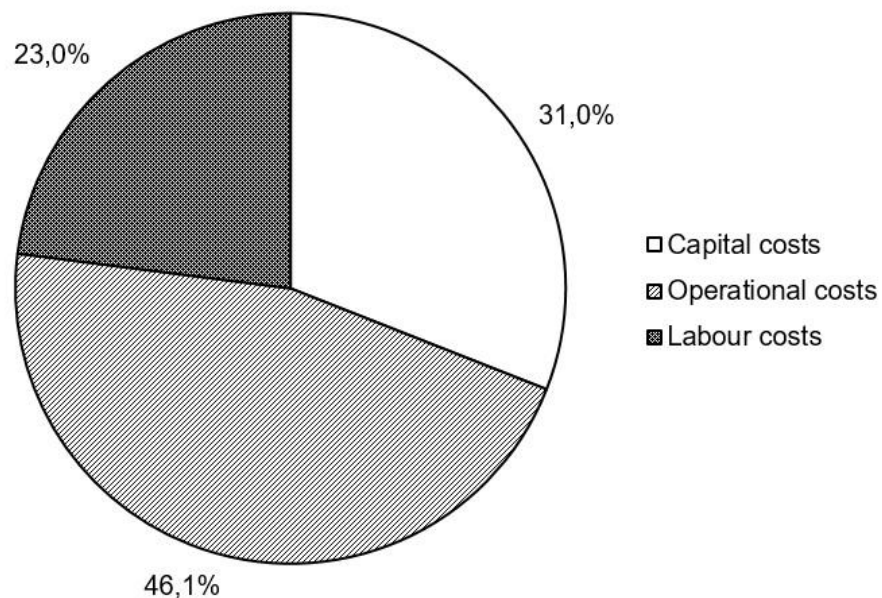


Fig. 2 – Structure of logging residues extraction costs

According to logging residues price declared by General State Forest Enterprise in 2016, marginal economically viable distance of logging residues extraction distance is 1200 meters, while according to local price of Šakiai State Forest Enterprise, reasonable extraction distance is only 500 m (Fig. 3).

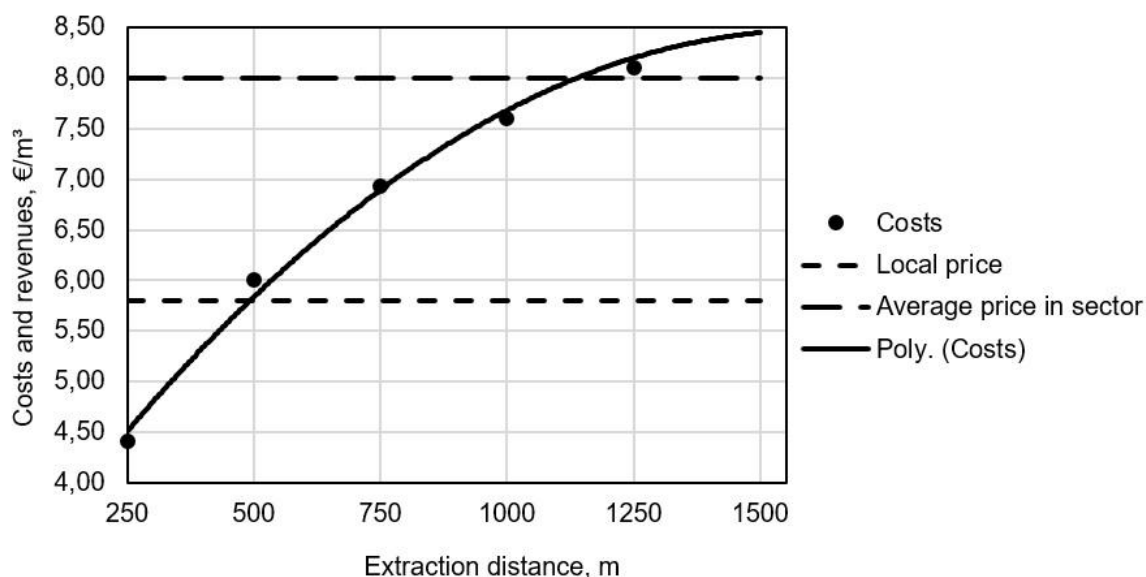


Fig. 3 – Economically rational distance of logging residues extraction

Conclusions. The study confirmed that the main factor influencing productivity and costs of logging residues production is distance of residues transportation to the roadside. Additionally, decisive factor of logging residues production profitability is current price for energy wood.

Operational productivity of logging residues extraction with forwarder Ponsse Wissent was 4.56 m³/h, the total productivity, measured including regulated breaks - 4.31 m³/h. Gross productivity, including all breaks, reached 4.21 m³/h.

Economical expediency of logging residues extraction depends on transportation distance. According to Šakiai SFE data for 2016, at the logging residues price of 5.8 €/m³, economically viable marginal extraction distance that ensures profitable production would be 500 m.

REFERENCES

1. Asikainen, A. 2000. Cost factors of fuel chip production. In publication: Alakangas, E. (edit.). Nordic treasure hunt. Extracting energy from forest residues. VTT symposium 208: p. 113 – 125.
2. Dzenajavičienė, E. F., Kveselis, V., Tamonis, M. 2013. Miško biokuro išteklių potencialo ir gamybos modeliavimas (in Lithuanian).
3. Kallio, M., Leinonen A. 2005. Production technology of forest chips in Finland. – VTT processes. Project Report PRO2/P2032/05. 2005. – 103 p.
4. Krugman, P., Wells, R. 2013. Microeconomics. – New York: Worth. – 595 p.
5. Laitila, J. 2005. Cost structure of supply chains in Finland, Northern Wood Heat Symposium, Joensuu, Finland. 15 p.
6. Laitila, J., Kilponen, M., Nuutinen, Y., 2013. Productivity and Cost – Efficiency of Bundling Logging Residues at Roadside Landing. Croatian Journal of Forest Engineering 34 (2): p. 175 – 187.
7. Mizaras, S. 2012. Miškininkavimo ekonominė analizė. Mokomoji knyga. Akademija. Kaunas. 111 p. (in Lithuanian).

**ОБОСНОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ МАНИПУЛЯТОРА НА
ОБСЛУЖИВАНИИ УЧАСТКА ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО СКЛАДА**

Каратник И. Р., доц., к.т.н., Бакай Б. Я., доц., к.т.н., Кий В. В. доц., к.т.н.

Национальный лесотехнический университет Украины

(Львов, Украина), bakay@nltu.edu.ua

**THE SUBSTANTIATION OF MOVING THE MANIPULATOR ON THE OPERATIONS
OF A SECTION OF A TIMBER INDUSTRIAL WAREHOUSE**

Ihor Karatnyk, Assoc. Prof., PhD, Bakay B. Ya., Assoc. Prof., PhD,

Kyi V. V. Assoc. Prof., PhD

Ukrainian National Forestry University

(Lviv, Ukraine)

Proposed method of defining supposed surface profiles of technological equipment, above which the shortest displacement of manipulator with cargo is possible. The parameters of the conditional surface of the process equipment in the service area of the manipulator define the optimal or shortest trajectories of the manipulator's movement. The trajectories of movements of the manipulator determine the movement of its component elements, which creates the prerequisites for the automation of its work cycles in the service area and contributes to the achievement of productive work of the manipulator on objects, for example, a timber industrial warehouse.

Актуальность. Производственная деятельность лесопромышленных предприятий связана с перемещением больших объемов различных по виду, состоянию и весу грузов [1-2]. На сегодняшний день основными погрузочно-штабелирующими средствами на лесопромышленных складах служат консольно-козловые и башенные краны, с применением ручного труда на загрузке и отгрузке грузов, что уменьшает производительность труда [2-5]. Существующий опыт подтверждает, что проблема перемещения лесоматериалов успешно решается с использованием гидравлических манипуляторов, оборудованных грейферными захватами. Такие механизмы обеспечивают, как полную механизацию погрузочно-штабелирующих работ на лесопромышленных складах, так и, благодаря универсальности и высокой мобильности, широкий спектр различных переместительных операций. В связи с этим, актуальной является задача всестороннего исследования операций перемещения груза на лесопромышленных складах и движения отдельных элементов манипуляторов.

Постановка проблемы. Оптимальной траекторией движения рабочего органа манипулятора рассматривается прямая линия между начальным и конечным пунктом его перемещения. Приближенное к этой траектории перемещение возможно, если оно будет происходить над производственными объектами и оборудованием технологического участка лесопромышленного склада, т. е. над условной поверхностью, траекториями, которые менее всего отличаются от прямолинейных и без взаимодействия с иными технологическими объектами, например раскрывочного узла, подштабельного места или транспортера.

Анализ известных исследований и постановка задачи. Описание условной поверхности оборудования для ограничения перемещения манипулятором рабочего органа с грузом может быть представлено аппроксимацией реально замеренных или проектных высот технологических объектов, считая, что этому множеству действительных чисел $\{1, 2, \dots, n\}$, будет определена некоторая действительная функция, которая описывает профиль условной поверхности для произвольного ее сечения. Аппроксимация такой поверхности может выполняться определением функции двух переменных $\Psi(x, y)$, и в таких случаях принимается в виде линейной комбинации законченного множества $\{\psi_i(x, y)\}$ функций, линейно независимых, которые отвечают профильным участкам поверхности:

$$\Psi(x, y) = A_0\psi_0(x, y) + A_1\psi_1(x, y) + \dots + A_n\psi_n(x, y), \quad (1)$$

где A_i ($i=0, 1, \dots, n$) – постоянные коэффициенты полинома.

Наличие произвольного профиля условной поверхности технологического оборудования не отображает направлений рабочих траекторий манипулятора, которые зависят от расположения объектов зоны его обслуживания. Поэтому профилирование условной поверхности оборудования в направлениях рабочих перемещений манипулятора необходимо для установления таких перемещений наименьшей длины, что и будет определять его производительность.

Основной материал. Ближайшее описание условной поверхности с характерными признаками “рельефа” может быть выполнено интерполяцией, которая заключается в том, что коэффициенты A_i ($i = 0, 1, \dots, n$) полинома (1) подбираются так, чтобы в точках X_i ($i = 0, 1, \dots, n$) значения функции $\Psi(x, y)$ совпадали с профилем поверхности, например с нормальным сечением поверхности плоскостью перпендикулярно оси OZ (рис. 1 – профиль А-В-С-D-К).

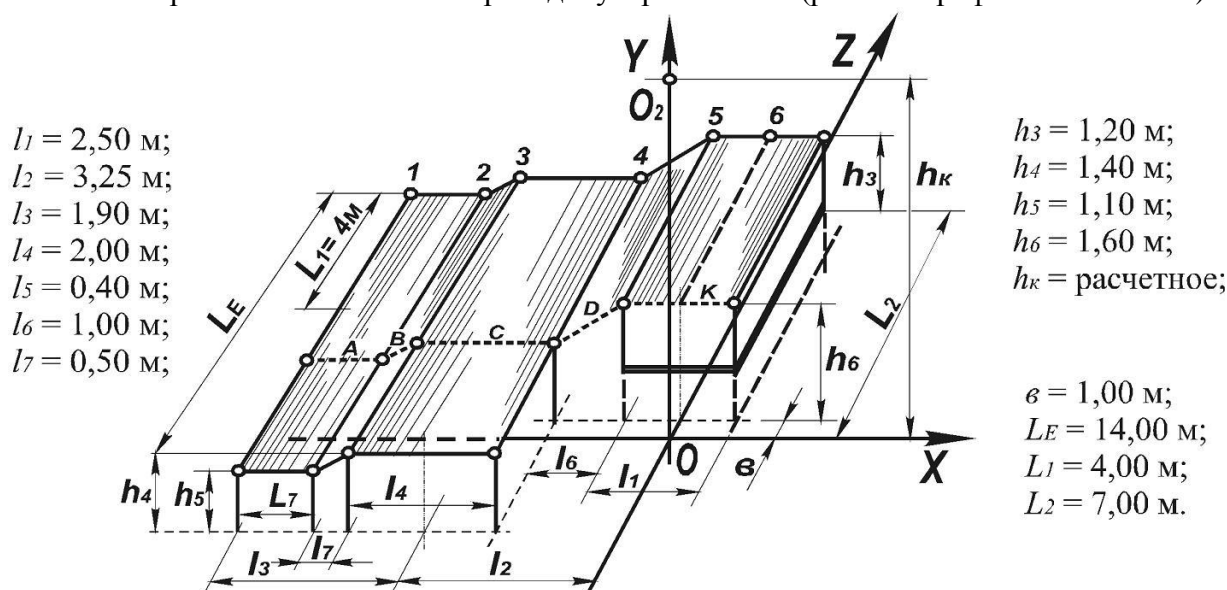


Рисунок 1 – Схема поверхности технологического оборудования участка с манипуляторным обслуживанием

Профиль условной поверхности может быть построен в координатах XOY , который остается одинаковым для всех значений $Z_i(x_i, y_i)$. Для таких условий аппроксимирующая функция (1) представляется в виде:

$$Y_0 = a_0 \varphi_0(x) + a_1 \varphi_1(x) + \dots + a_n \varphi_n(x), \quad (2)$$

где a_i ($i = 0, 1, \dots, n$) – постоянные коэффициенты полинома (2).

Согласно рисунку 2 отрезки профиля поверхности в общем виде такие:

$$y_a = k_1 x + \epsilon_1; y_b = k_2 x + \epsilon_2; y_c = k_3 x + \epsilon_3; y_d = k_4 x + \epsilon_4; y_k = k_5 x + \epsilon_5. \quad (3)$$

На основании реальных размеров эстакады деревообрабатывающего участка ДП “Маневицкий лесхоз” (таблица 1) определены отрезки профиля поверхности участка ($X_1 - X_6$ (рисунок 2)):

$$y_A = -(x + 2,75); y_B = -(1,2x + 3,7); y_C = -(0,05x + 1,612); y_D = 0,1x + 1,725. \quad (4)$$

Таблица 1 – Ведомость параметров профиля поверхности оборудования

x, м	$x_1 = 5,15$	$x_2 = 4,75$	$x_3 = 4,25$	$x_4 = 2,25$	$x_5 = 1,25$	$x_6 = 0$
y, м	$y_1 = 2,4$	$y_2 = 2,0$	$y_3 = 1,4$	$y_4 = 1,5$	$y_5 = 1,6$	$y_6 = 1,8$

Профили поверхности оборудования, над которыми перемещается рабочий орган с грузом (сортиментом) манипулятором устанавливаются трансформацией нормального профиля плоскости $S(x; y; o)$ путем изменения координат т. 1 (рисунок 2) со значением т. $O_i(z; o) = т. O_i(4; 0)$ – согласно размеров оборудования и поворотом на угол β_i позиции укладки отдельных сортиментов на эстакаде деревообрабатывающего участка.

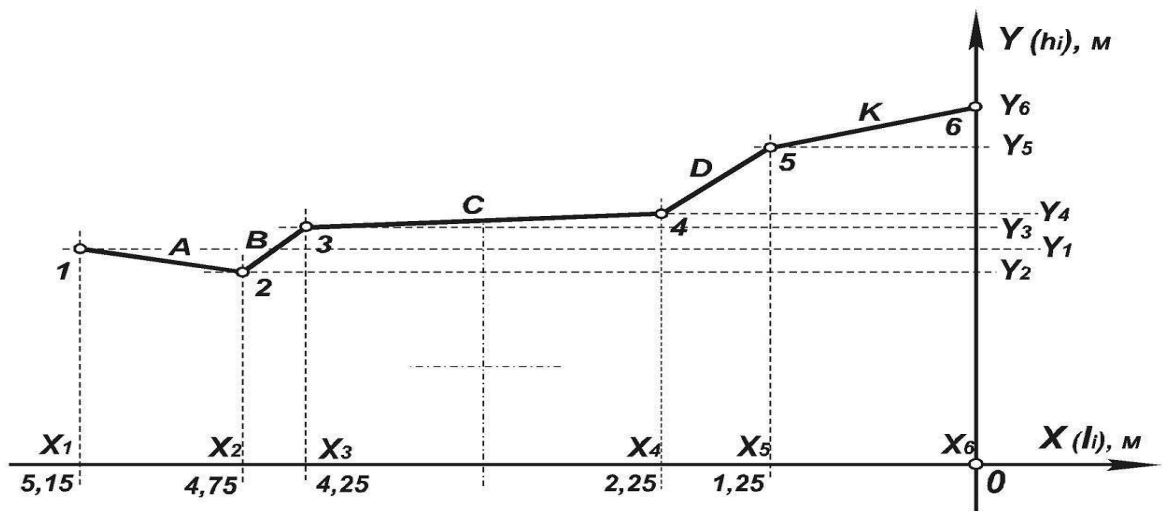


Рисунок 2 – Представление профильных размеров поверхности технологического оборудования

При этом ординаты профиля поверхности в координатах XOY не изменяются. Угол поворота профиля поверхности β_i в координатах XOY определяется, например поворотом отдельных отрезков профиля $y_A = f_1(x)$; $y_B = f_2(x)$; $y_C = f_3(x)$; $y_D = f_4(x)$; $y_K = f_5(x)$, и их параллельным сдвигом последовательно в отдельные позиции $(1-\alpha_1)$, $(1-\alpha_2)$, $(1-\alpha_3)$, $(1-\alpha_4)$, $(1-\alpha_5)$ – определенные позициями α_i (рис.3). В общем виде такие трансформации записываются в новых координатах $Z_iO_iX_i$ следующим:

$$\begin{cases} X_i = (Z - Z_0) \cos \beta_i + (Y - Y_0) \sin \beta_i, \\ Y_i = (Z - Z_0) \sin \beta_i + (Y - Y_0) \cos \beta_i. \end{cases} \quad (5)$$

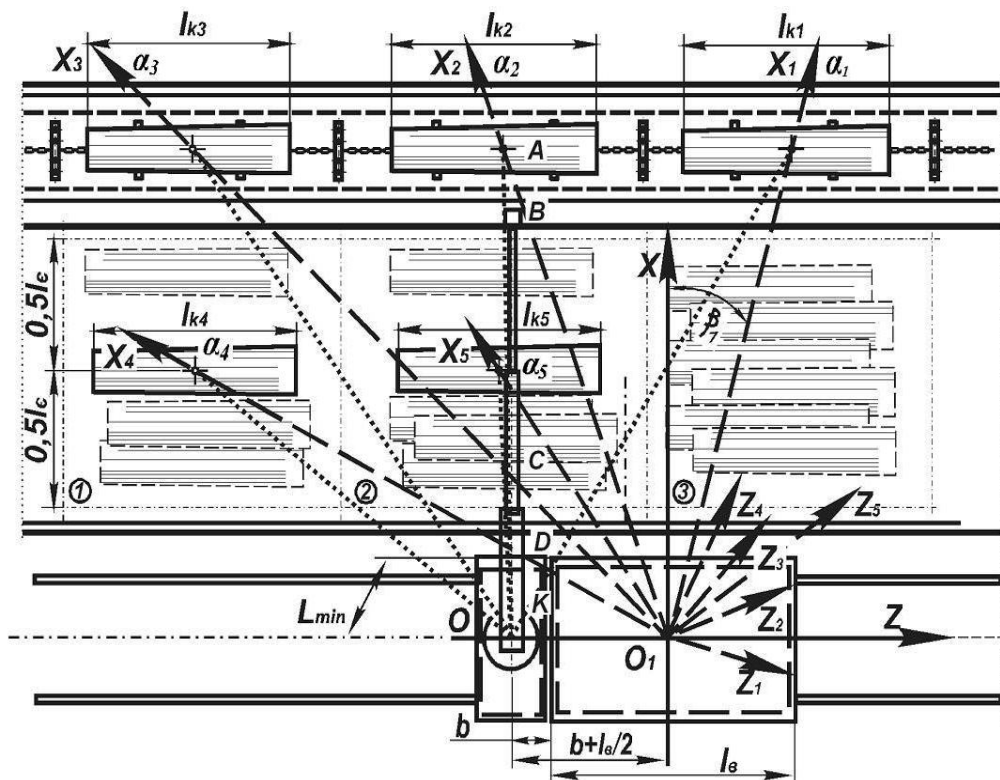


Рисунок 3 – Схема определения траекторий движения манипулятора в зоне эстакады деревообрабатывающего участка:

A, B, C, D, K – отрезки поперечного профиля поверхности оборудования;
 $\alpha_1 \dots \alpha_6$ – позиции укладки сортиментов

Уравнение отрезков l_A, l_B, l_C, l_D, l_K , линий профиля оборудования в координатах $Y_1O_1X_i$ изменяются, поскольку значение аргумента изменяется на размер $(l_i/\cos \beta_i - l_i)$, или реально удлиняются на множитель $(1/\cos \beta_i)$. Если для всех линий профиля поверхности из множества $\{l_A \sim l_K\}$ в соответствующих координатах $Y_1O_1X_i$ такие множители постоянны, то верно:

$$\begin{aligned} y_A &= (x_i - 2,75)/\cos \beta_i; & y_B &= (1,2x_i - 3,70)/\cos \beta_i; & y_C &= (0,05x_i - 1,612)/\cos \beta_i; \\ y_D &= (0,1x_i - 1,725)/\cos \beta_i; & y_K &= (0,16x_i - 1,80)/\cos \beta_i. \end{aligned} \quad (6)$$

При этом определение угла β_i ($i = 1 \dots 5$) линии профиля поверхности оборудования выполняется в координатах $\{Z_iO_1X_i\}$:

$$\begin{aligned} \beta_1 &= \arctg \frac{l_B - l_{K_1}}{2(l_2 + l_3)}; & \beta_2 &= \arctg \frac{2l_{K_1} + l_{K_2} - l_B}{2(l_2 + l_3)}; & \beta_3 &= \arctg \frac{2l_{K_1} + 2l_{K_2} + l_{K_3} - l_B}{2(l_2 + l_3)}; \\ \beta_4 &= \arctg \frac{2l_{K_1} + 2l_{K_2} + 2l_{K_3} + l_{K_4} - l_B}{2(l_2 + l_3)}; & \beta_i &= \arctg \frac{2(l_{K_1} + l_{K_2} + \dots + l_{K_{(i-1)}}) + l_{K_i} - l_B}{2(l_2 + l_3)}. \end{aligned} \quad (7)$$

Для линий профиля поверхности в координатах $\{Z_iO_1X_i\}$, и для произвольных составляющих этих линий $\{y_i = f_i(\alpha), i = A, B, C, D, K \dots N\}$, определяется:

$$y_i = f_i(x) / \cos(\arctg \frac{2(l_{K_1} + \dots + l_{K_{(i-1)}}) + l_{K_i} - l_B}{2(l_2 + l_3)}), \quad (8)$$

или:
$$y_{ij} = \gamma_j f_i(\alpha), \text{ для } \{i = A, B, C, D, K\}, \quad (9)$$

откуда получается значение координационного множителя:

$$\gamma = (\cos(\arctg \frac{2(l_{K_1} + \dots + l_{K_{(i-1)}}) + l_{K_i} - l_B}{2(l_2 + l_3)}))^{-1} = (\cos(\arctg(\frac{l_{K_1} + \dots + l_{K_{(i-1)}}}{M} + \frac{l_{K_i} - l_B}{2M} - C)))^{-1},$$

для $M = (l_2 + l_3) = const$; $C = l_B/2M = const$, что фактически приводит к изменению углового коэффициента и постоянных в зависимостях $y_i = f_i(x)$ для фиксированных из множества профильных сечений условной поверхности технологического оборудования.

Выводы.

1. Параметры условной поверхности технологического оборудования в зоне обслуживания манипулятора определяют оптимальные или кратчайшие траектории перемещения рабочего органа манипулятором.

2. Траектории движений манипулятора определяют перемещение его звеньев, что создает предпосылки для автоматизации его рабочих циклов в зоне обслуживания и способствует достижению производительной работы манипулятора на объектах, например лесопромышленного склада.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жуков, А. В. Проектирование лесопромышленного оборудования: [учеб. для вузов по спец. "Машины и оборуд. лесн. Комплекса"] / А. В. Жуков. – Минск: Вышэйш. шк., 1990. – 311 с. ISBN 5-339-00362-0.

2. Бакай, Б. Я. Формализация зоны действия гидравлических манипуляторов на лесопромышленных складах / Б. Я. Бакай // Актуальные проблемы лесного комплекса : сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-техн. конф. / Под ред. Е. А. Памфилова. – Брянск : БГИТА, 2006. – Вып. 16. – С. 3–7.

3. Ловейкін, В. С. Моделювання динаміки механізмів вантажопідйомних машин / В. С. Ловейкін, Ю. В. Човнюк, М. Г. Діктерук, С. І. Пастушенко. – К. : – Миколаїв : РВВ МДАУ, 2004. – 286 с.

4. Корендясев, А. И. и др. Манипуляционные системы роботов / А. И. Корендясев, Б. Л. Саламандра, Л. И. Тывес; Под ред. А. И. Корендясева. – М. : Машиностроение, 1989. – 471 с.

5. Luh J. On-Line Computational Scheme for Mechanical Manipulators / J. Luh, M. Walker, R. Paul // ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, 102(2). – 1980. – P.69-76.

**МАШИНА ТРЕЛЕВОЧНАЯ КАНАТНАЯ
НА БАЗЕ ТРАКТОРА «БЕЛАРУС»**

**Коробкин В. А., зам. ген. конструктора, д.т.н.,
Ледвик М. В., начальник КБ УКЭР-2**

ОАО «Минский тракторный завод»
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: uker-2@belarus-tractor.com

**SKIDDING MACHINE ON THE BASIS
OF THE TRACTOR "BELARUS"**

**Korobkin V. A., Deputy General Designer, D. Sc.,
Ledvik M. V., Head of KB UKER-2**

OJSC «Minsk Tractor Plant»
(Minsk, Republic of Belarus)

The report presents the state of the forest fund in the Republic of Belarus and substantiates the relevance of the creation of cable forest transport installations.

A part of the report is a brief description of the device and the main technical characteristics of the mobile skid steer machine "BELARUS" МТК-431, developed by OJSC "MTW", intended for wood hauling in suspended or semi-suspended position from hard-to-reach places.

В Республике Беларусь леса являются одним из основных возобновляемых природных ресурсов и важнейших национальных богатств. Общая площадь земель лесного фонда составляет около 9499,5 тыс. га, общий запас насаждений 1714,3 млн. м³, средний возраст лесов 54 года, леса покрывают 36 % территории страны. Ежегодная заготовка древесины составляет около 19 млн. м³. Одним из отрицательных факторов лесозаготовки является недоосвоение на 15...20% расчетной лесосеки по причине значительной заболоченности лесного фонда, нехватки специализированных машин и оборудования, ограничений по лесоводственно-экологическим требованиям. Недоосвоение происходит в основном по мягколиственным породам, большая часть которых произрастает на труднодоступных участках. В таблице 1 представлено распределение по областям запасов лесосечного фонда Республики Беларусь и его количество, находящееся в труднодоступных местах. Видно, что недоосвоенным остается порядка 12 % от общего объема лесосеки, а наибольшее значение приходится на Брестскую и Витебскую области, где недоосваивается более 18 % и 19 % объема соответственно.

Таблица 1 – Размер лесосечного фонда (по данным 2016 года), тыс. м³

	Всего	По областям					
		Брест- ская	Витеб- ская	Гомель- ская	Грод- ненская	Мин- ская	Могилев- ская
Лесосечный фонд	11 585,5	1 154,9	2 582,6	3 175,8	769,4	1 930,2	1972,6
в том числе на труднодоступных участках	1 378,9	214,0	482,2	289,7	43,6	200,7	202,7

Применение лесной техники для заготовки древесины на труднопроходимых лесных участках (переувлажнённые и торфяные почвы, песчаники, заболоченные участки, овраги, буреломы и т.д.) практически невозможно из-за низкой несущей способности грунта, пересеченного рельефа местности и развитой сети водных преград в виде рек и ручьев. Традиционная система машин лесозаготовительных предприятий, базирующаяся на тяжелых колесных

или гусеничных лесопромышленных тракторах и машинах на их базе, не может обеспечить эффективного освоения таких труднодоступных лесосек, т.к. высокое давление тяжёлых лесозаготовительных машин на грунт приводит к разрушению почвы и повреждению подроста, а эксплуатация машин на труднопроходимых участках приводит к преждевременному её выходу из строя. Заготовка древесины в таких условиях возможна с использованием канатных лесотранспортных установок. На болотистой и пересеченной местностях канатные дороги часто представляют единственное реальное решение проблемы трелёвки лесоматериала.

В Беларуси, имеющей леса, произрастающие на переувлажненных и заболоченных местах, проблема создания специальной техники для разработки труднодоступных лесосек весьма актуальна. В первую очередь это касается специальных средств первичного транспорта леса, таких как канатные трелевочные установки, которые в Беларуси не выпускаются. В России имеются канатные установки МЛ-139 и МЛ-43А. Из зарубежных производителей следует отметить чешскую фирму «Larix» и немецкую «Ritter», а также известные фирмы «Тайфун», «Синхрофалк», «Штайер», «Коннер», «Адлер», и др., создавшие гамму установок как мобильных самоходных, так и стационарных с длиной трассы от 300 до 1000 м., и которые широкое применение получили, в основном, в странах мира, имеющих горные леса.

В настоящее время на ОАО «Минский тракторный завод» в рамках задания АТ-02.38 ГНТП «Машиностроение» создана мобильная трелевочная канатная машина «БЕЛАРУС» МТК-431 на базе лесохозяйственного трактора для заготовки древесины на переувлажненных почвах, заболоченных лесосеках и из труднодоступных мест.

Машина трелевочная канатная «БЕЛАРУС» МТК-431 является передовой, не имеющей аналогов в РБ разработкой в отечественном машиностроении в области лесозаготовительных машин. При ее разработке учитывался опыт создания лебедок трелевочных приспособлений, использовались передовые идеи и решения зарубежных производителей. Важным аспектом явились пожелания потребителей данного вида техники, а именно – лесхозов Республики Беларусь. Были учтены их требования в части технических характеристик машины и предложения по более полному конструктивному соответствию машины выполняемым технологическим операциям.

В результате проведенного на стадии проектирования машины анализа схем канатных установок, их компонентов, условий работы, разработана конструкция трелевочной канатной машины, состоящей из следующих узлов и систем (рисунок 1):

1. Энергетического средства и транспортного шасси – трактора лесохозяйственного «БЕЛАРУС» Л1221 с мощностью двигателя 90 кВт, как наиболее адаптированного к работе в лесу с канатной установкой;

2. Складывающейся головной мачтой-опорой рабочих канатов, установленной на заднем навесном устройстве базового трактора;

3. Лебёдок с несущим, тянущим и возвратным канатами, размещенных внутри и снаружи несущего корпуса трелевочной установки и имеющих гидравлические приводы;

4. Электрогидравлического управления барабанами лебёдок с выносного пульта, осуществляемого одним оператором;

5. Канатно-блочной системы, состоящей из грузовой каретки с системой блоков для подтягивания и подъёма лесоматериалов, блока для закрепления возвратного каната на тыловой мачте и промежуточных опор несущего троса;

6. Комплекта приспособлений для монтажа трассы канатной дороги на лесосеке: канатных растяжек для закрепления мачт, устройств для натяжения канатов (талрепы, карабины, дополнительные лебёдки и т.д.), приспособлений для закрепления канатов на деревьях и анкерах и др.

7. Толкателя, установленного спереди энергетического средства и выполняющего несколько функций: расчистка и планировка площадки для установки машины (является дополнительной опорой для устойчивости машины), как противовес для улучшения управляемости.



а)



б)

Рисунок 1: а – Общий вид машины в транспортном положении; б – Машина на лесосеке в развернутом положении при трелевке лесоматериала

Согласно техническому заданию на разработку машины трелевочной канатной лебедки несущего и тягового канатов развивают тяговое усилие 50 кН, обеспечивая грузоподъемность канатной дороги 1200 кг, мачта в рабочем положении имеет высоту 6 м, масса канатной установки составляет 1450 кг, а общая масса машины – 8400 кг. При этом канатоемкость барабанов несущего, тягового и возвратного тросов обеспечивают дистанцию трелевки 200 м.

Схема канатной дороги в развернутом положении представлена на рисунке 2.

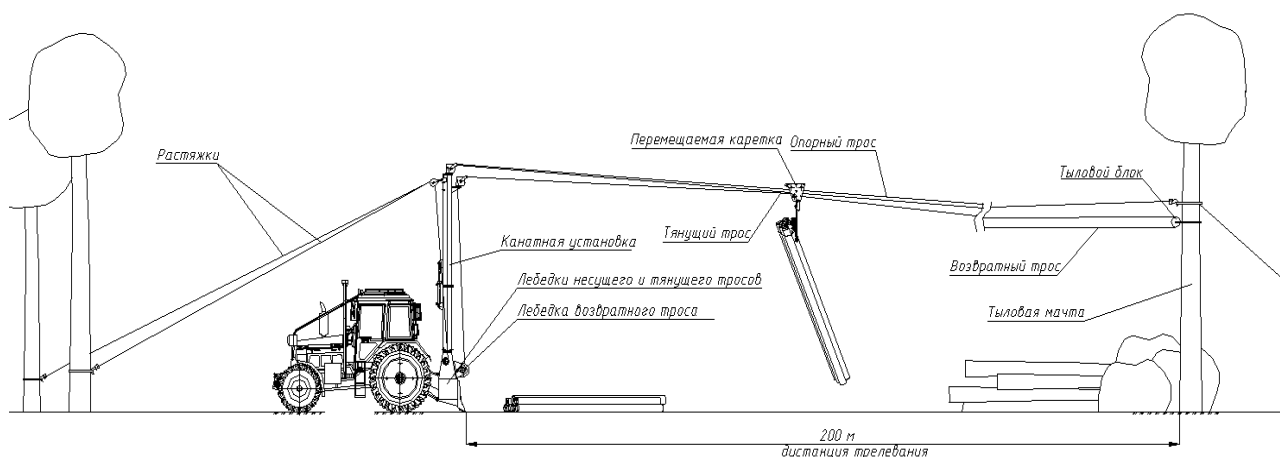


Рисунок 2 – Принципиальная схема канатной дороги в развернутом положении

Трелевка древесины выполняется канатной установкой посредством входящих в ее состав лебедок несущего, тянувшего и возвратного тросов, протянутых через блочную систему, закрепленную на раскладывающейся головной и тыловой мачтах.

В качестве тыловой мачты канатной установки, в зависимости от поставленной задачи могут быть использованы деревья, деревянная или металлическая мачта, установленная на

грунт (вкопанная или закреплённая иным способом). Растяжки крепятся к грунту анкерами, в качестве которых могут служить пни, деревья или заделанные в грунт брёвна и анкеры различных типов.

Монтаж канатно-блочной системы выполняют на земле, а затем механизировано поднимают в рабочее положение путём натяжения несущего каната, осуществляемое вращением барабана лебёдки с помощью гидромотора. Прокладку трассы на местности можно производить механизировано, за счёт использования возвратного каната для вытягивания несущего и тянущего каната, а также для подъёма блоков и канатов на высоту тыловой мачты.

После развертывания канатной дороги процесс трелевки по приведенной схеме содержит следующие операции. С помощью возвратного каната грузовую каретку перемещают по несущему канату в направлении тыловой мачты к месту сбора лесоматериала. С помощью чокеров производят зацепку деревьев с фиксацией их через скользящие серьги на тянущем тросе. Тянушим тросом формируют пачку, которую после фиксации под кареткой в полуподвешенном или подвешенном состоянии перемещают к месту погрузки на подвижной состав лесовозного транспорта или в штабель. Здесь пачку отцепляют от каретки и процесс повторяется. При этом конструктивно машина имеет возможность производить относительно развернутой трассы дороги как продольную, так и поперечную трелевку древесины.

Выбранная схема канатной установки позволила создать машину трелёвочную канатную, имеющую минимальный конструктивный вес, высокую проходимость и мобильность на базе серийного, хорошо знакомого лесозаготовителям трактора, максимально использовать возможности серийного тракторного оборудования (гидроприводов, вала отбора мощности и др.). Развертывание дороги имеет минимальные трудозатраты по монтажно-демонтажным работам за счёт механизации работ при установке канатно-блочной системы и малой массы отдельных её элементов.

В итоге, по совокупности ряда преимуществ перед традиционной тракторной трелёвочной канатная трелёвка в условиях труднодоступной местности позволит:

1. Расширить технологические возможности предприятий и обеспечить более полное освоение лесосечного фонда;
2. С учётом имеющейся дорожной сети сократить затраты на строительство лесовозных усов и в итоге на трелевку лесоматериалов;
3. Снизить загрязнение древесины механическими примесями;
4. Улучшить экологическое состояние лесов;
5. Обеспечить сохранность подроста;
6. Улучшить ритмичность работы предприятий в течение года.

LOGGING RESIDUES AS A RENEWABLE ENERGY SOURCE IN POLAND

Moskalik T., Assoc. Prof., PhD

Warsaw University of Life Sciences, Faculty of Forestry, Department of Forest Utilization
(Warsaw, Republic of Poland), e-mail: tadeusz.moskalik@wl.sggw.pl

ОТХОДЫ ЛЕСОЗАГОТОВОК – КАК ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ В ПОЛЬШЕ

Москалик Т., проф., д.н.

Варшавский университет естественных наук
(Варшава, Республика Польша)

Continuous civilization and economic development is inseparably connected with huge amount of energy consumption. In the increasingly energy sector, the fossil fuels are replaced by renewable energy sources. The European Union's energy targets to be met by 2020 say about 20% of EU energy consumption to come from renewable resources. In the case of Poland, the energy share coming from renewable sources by 2020 should increase to 15%. The aim of the study is to present possibilities of logging residues utilization for energy production applied in Polish conditions.

Key words: renewable energy, forest biomass, logging residues bundling, chipping

Introduction

Intense social and economic development observed in many different parts of the world has contributed to a growing interest in various types of energy carriers. According to estimations, during the next thirty years the demand for energy will grow by 30%, and even by ca. 60% in developing countries (Outlook for Energy 2012). Promotion of renewable energy sources (RES) has been especially intense in European Union countries. Under the EC Directive of 2009, presently in force, new objectives were specified with regard to increasing the share of energy from renewable sources in the general balance of energy consumption. The use of RES contributes to the diversification of supply sources and creates conditions for the development of distributed energy based on locally available resources. Taking into account climatic and geographic Polish conditions, it is believed that one of the main energy sources could be biomass, including biomass coming from forests as well.

The recent period has seen a considerable interest in using of logging residues. Previously, for many decades this material found application mainly for the production of small-size wood, used by local communities for the purposes of heating. The remaining parts, such as small twigs and needles of coniferous trees were crushed by specialist machines directly at the cutting site, thus providing a reservoir of nutritional substances for the subsequent tree stand generations (Sadowski and Moskalik 2007). Nowadays, more and more frequently, large heat generating plants as well as heat and power generating plants are willing to receive biomass from logging residues.

The most common supply chain in Poland is based on chipping the raw material at the roadside. Chipping can also take place directly at the logging site, on the terminal, or at a heat generating plant. In Poland for last years bundling of logging residues has been applied with growing success (Moskalik et al. 2016).

Material and method

The paper presents two main processes applied in Polish conditions: logging residues chipping and bundling. Research plots where all efficiency measurements of the chipper were conducted were composed of four research plots located in northern part of Poland, out of which three differed mainly with respect to chipping management methods resulting from differences in tree species composition and purposes of silviculture, and one division in which late thinning was applied as an

upkeep treatment. BANDIT 2090 is the model of the chipper whose efficiency has been analyzed. It is a typical compact drum wood chipper. Productive capacity of the chipper, defined as the amount of energy chips produced per unit of time, measured in m^3h^{-1} .

In the case of bundling John Deere slash bundler 1490D was the subject of the study. The basic unit of the bundling device was an eight-wheel forwarder, powered by John Deere 6068 HTJ/136 kW engine.

It was decided that the study would be conducted in three variants. The first variant (V1) focused on the areas where timber harvesting was performed in a traditional way, using a chain saw. Logging residues were evenly distributed over the area and not accumulated. The remaining two technologies were connected with machine acquisition of timber by means of a harvester. In the second variant (V2) the residues were mechanically raked into strips, whereas in the third variant (V3), the trees were cut in such a way that after several trees had been processed it was possible to gather the residues into a pile.

The study area was located in north-eastern Poland and comprised 18 selected plots. All research plots contained coniferous stands, dominated by Scots pine with varying proportions of Norway spruce and scattered birches. Efficiency of the bundler, expressed by the number of bundles h^{-1} , was estimated on the basis of field measurements conducted in selected plots.

Results

Chipping

In analyzed cases, operational productivity ranged from ca. 13.7 to 16.6 m^3h^{-1} (Figure 1). Observed disparities were due to differences in respective tree stands as well as the effect of various types of silvicultural activities performed prior to chipping. The highest productivity was observed under the category of group clear cutting, where three groups were cut, covering the total area of ca. 1 ha. The cutting was performed with chainsaws and low quality timber was arranged into piles, which considerably facilitated work a wood chipper. The lowest productivity was observed in the area of thinning. The outcome was significantly affected by a wide dispersion of the raw material and the fact that the logging residues in that particular area were smaller in comparison to their counterparts in other areas.

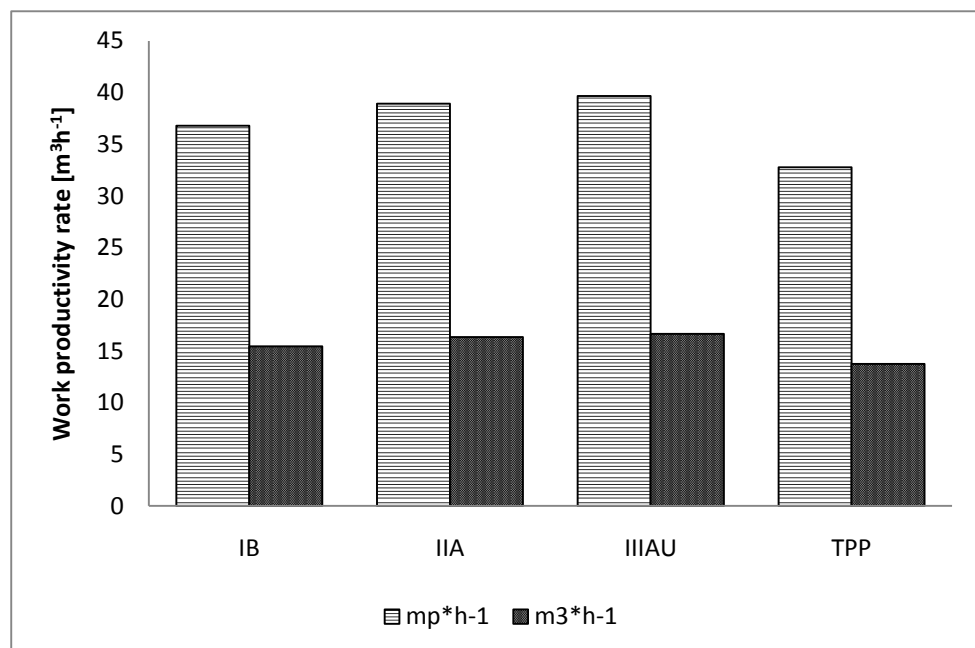


Figure 1 – Operational productivity of logging residues chipping

Bundling

Figure 2 shows average work efficiency values for the analyzed variants. The highest efficiency could be observed in the variant where the residues had been gathered into piles prior to bundling. In that case the average efficiency amounted to 21.85 bundles h^{-1} . In the variant where the residues were scattered, work efficiency equaled 15.21 bundles h^{-1} . Furthermore, it was stated that there were statistically significant differences between efficiency levels achieved in particular variants.

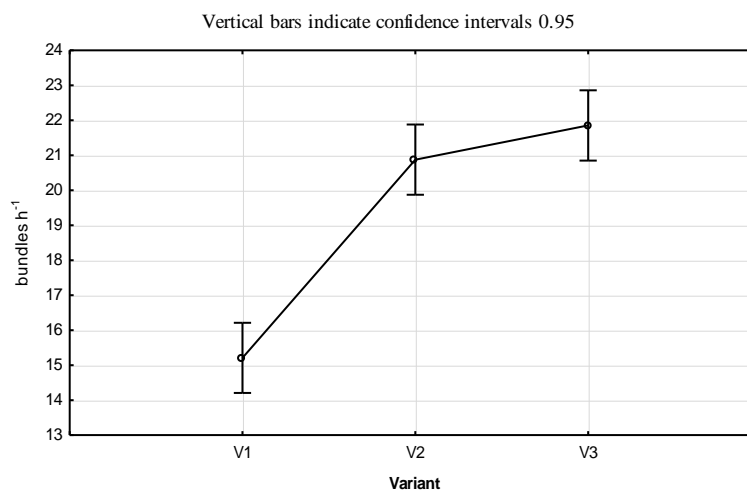


Figure 2 – Average work efficiency of the process of bundling logging residues in particular variants

Discussion

Until the year 2004, in Poland, the most commonly implemented method of using logging residues was burning them directly on the ground after having previously turned thicker branches into fuelwood. Despite the simplicity of this activity, the process of burning had an unfavourable effect on the environment in comparison to other methods. Intense development of technologies for energy acquisition from forest biomass has provided conditions facilitating the use of logging residues on the industrial scale.

Field conditions are one of the most important factors which affect work efficiency in the technological process connected with logging residues utilization. Work efficiency values obtained in the course of the present research were mostly similar to results obtained by other authors. Existing differences were due, first and foremost, to slightly different conditions with regard to performed operations.

Logging residues bundling is beneficial from the point of view of logistics, since it makes possible to use the same technical measures as those used in transporting round wood. In the case of chipping there is a need to use a special containers or trailers.

Conclusions

- Continuously growing worldwide interest in renewable energy sources contributes to the fact that new technologies are sought for, including ones based on forest biomass. One of possible solutions in this field is utilizing logging residues.
- An average operational productivity of the chipping process equaled 15.6 m^3h^{-1} . The values changed depending on tree stand type and ranged from 13.6 to 16.7 m^3h^{-1} . Factors determining the changing values of operational productivity included concentration and arrangement of raw material.

- Effectiveness of the bundling process, expressed by the achieved work efficiency, largely depends on how orderly the residues have been distributed over the forest area. In the case they have been gathered in the form of strips or piles the machine does not have to move all over the work area in order to collect scattered material, which results in an increase in efficiency by 25-30%. This directly affects the amount of unit costs.
- Logging residues bundling can provide an interesting alternative to technologies based on chipping the raw material directly on the chipping sites, especially considering the fact that in the case of bundling it is possible to use standard transport, the same that is used for removal of round wood.

REFERENCES

1. European Commission 2009. Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use energy from renewable sources. Brussels.
2. Moskalik T, Sadowski J., Zastocki D. 2016. Wybrane technologiczne i ekonomiczne aspekty balotowania pozostałości pozrębowych. Sylwan 160(1): 31-39.
3. Sadowski. J., Moskalik. T. 2007. Technologiczne i ekologiczne aspekty wykorzystania pozostałości zrębowych na cele energetyczne. Biomasa dla elektroenergetyki i ciepłownictwa – szanse i problemy. Wydawnictwo “Wieś Jutra”. Warszawa. s: 193-197.
4. The Outlook for Energy: A View to 2040. <http://cdn.exxonmobil.com/~media/global/files/outlook-for-energy/2016/2016-outlook-for-energy.pdf>

**DEVELOPING WOOD CHIPS AND PELLETS AS SOURCE OF ENERGY.
CHALLENGES AND SOLUTIONS**

Christian Rakos, CEO, Dipl. Ing. Dr.

proPellets Austria

(Wolfsgraben, Austria), e-mail: rakos@propellets.at

**ПРИМЕНЕНИЕ ДРЕВЕСНОЙ ЩЕПЫ И ПЕЛЛЕТ КАК ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ.
ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ**

Христиан Ракос, Исполнительный директор, инж.

Ассоциация proPellets Austria

(Вольфсграбен, Австрия)

Abstract

The development of wood chips and pellets as source of energy is a complex process which involves technology development as well learning processes among all persons involved in market development and technology deployment. Austrian experiences show that technology development took decades to reach today's level of fully mature technology. The proper integration of these systems with energy demanding systems such as buildings or district heating systems is another challenge that must be carefully addressed. Finally, organizing an efficient fuel supply chain is a complex task that needs to be carefully addressed and developed. Training of all persons relevant for technology deployment and use is a critical success factor. This includes professionals such as architects, engineering consultants, installers, maintenance professionals as well as all persons active in the fuel supply chain. Quality management schemes for planning of installations as well as for fuel supply chains as the ENplus system for pellets have been critical for bioenergy success in Austria.

Bioenergy systems need higher upfront investment than fossil fuel systems. Even if operation costs can be significantly lower than with fossil fuels and levelized costs are lower than for fossil systems experiences have shown that investment support or taxation of fossil fuels are critical for technology deployment.

Technology development

The improvement of biomass combustion technology started in 1980 and took several decades as shown by figure 1. Starting point of technology development was the requirement to reduce emissions of biomass combustion equipment. In the course of time significant research and development capacities were developed in Austria making it a center of competence in biomass combustion.

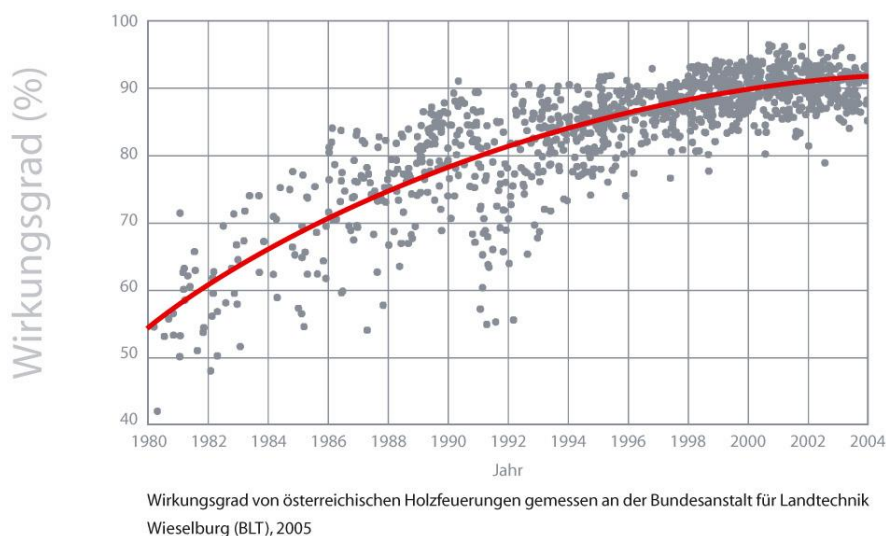


Figure 1 – Efficiency of biomass boiler models tested in the Austrian official testing lab BLT

Today Austrian biomass boiler manufacturers are exporting state-of-the-art technology worldwide and are cooperating with companies that produce parts or entire biomass combustion systems on their behalf or based on license agreements.

System integration and training requirements

The integration of biomass combustion systems is a challenge because they have different operational characteristics than fossil fuel systems such as gas or oil boilers. Biomass boilers react slower than oil or gas burners and need to be controlled in a way that prevents permanent stop and go operation. Mistakes in control strategy and hydraulic installations have led to many problems of technology deployment and a need to offer extensive training activities for related professionals such as planners and installers emerged. As a consequence the European Union has required member states in its Renewable Energy Directive (Directive 2009/28/EC) to establish qualification and certification schemes for these professionals to facilitate renewable energy deployment.

Biomass district heating systems

Particular problems emerged with the installation of biomass district heating systems. Benchmarking studies revealed a wide variation of technical performance, plant efficiency, electricity demand, specific investment costs and other relevant parameters. (Rakos, 1997).

The reason for these problems was the lack of experience update engage engineering consultants as well as the lack of monitoring and benchmarking of plant performance. As a consequence a quality management scheme was installed in Switzerland Austria and part of Germany: https://www.klimaaktiv.at/erneuerbare/effiziente_heizwerke.html. Participation in this quality management scheme was established as a precondition to receive subsidies for the construction of biomass district heating plants.

Development of fuel supply chains

As with conventional fuels the standardization of fuel quality is critical for the operation of bioenergy plants. Supply chains for wood chips were developed in Austria mainly by farmers. As these farmers were frequently also the operators of the bioenergy systems they quickly learned to understand the operational problems caused by inconsistent or contaminated woodchips. Adequate logistic concepts were developed to store and predry piles of logs at the forest roads before chipping. Also logistic hubs for wood fuels were established to supply the increasing number of biomass district heating systems.

Inconsistent quality and contamination also caused numerous problems when wood pellets were introduced as the fuel in the late 1990s. The establishment of standards and quality certification schemes proved critical for a successful market development. Today the ENplus quality certification for wood pellets is used worldwide and has become the industry's standard for quality for the use of pellets in heating installations (Figure 2).

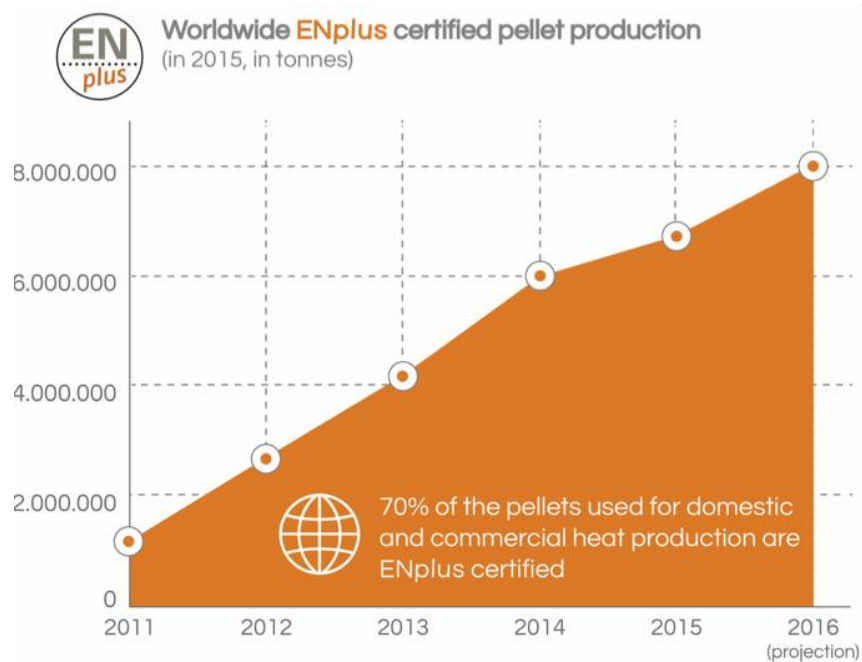


Figure 2 – Worldwide ENplus certified pellet production
(Source: AEBIOM statistical report 2016)

Financial incentives

The main driving force for developing bioenergy use in Austria was the political intention to support rural economic development. Consequently investment support was offered mainly to farmers groups that developed small biomass district heating schemes or individual woodchip heating systems. Later also utilities actively participated in the development of such systems. Investment support reached 50% in the beginning and was later reduced to 30% on average. Other countries such as Sweden were able to convert large parts of fossil energy demand to bioenergy by introducing Carbon taxation. Today Sweden is supplying almost 50% of final energy demand from renewable energy.

REFERENCES

Rakos (1997): Dissertation “15 Jahre Biomasse Nahwärmenetze in Österreich”, TU Wien 1997.

DEVELOPMENT OF THE WOOD-BASED BIOENERGY-SECTOR IN AUSTRIA

Lorenz Strimitzer, Head of Center Renewable Materials & Resources, Dipl.-Ing.,

Gabriele Brandl, Scientific Officer, Dipl. Ing.

Austrian Energy Agency (AEA)

(Vienna, Austria), lorenz.strimitzer@energyagency.at, gabriele.brandl@energyagency.at

РАЗВИТИЕ СЕКТОРА БИОЭНЕРГЕТИКИ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ В АВСТРИИ

Лоренц Стримицер, Руководитель Центра возобновляемых материалов и ресурсов,

Габриела Брандл, научный сотрудник

Австрийское Энергетическое Агентство

(Вена, Австрия)

Austria is a forest-rich country and its wood resources are managed sustainably. In order to achieve national climate mitigation targets and to foster regional development and welfare, the use of wood for energy production has been greatly expanded over the last 15 years, notably with public support. This was accompanied by positive effects on the Austrian economy. In recent years the growth of the bioenergy market has slowed down, but the climate treaty of Paris (COP 21) and the promotion of the transition towards a bioeconomy could be major chances to further growth.

Almost half of Austria's national territory (83,879 km²) is covered with forests. In contrast to many Eastern European Countries, Austrian forests are managed above all by private forest owners. Half of the forest area is managed by small holdings <200 ha, the other half is managed by about 1,500 enterprises (>200ha), communities, provinces as well as the Austrian Federal Forests and other publicly owned forests (in total 15% of forest area, 546,489 ha). Since the 1960ies the Austrian Forest Inventory (ÖWI) is carried out and provides profound monitoring data on forests, their status and developments using sample surveys, exhaustive surveys as well as estimations. The forest area grew continuously from 3.69 million ha in 1961 to 3.99 million ha in 2010, largely due to natural succession. Moreover, the development of the growing stock has reached a record level (1.135 billion m³ over bark in 07/09, compared to 0.78 billion m³ o.b. in 1961). Incremental growth (30.4 million m³ o.b.) clearly exceeds annual utilization (26 million m³ o.b.) (BFW, 2014). A major reason for this is that great structural changes have been taken place in forestry. The number of urban forest owners who are less willing to work in forests is steadily increasing since decades. Moreover, 21.5% of the total forest area is protected in accordance with Forest Europa criteria. Despite its ability to provide great amounts of wood as raw material and for energy production, Austrian forests are – due to topographical conditions – also very important for the protection against natural hazards (avalanches, rockfall, mudflow etc.). Therefore, sustainable forest management has a very long tradition and is secured inter alia in the Austrian Forestry Act 1975. Commercial forests are dominated by coniferous trees (2,139,000ha), above all spruce (81%), followed by pine (8%), larch (7%) and fir (4%). Broadleaved species (821,000ha) are dominated by beech (41%), other hardwoods like maple, ash or chestnut (34%), 17% softwoods and 8% oak. However, there is a trend that spruce is declining considerably in favor of broadleaved forests, shrubs in forest stands and fillers in smaller gaps (BFW, 2014).

Against this background, Austria has also a very productive wood processing industry, notably sawmills (using 16.1 million m³ of wood [2014]), pulp and paper production (8.1 million m³) as well as particleboard industry (3 million m³). Since 2005, the Austrian Energy Agency monitors the wood flows on behalf of the Austrian Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management (BMLFUW). The analysis provides an overview on mass flows of the various forms of usage for different wood assortments, starting from their production to their wide range of application. The results show that approx. 24 million m³ of wood have been used for energy production in 2014, about half of it relates to sawmill co products, black liquor and bark. The wood flows illustrate that wood resources are used in a very cascading way. The Austrian sawmill industry tra-

ditionally imports great amounts of roundwood (5.8 million m³ or 36% of its resource need) and exports sawnwood (5 million m³). As a result, notable amounts of sawmill co-products are used for energy production in Austria (5.4 million m³, thereof 1.8 million m³ pellets). About 20% of the fresh wood supply is used directly for energy production, mainly wood chips (5.7 million m³) and firewood (6.1 million m³) (Strimitzer et al., 2016). Despite being a very important wood assortment in the Austrian economy, the use of traditional firewood has been in a slight but steady decline over the last decades.

The use of wood for energy production has seen a rapid development in the last 15 years (see figure 1). This is mainly due to the political aspiration to foster bioenergy applications in various matters of law, as well as in standards etc. Austria is obliged to fulfill its goals according to EU regulation (Renewable Energy Directive 2009/28/EC) and committed itself to reduce fossil greenhouse gas emissions. Austria's Energy Strategy (2010) focuses on renewable energy and energy efficiency and a new Climate and Energy Strategy is expected to be published during 2017. Due to these efforts, the current share of renewables in final energy consumption has already reached the target value for 2020 (34%), with bioenergy being the most important renewable source (see figure 2). For bioenergy production, wood is by far the most important resource, especially in the heating sector. According to recent data of Statistics Austria (Energy Balance 2015), wood fuels (excl. black liquor) accounted for 26,044 GWh in space heating and additional 9,224 GWh in district heating. As an example for state support, the Austrian Green Electricity Act and the supportive feed-in tariff scheme came already into force in 2002 and provided necessary conditions for the development of production biomass cogeneration (CHP) capacities. Currently, 40% of all wood chips from forests are used in cogeneration plants. The growth in the bioenergy sector is also linked to the development of new innovative technologies and the built-up of Austrian know-how.

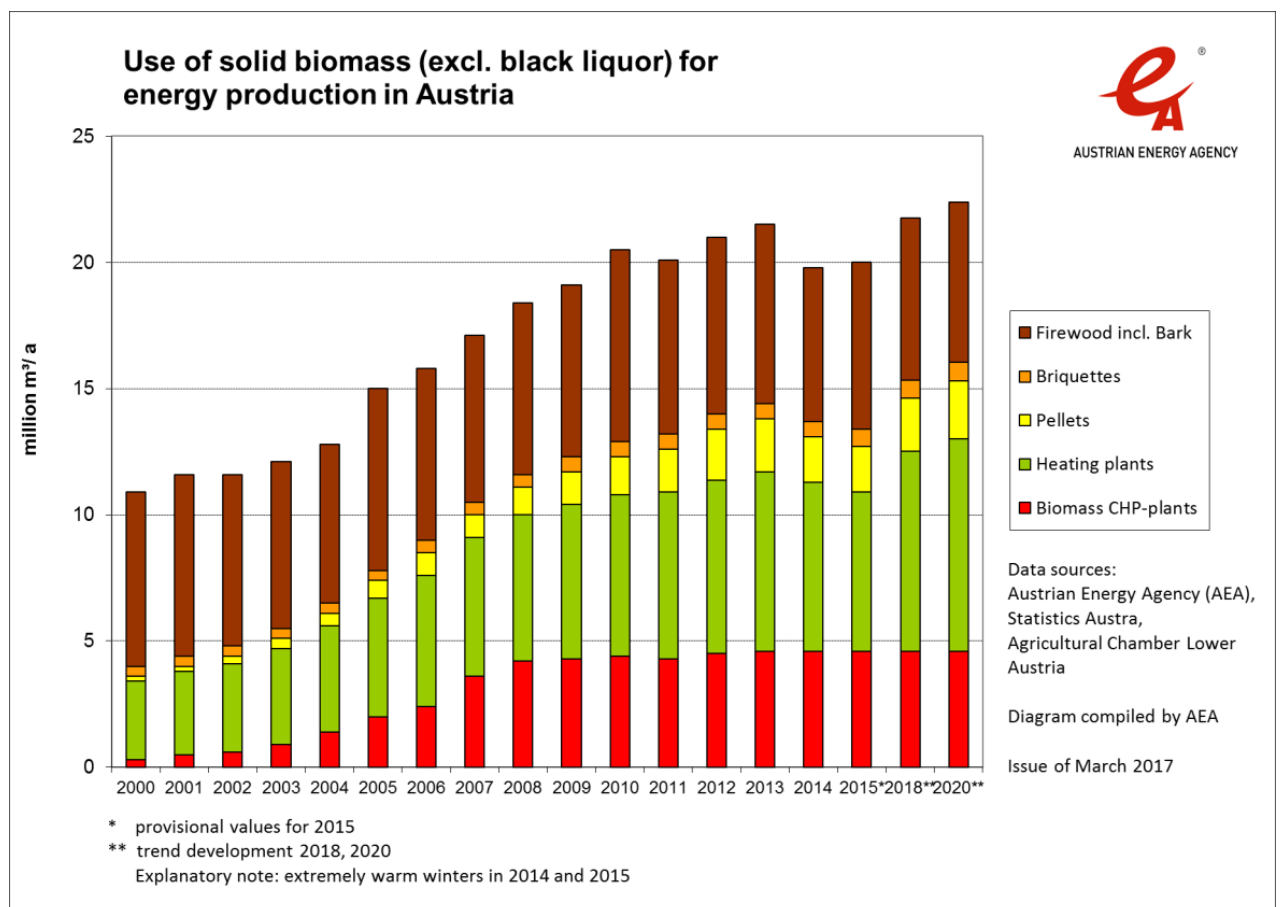


Figure 1 – Use of solid biomass for energy production in Austria

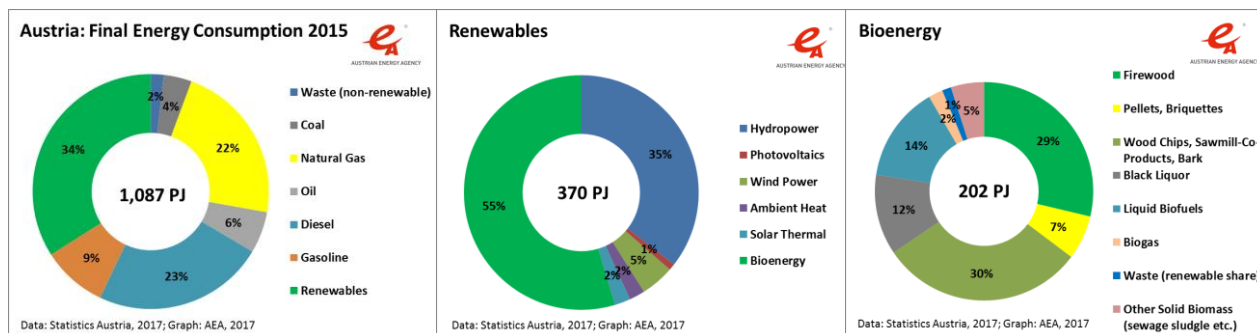


Figure 2 – Final energy consumption in Austria in 2015, highlighting renewables and bioenergy

Despite the development of biomass cogeneration, the use of pellets increased from 0.2 million m³ in 2000 to 1.8 in 2014. The Austrian pellet industry continuously developed innovative, clean and more efficient boilers, and developed its production capacities. Austrian boiler manufacturers are now amongst the world technology leaders, pellet plant construction companies are active globally and high quality pellets are produced in 40 production plants. Additionally, a wide range of standards have been developed in order to secure highest fuel quality and quality of technologies and applications. In the last years, the domestic pellet production (1 million tons in 2015) clearly exceeded the domestic consumption (850,000 tons) (ProPellets, 2017). In the last years, there has been a considerable uptake in biomass district heating, partly due to investment subsidies. From 1993-2015, 18,084 projects in the field of renewable energies have been subsidized in total with 640 million Euros in the framework of the Environmental Support in Austria. In 2015, inter alia 13.6 million have been spend for biomass district heating systems, 3.7 million for biomass micro-grids and 3.7 million for individual biomass plants. The corresponding, environmental-related investment volume of the projects in these three sectors amounted to 136 million Euros or 29% of the total environmental-related investment volume (BMLFUW, 2016). In order to further increase technical quality and efficiency of biomass district heating systems, a binding, nation-wide quality assessment program (“QM Heizwerke”) has been implemented on behalf of BMLFUW. Currently, there are more than 2,100 biomass heating plants in operation (1,860 MW total capacity, 4,650 GWh heat p.a.), 111 biomass CHP-plants according to green electricity act (313 MWel; 2,128 GWh power p.a.; 4,457 GWh heat p.a.[excl. CHP plants from wood processing industry]) as well as 22 wood-gas-CHP plants (ÖBV, 2017).

The expansion of bioenergy and increased use of wood assortments was accompanied by positive effects on the Austrian economy. A case-study assessing regional effects of bioenergy use has shown that it secures seven times more jobs than a fossil reference system. Moreover, the direct regional value added is roughly six times higher (AEA, 2015). Data for biomass cogeneration plants also reveal great revenues in the fuel production sector (mainly in rural areas) as well as added value generated by investment and operating costs (AEA, 2017). The use of wood for energy production increases domestic security of fuel supply and reduces the dependence on fossil fuel imports. Moreover, the use of renewable energy creates approx. 40,000 full-time jobs, half of it relating to bioenergy. 75% of the biomass boiler production is currently exported, the total turnover of the 75 Austrian biomass boiler and stove-producers amounts to 1.1 billion Euros p.a., the revenues in the total bioenergy sector amount to 2.8 billion Euros (ÖBV, 2016). Moreover, the production value of the whole forestry, wood processing- and paper industry amounts to 12 billion Euros p.a., while the average export surplus of these sectors is approx. 3.5 billion Euros p.a. (FHP, 2012)

However, recent developments show a slowdown in bioenergy growth. Cogeneration plants according to the Green Electricity Act are facing expiring feed in tariffs (originally limited to 13-15 years); a new regulation is currently under negotiation. Boiler sales were in decline since 2012, the

number of newly installed pellet boilers (incl. boilers > 100kW) dropped from 12,067 in 2012 to 5,069 in 2015. Also the number of newly installed logwood was in decline and fell to 3,453 (2012: 6,887), same applies to wood chip boilers (2012: 4,264; 2015: 2,308) (Haneder, 2016). This is due to the combination of several factors: warm winters (especially 2014 and 2015), reduced private investments, and – above all – low oil prices were major obstacles for the bioenergy market. Moreover, there is a growing competition to other renewable energy technologies like heat pumps, especially for small capacity units for households. Furthermore, better insulation of houses effect in decreasing heat demands (e.g. “passive” houses). Major challenges also include replacing current boilers and stoves with more efficient ones and also promoting the use of waste heat in existing CHP plants (Panoutsou et al., 2016). Nevertheless, also several new possibilities for woody biomass exist, including various bio-refinery concepts, power to gas with biomass as carbon source, future uses of biomass as energy-storage to match consumer demands, as well as the production of diverse, high value chemicals and materials from woody biomass. Anyway, future biomass markets are expected to be situated there where biomass is available in sufficient amounts (Hofbauer, 2017). The ratification of the climate treaty COP 21 can be seen as major chance for wood based bioenergy, if biomass can further be established in the heating sector, especially replacing old oil boilers. Austrian and Central European forests are able to meet potentially increasing demands for wood raw materials for industrial and energetic applications under the precondition of sustainability. In Austria, incremental growth exceeds annual wood utilization by 4.4 million m³. A recent study has also shown that the transformation of Austria to a bioeconomy (replacement of fossil-based materials and energy by biomass) could be accomplished without additional biomass imports (Kalt et al., 2016). Especially the substitution of carbon-intensive materials with long-lived wood products is a highly efficient way to mitigate greenhouse gas emission (Kalt et al., 2015). The intensified use of wood is therefore able to play a substantial role to ensure achievements of the national targets regarding climate change mitigation.

Acknowledgements: The Austrian Energy Agency (AEA) is the national center of excellence for energy in Austria with renewable energy (RES), energy efficiency (EE) and new technologies being the focal points of its work. Main purpose and goal of the AEA is to develop, support and implement measures that aim at a sustainable energy supply and use. AEA inter alia assists federal and provincial governmental administrations in defining energy, technology and research policies, provides studies for and implementation of government programs related to RES, EE etc., provides scientific expertise and is active in several national and international research projects. Info: www.energyagency.at; office@energyagency.at; +43 (0) 1 586 15 24-0

REFERENCES

1. AEA (2016): Regionale Wertschöpfung und Beschäftigung durch Energie aus fester Biomasse. Forschungsbericht im Auftrag des Klima- und Energiefonds, Wien, März 2015.
2. AEA (2017): Volkswirtschaftliche Bedeutung von Ökostromanlagen auf Basis fester Biomasse in Österreich. Forschungsbericht im Auftrag der IG-Holzkraft, Wien, Jänner 2017.
3. BFW (2014): Austrian Forest Inventory of the Federal Research and Training Center for Forest, Natural Hazards and Landscape.
4. BMLFUW (2016): Umweltinvestitionen des Bundes 2015. Bericht zu den Umweltförderungen gemäß UFG und zur Schutzwasserwirtschaft gemäß WBFG, Kommunalkredit Public Consulting GmbH, Wien, April 2016.
5. Directive 2009/28/ EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC.
6. FHP (2012): Leistungsbericht Wertschöpfungskette Holz. Kooperationsplattform Forst-Holz-Papier, Wien, 2012.
7. Haneder (2016): Biomasse – Heizungserhebung 2015. Landwirtschaftskammer Niederösterreich, Abteilung Betriebswirtschaft und Technik, St. Pölten, Mai 2016.

8. Hofbauer (2017): Quo Vadis Biomass – Thoughts about the Current and Future Utilization of Biomass. Presentation at the Central European Biomass Conference, Graz, 19. January 2017.
9. Kalt G., Baumann M and Höher M. (2015): Simulating the transformation to a low-carbon bioeconomy with an integrated model of the energy system and the forest sector. Conference paper, 9.th IEWT, Vienna, February 2015.
10. Kalt G., Baumann M., Lauk C., Kastner T., Kranzl L., Schipfer F., Lexer M., Rammer W., Schaumberger A., Schriefl E. (2016): Transformation scenarios towards a lowcarbon bioeconomy in Austria. *Energy Strategy Reviews* 13-14 (2016) 125-133.
11. ÖBV (2016): Bioenergie Atlas Österreich. Österr. Biomasse-Verband, Wien, Dezember 2016.
12. Panoutsou C., Singh A., Kalt G. and Höher M. (2016): Integrated biomass policy frameworks – Austria. *Biomass Policies Report*, co-funded by IEE, March 2016; www.biomasspolicies.eu.
13. ProPellets (2017): Pelletproduktion und –verbrauch. <http://www.propellets.at/de/heizen-mit-pellets/statistik/> (28.03.2017).
14. Statistics Austria (2017): Energy Balance Austria 1970 – 2015 (detailed information). http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html (29.03.2017).
15. Strimitzer, Höher and Nemestothy (2016): Wood Flows in Austria, reference year 2014. Compiled in the framework of the Austrian Climate Protection Initiative “klimaaktiv”, Program “klimaaktiv energieholz”, on behalf of the Austrian Federal Ministry of Agriculture, Forestry, environment and Water Management (BMLFUW), Vienna, 2016.

**РАЗРАБОТКА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ШАССИ
ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАБОТ**

**Лой В. Н., доц., к.т.н., Арико С. Е., доц., к.т.н.,
Асмоловский М. К., доц., к.т.н., Германович А. О., ассист., к.т.н., Дудко Е. М., студ.**
Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), sergeyariko@mail.ru

**DEVELOPMENT OF A MULTI-FUNCTION CHASSIS
FOR ACCOMPLISHMENT OF FORESTRY WORKS**

**Loy V. N., Assoc. Prof., PhD, Ariko S. Ye., Assist. Prof., PhD,
Asmolovskiy M. K., Assoc. Prof., PhD,
Hermanovich A. O., assist. lecturer, PhD, Dudko Ye. M., stud.**
Belarusian State Technological University
(Minsk, Republic of Belarus), sergeyariko@mail.ru

The article considers the prospects of using milling equipment in the forestry complex of the Republic of Belarus. The results of a theoretical study of the influence of stand parameters on the force and power parameters of the drive are presented. The general concept of creating a universal chassis is described, taking into account the possibility of aggregating both milling equipment (mulcher, rotovator) and other forestry technological equipment.

Введение. Программой Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь по оснащению предприятий отрасли отечественной лесохозяйственной техникой предусмотрена позиция по совершенствованию технологий и внедрению в отрасли перспективных машин и орудий. Важнейшим направлением при этом является своевременное и качественное восстановление лесов после рубки. При этом 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 фрезерных орудий.

Обработка лесокультурных площадей почвенными фрезами позволяет получить рыхлый однородный почвенный субстрат, в котором будет измельчено и перемешано органическое вещество с грунтом. В данном субстрате на первых годах жизни создаются оптимальные условия для роста и развития посадочного материала, что позволит сократить количество уходов за лесными культурами и, соответственно, затраты на их проведение. Также твердосплавные рабочие органы почвенных фрез измельчают пни, корни и порубочные остатки, превращая их в плодородную органическую массу, при этом дробят мелкий и средний каменный грунт, что увеличивает равномерность обработки участков лесокультурного фонда.

Основная часть. Применение в лесной отрасли современного фрезерного оборудования, к которому в первую очередь следует отнести мульчеры и ротаторы, требует применения специализированных энергоемких шасси, обеспечивающих отбор мощности на привод данного технологического оборудования в 150–200 кВт при незначительных габаритных размерах. Это, в первую очередь, связано с тем, что использование серийно выпускаемых тракторов существенно снижает их ресурс, эффективность осуществляемых работ, а также ухудшают условия работы оператора.

На основе анализа специфики работы фрезерного оборудования при измельчении древесно-кустарниковой растительности, а также подготовке почвы под последующую посадку установлено, что разрабатываемое шасси должно иметь возможность осуществления переднего фронтального привода рассматриваемого технологического оборудования. Для этого зачастую используют погрузчики или специализированные гусеничные машины. При-

менение последних требует значительных эксплуатационных затрат, в том числе на переба- зировки. Использование погрузчиков большой мощности влечет за собой увеличение их стоимости, габаритно-массовых параметров и ограничение сферы применения фрезерного оборудования и самого шасси.

В связи с этим была разработана общая концепция создания универсального шасси, которая предусматривает возможность его агрегатирования как перспективным фрезерным оборудованием, а также имеющимся на предприятиях лесного комплекса технологическим оборудованием для обработки почвы, посадки лесных культур, агротехнического ухода, реконструкции насаждений и содержания лесных дорог. Для реализации поставленной цели на шасси предусмотрена возможность установки передней и задней 3-х точечной навески.

При этом выбор параметров универсального лесного шасси осуществлялся на основе проведенных расчетно-теоретических исследования с учетом предполагаемых природно-производственных условий эксплуатации.

Проведение исследования показали, что из всего многообразия применяемого лесохозяйственного оборудования наибольшие нагрузки возникают в процессе работы именно с фрезерным оборудованием. В связи с этим была разработана методика и проведена оценка требуемых силовых и мощностных параметров при работе шасси с мульчером и роторатором.

При этом рассматривались операции валки отдельно стоящих деревьев и кустарника различного диаметра, а также процессы мульчирования древесины и пней над уровнем почвы. Установлено, что использование универсального шасси с мощностью двигателя 300 л.с. (220 кВт) обеспечивает, при рабочей скорости в 0,8 м/с, возможно осуществления валки древесно-кустарниковой растительности диаметром до 12 см. При диаметре более 12 см рекомендуется осуществлять передвижение универсального шасси со скоростью около 0,5 м/с, обеспечивая возможность валки деревьев диаметром 20 см (данная операция не является характерной). В случае обработки скоплений из 5–10 деревьев диаметром 15–10 см соответственно скорость движения не должна превышать 0,2 м/с.

Следует отметить, что мощность, затрачиваемая на мульчирование древесно-кустарниковой растительности сопоставима с затратами мощности на измельчение пней без погружения в почву. При этом на мульчирование деревьев требуется в 1,7–2,1 раза меньше мощности чем на их валку. Более равномерного распределения затрат мощности на валку и измельчение древесно-кустарниковой растительности можно достигнуть за счет оснащения мульчера толкателем, что позволяет создавать предварительное натяжение волокон обрабатываемого древостоя и снизить удельные сопротивления резанию до 30%.

Изучение процесса подготовки почвы фрезерованием с использованием современного оборудования включало оценку возможности обработки почвы на различную глубину и установление требуемых силовых и мощностных параметров. В соответствии с расчетами установлено, что использование универсального шасси обеспечивает возможность обработки почвы на глубину до 35 см при скорости движения 2,2 км/ч (0,6 м/с). Проведенные расчетные исследования показали, что скорость движения не оказывает существенного влияния на сопротивление перемещению, так как условия движения существенных изменений не претерпевают, а мощность, затрачиваемая на перемещения, при изменении скорости с 0,3 м/с (1 км/ч) до 1 м/с (3,6 км/ч) увеличивается с 18,8 кВт до 62,5 кВт. При этом аналогичный характер имеет зависимость изменения силы сопротивления грунта резанию от скорости движения, что обусловлено увеличением подачи на зуб. Следует отметить, что большинство ротораторов оснащаются двухступенчатыми редукторами, которые обеспечивают частоту вращения 540 и 1000 об/мин. При этом использование роторатора на пониженной передаче редуктора приводит к увеличению требуемой мощности до 1,8 раза в зависимости от условий эксплуатации.

Ряд подготовительных работ в лесном хозяйстве сопровождается необходимостью выполнения выше рассмотренных операций друг за другом. В связи с этим были проведены исследования, включающие оценку возможности совмещения процесса очистки лесосек от

древесно-кустарниковой растительности с одновременной подготовкой почвы под посадку. Для выполнения данной операции ряд производителей мульчеров предусматривают возможность осуществления одновременного измельчения древесины и фрезерование почвы на глубину от 5 см до 20 см. Их применение в агрегате с разрабатываемым шасси на расчистке лесных площадей позволяет осуществлять сплошную обработку почвы на глубину до 20 см при скоплении стволов диаметром до 8 см либо при обработке отдельно стоящих деревьев диаметром 10–12 см, пней и лежащих деревьев диаметром до 15 см. Большинство производителей мульчеров выпускают их в трех типоразмерах в зависимости от ширины обработки (2,0 м, 2,25 м, 2,5 м). При этом увеличение данного параметра с 2,0 м до 2,5 м также требует увеличения мощности на фрезерование почвы при глубине обработки 20 см в 1,06–1,18 раз в зависимости от свойств грунта.

Исходя из требований по обеспечению различных скоростей движения при выполнении технологических операций осуществлен выбор параметров трансмиссии. Для обеспечения требуемых скоростей движения шасси при выполнении технологических операций, а также осуществления фронтального отбора мощности на шасси будет устанавливаться отечественный двигатель мощностью 300 л.с., редуктор отбора мощности, согласующий редуктор, насосы на привод тормозной системы и технологического оборудования, гидростатический ход, двухдиапазонную раздаточную коробку и два ведущих моста.

С целью повышения универсальности и возможности агрегатирования с имеющимся на предприятиях лесного комплекса оборудованием предусматривается возможность осуществления навески оборудования как спереди шасси, так и сзади, а также использование адаптерного устройства для обеспечения быстрой смены технологического оборудования.

Вывод. В настоящее время развитие лесного машиностроения Республики Беларусь требует создания универсального лесного шасси, которое может использоваться с имеющимся оборудованием для лесовосстановления, реконструкции насаждений и содержания лесных дорог, а также обеспечит внедрением передовых технологий и соответствующего технологического оборудования.

Общая концепция создания шасси направлена на максимальную его загрузку в течение года за счет навески имеющегося на лесохозяйственных предприятиях технологического оборудования различного назначения, а также предусматривает использование в качестве основных узлов и агрегатов отечественных комплектующих. Так в качестве силового агрегата рассматривается возможность установки двигателя минского моторного завода мощностью 300 л.с. Кроме этого будут использованы основные детали и узлы собственного производства (рама, мосты, редуктор отбора мощности и др.).

В связи с этим разработка и внедрение универсального шасси в лесохозяйственном производстве будет обеспечивать возможность круглогодичного ритмичного проведения 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 обеспечит повышения уровня механизации работ, связанных с обработкой почвы и удалением корней и снижением затрат на выполнение данных трудоемких и энергозатратных операций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основные направления совершенствования колесных машин в лесной отрасли / В.А. Симанович, В.С. Исаченков, В.А. Бобровский, С.Э. Бобровский // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 14–15 апр. 2016 г. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: И.С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2016. С. 170.

2. Механизация лесохозяйственных работ. Лабораторный практикум / М.К. Асмоловский, С. Н. Пищов, С.Е. Арико // Учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1-75 01 01 «Лесное хозяйство» /, Минск : БГТУ, 2014 – 92 с.

**СРЕДНЕЕ РАССТОЯНИЕ ТРЕЛЕВКИ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ –
РАСЧЕТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ И РЕАЛЬНЫЙ ПРОБЕГ**

**Сармулис З.¹, проф., д.т.н., Савельев А.¹, доц., д.т.н.,
Давиданс М.¹, преп., маг. техн. наук, Симанович В. А.², доц., к.т.н.,
Кононович Д. А.², асп.**

¹Латвийский сельскохозяйственный университет
(Елгава, Латвийская Республика), silvasav@inbox.lv

²Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), sergeyariko@mail.ru., denkon_92@mail.ru

**MEDIUM DISTANCE OF TIMBER PRIMARY TRANSPORT -
DESIGN INDICATORS AND REAL MARGIN**

**Sarmulis Z.¹, Prof., DSc., Savelyev A.¹, Assist. Prof., DSc.,
Davidans M.¹, Lecturer, Master of Engineering, Simanovich V. A.², Assist. Prof., PhD,
Kononovich D. A.², PhD student**

¹Latvia University of Agriculture
(Jelgava, Republic of Latvia)

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

The article presents methods for determining the average logging distance of timber primary transport for cutting in Latvia, Canada and the Republic of Belarus. Their comparative estimation is carried out. The analysis of the results of calculating the average distances of skidding according to methods for six cutting areas and comparing the obtained data with the actual value was carried out. The results of the studies confirmed the need for their improvement or the development of a new one that would take into account not only the geometric, but also the natural and production conditions for the exploitation of logging equipment.

Введение. Любой современный технологический процесс в лесной отрасли немислим без планирования энергетического потребления и тесно связан как с расходом топлива, так и с ожидаемыми выбросами углекислого газа (CO₂) в атмосферу. При этом технологическая схема разработки лесосеки выбирается исходя из имеющегося парка лесных машин, а процесс первичной транспортировки планируется на основе двух критериев:

- среднее расстояние подвозки (трелевки) заготовленных материалов;
- средняя грузовая рейсовая нагрузка.

В связи с этим цель настоящего исследования является определение разброса в показаниях расчётного среднего расстояния трелёвки заготавливаемых материалов согласно различным методикам и сравнение полученных данных с реальным пробегом лесотранспортной машины.

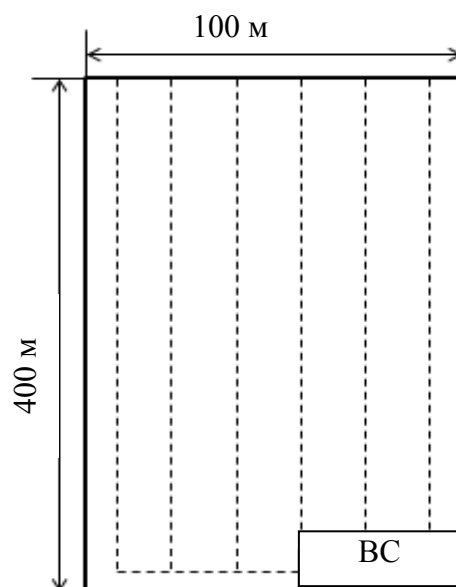
Основная часть. Для сравнения различных методик расчета среднего расстояния трелевки заготавливаемых лесоматериалов принимались следующие допущения:

- лесосека имеет прямоугольную форму со сторонами 100 м × 400 м (рисунок);
- подвозка лесоматериалов выполняется по волокам, размещённым параллельно длинной стороне лесосеки;
- ликвидный запас древесины составляет 250 м³/га, при этом объём заготавливаемой древесины составит 1000 м³;
- средняя рейсовая нагрузка – 10 м³;
- весь заготавливаемый лесоматериал располагается по территории лесосеки равномерно и на каждый волок приходится одинаковый объём транспортируемого лесоматериала (по 200 м³).

В соответствии с принятыми допущениями необходимо выполнить 100 транспортных рейсов (холостой ход + грузовой ход), чтобы осуществить транспортировку заготавливаемого объема лесоматериалов на верхний склад.

При расчете среднего расстояния трелевки в виду наличия микрорельефа (пни, ямы и т.д.) в Латвии с середины XX века применяется коэффициент увеличения среднего расчетного расстояния трелевки в размере 1,12–1,15, однако для типичных условий используется величина 1,135. В таком случае на сбор подвозимого лесоматериала объемом 10 м³ необходимо передвижение по волоку на расстояние 20 м при этом среднее расстояние между центрами таких отрезков составит также 20 м, а на каждый волок будет приходиться 20 подвозимых грузовых и холостых ходов. Подсчитав суммарный пробег для каждого рейса установлено, что транспортное средство по территории лесосеки проедет общее расстояние 56,8 км. Разделив это расстояние на количество проходов получили, что среднее расстояние трелевки составляет 284 м.

В последнее время в Латвии для определения среднего расстояния трелевки лесоматериала широко применяют метод определения числового значения через численную величину длиной диагонали контура лесосеки разделенную пополам. При этом среднее расстояние трелевки составляет



ВС – верхний склад

Рисунок – Схема теоретической лесосеки

$$S = \frac{\sqrt{(100^2 + 400^2)}}{2} = 206 \text{ м.}$$

Тогда, теоретический общий пробег транспортного средства (форвардера, трелевочного трактора) будет равным 41,2 км.

В Канаде среднее расстояние трелевки заготавливаемых лесоматериалов определяется как половина от максимального расстояния трелевки по границе лесосеки. Таким образом, для нашего расчетного случая среднее расстояние составит $(100+400)/2=250$ м, а общий пробег по лесосеке – 50 км.

Для расчета данного показателя в Республике Беларусь применяют формулу

$$S = (k_1 a + k_2 b) \cdot k_0,$$

где k_1 и k_2 – коэффициенты, зависящие от схемы размещения трелевочных волоков, которые для рассматриваемого расчета будут равны 0,5;

k_0 – коэффициент изменения расстояния трелевки ($k_0 = 1,1-1,4$);

a, b – размеры лесосеки (м);

Тогда

$$S = (0,5 \cdot 100 + 0,5 \cdot 400) \cdot 1,15 = 287,5 \text{ м,}$$

При этом общий пробег по лесосеке составит 57,5 км.

В результате исследования установлено, что все четыре метода расчета среднего расстояния трелевки лесоматериалов имеют разные значения (таблица 1).

В это связи были экспериментально проведены замеры пробега форвардера в условиях реальных лесосек с целью последующей корректировки методики расчёта среднего расстояния трелевки заготавливаемых лесоматериалов.

Таблица 1 – Результаты сравнения расчётных методик

Методика	Страна	Расчётное среднее расстояние трелевки лесоматериалов, м	Общий расчётный пробег по лесосеке	Погрешность, %
1.	Латвия	284	56,8 км	100%
2.	Латвия	206	41,2 км	-27%
3.	Канада	250	50,0 км	-12%
4.	Беларусь	287,5	57,5 км	+1%

Так в зимне-весенний период 2017 года на шести лесосеках акционерного общества «Латвийский государственные леса» в регионе Земгале (Латвия) выполнен замер пробега и определено количество рейсов по подвозу заготовленного круглого лесоматериала на верхний склад. Полученные результаты обобщены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты исследования работы форвардеров на рубках главного пользования

№ лесосеки	Размер лесосеки, м	Площадь, га	Запас древесины на лесосеке, м ³	Фактическое среднее расстояние трелевки, м	Средняя рейсовая нагрузка, м ³	Количество рейсов, шт.	Фактический пробег, м
1	60x217	1,3	376	635	11,0	35	44434
2	60x317	1,9	414	900	9,0	46	82800
3	40x250	1,0	270	734	8,4	32	47000
4	60x183	1,1	254	138	6,8	37	10176
5	40x225	0,9	233	350	6,1	38	26650
6	100x350	3,5	1314	247	7,0	192	114000

Для сравнения результатов теоретических и экспериментальных исследований формы реальных лесосек приводились к прямоугольным с размерами приведенными в таблице 2. Следует отметить, что на 5 из 6 лесосеках погрузочный пункт располагался за ее пределами. В связи с этим, для сопоставления фактического значения среднего расстояния трелевки с теоретическим, от установленного экспериментальным путем значения отнималось расстояние, которое форвардер проходил при движении от края лесосеки до верхнего склада (таблица 3).

Таблица 3 – Результаты сравнения расчетного среднего расстояния трелевки с фактическим

№ лесосеки	Расстояние от лесосеки до верхнего склада, м	Фактическое среднее расстояние трелевки по лесосеке, м	Расчетное среднее расстояние трелевки по лесосеке, м			
			1	2	3	4
1	537	98	150	113	139	159
2	596	304	225	161	189	217
3	373	361	138	127	145	167
4	–	138	100	96	122	140
5	136	214	88	114	133	152
6	20	227	234	182	225	259

Для каждой из шести лесосек, на основе анализа приведенных значений, получены относительные погрешности средних расстояний трелевки установленных по каждой из приведенных выше методик. При этом ни одна из них не дает достаточно точного результата. Так применяемая в настоящий момент в Латвии методика обеспечивает минимальный диапазон разброса значений (от -64,8% до 15,3%) по отношению к фактическому при максимальной средне арифметической погрешности (-32,2%). При этом методика, которая применяется в Республике Беларусь, обеспечивает получение требуемой величины со средней арифметической отклонению в 5%, не смотря на достаточно большой разброс установленных расстояний трелевки. Это в первую очередь связано с более симметричным распределением увеличения и уменьшения расстояний трелевки по отношению к фактическому. Аналогичный результат наблюдается при определении общего пробега форвардера по шести экспериментальных лесосеках (таблица 5).

Также следует отметить, что применяемые в настоящий момент в Латвии и Канаде методики не включают поправочных коэффициентов. В свою очередь применяемые в настоящее время в Республике Беларусь и ранее в Латвии позволяют в зависимости от условий эксплуатации скорректировать установленные значения средних расстояний трелевки по сравнению с приведенными выше значениями на -4,3%—+21,7% и $\pm 1,3\%$ соответственно. Этим можно снизить погрешность расчетов, приведенных в таблице 4, по латвийской методике на 1,3%.

Таблица 4 – Относительная погрешность расчетных значений средних расстояний трелевки по сравнению с фактическим

№ лесосеки	Не учитывая расстояние от лесосеки до верхнего склада, %				С учетом расстояния от лесосеки до верхнего склада, %			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1	+53,1	+15,3	+41,8	+62,2	+8,2	+2,4	+6,5	+9,6
2	-26,0	-47,0	-37,8	-28,6	-8,8	-15,9	-12,8	-9,7
3	-61,8	-64,8	-59,8	-53,7	-30,4	-31,9	-29,4	-26,4
4	-27,5	-30,4	-11,6	+1,4	-27,5	-30,4	-11,6	+1,4
5	-58,9	-46,7	-37,9	-29,0	-36,0	-28,6	-23,1	-17,7
6	3,1	-19,8	-0,9	+14,1	2,8	-18,2	-0,8	+13,0
Средняя арифметическая погрешность, %	-19,7	-32,2	-17,7	-5,6	-15,3	-20,4	-11,9	-5,0

Таблица 5 – Результаты определения пробега форвардера по лесосеке

№ лесосеки	Пробег, м					Относительная погрешность, %			
	Факт	1	2	3	4	1	2	3	4
1	44434	48090	45500	47320	48720	+8,2	+2,4	+6,5	+9,6
2	82800	75532	69644	72220	74796	-8,8	-15,9	-12,8	-9,7
3	47000	32704	32000	33152	34560	-30,4	-31,9	-29,5	-26,5
4	10176	7400	7104	9028	10360	-27,3	-30,2	-11,3	+1,8
5	26650	17024	19000	20444	21888	-36,1	-28,7	-23,3	-17,9
6	114000	97536	77568	94080	107136	-14,4	-32,0	-17,5	-6,0
Средняя арифметическая погрешность, %	—	—	—	—	—	-18,1	-22,7	-14,6	-8,1
Суммарный пробег, км	325,1	278,3	250,8	276,2	297,5	—	—	—	—

В свою очередь, за счет правильного выбора коэффициента изменения расстояния трелевки, по белорусской методике можно обеспечить снижения диапазона изменения по-

грешности от $-7,3\%$ до $57,9\%$, а средней арифметической погрешности до $3,6\%$. Однако отсутствуют однозначные критерии, определяющие выбор того или иного значения, что может наоборот привести к увеличению погрешности расчетов. При этом увеличение расстояния между лесосекой и верхним складом обеспечивает снижение погрешности, так как уменьшается расчетная транспортная составляющая по отношению к общему расстоянию трелевки, что отчетливо видно на примере 1, 2 и 4 (где погрешность не изменяется) лесосек.

Выводы. Результаты приведенных исследований свидетельствуют, что на большинстве лесосек фактическое среднее расстояние трелевки лесоматериала до верхнего склада было больше, чем рассчитанное по приведенным методикам. Установлено, что в зависимости от выбранной методики расчета в среднем форвардер по лесосеке проезжает расстояние на $5,6-32,2\%$ больше расчетного без учета расстояния от верхнего склада до лесосеки и на $5,0-20,4\%$ с учетом данного параметра. При этом есть хотя бы одна лесосека для каждой методики, где ее применение обеспечивает получение расчетного значения расстояния трелевки в пределах 5% погрешности. Следует отметить, что повышение точности действующих в Латвии и Канаде методик может быть обеспечено лишь при условии отведения строго прямоугольных лесосек с прямолинейными волоками и достаточно высокой несущей способностью грунтов.

Использование двух других методик позволяет корректировать среднее расстояние трелевки в зависимости от условий эксплуатации, формы трелевочного волока и, частично, лесосеки. Однако отсутствуют критерии однозначно регламентирующие выбор поправочного коэффициента.

При освоении рассмотренных шести лесосек, приняв среднюю скорость передвижения форвардера по лесосеке равную 4 км/ч, выполнение заданного объема лесозаготовительных потребует до трех дополнительных рабочих дней и сопутствующих затрат дизельного топлива по отношению к расчетному значению.

Представленные результаты сравнение теоретических и экспериментальных данных показали, что расчетное расстояние трелевки требует коррекции. В связи с чем существует необходимость совершенствования существующих методик расчета либо разработка новой, более универсальной методики, учитывающей не только геометрические параметры лесосеки, но и основные производственные условия эксплуатации лесозаготовительных машин.

ЛИТЕРАТУРА

1. "Labas prakses mežizstrādes operatoru un kokvedēju vadītāju rokasgrāmata. AS"Latvijas valsts meži"2012.
2. Valeria, O., Cea, I., Bergeron Y. A review of skidding distances method under variable retention harvesting considerations [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа : <https://www.cirrelt.ca/cofe2011/proceedings/35-valeria.pdf>.
3. Sarmulis Z. Meža darbi un tehnika: Metodiskie norādījumi kursa darba izstrādei mežinženieru bakalaura profesionālās studiju programmas studentiem. Jelgava, LLU Meža izmantošanas katedra, 2010., 26 l pp.
4. Матвейко, А.П. Технология и машины лесосечных работ : учеб. для вузов / А.П. Матвейко, А.С. Федоренчик. – Минск : Технопринт, 2002. – 480 с.
5. Арико, С.Е. Обоснование параметров валочно-сучкорезно-раскряжевой машины для рубок промежуточного лесопользования : дис. ... канд. техн. наук : 05.21.01 / С.Е. Арико. – Минск, 2012. – 225 с.
6. Сравнение технологий лесосечных работ в лесозаготовительных компаниях Республики Карелия / В.С. Сюнев [и др.]. – Йоэнсуу : НИИ леса Финляндии MELTA, 2008. – 126 с.
7. The method of calculating average skidding distance [Электронный ресурс]. – 1997. – Режим доступа : <http://link.springer.com/article/10.1007/BF02864941>.
8. Yuta Inomata, Masahiro Iwaoka, Takeshi Matsumoto, Onwona-Agyeman Siaw / Journal of The Japan Forest Engineering Society / [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа : https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjfes/28/2/28_KJ00008723227/_article.

ОБРАБОТКА НЕТИПИЧНЫХ ДЕРЕВЬЕВ ХАРВЕСТЕРОМ

Давиданс М.¹, преп., маг. техн. наук, Савельев А.¹, доц., д.т.н.,
Сармулис З.¹, проф., д.т.н., Ребокс Д.¹, студ., Арико С. Е.², доц., к.т.н.

¹Латвийский сельскохозяйственный университет
(Елгава, Латвийская Республика), silvasav@inbox.lv

²Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), sergeyariko@mail.ru

HARVESTER PROCESSING OF ATYPICAL TREES

Davidans M.¹, Lecturer, Master of Engineering, Savelyev A.¹, Assist. Prof., DSc.,
Sarmulis Z.¹, Prof., DSc., Reboks D.¹, stud., Ariko S. Ye.², Assist. Prof., PhD

¹Latvia University of Agriculture
(Jelgava, Republic of Latvia)

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

The article presents the results of studying the processes of processing typical and atypical trees by a harvester. The research was carried out on the JOHN DEERE 1270D harvesting machine during the final felling operations. The obtained data confirm the possibility of using harvester for processing atypical trees, which excludes the use of manual labor. It is preferable to process them after the development of each area strip.

Введение. Развитие лесозаготовительного производства, машин и технологий на современном этапе характеризуется сокращением ручного труда. Широкое внедрение харвестеров в лесозаготовительный процесс позволяет существенно сократить долю ручного труда, но это в значительной степени зависит от оптимального подбора класса и технического состояния харвестера, а также от квалификации и опыта оператора, что одновременно влияет и на качество заготавливаемых сортиментов, и на общую производительность труда.

В повседневном лесозаготовительном процессе оператор харвестера сталкивается с большим объёмом информации, что приводит к повышенной физической и эмоциональной усталости. Поэтому часто рабочий процесс исключает заготовку и обработку нетипичных, сложных деревьев («дерево-волк», деревья размеры которых превышают технические возможности харвестера и т.п.) и сосредотачивается на заготовке типичных (характерных) деревьев для данной лесосеки. В результате, после окончания лесозаготовки на лесосеке остается существенное количество сложных, нетипичных деревьев, наличие которых, в свою очередь, влияет на последующие операции технологического процесса. Это связано с тем, что они оставляются до прибытия рабочих с мотопилами, что требует решения возникающих бытовых, технических и прочих проблем. В итоге наблюдаются простои техники, срывы в производственном процессе, связанные с окончанием работ и переездом техники на новые лесосеки, что требует дополнительных затрат.

По этой причине **целью исследований** являлось осуществление оценки возможности обработки нетипичных деревьев харвестером (на примере JOHN DEERE 1270D) на рубке главного пользования и определение производительности труда.

Методика включала проведение исследований на лесосеках главного пользования с преобладающей породой березой и сопутствующими - елью, ольхой черной. При этом высота деревьев составляла 30–31 м при среднем объёме хлыста 0,25–0,54 м³. Тип условий роста – кисличник осушенный. Перед лесозаготовкой подлесок на территории лесосеки срезался

рабочими с мотокусторезами. Заготовительный процесс выполнялся харвестером *JOHN DEERE 1270D* с харвестерной головкой Н-758 и гидроманипулятором Loglift 190.

Выделение нетипичных, сложных деревьев выполнялось в светлое время суток визуальным способом, используя критерии оценки сложности деревьев. Работу выполнял оператор харвестера, маркируя краской такие деревья в перерывах рабочего процесса.

Нетипичные деревья по их сложности разделяются на три класса:

- класс *A* – деревья со сложной кроной, двойной вершиной, крупным «пасынком»;
- класс *B* – деревья с крупными сучьями (диаметр более 6 см), обрезка сучьев требует повторных прогонов через сучкорезное устройство;
- класс *C* – деревья повышенных размеров, когда диаметр комля превышает допустимый максимальный обрабатываемый харвестерной головкой.

В лесозаготовительном процессе выполнялся хронометраж обычных «типовых» (характерных) деревьев для получения базовой сравниваемой величины производительности труда и, по окончании основного лесозаготовительного процесса, выполнялся хронометраж обработки отмеченных «нетипичных» деревьев.

Полученные результаты обобщены в таблице, где по каждому виду вырубаемых деревьев приведено среднее арифметическое значение цикла обработки типичных (обычных) деревьев и нетипичных (сложных) по каждому классу сложности.

Таблица – Время обработки деревьев в зависимости от объёма

Классификация заготавливаемых деревьев	Время валки, сек	Время раскряжёв-ки, сек	Дополнительные работы, сек	Средний объем дерева, м ³	Производительность, м ³ /час
Типичные	16	45	4	0,62	34,84
Нетипичные:					
<i>A</i>	36	212	20	1,83	24,56
<i>B</i>	32	207	5	1,57	23,08
<i>C</i>	36	251	14	2,21	26,50

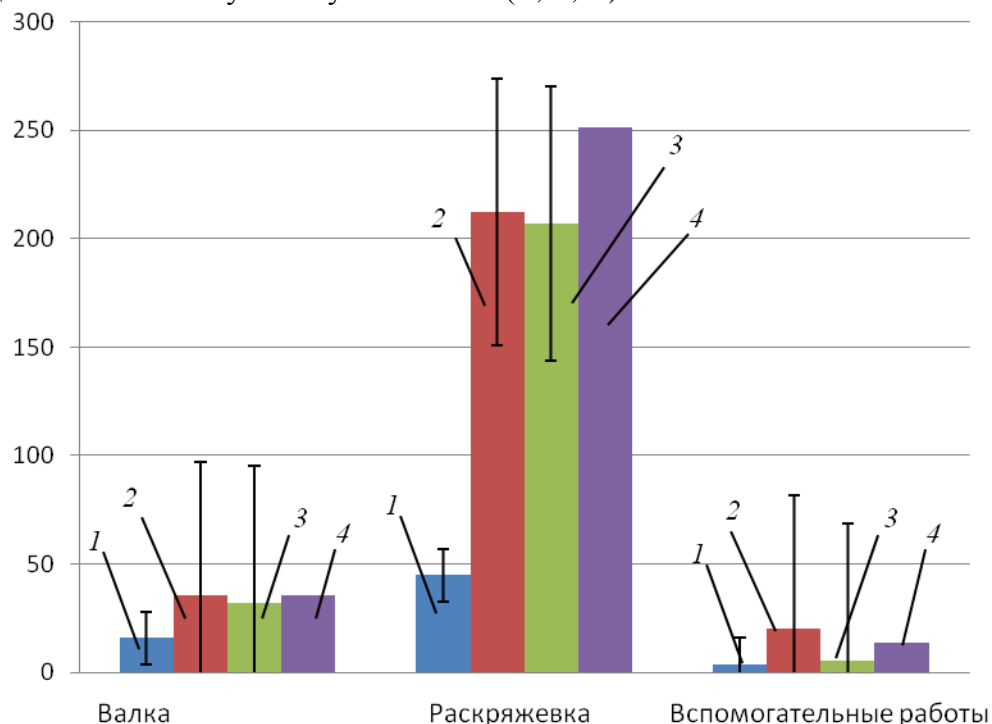
Анализ полученной информации показал, что максимальная производительность работы харвестера наблюдается при обработке стандартных деревьев, а производительность работы харвестера на нетипичных деревьях уменьшается на 30–35%.

Анализ информации бортового компьютера (файл DRF) показал среднюю производительность по лесосекам 23,76 м³/ч, что практически совпадает с производительностью работы харвестера, если бы он эксплуатировался только при работе с нетипичными деревьями.

Такая разница между расчётной производительностью харвестера при работе с типичными деревьями и производительностью работы по результатам информации файла DRF объясняется тем, что информация файла учитывает все выполняемые работы включая как затраты времени по выполнению обработки вырубаемых деревьев, так и затраты времени на поездки по лесосеке, что не учитывалось при расчете производительности на обработке отдельных деревьев.

На рисунке представлено графическое отображение результатов хронометража с дисперсным разбросом отдельных показаний. Результаты свидетельствуют, что на валке типичных деревьев время повала существенно отличается от времени повала нетипичных деревьев. Аналогичная ситуация на операции раскряжёвки так как типичные деревья существенно быстрее обрабатываются. При этом следует отметить, что при обработке нетипичных де-

ревьев продолжительность валки и раскряжёвки несущественно различаются в зависимости от их разделения на выше упомянутые классы (A, B, C).



1 – типичные деревья, 2 – нетипичные деревья A, 3 – нетипичные деревья B, 4 – нетипичные деревья C

Рисунок – Время (с) обработки деревьев разных классов

Технологически работа харвестера с выделением нетипичных деревьев позволяет быстрее освоить лесосеку, но при этом по окончании основной лесозаготовки необходимо обработать выделенные нетипичные деревья. На практике можно данные операции осуществить харвестером после окончания разработки каждой пасеки, обрабатывая ранее выделенные нетипичные деревья с наиболее благоприятной позиции, помогая осуществлять технологические операции (валку и обрезку сучьев) гидроманипулятором.

Выводы.

В соответствии с проведенными исследованиями установлено, что производительность харвестера (без учета переездов) при заготовке типичных деревьев составила 34,84 м³/ч, а при обработке нетипичных деревьев на 30–35% ниже и составляет 23–26 м³/ч. При этом разница в производительности харвестера при заготовке нетипичных деревьев любой сложности (классы A, B, C) является незначительной.

Для повышения эффективности разработки лесосеки предпочтительной является эксплуатация харвестера с раздельной лесозаготовкой нетипичных деревьев по окончании разработки пасеки, что не нарушает технологический процесс, снижает простой техники и не требует привлечения рабочих с бензиномоторными пилами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pērs Eriks Pēšons. Mežizstrādes darbi komandā. 1.daļa, 2012.
2. Pērs Eriks Pēšons. Mežizstrādes darbi komandā. 2.daļa, 2012.
3. Irina Arhipova, Signe Bāliņa. Statistika ekonomikā un biznesā Rīga: Datorzinību centrs, 2006., 364 lpp.
4. Labās prakses „Mežizstrādes operatoru un kokvedēju vadītāju rokasgrāmata”, AS „Latvijas valsts meži”, 2012.
5. Harvesteru un forvardera operatoru rokasgrāmata”, AS „Latvijas valsts meži”, 2007.

**ПРИМЕНЕНИЕ МАЛОЦЕМЕНТНЫХ СМЕСЕЙ В КОНСТРУКЦИЯХ
ЛЕСНЫХ ДОРОГ**

Науменко А. И., ассист., к.т.н.

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

**APPLICATION OF LOW CEMENT MIXTURES IN THE CONSTRUCTION
OF FOREST ROADS**

Naumenko A. I., Ass., PhD

Belarusian State Technological University
(Minsk, Republic of Belarus)

The article provides prescription-technological parameters of the formation seminterrato obtained on the basis of strengthening the local soil composite binders, providing an evenly distributed solid strengthening structure of soil with a minimum flow of binder.

Применение укрепленных грунтов для строительства лесных автомобильных дорог является одним из перспективных направлений решения проблемы дорожного строительства.

Местный грунт, укрепленный различными вяжущими реагентами, приобретает водостойчивость, механическую прочность и может быть использован как полноценный заменитель традиционных каменных дорожно-строительных материалов в лесных районах, где испытывается их острый недостаток.

Разработка практических рекомендаций по укреплению грунтов связана с большим объемом лабораторных исследований для установления оптимальных дозировок вяжущих реагентов, выбора технологических режимов и т. п. Эта работа также связана с изготовлением огромного количества образцов, их испытанием, обработкой и анализом полученных данных.

В этих условиях наиболее приемлемым является применение многофакторного метода планирования эксперимента, при котором все факторы изменяются одновременно. В результате проведения эксперимента по определенному плану получают описание изучаемого процесса в виде уравнения (математической модели), которое дает исследователю широкую и достаточно надежную информацию.

При этом значительно сокращается необходимое количество проводимых опытов, достоверность полученных результатов увеличивается, сроки исследований сокращаются.

Композиционный цемент – это гидравлический цемент, состоящий из портландцемента и одного или более неорганических материалов, которые принимают участие в реакциях гидратации и тем самым способствуют образованию продукта гидратации.

Композиционные вяжущие используются для различных целей. Необходимость утилизации отходов и снижение энергозатрат становится все более очевидной. Зола уноса и шлак являются отходами, получаемыми в больших количествах. Бетоны на их основе или совместно с природными пуццоланами могут иметь одинаковые свойства с бетонами, изготовленными из чистых портландцементов, при более низкой стоимости на единицу объема изделий.

Выпуск композиционных цементов стандартизирован введением в действие ГОСТ 31108, причем стандартом разрешается одновременный ввод до трех минеральных добавок различного генезиса. Теоретические предпосылки использования активных минеральных добавок рассматривались во многих работах, причем, эти исследования начались введением только одной добавки. Как показали результаты исследования физико-механических показателей композиционных цементов, одновременное введение оптимального количества (до

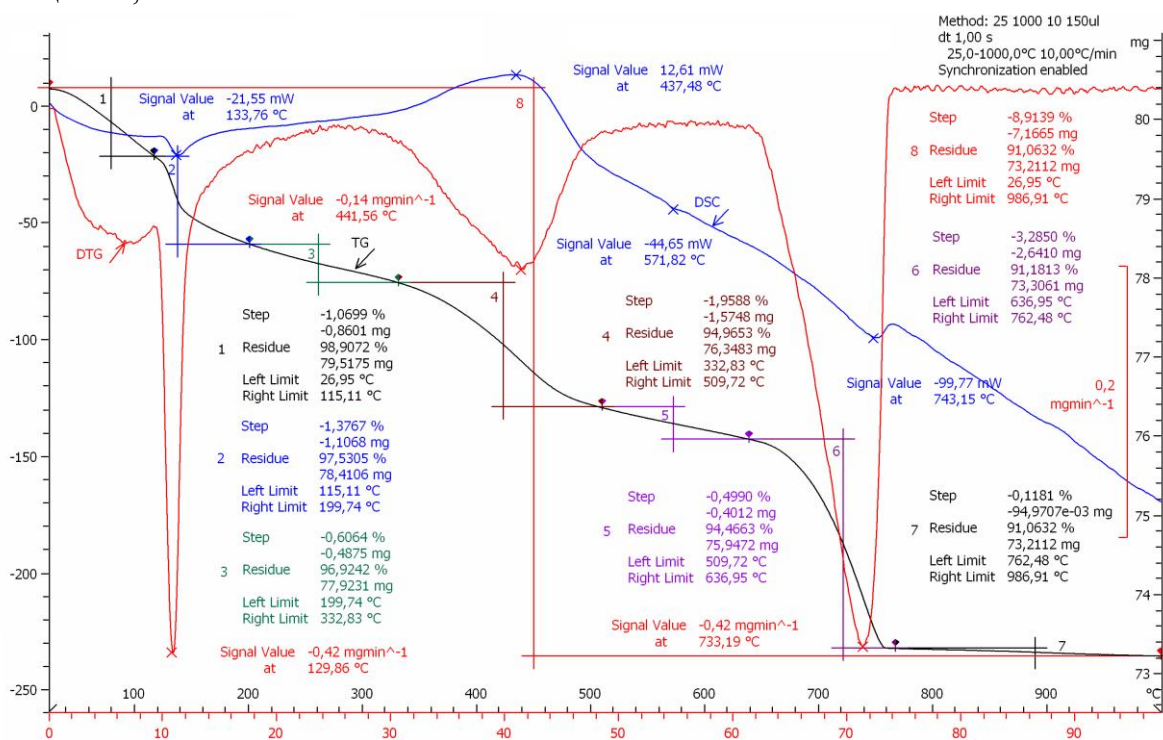
трех) минеральных добавок, различающихся химической активностью и степенью кристалличности, повышает прочность исходного цемента в 1,2–1,5 раза.

Известно, что прочность цементного камня определяется многими факторами, в том числе вещественным составом, гранулометрией исходного цемента, а также микроструктурой цементного камня, которая в свою очередь, определяется концентрацией гидратных фаз, морфологией кристаллогидратов, формой контактов кристаллов различного генезиса.

В качестве микронаполнителей для композиционного вяжущего были использованы отходы асбестоцементного производства (АЦИ), образующиеся на предприятиях «Красносельскстройматериалы» и «Кричевцементошифер»; гранитоидные отсеvy (ГО), получаемые при дроблении щебня на Микашевичском месторождении; зола-унос (ЗУ) из топок с псевдоожиженным слоем при сжигании торфа с Ошмянской ТЭЦ. В качестве минерального вяжущего в работе использовался портландцемент марки ПЦ 500-Д0 ОАО «Красносельскстройматериалы».

Испытания укрепленных грунтов проводились для наиболее распространенных в лесной зоне Республики Беларусь (песок мелкий и средней крупности, супесь легкая и суглинок легкий пылеватый) по действующим методикам и нормативным документам. Исследование структуры золы-уноса (рисунок 1) и других компонентов осуществлялось рентгенофазовым и дифференциальным термическим анализом (ДТА). Как видно по результатам анализа, в золе-уносе содержится около 3% воды с различной формой связи, остатки несгоревших углеродных частиц (до 2%), что согласуется с данными рентгенофазового анализа, и карбонаты магния и кальция.

Мощность, мВт



Время, мин

Рисунок 1 – Кривые ДТА и термогравиметрии DSC, TG и DTG золы-уноса

Присутствие последних может быть обусловлено низкой температурой в зоне горения (740 °C), когда отсутствуют условия образования силикатов. Образование карбонатов в золе-уносе объясняется карбонизацией оксидов магния и кальция диоксидом углерода из продуктов горения торфа.

Анализ распределения компонентов в контактных зонах цементогрунта определяли методом оптической микроскопии в отраженном свете при увеличении до ×1000. Для испытаний на сжатие и на изгиб использовался пресс МИИ-100. При испытании на морозостойкость морозильная камера модели «Атлант».

При разработке составов композиционного малоцементного вяжущего определялась дозировка каждого из компонентов – основного вяжущего и микронаполнителей (АЦИ, гранитоидный отсев и зола-унос). На основе результатов испытаний на прочность 29 комбинаций можно сделать вывод, что композиционные малоцементные вяжущие 2-х составов (состав №1 - 70% портландцемент, 10% молотые отходы АЦИ, 20% гранитоидные отсева [2] и состав № 2 – 70% портландцемент, 30% зола-уноса [1]), произведенные из портландцемента и микронаполнителей, имеют марку 400. В таблице 1 приведены сравнительные характеристики портландцемента и разработанных композиционных малоцементных вяжущих.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика портландцемента и композиционных вяжущих

Наименование свойств	Портландцемент	Состав №1, (70% ПЦ, 10% АЦИ, 20% ГО)	Состав №2, (70% ПЦ, 30% ЗУ)
Предел прочности при сжатии, МПа	48,7	38,4	37,7
Предел прочности при изгибе, МПа	7,6	6,1	6,23
Тонкость помола, %	8	11	9
Нормальная густота цементного теста, %	25	26,5	26,3
Равномерность изменения объема	Показывает	Показывает	Показывает
Сроки схватывания, мин начало конец	85 не регламентируется	195 не регламентируется	205 не регламентируется
Консистенция цементного раствора (расплывание конуса), мм	106	108	109

Из таблицы 1 видно, что содержание в составе №1 и №2 отходов промышленных производств в количестве до 30 % снижает марку цемента до 400, увеличивает начало сроков схватывания с 1 ч 25 мин до 3 ч 15 мин и 3 ч 25 мин соответственно, нормальная густота цементного теста увеличивается на 1,5 % и 1,3% соответственно, без существенного изменения других свойств. Согласно СТБ 1521 разработанные композиционные малоцементные вяжущие полностью удовлетворяют требованиям к цементам, используемым для укрепления грунтов в дорожном строительстве.

Моделирование процесса укрепления грунтов различными минеральными вяжущими осложняется происходящими сложными и разнообразными физико-механическими, физико-химическими и химическими процессами, в результате которых все компоненты смеси могут утрачивать свою дисперсность, что приводит к преобразованию грунтовой смеси в прочный камневидный монолит. По этой причине модель формирования укрепленного грунта должна быть разбита на отдельные этапы, основывающиеся на изучении физико-механических и физико-химических свойств материалов цементогрунта [1]. Сопровожаемое при этом выявление отдельных процессов взаимодействия отдельных компонентов позволяет аргументировано создавать новые материалы с заранее заданными механическими и эксплуатационными свойствами, создаёт реальную возможность для укрепления грунтов комплексными добавками, направленно изменяющими их характеристики.

Климатические, грунтово-гидрологические и другие условия оказывают существенное влияние на эксплуатационное состояние укрепленных местных грунтов в составе дорожной конструкции.

Выбор и назначение составов цементогрунтовой дорожной смеси заключается в определении рационального соотношения между составляющими материалами, при котором смесь по физико-механическим свойствам отвечает заданным требованиям нормативных документов.

При подборе составов цементогрунтовой дорожной смеси требовалось установить рациональное количество вводимого композиционного малоцементного вяжущего и вырабо-

тать оптимальные способы его введения в грунт в зависимости от вида грунта, его физических свойств и необходимых результатов.

Подбор составов цементогрунтовой дорожной смеси включает следующие этапы:

- отбор материалов, определение оптимальной влажности смеси и расчет максимальной плотности образцов;
- подбор необходимого количества композиционного вяжущего путем приготовления опытных образцов;
- испытание приготовленных образцов и определение физико-механических показателей укрепленных грунтов при хранении во влажностных условиях;
- сравнение полученных прочностных показателей с требованиями, предъявляемыми нормативной документацией и выбор оптимальной рецептуры смеси [1, 2].

Механическая прочность цементогрунта и его морозостойкость в конструктивных слоях дорожной одежды зависит от степени его уплотнения [3]. С увеличением плотности цементогрунта возрастает число контактов твердых частиц, образующиеся при твердении вяжущих, кристаллы создают более разветвленный каркас в порах и на поверхности частиц и агрегатов, что определяет прочное их закрепление.

Исследования показали, что с увеличением количества вносимого композиционного малоцементного вяжущего как № 1, так и № 2, возрастает плотность скелета грунта на 8-16%, что позволяет структурировать цементогрунт в однородную дисперсную смесь и освобождает сорбционную воду с поверхности грунта. Благодаря этому эффекту, при одной и той же нагрузке уплотнения можно получить более высокую плотность и прочность материала.

Установлено, что при исследовании цементогрунтовых смесей на определение оптимальной влажности прослеживается тенденция увеличения водопотребления смеси. Данный эффект можно объяснить присутствием в композиционных вяжущих высокодисперсных систем, таких как отходы АЦИ и зола-унос, способные к значительному насыщению водой (до 100–160%).

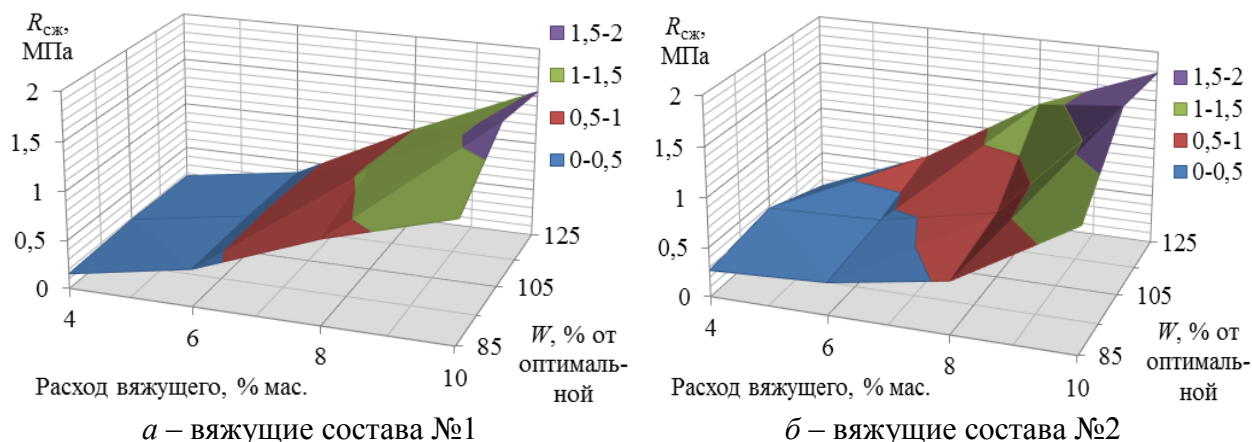


Рисунок 2 – График зависимости предела прочности при сжатии водонасыщенных образцов укрепленного грунта в зависимости от количества вяжущего и влажности укрепляемого грунта

Как показывают полученные зависимости (рисунок 2), оптимальное значение влажности образцов цементогрунта, полученного на основе песка пылеватого и композиционных вяжущих, при котором достигаются наибольшие показатели прочности, составляет в пределах 105–115% от оптимальной влажности. При этом уменьшение влажности смеси до 85% от оптимальной оказывает большое влияние на прочность, чем увеличение до 125% от оптимальной влажности. Это объясняется недостаточным количеством воды для гидратации всего объема вяжущего вещества.

Полученные результаты испытаний грунтов различного гранулометрического состава с изменяющимся содержанием композиционных малоцементных вяжущих позволили осу-

ществить дальнейшую оптимизацию составов цементогрунтов и более четко отработать их рецептурные параметры, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Рекомендуемые составы цементогрунтов на основе композиционных малоцементных вяжущих

№ п/п	Тип грунта	Количество вяжущего, % (от массы грунта)	
		для состава № 1	для состава № 2
1	Песок пылеватый	8–12	9–11
2	Песок средней крупности	6–10	8–10
3	Супесь легкая	5–11	7–12
4	Суглинок легкий пылеватый	6–12	6–11

Таким образом, проведенные исследования и полученные результаты испытаний позволили дать рецептурные рекомендации по получению цементогрунта из местных грунтов, укрепленных композиционными вяжущими на основе портландцемента и микронаполнителей.

Заключение. Разработаны составы композиционных вяжущих на основе портландцемента и микронаполнителей, в качестве которых используются отходы промышленных производств: зола-унос, гранитоидные отсеvy и отходы асбестоцементного производства, что позволит снять экологический налог с предприятий за счет использования их отходов при получении композиционного вяжущего.

Определены свойства системы «грунт–вяжущее» при различной концентрации компонентов, что позволило оптимизировать составы цементогрунтов в соответствии с предъявляемыми требованиями. Разработаны рецептурно-технологические параметры формирования цементогрунтов, полученных на основе укрепления местных грунтов композиционными вяжущими, обеспечивающими равномерно распределенную прочную структуру укрепляемого грунта при минимальном расходе вяжущего в пределах от 4% до 11% мас.

Разработанная методика проектирования цементогрунтовой смеси для устройства конструктивного слоя в дорожной конструкции, позволяет уменьшить дозировку вяжущих на 10-15% за счет применения отходов промышленных производств с обеспечением требуемого модуля упругости и прочности дорожной конструкции.

Установлено, что использование в дорожной конструкции слоя из цементогрунта [3, 4], ведет к увеличению морозостойкости на 6-12% и прочности 7-15% конструкции. Рост экономической эффективности обусловлен повышением долговечности конструкций на 8-16%, а, следовательно, увеличением межремонтных сроков и срока службы лесной автомобильной дороги. При этом сокращаются сроки ввода дорог в эксплуатацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Композиционный цемент: пат. Респ. Беларусь, МПК С 04 В 7/04, С 04 В 28/5204, С 04 В 18/12, С 04 В 718/16, С 04 В 7/52 / П. А. Лыщик, С. В. Плышевский, А. И. Науменко; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. - №а 20121705; заявл. 06.12.12; опуб. 2015.0.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2015. - № 4. – С. 82.

2. Сырьевая смесь для получения портландцемента с минеральным наполнителем, МПК С 04 В28/00 / П. А. Лыщик, С. В. Плышевский, Е. И. Бавбель, А. И. Науменко; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. - №а20131542; заявл. 19.12.13.

3. Дорожная конструкция из арматурного каркаса: № 11183 патент на полезную модель, МПК С 01 С 7/36, 7/32 / П. А. Лыщик, Е. И. Бавбель, С. В. Красковский, А. И. Науменко; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № u 20150145; заявл. 29.04.15., опубл. 2016.10.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2016. – № 4. – С. 82.

4. Дорожная конструкция из цементогрунта: № 11182 патент на полезную модель, МПК С 01 С 7/36, 7/32 / П. А. Лыщик, Е. И. Бавбель, А. И. Науменко; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № u 20150145; заявл. 29.04.15., опубл. 2016.10.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2016. – № 4. – С. 82.

СОЗДАНИЕ ОПОРНОЙ СЕТИ ЛЕСНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ОСНОВЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Бавбель Е. И., доц., к.т.н., Лыщик П. А., проф., к.т.н., Науменко А. И., ассист., к.т.н.
Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: bavbel-ji@belstu.by

THE CREATION OF A SUPPORT NETWORK OF FOREST ROADS ON THE BASIS OF GIS-TECHNOLOGIES

Bavbel J. I., Assoc. Prof., PhD., Lyshchik P. A., Prof., PhD., Naumenko A. I., Ass., PhD
Belarusian State Technological University
(Minsk, Republic of Belarus)

The article describes a method of location logging network in the exploitable forests in the long term, given natural-production conditions, and the taxation characteristics of plantations for intensive forest management and forest management.

Транспорт леса в лесной отрасли является основным и решающим звеном лесозаготовительного процесса так, как оценка работы лесозаготовительных предприятий и лесохозяйственных организаций, ведущих лесозаготовки, оценивается по объему вывозки заготовленного леса. Для обеспечения успешной работы лесного комплекса в целом, для освоения лесных массивов необходимо иметь разветвленную транспортную сеть лесных дорог, густота которых для условий Беларуси, должна составлять 0,432 км на 100 га (в настоящее время она составляет 0,222 км на 100 га). Для достижения такой густоты лесотранспортных путей ежегодно строиться 100–120 км лесных автомобильных дорог круглогодичного действия с определением регионов их строительства. Прогнозирование расположения лесотранспортной сети на основе динамики лесоводственно-таксационных характеристик насаждений является весьма актуальной задачей для лесного комплекса.

Анализ работ по исследованию методов прогнозирования расположения лесотранспортных сетей указывает на недостаточно полное раскрытие вопросов, связанных с учетом динамики лесоводственно-таксационных характеристик насаждений и особенностей реальной местности. Основное внимание исследователей сводилось к проектированию лесотранспортных сетей в лесных массивах больших размеров (100×100 км и более) и уточнению затрат для их освоения. При этом предложенные методы не учитывают неравномерность распределения запасов древесины, степень концентрации лесосек, определение очередности строительства лесных дорог, установление местоположения и количества искусственных сооружений и т.д.

Для решения данных задач впервые дано прогнозирование расположения лесотранспортных сетей на основе динамики лесоводственно-таксационных характеристик насаждений и условий их произрастания. Разработаны математическая модель размещения лесотранспортных путей и метод прогнозирования расположения их на долгосрочную перспективу для транспортного освоения лесных массивов и обеспечения непрерывности лесозаготовительного производства на основе ГИС-технологий.

Математическая модель размещения лесотранспортных сетей разработана с использованием инструментария теории графов. При этом лесотранспортная сеть представляется в виде связного взвешенного графа, в котором вершины – «особые точки», а ребра – возможные лесотранспортные пути между ними, характеризующиеся соответствующими стоимостями строительства лесных дорог. В основу графоаналитической модели положен алгоритм построения минимального связывающего дерева – дерева Прима [1, 2].

На основе указанного выше метода разработаны алгоритм и программное обеспечение прогнозирования расположения лесотранспортных сетей на основе динамики

лесоводственно-таксационных характеристик насаждений и специальной цифровой модели местности. На рисунке 1 представлена структурная схема по прогнозированию расположения опорной лесотранспортной сети.



Рисунок 1 – Структурная схема по прогнозированию расположения лесотранспортной сети

Из рисунка 1 видно, что разработанные модель размещения опорной лесотранспортной сети и метод прогнозирования расположения ее на долгосрочную перспективу состоят в следующем [1, 2]:

1-й этап. *Выделение эксплуатационного фонда.* Лесоэксплуатационные районы выделяются в соответствии с Правилами рубок леса в Республике Беларусь и Правилами отнесения лесов Республики Беларусь к группам и категориям защитности, соответствующие определенным типам местности и возрастам рубки по основным 6-ти хозсекциям: сосна – 81 год, ель – 81 год, дуб – 101 год, береза – 61 год, ольха черная – 51 год, осина – 41 год. В специальной цифровой модели местности (рисунок 2) определяются точечные и линейные препятствия, площадные объекты, которые затрудняют или вовсе исключают расположение по ним лесотранспортных путей (например, особо защитные участки леса, болота, реки и т.д.).

2-й этап. *Построение минимального связующего дерева – дерево Прима.* Алгоритм Прима заключается в соединении сетью звеньев (i, j) , имеющих минимальную суммарную длину из всего графа G_s . За основной критерий оптимальности варианта расположения лесотранспортной сети принят минимум затрат на строительство, содержание лесных дорог и вывозку всего сосредоточенного объема древесины:

$$\min_{i,j \in G_s} \Phi(G_s) = \min_{i,j \in G_s} \sum_{ij} C_{ij} \cdot l_{ij}^k = \min_{i,j \in G_s} \sum_{ij} \sum_{t=1}^T \left[\frac{K_{ij}^k(t) + T_{ij}^k(t) \cdot q_{ij}(t) + I_{ij}^k(t)}{(1 + E_n)^t} \right] \cdot l_{ij}^k, \quad (1)$$

где $K_{ij}^k(t)$ – стоимость строительства 1 км дороги на участке (i, j) в k -ой области неоднородности и t -й период времени, млн. руб./км; $T_{ij}^k(t)$ – текущие транспортные затраты на 1 км дороги (i, j) в k -ой области неоднородности и t -й период времени, млн. руб./м³км; $q_{ij}(t)$ – объем вывозки древесины из i -й вершины в j -ю в t -й период времени, м³; $I_{ij}^k(t)$ – стоимость искусственного сооружения на дороге (i, j) в k -ой области неоднородности и t -й период времени, млн.руб.; E_n – норма дисконты; l_{ij}^k – протяженность участка (i, j) , пересекающего k -ую область неоднородность, км.

При этом определяется целесообразность строительства лесной дороги к отдельным выделам, исходя из условия, если затраты на строительство дороги меньше или равны затратам на строительство волока:

$$(K_{ij}^k + T_{ij}^k \cdot q_{ij})l_{ij}^k \leq (K_{ij}^{B(k)} + T_{ij}^{B(k)} \cdot q_{ij})l_{ij}^k, \quad (2)$$

$$q_{ij} \geq \frac{K_{ij}^k - K_{ij}^{B(k)}}{T_{ij}^{B(k)} - T_{ij}^k}, \quad (3)$$

где K_{ij}^k , $K_{ij}^{B(k)}$ – стоимость строительства 1 км соответственно дороги и волока на участке (i, j) в k -ой области неоднородности, млн. руб./км; T_{ij}^k , $T_{ij}^{B(k)}$ – текущие транспортные затраты на 1 км соответственно дороги и волока (i, j) в k -ой области неоднородности, млн. руб./м³км; q_{ij} – объем вывозки древесины из i -й вершины в j -ю, м³, l_{ij}^k – протяженность участка (i, j) , пересекающего k -ую область неоднородность, км.



a – лесозексплуатационные районы; b – запроектированная лесотранспортная сеть

Рисунок 2 – Построение лесотранспортной сети

3-й этап. Построение лесотранспортной сети путем добавления развилок – минимальное дерево Штейнера. Задача Штейнера заключается в том, чтобы определить точку развилки, для которой сумма взвешенных расстояний для заданных пунктов была бы минимальна. При этом усложняется только целевая функция задачи в следующем порядке:

– ищется минимальная протяженность лесотранспортной сети

$$\sum_{ij} l_{ij}^k \rightarrow \min; \quad (4)$$

где l_{ij}^k – протяженность участка (i, j) , пересекающего k -ую область неоднородность, км.

– ищется минимум эксплуатационных затрат на вывозку древесины

$$\sum_{ij} T_{ij}^k \rightarrow \min; \quad (5)$$

где T_{ij}^k – текущие транспортные затраты на 1 км дороги (i, j) в k -ой области неоднородности, млн. руб./м³км;

– ищется минимум затрат на строительство, содержание дороги и вывозку всего сосредоточенного объема древесины

$$\sum_{ij} C_{ij} \rightarrow \min. \quad (6)$$

где C_{ij} – затраты на строительство, содержание дороги и вывозку всего сосредоточенного объема древесины, руб.

4-й этап. Определение очередности строительства лесотранспортных сетей. От правильности определения зависит ритмичность работы предприятий, динамика освоения инвестиций и эффективность лесозаготовительного производства. Разработанный метод прогнозирования расположения лесотранспортных сетей на долгосрочную перспективу (рисунок 3) позволяет определять очередность строительства лесных дорог по 2-м критериям.

Критерий **минимум затрат** обеспечивает заданный по отдельным периодам план вывозки древесины с использованием построенных дорог при минимуме суммарных приведенных затрат на строительство дорог, их содержание и вывозку по ним древесины. При этом суммарные приведенные затраты составляют:

$$C_{ij} = \frac{K_{ij}^k + I_{ij}^k}{(1 + E_n)^v} + T_{ij}^k \cdot \sum_{t=v}^{t=N} q_{ij}(t) \frac{1}{(1 + E_n)^t}, \quad (7)$$

где K_{ij}^k – стоимость строительства 1 км дороги на участке (i, j) в k -ой области неоднородности, млн. руб./км; I_{ij}^k – стоимость искусственного сооружения на дороге (i, j) в k -ой области неоднородности, млн. руб.; v – период ввода пути в эксплуатацию, год; T_{ij}^k – текущие транспортные затраты на 1 км дороги (i, j) в k -ой области неоднородности, млн. руб./м³км; $q_{ij}(t)$ – объем вывозки древесины из i -й вершины в j -ю в t -й период, м³; E_n – норма дисконты.

Критерий **наступления спелости** обеспечивает заданный по отдельным периодам план вывозки древесины, используя построенную лесотранспортную сеть с учетом периода достижения возраста рубки насаждений. Период достижения возраста рубки (ПДВР) – период планирования, в котором возраст насаждения становится больше, чем минимальный возраст рубки для насаждений данной породы. Средний ПДВР для совокупности участков рассчитывается как средневзвешенное через запас:

$$m = \frac{\sum_{k=1}^n (p_k \cdot q_k)}{\sum_{k=1}^n q_k} \quad (8)$$

где p_k – ПДВР k -того участка, год; q_k – запас древесины k -того участка, м³; n – количество участков (узлов) в пределах дерева.

Назначение очередности строительства выполняется следующим образом:

1. Лесные дороги с меньшим ПДВР строятся в первую очередь.
2. При равных ПДВР в первую очередь строятся лесные дороги с большим соотношением объема вывозки к длине дороги.
3. Назначение периодов выполняется последовательно, начиная с первого. Когда лесные дороги на первый период строительства набраны, алгоритм приступает к набору лесных дорог на второй период и т.д.
4. Лесные дороги на очередной период считаются набранными, когда запасы насаждений, которые могут быть освоены в этот период с использованием запроектированной сети, достигнут требуемой величины. При этом учитываются только насаждения, которые в данном периоде достигли или достигнут минимального возраста рубки.
5. Целевой запас для каждого из периодов определяется как суммарный запас всего лесосечного фонда, деленный на количество периодов.

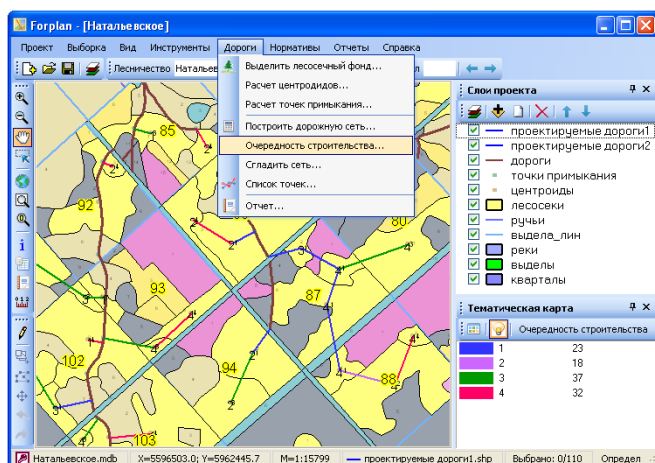


Рисунок 3 – Определение очередности строительства лесотранспортной сети

При определении очередности строительства лесных дорог в соответствии с планом развития лесного хозяйства предприятия необходимо установить – за какой период запланировано построить лесотранспортную сеть. В связи с этим могут быть два случая:

– если запланировано построить лесотранспортную сеть на 10 лет, значит, минимальный возраст рубки для основных 6-ти хозсекций при выделении лесоэксплуатационных районов будет составлять: сосна – 81 год, ель – 81 год, дуб – 101 год, береза – 61 год, ольха черная – 51 год, осина – 41 год. В результате лесотранспортная сеть будет строиться только в спелых и перестойных лесах.

– если запланировано построить лесотранспортную сеть на 20 лет, значит, минимальный возраст рубки для основных 6-ти хозсекций при выделении лесоэксплуатационных районов необходимо понизить на 10 лет и будет составлять: сосна – 71 год, ель – 71 год, дуб – 91 год, береза – 51 год, ольха черная – 41 год, осина – 31 год. В результате лесотранспортная сеть будет строиться по периодам (1 – 5 лет, 2 – 10 лет) как в спелых, так и в приспевающих лесах (3 – 15 лет, 4 – 20 лет), которые в течение 10-ти лет перейдут в разряд спелых лесов. У каждого сегмента запроектированной лесной дороги будет указан период строительства (1, 2, 3 и т.д.), который соответствует периоду наступления спелости данного участка леса.

5-й этап. *Определение необходимого количества искусственных сооружений.* Обоснование и выбор местоположения искусственного сооружения рассматривается в каждой точке пересечения проектируемой трассы лесной дороги с водным препятствием (реки, ручьи и т.д.).

6-й этап. *Получение отчета по запроектированной лесотранспортной сети с учетом очередности строительства лесных дорог.* В отчете приводятся по периодам следующие показатели: длина строительства лесотранспортных путей, км; стоимость строительства лесотранспортных путей, млрд. руб.; средняя стоимость строительства 1 км, млн. руб./км; объем вывозки, тыс. м³; грузооборот, тыс. м³/год; стоимость искусственных сооружений, млн. руб.; общая стоимость строительства, млрд. руб. и т.д.

В основу разработанного программного обеспечения прогнозирования расположения лесотранспортных сетей положены четыре принципа: универсальность (возможность моделировать произвольные по конфигурации и площади участки реальных территорий с трассируемыми лесотранспортными путями), гибкость (удобство пополнения программного обеспечения за счет включения в его состав новых компонентов, а также корректировки отдельных его частей без изменения целого), быстрое действие и диалоговый режим.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бавбель, Е. И. Разработка проекта строительства лесной дороги / Е. И. Бавбель // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – 2010. – Вып. 4(39). – С. 81–89.
2. Лыщик П. А., Бавбель Е. И. Проблема развития транспортной инфраструктуры лесопользователей // Труды БГТУ. 2011. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 62–64.

УДК 676.05

ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ДРЕВЕСНО-ПОДГОТОВИТЕЛЬНОГО ЦЕХА ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО КОМБИНАТА В СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Васильев С. Б., проф., д.т.н., Городничина М. Ю., асп.,
Колесников Г. Н., проф., д.т.н., Симонова И. В., доц., к.т.н.,
Сюнев В. С., проф., д.т.н.**

Петрозаводский государственный университет
(Петрозаводск, Россия), e-mail: servas@psu.karelia.ru, laftmar@onego.ru, siounev@petsu.ru

PROCESSING OF WASTE OF THE WOOD AND PREPARATORY SHOP OF PULP AND PAPER MILL IN CONSTRUCTION MATERIALS

**Vasilyev S. B., Prof., D.Sc., Gorodnichina M. Yu., postgraduate,
Kolesnikov G. N., Prof., D.Sc., Simonova I. V., Assoc. Prof., PhD,
Siounev V. S., Prof., D.Sc.**

Petrozavodsk State University
(Petrozavodsk, Russia)

The processing of timber on pulp and paper mills inevitably leads to the formation of a large amount of waste. At present, these wastes are mainly incinerated. The efficiency of the incineration process is not high. As an effective way of sawdust, bark, gravel and screenings utilization it is proposed to use them for the wood-concrete composition manufacturing. The study demonstrated the possibility of such use of waste. It is established that the composite strength depends on the wood filler type and composition. The composites have strength in the range from 0.38 MPa to 4.48 MPa, which makes it possible to use them as structural and heat-insulating building materials.

Древесно-подготовительный цикл целлюлозно-бумажного производства включает в себя операции раскряжёвки круглых лесоматериалов на балансы, очистки их от коры в коробдирочном барабане и измельчение в рубительной машине на щепу. В результате этих операций образуются отходы в виде опилок, коры, содержащей большое количество заболонной древесины, скопа и отсева [1 – 3, 9, 14]. Эти отходы в настоящее время после доизмельчения и обезвоживания сжигают для получения тепловой энергии.

Анализ свойств существующих древесно-цементных композиций, а также ранее проведенные нами исследования [4 – 8, 10 1– 13] показали, что отходы окорки и производства щепы, будучи использованы при производстве конструктивных и теплоизоляционных строительных материалов, могут обеспечить их высокие физико-механические свойства.

В ходе проведенных работ объектом исследования являлись отходы переработки круглых лесоматериалов в балансы и технологическую щепу в условиях древесно-подготовительного цеха целлюлозно-бумажного комбината. Конкретно это были три вида отходов: отходы окорки смешанные с опилками, образовавшимися при раскряжёвке круглых лесоматериалов круглыми пилами измельченные в дезинтеграторе и обезвоженные в коротжимном прессе (далее по тексту «кора»), а также скоп и отсев. Кора и отсев были проанализированы с целью установления их фракционного состава по крупности частиц. В результате было установлено, что кора имеет следующий состав по массовым долям фракционный: остаток на сите с отверстиями диаметром 30 мм – 0,00 %, остаток на сите с отверстиями диаметром 20 мм – 7,17 %, остаток на сите с отверстиями диаметром 10 мм – 38,46 %, остаток на сите с отверстиями диаметром 5 мм – 27,26 %, остаток на сите с отверстиями диаметром 3 мм – 17,42 %, остаток на сите с отверстиями диаметром 2 мм – 6,86 %, остаток на сите с отверстиями диаметром 1 мм – 2,22 %, остаток на поддоне – 0,61 %. Фракционный состав отсева был следующим: остаток на сите с отверстиями диаметром 30 мм – 0,00 %, остаток на сите с отверстиями диаметром 20 мм – 0,00 %, остаток на сите с отверстиями диаметром 10 мм – 38,46 %, остаток на сите с отверстиями диаметром 5 мм – 1,67 %, остаток на сите с от-

верстиями диаметром 3 мм – 45,67 %, остаток на сите с отверстиями диаметром 2 мм – 13,73 %, остаток на сите с отверстиями диаметром 1 мм – 17,97 %, остаток на поддоне – 1,49 %. Скоп представлял собой сгусток мелких кусочков коры древесины, уловленный сеткой фильтра для корусодержащей воды от окорочных барабанов. Для исследования со сгустителя отбиралась спрессованная масса толщиной около 20 мм и влажностью 78,1% [8]. Фракционный состав скопа не определялся.

Исследования проводились в два этапа. На первом – определялся состав смеси, позволяющий получить наиболее прочные образцы для каждого вида отходов. На втором – при изготовлении образцов в качестве наполнителя использовалась комбинация отходов. В ходе исследования использовались образцы в форме куба с ребром 70 мм. Распалубка образцов производилась через 24 часа. Через 28 суток образцы испытывались на прочность при осевом сжатии по направлению формования.

Испытаны полученных после выдержки образцов проводились с использованием электромеханической испытательной машине SHIMADZU AG 50kN X. Нагрузка прикладывалась вдоль оси симметрии образца, скорость смыкания плит испытательной машины – 10 мм/мин. Образцы нагружались по направлению формования смеси до разрушения или деформации 10 мм.

По результатам первого этапа исследований было установлено, что соотношение масс древесного наполнителя и цемента оказывает значимое влияние на прочность древесно-цементного композита. При определении прочности методом сжатия наилучшее значение (8419,81 Н) при использовании скопа в качестве наполнителя получено для смеси содержащей 32 % скопа, 42 % цемента, 21 % воды, 1 % $Al_2(SO_4)_3$ и 4 % $Na_2O(SiO_2)_n$ в массовых долях от общей массы смеси. В случае использования коры в качестве наполнителя наилучшее значение (4466,60 Н) достигнуто при использовании смеси содержащей 18 % скопа, 42 % цемента, 35 % воды, 1 % $Al_2(SO_4)_3$ и 4 % $Na_2O(SiO_2)_n$ в массовых долях от общей массы смеси. В случае использования отсева в качестве наполнителя наилучшее значение (15295,91 Н) достигнуто при использовании смеси содержащей 16 % скопа, 42 % цемента, 37 % воды, 1 % $Al_2(SO_4)_3$ и 4 % $Na_2O(SiO_2)_n$ в массовых долях от общей массы смеси.

На втором этапе исследования в качестве наполнителя при изготовлении образцов использовались смеси коры и скопа, коры и отсева, а также скопа и отсева. При использовании комбинации скопа и коры в качестве наполнителя было установлено, что повышение доли коры ведет к повышению прочности образца. Наилучший результат для этого показателя был достигнут когда наполнитель содержал 25 % скопа и 75 % коры и составил 8484,74 Н. Наихудший – был достигнут когда наполнитель содержал 75 % скопа и 25 % коры и составил 6702,00 Н.

При использовании комбинации отсева и скопа в качестве наполнителя было установлено, что уменьшение доли скопа ведет к повышению прочности образца. Наилучший результат для этого показателя был достигнут когда наполнитель содержал 75 % отсева и 25 % скопа и составил 25818,72 Н. Наихудший – был достигнут когда наполнитель содержал 75 % скопа и 25 % отсева и составил 8626,72 Н.

Исследование на образцах содержащих в качестве наполнителя комбинацию коры и отсева показало, что уменьшение доли коры ведет к повышению прочности образца. Наилучший результат для этого показателя был достигнут когда наполнитель содержал 75 % отсева и 25 % коры и составил 17719,80 Н. Наихудший – был достигнут когда наполнитель содержал 75 % коры и 25 % отсева и составил 10675,10 Н.

Полученные результаты и их сравнение с нормативными показателями для арболитов позволяют сделать заключение о том, что все образцы, испытанные в ходе исследования, соответствуют разным классам арболита по прочности на сжатие. Установлено что образцы, изготовленные с использованием в качестве наполнителя коры, скопа, отсева, а также смеси коры и скопа по прочности соответствуют классам В 0,35, В 0,75, В 1, теплоизоляционного арболита. Определено что образцы, содержавшие в качестве древесного наполнителя смеси,

состоящие из 75 % коры и 25 % отсева, 50 % отсева и 50% скопа, 50 % коры и 50 % отсева, 25 % коры и 75 % отсева, 75 % отсева и 25% скопа, также как и образцы из отсева по прочности при осевом сжатии соответствуют конструкционным арболитам классов В 1,5, В 2,0, В 2,5 В 3,5.

По итогам исследования можно сформулировать следующие выводы:

1. Отходы древесно-подготовительного производства ЦБК по своему виду, составу и физическим свойствам соответствуют древесному сырью, используемому в настоящее время для изготовления материалов на основе древесно-цементной смеси.
2. Максимальное значение прочности 4,48 МПа, полученное в ходе исследования, достиг образец с наполнителем в виде смеси отсева и скопа (процентное соотношение 75/25), превосходит наименьшее значение конструкционного арболита класса В 3,5 на 27 %.
3. Наименьшее значение прочности 0,38 МПа, полученное в ходе исследования, достиг образец с наполнителем в виде коры, превосходит наименьшее значение теплоизоляционного арболита класса В 0,35 на 8,6 %.
4. Образцы, в которых в качестве наполнителей использовались скоп, кора и отсев не уступают по прочности арболиту. Меняя процентное соотношение наполнителей в тесте, можно получать материал необходимой прочности.
5. Использование различных видов измельченной древесины для изготовления строительных материалов на основе древесно-цементной смеси является выгодным и актуальным производством.

Перспективы дальнейшей разработки темы диссертации связаны с безотходным производством. Предприятия, на которых образуются отходы, могут параллельно производить строительный материал для своих нужд. Кроме того, изучая зависимость фрактальной размерности от прочности образцов, можно в дальнейшем использовать оптические методы оценки однородности образцов на производствах наряду с акустическими.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев А. А. Анализ технологических операций получения древесной щепы / А. А. Андреев, Н. А. Доспехова, В. С. Копарев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета = Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2012. № 81. С. 374 – 389.
2. Васильев С. Б. Влияние технологических параметров на выход щепы / С. Б. Васильев, Л. А. Девятникова, Ю. В. Никонова, М. И. Зайцева // Научные труды SWorld. 2014. Т. 8. № 1. С. 21 – 27.
3. Васильев С. Б. О влиянии характеристик загрузочного устройства рубительной машины и измельчаемого баланса на качество щепы / С. Б. Васильев, Г. Н. Колесников // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 8 – 5. С. 973 – 974.
4. Васильев С. Б. Об эффективности использования отходов переработки древесины как сырья для получения строительных материалов в сочетании с неорганическими добавками / С. Б. Васильев, И. В. Симонова, М. Ю. Городничина // Инновационные научные исследования: теория, методология, практика сборник статей Международной научно-практической конференции. – 2016. С. 15-20.
5. Васильев С. Б. Оптические оценки анизотропии древесного композита / С. Б. Васильев, В. Б. Ефлов, В. С. Копарев // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сб. науч. тр. по материалам междунар. заочной науч.-практ. конф. – Воронеж, 2014. Т. 2, № 4. С. 213 – 216.

6. Васильев С. Б. Параметры ситового анализа отсева, образовавшегося при производстве технологической щепы / С. Б. Васильев, С. А. Титова, А. В. Питухин, М. Ю. Городничина // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 11–4. С. 664 – 667.
7. Васильев С. Б. Учет реперных изображений для обработки образцов древесных композитов / С. Б. Васильев, В. Б. Ефлов, В. С. Копарев // *Ресурсосберегающие технологии, материалы и конструкции: сб. ст. по материалам регион. науч.-практ. конф., 18 апреля 2014 г. – Петрозаводск: Изд-во Петропресс, 2014. С. 56 – 61.*
8. Городничина М. Ю. Влияние фракционного состава отсева на прочностные характеристики материала из древесно-цементного композита / М. Ю. Городничина, С. А. Титова, И. О. Цулая, С. Б. Васильев // *Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии: сб. статей по материалам международной научно-практической конференции. ФГБОУ ВПО "Петрозаводский государственный университет". 2015. С. 56 – 60.*
9. Доспехова Н. А. Повышение эффективности переработки лесоматериалов в измельчаемую древесину технологического назначения / Н. А. Доспехова, В. С. Копарев // *Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии: сб. ст. по материалам науч.-практ. конф., 23 – 28 июня 2013 г. – Петрозаводск, 2013. – С. 15 – 19.*
10. Копарев В. С. Перспективы использования скопа в качестве сырья для производства древесно-цементной композиции / В. С. Копарев // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сб. науч. тр. по материалам междунар. заочной науч.-практ. конф. – Воронеж, 2014. Т. 2, № 3 – 2 (8–2). – С. 92 – 95.*
11. Модель разрушения древесностружечных плит при растяжении перпендикулярно пласти / Питухин А. В., Васильев С. Б., Колесников Г. Н. [и др.] // *Ученые записки ПетрГУ*. 2013. № 6 (135). С. 68 – 72.
12. Титова С. А., Васильев С. Б. Влияние размера древесных частиц заполнителя на теплопроводность древесно-цементного композита // *Фундаментальные исследования*. 2016. № 5 – 1. С. 53 – 57.
13. Переработка отходов древесно-подготовительного цикла целлюлозно-бумажного комбината в древесно-цементный материал / В. С. Копарев, С. Б. Васильев, М. В. Филичкина, Г. Н. Колесников. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2016. 103 с.
14. Филичкина М. В. Отходы древесно-подготовительного цикла производства газетной бумаги, как сырьё для изготовления древеснокомпозиционных материалов / М. В. Филичкина, В. С. Копарев, С. Б. Васильев // *Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии: сб. статей по материалам международной научно-практической конференции*. 2015. С. 66 – 81.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДХОДОВ К ВЫБОРУ
МАРШРУТОВ ПЕРЕВОЗКИ ДРЕВЕСИНЫ**

Короленя Р. О., ст. преп., к.т.н.

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

**IMPROVEMENT OF APPROACHES TO THE ELECTION
ROUTES OF CARRIAGE OF WOOD**

Korolenia R. O., Senior Lecturer, PhD

Belarusian State Technological University
(Minsk, Republic of Belarus)

The article proposes the solution of the important problem of classification of transportation routes in terms of the degree of influence of road conditions on the time of movement of timber transport vehicles on them during transportation of timber cargoes. This problem is proposed to be solved using the well-known XYZ method. The article describes the sequence of implementation of the proposed method, and the results of the research conducted by the authors in the production environment confirm the possibility of practical application of the XYZ-method for improving the method of selecting routes for timber transportation.

Динамичное развитие лесной отрасли обуславливает жесткие требования к качеству управления технологическими процессами заготовки, перевозки, а также первичной переработки древесины. В настоящее время предприятия лесной отрасли работают в условиях постоянного роста объемов заготовки и использования древесины. Объемы строительства лесовозных дорог при этом незначительны. Это негативно отражается на технико-экономических показателях работы лесовозных транспортных средств.

В таких условиях важную роль играет решение задач планирования и организации перевозки древесины по существующим маршрутам, что затруднительно без определения оптимальных.

Учреждения и организации, ведущие заготовку и вывозку древесины, осуществляют свою деятельность в установленных географических границах. Это позволяет утверждать о том, что перевозка древесины (и других лесных грузов) ограничивается определенным количеством маршрутов, связывающих погрузочные площадки и потребителей. При этом, маршрутная сеть может иметь разный количественный и качественный состав, что вызывает проблему учета влияния многочисленных факторов на работу транспортных средств задействованных в процессе перевозки древесины [1].

Для оценки сложности движения на том или ином маршруте разработан ряд методик [2, 3]. Основным их недостатком является невозможность определения влияния на продолжительность перевозки грузов факторов, связанных с общим характером движения на том или ином маршруте (типы покрытия, организация движения в населенных пунктах, способы регулирования движения, интенсивности движения по дорогам общего пользования и др.).

В маршрутной сети любого лесозаготовительного предприятия объективно существуют маршруты со схожими условиями движения (одинаковые участки дорог, входящие в маршрут, количество населенных пунктов и др.). Вероятность сходства влияния на время хода одного километра дорожных условий на таких маршрутах для транспортных средств достаточно высокая, что позволяет утверждать о возможности классификации маршрутов движения по степени влияния условий движения на маршруте на время движения.

Как показывает практика, при выборе маршрута перевозки грузов, в качестве основных критериев оптимальности выступают: минимальная длина маршрута, минимальная стоимость транспортной работы, максимальная скорость транспортных средств и т.д. При

этом разработанные методы и методики выбора оптимальных маршрутов перевозки грузов не имеют увязки с дальнейшими этапами организации технологического процесса перемещения древесины.

Процесс перевозки древесины, а, равно как и других лесных грузов, имеет свою специфику. Отличительные особенности не позволяют использовать стандартные методы организации маршрутной сети перевозок.

Это связано с тем, что заготовленная древесина (сортименты, хлысты и деревья) имеют ограниченные сроки своей переработки и реализации. Поэтому, при организации процесса перевозок древесины важнейшим этапом является выбор оптимальных маршрутов перевозки с учетом не только указанных ранее факторов, но и имея в виду разделение эксплуатационных показателей маршрутов перевозки на группы.

Формирование групп маршрутов перевозки древесины предлагается осуществлять на основании метода XYZ-анализа. Данный метод широко распространен в складской логистике и: «предусматривает деление запасов на три номенклатурные группы в зависимости от степени равномерности спроса и точности прогнозирования» [4].

Такой подход позволяет использовать анализ XYZ для классификации маршрутов движения лесовозных транспортных средств на три группы в зависимости от степени равномерности влияния дорожных условий на продолжительность перевозки на этих маршрутах. Степень влияния дорожных условий на время движения предлагается оценивать по коэффициенту вариации среднего значения времени хода одного километра по маршруту для данного типа транспорта.

К группе X будут относиться маршруты перевозки, для которых значения рядов данных времени хода одного километра равномерны или незначительно колеблются.

В группу Y включаются маршруты движения, для которых наблюдаются значительные колебания значений времени хода одного километра.

В группу Z войдут маршруты движения, для которых наблюдаются нерегулярные отклонения значений времени хода одного километра.

Процедура классификации маршрутов движения на группы X, Y, Z сводится к сравнению коэффициента вариации среднего значения времени хода одного километра с нормативными значениями, определяющими границы групп X, Y и Z [4, 5, 6, 7, 8]. Коэффициент вариации времени хода одного километра определяется по зависимости (1):

$$V_t = \frac{\sigma}{t_{cp}}, \quad (1)$$

где V_t – коэффициент вариации времени хода одного километра; σ – среднее квадратическое отклонение значений времени хода одного километра, мин; t_{cp} – среднее значение времени хода одного километра транспортного средства, мин.

Среднее квадратическое отклонение значений времени хода одного километра определяется по формуле (2):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (t_i - t_{cp})^2}{N}}, \quad (2)$$

где t_i – текущее значение времени хода одного километра, мин; N – количество значений времени хода в исследуемой выборке.

Нормативные значения интервалов коэффициента вариации:

- для группы X составляют 0–1,0 (0–10%);
- для группы Y – 1,0–2,5 (10–25%);
- для группы Z более 2,5 (25%) [5].

С целью проверки на возможность практического использования метода XYZ-анализа для классификации маршрутов перевозки древесины, были организованы производственные исследования в ГОЛХУ «Осиповичский опытный лесхоз».

Фрагмент схемы маршрута исследуемой сети в грузовом направлении приведен на рисунке 1. Исследования проводились на 18 маршрутах в различные периоды года.



Рисунок 1 – Схема маршрута грузового хода № 3

В качестве исследуемого тягово-прицепного состава были использовались сортиментовозы МАЗ-630308 + МАЗ 83781020 и Урал-43202 + 2ПП4, так как наибольший процент перевозимых сортиментов в лесхозе (более 80%) приходится именно на сортиментовозы указанных марок. Проведенные исследования показали возможность практического использования метода XYZ-анализа для классификации маршрутов перевозки древесины. Анализ полученных результатов по определению коэффициента вариации времени хода 1 км на маршруте позволяет сделать вывод, что исследуемая маршрутная сеть в ГОЛХУ «Осиповичский опытный лесхоз» сортиментовозами МАЗ-630308 + МАЗ 83781020 и Урал-43202 + 2ПП4 относится группе X.

Необходимо отметить, что в ходе исследований выявлено, что значения времени рейса, полученные на маршрутах групп Y и Z по разработанной методике имеют значительные расхождения с фактическими (до 53%). Обусловлено это в первую очередь значительными колебаниями значений времени проезда 1 км и времени на маршруте в целом в связи с нерегулярным влиянием факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Короленя, Р. О. Результаты исследований временных характеристик движения сортиментовозов / Р. О. Короленя // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2009. – Вып. XVII. – С. 67–70.
2. Нефедов, А.Ф. Расчет режимов движения автомобилей на вычислительных машинах / А.Ф. Нефедов. – Киев: Техника, 1970 – 210 с.
3. Чупраков, А. М. Исследование и обоснование эксплуатационных показателей дорожно-транспортной сети лесозаготовительных предприятий: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / А. М. Чупраков; БТИ им. С. М. Кирова. – Минск, 1978. – 26 с.
4. 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.
5. Гаджинский, А.М. Практикум по логистике. – 2-е изд., перераб. и доп. / А.М. Гаджинский. – М.: Маркетинг, 2001. – 180 с.
6. Пижурин, А. А. Основы научных исследований в деревообработке: учебник для вузов / А. А. Пижурин. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2005. – 305 с.
7. Насковец, М. Т. Классификация маршрутов транспортировки сортиментов с использованием XYZ-анализа / М. Т. Насковец, Р. О. Короленя // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 71–75.
8. Короленя, Р. О. Классификация маршрутов перевозки древесины и определение продолжительности движения по ним сортиментовозов в условиях работы лесохозяйственных учреждений Республики Беларусь / Р. О. Короленя // Технология и оборудование лесопромышленного комплекса: сборник научных трудов СПбГЛТУ. – 2013. – Вып. 6. – С. 109-116.

**ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТОПЛИВНОЙ ЩЕПЫ.
ОПЫТ ПРИБАЛТИЙСКИХ СТРАН**

**Легкий В. В., заместитель директора, Язубец Ю. Н., директор
ЧУП «Биоэнергетика»
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: bioenergetika@tut.by**

**EQUIPMENT AND TECHNOLOGIES FOR OBTAINING A FUEL CHIPS.
EXPERIENCE OF THE BALTIC COUNTRIES**

**Liohki V. V., Deputy Director, Yazubets Y. N. Director
PUE «Bioenergetika»
(Minsk, Republic of Belarus)**

Abstract: The article contains the information about choice of chipper. The features of mobile and stationary chippers are considered, as well as the main aspects that influence their choice. The experience of the Baltic countries in the production of fuel chips from wood waste (branches, twigs, tree tops) is described. Covered the questions of quality of wood chips.

Существующий объем древесины в Беларуси – это хороший потенциал, который можно использовать в энергетических целях. За последние годы большое количество котельных системы ЖКХ было переведено на использование местных видов топлива (МВТ). Также построены и введены в эксплуатацию мини-ТЭЦ на МВТ, которые обеспечивают энергией небольшие города и районные центры. Основная масса данных источников энергии, на территории Беларуси, в качестве топлива используют топливную щепу.

Для получения топливной щепы применяется специализированная техника, а точнее комплекс машин, который включает в себя:

- технику для заготовки;
- рубительную машину;
- транспорт.

Центральное место в данном случае занимает рубительная машина и в зависимости от того какая топливно-сырьевая база, а также выбранная логистическая цепочка, применяется та либо иная технология. Укрупненно можно выделить несколько способов производства топливной щепы:

- на делянках в лесу или верхнем складе;
- на нижнем складе или на специально подготовленных площадках.

Принципиальным моментом является то – какую рубительную машину выбрать – стационарную или мобильную. В зависимости от данного выбора будет выстраиваться комплекс машин, в особенности транспорт (лесовозы или щеповозы). Точный расчет, учет всех особенностей и нюансов – залог успеха в правильности выбора технологической цепочки, соответственно и рубительной машины.

Завод изготовитель JENZ GmbH (Германия), имеет широкий спектр рубительных машин, как относительно исполнения (мобильная и стационарная), так и по производительности (от 1.000 до 30.000 плотных м³ щепы в месяц).

Мобильную рубительную машину стоит выбирать в том случае, когда топливно-сырьевая база значительно рассредоточена в пределах одного района, либо в пределах нескольких районов или даже областей. Возможна и такая ситуация, когда имеется несколько энергетических источников, которые необходимо обеспечивать топливной щепой, производимой одной рубительной машиной. Также следует понимать, что при отсутствии собственной топливно-сырьевой базы, риски, связанные с отсутствием сырья, возрастают. Такая ситуация возникает в основном у организаций, которые оказывают услуги.

Мобильные рубительные машины условно можно разделить по степени мобильности:
– на базе прицепов и полуприцепов (со сцепной петлей (рисунок 1) либо под седельный тягач (рисунок 2));



Рисунок 1 – Мобильные рубительные машины JENZ GmbH со сцепной петлей



Рисунок 2 – Мобильные рубительные машины JENZ GmbH под седельный тягач

– на базе шасси грузовых автомобилей (с приводом от двигателя грузовика (рисунок 3) либо с собственным дизельным двигателем (рисунок 4)).



Рисунок 3 – Мобильные рубительные машины JENZ GmbH с приводом от двигателя грузовика



Рисунок 4 – Мобильные рубительные машины JENZ GmbH с собственным дизельным двигателем

Подбор мобильной рубительной машины будет зависеть от производительности, организации производства, ежемесячного пробега и особенностей эксплуатации. Исходя из опыта белорусских предприятий, можно выделить определенную закономерность. При работе в радиусе 50–100 км и пробегах в месяц около 1000–1500 км – выбирают прицепную рубительную машину. Если предполагается работа в условиях рассредоточенной сырьевой базы (в нескольких областях, снабжая щепой несколько энергообъектов либо работа на услугах) и пробегах в месяц более 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 МТЗ, имеют скорость передвижения около 40 км/ч и большой радиус разворота.

Стационарная рубительная машина одновременно с рядом ограничений, по сравнению с мобильной рубительной машиной, имеет и свои преимущества, которые позволяют ей занять свою нишу (рисунок 5).



Рисунок 5 – Стационарные рубительные машины JENZ GmbH с электро двигателем

Основное распространение стационарные машины получили у предприятий, которые «тонко» проработали вопрос топливно-сырьевой базы, локализовали производство и могут обеспечить отличную логистику как в поставке сырья, так и у себя на площадке.

Главной особенностью стационарных рубительных машин является необходимость бесперебойного обеспечения сырьем и отгрузки готовой щепы. Основой бесперебойной подачи сырья является возможность аккумулировать сырье на площадке, постоянно загружать машину, а также отводить/убирать щепу от машины.

Выделяют три варианта загрузки сырья в стационарную рубительную машину:

– с помощью дополнительного падающего транспортера или подающего стола. Такую схему применяют, когда стационарная рубительная машина стоит в линии на крупных предприятиях и весь процесс автоматизирован (блок управления машиной подключается к главному пульту в диспетчерской);

– посредством гидравлического манипулятора. Обычно это стационарно установленный гидравлический манипулятор рядом с машиной или на лесовозе, который подвозит сырье и загружает машину;

– загрузка с помощью фронтального погрузчика.

Произведенная щепа при помощи системы транспортеров или фронтальным погрузчиком загружается в автощеповозы, железнодорожные вагоны или складывается в бурты. Загрузка щепы транспортерами в автощеповозы или железнодорожные вагоны подразумевает работу с колес и поэтому большинство предприятий организывает оперативный склад щепы. Фронтальный погрузчик со сменными рабочими органами (челюстной захват и ковш) позволяет обеспечить бесперебойную работу стационарной рубительной машины и выполняет как подвоз сырья, так и перемещение щепы с последующей ее загрузкой.

Минусы данной технологии заключаются в ограничениях касающихся топливно-сырьевой базы и необходимости «тонкой» настройки всей логистической цепочки (подвоз сырья и транспортировка готовой щепы). Данную технологию выбирают главным образом для минимизации затрат на рубку 1 м^3 плотного щепы. Есть примеры предприятий, которые имеют как мобильные, так и стационарные рубительные машины. Затраты на рубку 1 м^3 плотного щепы у стационарных рубительных машин в 2–3 раза меньше по сравнению с мобильными, однако у владельцев техники нет однозначного ответа на вопрос: «Что лучше – мобильная или стационарная?». Каждый отвечает на этот вопрос сам.

Выбор рубительной машины также зависит и от исходного сырья, которое необходимо переработать. Например, ветви, сучья, вершинки не повезешь к стационарной рубительной машине. Если вернуться к истокам зарождения рынка топливной щепы в Беларуси, то еще 10–12 лет назад основным сырьем были дрова, а горбыль и порубочные остатки не рассматривались в качестве сырья для производства щепы. Позже начали перерабатывать горбыль, но порубочные остатки оставались уделом европейских стран, в том числе Прибалтики.

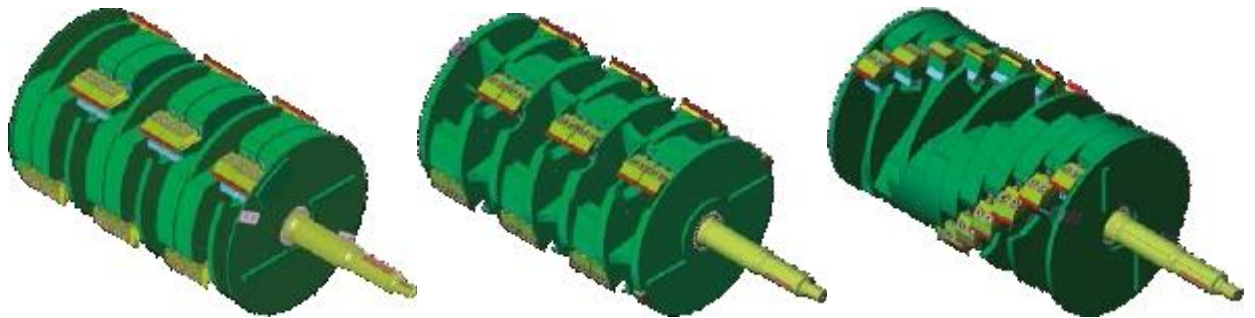
В Прибалтийских странах выработали определенную технологию получения щепы. Основой данной технологии является сбор на делянке порубочных остатков и вывоз их из леса на верхний склад для последующей переработки. При этом стараются выбирать место для складирования порубочных остатков в бурты таким образом, чтобы оно позволяло максимально продувать и подсушивать данное сырье, а также аккумулировать не менее 100–150 плотных м^3 и подсушивать их на протяжении 1–3 месяцев. Последующая переработка производится с помощью высокопроизводительной рубительной машиной JENZ (рисунок 6).



Рисунок 6 – Бурты с порубочными остатками и тонкомером с рубок ухода

На территории Беларуси уже начали появляться предприятия, которые сконцентрировали свое внимание непосредственно на переработке порубочных остатков. Пока существуют как административные препятствия, так и технологические. На данный момент большинство рубок проводится без учета того, что порубочные остатки будут использоваться в виде сырья для получения топливной щепы.

При работе с порубочными остатками стоит уделять внимание качеству щепы. Энергообъекты предъявляют определенные требования, которые необходимо соблюдать. В зависимости от перерабатываемого сырья (дрова, горбыль или ветки), необходимо правильно подобрать тип ротора, для того чтобы получить максимальное качество щепы (рисунок 7).



а) ротор закрытого типа. б) ротор открытого типа в) ротор спирального типа

Рисунок 7 – Типы роторов рубительных машин JENZ для топливной щепы

По входному сырью производится выбор ротора, который оптимально подходит для получения необходимого качества щепы:

- ротор закрытого типа – меньшее количество так называемых «лещей» при рубке мелкотоварной древесины, порубочных остатков, горбыля и реек;
- ротор открытого типа – меньшее содержание мелкой фракции и хороший поток щепы (производительность) при значительном количестве дровяной древесины с большим диаметром;
- ротор спирального типа – очень плавный ход как при измельчении мелкого сырья, так и крупной стволовой древесины.

Также в зависимости от перерабатываемого материала все роторы могут работать с использованием одинарного или двойного количества ножей. При измельчении стволовой древесины стоит использовать одинарное количество ножей (получится крупнее щепа), а при измельчении порубочных остатков и горбыля – двойное количество (будет меньше содержание так называемых «лещей»).

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ЛЕСОЗАГОТОВКЕ И ТРАНСПОРТИРОВКЕ
ДРЕВЕСИНЫ В НАЧАЛЕ-СЕРЕДИНЕ XX ВЕКА**

Štollmann V., doc. Ing. CSc. PhD., Šurkovský O., Ing., Slugeň J., Ing. PhD

Технический университет в Зволене

(Зволен, Словацкая Республика), e-mail: stollmannv@tuzvo.sk

**ECOLOGICAL APPROACH TO FOREST HARVESTING AND WOOD TRANSPORT
IN FIRST HALF OF THE XX. CENTURY**

Stollmann V., Assoc. Prof., PhD, Surkovsky O., Ing., Slugen J., Ing. PhD

Technical university in Zvolen

(Zvolen, Slovak Republic)

The aim of the paper is to describe History and technical parameters of Lubochnianska Electrified Railway (original Slovak name “Lubochnianska elektrofikovaná lesná železnica”). It was put into operation in 1903 and was used till 1966. It represented timeless wood transporting technology of the mentioned period. The paper can contribute to the discussion aimed at the issue of closing the railway line in terms of ecology. Low prices of fossil fuels for working machines and cars were considered the main reasons to close the railway line.

Лесотранспорт, основанный на использовании узкоколейных лесных железных дорог был первым механизированным транспортом древесины. В прошлом столетии на территории Словакии было построено 70 узкоколейных лесных железных дорог с суммарной длиной около 800 км [2]. В этой отрасли Словакия занимала одно из передовых мест в мире. Многие лесные железные дороги были уникальными техническими сооружениями. Одним из них была Любохнянская электрофицированная лесная железная дорога.

Любохнянская электрофицированная лесная железная дорога была построена в Любохнянской долине (рисунок 1) среди горного массива Велька Фатра в 1904 г. [5].



Рисунок 1 – Любохнянская долина одна из самых длинных в Словакии (фото Ловас)

Примечания:

1. Самая первая железная дорога в мире была построена на британском курорте «Brighton» в 1825 г. Использовалась как аттракцион для туристов.
2. Первой железной дорогой в бывшей Австрийско – Венгерской империи была ширококолейная железная дорога, построенная между городами Табор и Бецшыне в 1859 г. легендарным изобретателем Ф. Крижиком.

Долина была уже в это время любимым местом для отдыха с прекрасной природой в здоровой горной среде. В начале долины находится курортный город Любохня. По долине протекает речка Любохнянка, которая весь год достаточно полноводна. Прежде всего, эти факторы привели к тому, что лесники отказались от паровой машины, загружающей воздух дымом, в пользу экологически чистой электрической энергии. В то время это было пионерское решение, для которого требовалась постройка собственной гидроэлектростанции. Примечательно, что выработанная электроэнергия использовалась не только для питания транспортной системы, но и для электрификации отелей и вилл, энергоснабжения лесопильного завода и освещения улиц. Это было в то время, когда улицы в большинстве европейских городов ещё освещались газом. Лесопромышленники, таким образом, внесли свой вклад в повышение жизненного уровня и развития всего края.

Малая гидроэлектростанция (рисунок 2, а), построенная лесопромышленниками была в 1993 г. реконструирована. Оснащена 3 шт. подлинных Францисовых турбинных установок (рисунок 2, б), две с мощностью 200 кВт и одна с мощностью 20 кВт [1]. Она была признана техническим и культурным памятником.



а



б

Рисунок 2: а – Реконструированное здание малой гидроэлектростанции [6], б – Подлинные турбинные установки и электрические генераторы [6]

В 1942 г. электрифицированный путь достигал в длину 19,5 км (рисунок 3). Длина отводок достигала 9,97 км. Электрическая тяга питалась постоянным напряжением 550 В. Был использован одиночный подвесной провод с поперечным сечением 30 мм². Как второй провод были использованы рельсы. Опоры были деревянными. Максимальный уклон железной дороги был 39,9 промилле. Минимальный радиус поворота – 50 м., вес рельса 10,9 кг. м⁻¹ [3].



Рисунок 3 – Карта Словацкой Республики с заштрихованными лесными комплексами Любохнянской долины и с нанесённой трассой лесной железной дороги

На дороге сначала работало два электрических локомотива произведенных фирмой «Ganz és Tárša» из Будапешта. Их вес был 5,5 т. Локомотивы имели 2 электродвигателя, каждый с мощностью 12 кВт, по одному на каждую ось [3].

В 1944 г. в Германии был закуплен электрический локомотив берлинской фирмы «AEG» (рисунок 4, а) поменьше, мощностью 15 кВт. Он служил, прежде всего, для перемещения составов с грузом, для оказания скорой помощи, для доставки детей из долины в школу и перевозки туристов (рисунок 4, б) [3].



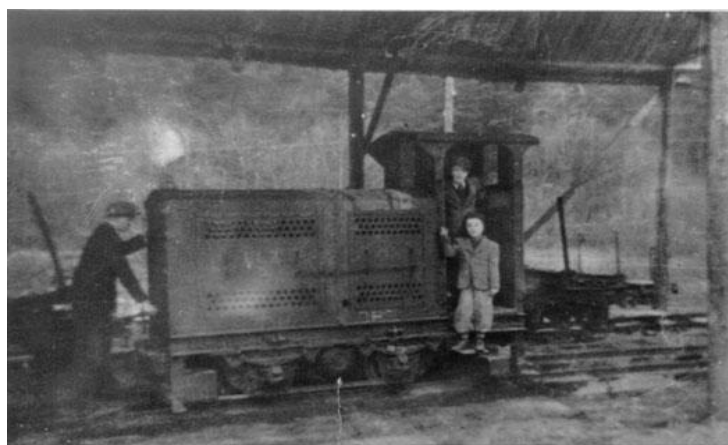
а

б

**Рисунок 4: а – Движение состава с локомотивом «AEG» [6],
б – Перевозка туристов локомотивом «AEG» (фото Ловас)**

В зимние месяцы, когда выпадало много снега или в пруде гидроэлектростанции замерзала вода, для транспортировки древесины использовали паровой локомотив. Электрические локомотивы тогда были не способны преодолевать большие наметы снега. Снег способствовал и коротким замыканиям в электрических двигателях. Обслуживание и ремонт двигателей и других электрических частей локомотива производили работники гидроэлектростанции.

Электрифицирована была только главная дорога, построенная в центральной части долины. Дороги в боковых ответвлениях долины не были электрифицированы. Сначала для перемещения этих холостых вагонов до боковых долин использовалась конная тяга. С 1928 г. начали использоваться локомотивы «GEBUS» (рисунок 5) фирмы «Ferguson» из Праги, работавшие на бензине. Их мощность была 15 кВт [4].



**Рисунок 5 – Локомотив «GEBUS» с бензиновым двигателем
чехословацкого производства [6]**

В 60 годах прошлого века в лесном хозяйстве стали использоваться грузовые автомобили. Они позволили сделать доступными отдалённые долины, куда началась перемещаться заготовка древесины по мере того, как была исчерпана древесина из центральной части Любохнянской долины. В то время железная дорога эксплуатировалась более 50 лет, и ей требовался капитальный ремонт. Работа на железной дороге становилась всё более опасной. Лесопромышленники думали, как поступать далее: инвестировать финансовые средства в дорогой ремонт железной дороги или перейти на автомобильный транспорт. Наконец решили выбрать автомобили. Цена нефти была тогда низкой и авторанспорт был экономически выгоден и удобен. В 1966 г. эксплуатация железной дороги была прекращена.

Любохнянская электрофицированная лесная узкоколейная железная дорога была построена в 1903-1904 г. В то время она стала свидетельством высокого технического уровня и ответственного отношения к природе словацких лесопромышленников. Ее опыт показывает современным лесопромышленникам, что основой для технического развития является высокий уровень технического образования и что управление лесным хозяйством должно быть основано на почитании природы.

Статья возникла в рамках выполнения проекта Министерства образования, науки, исследования и спорта Словацкой Республики KEGA № 011TU Z-4/2015.

ЛИТЕРАТУРА

1. Junek J. Putovanie za kúzlom lesných železníc – vôňa dymu a ihličia. Zvolen: Ústav pre výchovu a vzdelávanie pracovníkov lesného a vodného hospodárstva SR, 2002.
2. Kubáček J. a kol. Dejiny železníc na území Slovenska, Bratislava: ŽSR, 1997.
3. Kučera A., Bilek A. Karpatské lesní železnice, Náchod: Konting, 2007.
4. Mazúrek J.: História lesných železníc na strednom Slovensku. In: Stredné Slovensko 7, Bratislava: Osveta, 1988.
5. Rojko J. História Ľubochňanskej lesnej železnice. Bakalárska práca. Zvolen: TU , 2015.
6. www.lubochna.sk, [cit. 20.03.2017].

ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ КОМАЦУ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Гурский А. В.¹, руководитель дилерского центра

Komatsu Forest в Республике Беларусь,

Хотянович А. И.², ассист.

¹ООО «Спектртрейдинг»

(Минск, Республика Беларусь), e-mail: komatsu@spt.by

²Белорусский государственный технологический университет

(Минск, Республика Беларусь), e-mail: alexander.khotyanovich@gmail.com

KOMATSU FOREST MACHINES IN THE REPUBLIC OF BELARUS

Gursky A. V.¹, Head of the Komatsu Forest dealer centre in the Republic of Belarus,

Khotyanovich A. I.², Assist.

¹LLC «Spectrtreiding»

(Minsk, Republic of Belarus)

²Belarusian State Technological University

(Minsk, Republic of Belarus)

The article shows some directions of forest machine dealer working in the Belarusian logging market. There distribution of logging companies between forest enterprises are also illustrated. Authors of the article say about new workplaces, which were created due to professional service and financial support for logging companies are made from official regional dealer, named «Spectrtreiding».

История бренда лесозаготовительных машин Komatsu Forest (до 2011 года Valmet) на территории Беларуси началась с инвестиционного проекта Европейского Банка Реконструкции и Развития по созданию в Беларуси инфраструктуры лесозаготовок, реализуемых по кандинавскому методу с использованием харвестеров и форвардеров. Во второй половине 90-х годов были приобретены харвестеры и форвардеры Valmet. С целью эффективной эксплуатации лесозаготовительных машин организовывались обучающие поездки в Финляндию и Швецию.

Сегодня в Беларуси 44 юридических лица эксплуатируют 68 машин. Это государственные лесохозяйственные учреждения и частные компании.

С 2012 года ООО «Спектртрэйдинг» представляет в Беларуси Komatsu Forest. В перечень услуг, предоставляемых белорусскому лесозаготовителю, входят финансирование приобретения новых и подержанных лесозаготовительных машин с торговых площадок в Швеции, Финляндии, Великобритании, Франции, других стран Европы, харвестерных агрегатов; сервис, осуществляемый тремя высоко квалифицированными механиками, в распоряжении которых находятся сервисные автомобили, оснащенные необходимым инструментом и современным диагностическим оборудованием; обеспечение запасными частями и расходными материалами со склада в городе Минске.

Сервисные механики регулярно повышают свою квалификацию в центрах Komatsu Forest в Санкт-Петербурге, Сыктывкаре (РФ), в Умеа (Швеция).

В государственных лесохозяйственных учреждениях работают харвестеры Valmet 901.4 и форвардеры Valmet 830.3. Эти машины приобретались лесхозами для проведения рубок ухода. Годовая выработка на один такой харвестер около 27 тыс. м³. Аналогичный показатель по форвардеру – 12,5 тыс. м³. Наиболее популярными машинами у частных лесозаготовителей являются харвестер Komatsu 931.1 и форвардер Komatsu 890.3. В среднем комплекс машин у частной компании заготавливает 60 тыс. м³ в год. Такой показатель достигается круглосуточным режимом работы. За каждой машиной закреплены три или четыре

оператора. В каждой компании есть менеджер-механик, который отвечает за обеспечение производства лесосеками, топливом, запасными частями, расходными материалами.

На рисунке 1 представлены харвестер Komatsu 931.1 и форвардер Komatsu 890.3.



Рисунок 1 – Харвестер Komatsu 931.1 и форвардер Komatsu 890.3

Уровень знаний относительно устройства и особенностей эксплуатации харвестеров и форвардеров у лесозаготовителей непрерывно растет. Это способствует оперативному решению многих технических и организационных вопросов сервисными механиками и специалистами лесозаготовительных компаний по телефону.

Операторы и механики до того, как придут машины, проходят обучение в сервисном центре Komatsu Forest в Санкт-Петербурге.

На рисунке 2 приведена карта Республики Беларусь с обозначением лесхозов, в которых работают машины Komatsu Forest и Valmet.

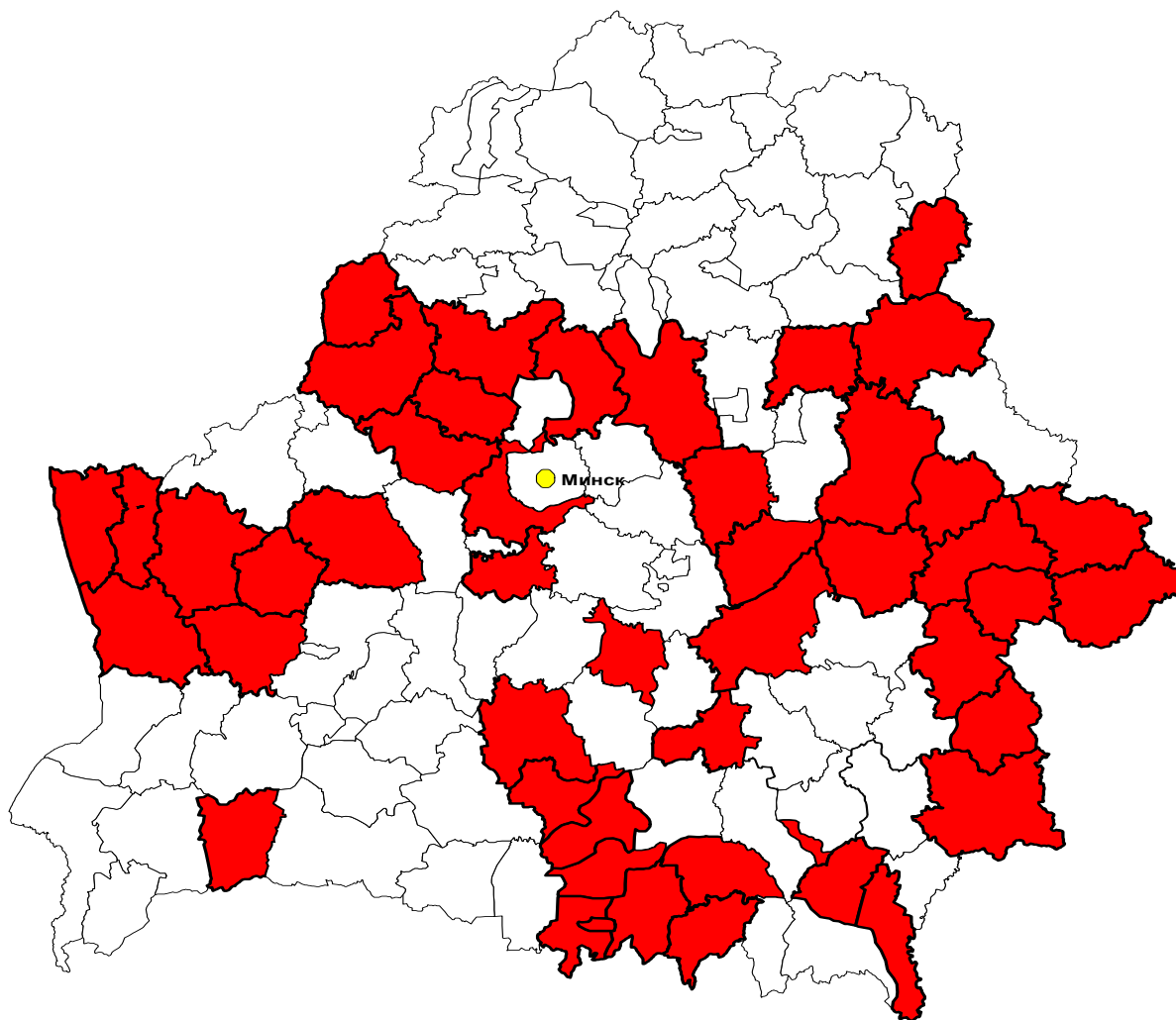


Рисунок 2 – Лесхозы Беларуси, в которых работают лесозаготовительные машины Komatsu Forest и Valmet

За 2015 и 2016 годы в Беларуси были проданы 23 машины Komatsu Forest и Valmet. Это позволило расширить географию присутствия бренда до 45 лесхозов. В указанный период собственниками лесозаготовительных компаний были созданы 96 новых рабочих мест.

Являясь членом Республиканской Лесопромышленной Ассоциации, компания «Спектртрейдинг» активно участвует в развитии лесного комплекса Беларуси, совместно со своими партнерами и менеджментом РЛПА инициируют обсуждение актуальных как для лесозаготовительного сектора, так и для лесного хозяйства в целом задач совершенствования отраслевого законодательства, развития сектора услуг при выполнении лесозаготовительных и лесохозяйственных работ, обучения операторов и механиков лесозаготовительных машин, менеджеров отраслевых компаний.

**СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО БИЗНЕСА
В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

Александрович В. М., генеральный директор
Республиканская Лесопромышленная Ассоциация
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: rlpa@tut.by

STATE AND PERSPECTIVES OF THE BELARUSSIAN LOGGING BUSINESS

Alexandrovich V.M., Executive Director
Republican Forest Industries Association
(Minsk, Republic of Belarus)

There are some perspective directions of Belarusian logging business are shown in the article. The Republican Forest Industries Association was created as a platform, where state and private forest companies could be discuss on actual problems and together make domestic forestry sector more effective and reliable. Due to consolidated work Belarusian logging business has gradual moving to direction of production capacity renewal, of new work places creation, etc.

Республиканская Лесопромышленная Ассоциация зарегистрирована в марте 2006 года. Одна из стратегических задач Республиканской лесопромышленной ассоциации – создание равных конкурентных условий развития предприятий различной формы собственности и подчиненности, осуществляющих деятельность, не противоречащую законодательству Республики Беларусь в области лесного хозяйства, лесной и деревообрабатывающей промышленности, биоэнергетики, образования, отраслевой науки и других смежных областях.

Объединение предприятий в РЛПА позволяет бизнесу формировать консолидированное, свободное от конкретного экономического интереса, мнение, которое влияет на принятие решений при разработке нормативных документов, совершенствовании механизмов торговли.

В настоящее время в Ассоциацию входит более 150 субъектов хозяйствования частного бизнеса. Совет РЛПА, члены ассоциации рассматривают лесной комплекс Беларуси, как динамично развивающуюся отрасль с большим ресурсным и научным потенциалом.

Ежегодное увеличение объемов рубок, возрастающие потребности народного хозяйства республики в древесных ресурсах, избирательные условия экспорта лесоматериалов и продукции деревообработки, появление на отечественном рынке крупных международных корпораций, таких, как «Кроноспан» и «ВМГ-Индустри», развитие национальной системы лесной сертификации, усиление экологической роли лесов, развитие глубокой переработки древесины и использование вторичных древесных ресурсов в энергетических целях, формирование рынка услуг в лесном секторе создают привлекательные условия для инвестирования в производственные и образовательные процессы, в научные исследования, основанные на принципах непрерывного неистощительного использования единственного возобновляемого природного ресурса – древесины.

В настоящее время отечественный лесной частный бизнес наиболее остро зависит от длительного гарантированного обеспечения собственного производства достаточным объемом сырья. Сложилась двойственная ситуация:

- с одной стороны, государство призывает бизнес активно участвовать в создании новых рабочих мест (в лесопользование, как правило, вовлекается население малых городов и сельской местности);
- с другой стороны, разрешает экспорт круглых лесоматериалов лесхозам и национальным паркам, запрещая его частному бизнесу;
- с одной стороны говорится о значительном ежегодном приросте лесосечного фонда;
- с другой стороны ограничивается свободная продажа определённых видов лесоматериалов в связи с необходимостью обеспечения модернизированных госпредприятий.

По мнению Ассоциации, назрела необходимость реформирования лесной отрасли.

Целесообразно, чтобы государственные лесохозяйственные учреждения (лесхозы) Министерства лесного хозяйства занимались только лесохозяйственной деятельностью, т.е. выращиванием леса и сопутствующими лесохозяйственными мероприятиями. Ещё в июне 2006 года было поручение Президента Республики Беларусь о передаче, продаже либо упразднении деревообрабатывающих цехов при лесхозах. Однако лесхозы по-прежнему, в большинстве своём, занимаются лесопилением, производя продукцию небольшой глубины переработки, имеющую невысокую добавленную стоимость.

Правильно, научно обоснованно выполненное поручение Президента, незамедлительно отозвалось бы активностью со стороны частного сектора, который, будучи уверенным в справедливости и долгосрочности таких намерений государства, в кратчайшие сроки нашёл бы необходимые средства для инвестирования в это направление, не взяв ни копейки из бюджета страны, а лишь пополнив его за счёт увеличения сумм обязательных платежей.

Республиканская Лесопромышленная Ассоциация в течение всего срока своей деятельности говорит о необходимости создания рынка услуг. Первым шагом в этом направлении должны стать услуги по заготовке и вывозке древесины.

Двухсторонняя договорённость, подкреплённая научно обоснованными нормативными документами (положениями), диктующими необходимые условия, а именно:

1. Со стороны лесфондодержателя: долгосрочность договоров; обеспечение объёмом работ; справедливая оплата данных работ, согласно соответствующей им стоимости.

2. Со стороны подрядчика: профессионализм, подтверждённый опытом и рекомендациями; гарантия качества выполнения работ с соблюдением требований, установленных нормативными документами; выполнение договорных обязательств по срокам и объёмам работ, в короткие сроки привела бы к появлению значительного числа профильных предприятий частного сектора и развитию их деятельности в данном направлении.

Частный сектор опять же, будучи уверенным в справедливости и долгосрочности таких намерений государства, в кратчайшие сроки нашёл бы необходимые средства для инвестирования и в это направление (приобретение мощностей и подготовка специалистов), не используя бюджетных средств.

Однако и в данном случае ситуация повторяется. В том же 2006 году принимается решение о модернизации крупных перерабатывающих предприятий Концерна «Беллесбумпром». Бесспорно, то, что модернизация данных предприятий была необходима, т.к. продукция, выпускаемая данными предприятиями на устаревшем энергозатратном оборудовании, не соответствовала требованиям времени. К сожалению, научно обоснованной экспертизы с точки зрения потребностей рынка в перспективных видах продукции проведено не было. Модернизация свелась, к закупке пусть современных на тот момент, но уже достаточно широко применяемых в мире технологий и оборудования для выпуска широко распространённой продукции. Мониторинг потребностей рынка этой продукции был проведен очень поверхностно. К сожалению, срок ввода данных предприятий на проектную мощность был значительно затянута относительно запланированного.

Как выразился в одном из интервью председатель концерна «Беллесбумпром» Юрий Назаров: «Превысили все мыслимые сроки..., растянули неоправданно».

В это же время в Беларуси, согласно инвестиционным договорам, появляются два, широко известных зарубежных производителя подобной продукции (Австрийская компания «Кронспан» и иностранное общество с ограниченной ответственностью «ВМГ Индустри» – одна из компаний международного деревообрабатывающего холдинга «VMG»), имеющие долгосрочные договоры с давно наработанными рынками сбыта. Эти предприятия в очень короткие сроки разместили производственные мощности и продолжили выпуск продукции, производство которой практически не останавливалось. В настоящее время эти предприятия продолжают осваивать новые производственные площади, на которых размещают мощности по выпуску новых видов продукции.

Очевидно, что, как для этих зарубежных, так и модернизируемых отечественных предприятий необходимо древесное сырьё. Согласно прогнозам Министерства лесного хозяйства, планируемый прирост должен полностью обеспечить сырьём всех отечественных переработчиков независимо от их формы собственности и подчинённости. Важно это сырьё заготовить и доставить потребителям. Казалось бы – это именно тот момент, когда необходима срочная активизация мероприятий по созданию рынка услуг, привлечению заготовителей всех форм собственности и подчинённости, при этом минимизировав бюджетные расходы. Понятно, что эти расходы будут, но они будут растянуты во времени и возмещаться при реализации, как сырья, так и продукции из него. Больших единовременных затрат из бюджета для закупки лесозаготовительной и сопутствующей техники и оборудования не понадобится. Частным отечественным и зарубежным компаниям-инвесторам необходимы от государства (собственника лесных древесных ресурсов) гарантии долгосрочной занятости в процессах обеспечения сырьём перерабатывающих производств.

Но этого не происходит. Отечественный производитель дорожностроительной, коммунальной, снегоуборочной, сельскохозяйственной и другой специальной техники и оборудования Холдинг «АМКОДОР» выпускает лесозаготовительную технику, при этом данному предприятию государством создаются льготные условия. РЛПА выступает и будет выступать за политику импортозамещения, за создание отечественной продукции. Но импортозамещающая отечественная продукция в первую очередь не должна уступать по качеству и прочим характеристикам лучшим импортным образцам, а то и превосходить их, а стоимость нашей продукции должна быть ниже. Очевидно, что для этого нужны научные разработки будущего и конкурентные условия. Создание тепличных условий и административное навязывание покупателю отечественной продукции не мотивирует её производителя к созданию конкурентного продукта.

В настоящее время в государственных предприятиях, организациях и учреждениях лесного хозяйства Беларуси задействовано около 40 тысяч человек. Достаточно большая часть этих специалистов задействовано сезонно или по мере возникновения тех либо других задач. Выплата средств на содержание этих работников носит постоянный характер.

Наработанный Европейский опыт реорганизации ведения лесного хозяйства доказал целесообразность применения аутсорсинга при выполнении различных видов работ. В лесах необходимо постоянное присутствие небольшого количества (до 15 человек) высококвалифицированных, высокоответственных и, конечно же, высокооплачиваемых контролирующих и направляющих специалистов. Специалисты, выведенные из состава государственных организаций и учреждений лесного хозяйства Беларуси имеют возможность создавать и регистрировать частные предприятия или становиться индивидуальными предпринимателями и оказывать услуги по проведению необходимых работ.

В настоящее время, согласно поручению Совета Министров Республики Беларусь, ОАО «Белорусская универсальная товарная биржа» создана рабочая группа по разработке проекта Положения о годовых биржевых торгах. В соответствие с проектом, представленным Биржей, основная цель данного документа – гарантированное обеспечение сырьём крупных производителей (в основном государственных). В результате члены рабочей группы не пришли к взаимному согласию по некоторым пунктам Проекта. Эти пункты будут представлены Координационному Совету по биржевой торговле при Совете Министров, возглавляемому заместителем Премьер-министра Республики Беларусь Семашко В.И.

Проблемы в ведении лесного хозяйства и в деревообработке есть, но все они решаемы. Важно понимание того, что все потребители, все переработчики, не зависимо от их формы собственности и подчинённости, должны иметь равные права в обеспечении сырьём и не иметь каких-либо льгот и преференций относительно других участников. Только тогда возникнет здоровая конкуренция, а здоровая конкуренция – основа динамичного инновационного развития лесного комплекса. Мы считаем, что до принятия каких-либо решений необходимо профессиональное научно обоснованное суждение, т.е. необходима профессиональная оценка всего комплекса факторов, позволяющих принять решение в условиях неопределённости.

**ВЛИЯНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К КАЧЕСТВУ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ
НА УСТАНОВЛЕНИЕ ВОЗРАСТА РУБКИ ДРЕВОСТОЕВ
(НА ПРИМЕРЕ ЕЛЬНИКОВ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ)**

Стоноженко Л. В., доц., к.с.-х.н.

Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана
(Мытищи, Российская Федерация), e-mail: stonozhenko@mgul.ac.ru

**SETTING THE CUTTING AGE AS INFLUENCED BY REQUIREMENTS
TO THE QUALITY OF ROUND TIMBER
(CASE STUDY OF SPRUCE STANDS IN MOSCOW REGION)**

Stonozhenko, L. V., Assoc. Prof., PhD

Mytishchi Branch, Bauman Moscow State Technical University
(Mytishchi, Russian Federation)

At present, the basic criterion for determining the age of technical maturity is the maximal increment of logs of required size, the quality parameters being shifted to the background. Based on the data of bucking of 132 model trees from 18 test plots, the influence of rot size on the outcome of logs of given quality was evaluated as depending on the age of spruce stands in Moscow region. Technical maturity was calculated using obtained dependences of yield of timber of given quality on stand age. The optimal age of spruce forest cutting aimed at getting high-quality timber in Moscow region was shown to be 61-70 years, which is 40 years less than the officially set maturity age.

В настоящее время в России возраста рубок лесных насаждений устанавливаются директивно [8, 9], что исключает гибкость их изменения под физиологические и санитарные особенности состояния древостоев (в первую очередь ельников и осинников) и экономические аспекты развития лесного сектора экономики региона. Основным критерием при определении возраста рубки в теории и практике лесопользования являлся возраст технической спелости. Расчеты по его установлению сводятся к определению максимума среднего годовичного прироста древесины целевых сортиментов и, как правило, проводятся одним из двух способов:

1. По таблицам хода роста насаждений определяются средние диаметры и общие запасы древесины заданной породы для разных возрастов насаждений, соответственно найденным по таблицам хода роста средним диаметрам насаждений их запасы с помощью товарных таблиц расчлняют на отдельные сортименты применительно к процентам их выхода, указанным в этих таблицах. Найденные таким путем объемы ведущего сортимента делят на возрасты насаждений и получают средние годовичные приросты ведущего сортимента для древостоев разных возрастов [1].

2. При установлении возраста технической спелости вторым способом в древостоях разных возрастов одной породы и класса бонитета закладывается 4-6 пробных площадей. На каждой из этих пробных площадей путём оптимальной раскряжёвки 20-30 модельных деревьев определяется выход деловой древесины (в м³ и %) по классам крупности или целевым сортиментам, соответствующим по размерам и качеству требованиям действующих стандартов [5]. По результатам расчетов определяется средний годовичный прирост интересующей исследователя категории древесины для древостоев разных возрастов. Возраст насаждения, в котором средний прирост окажется наивысшим, принимается за возраст технической спелости насаждения. Установление возраста технической спелости по материалам пробных площадей может проводиться и без рубки модельных деревьев по сортиментным таблицам. При этом возможные ошибки, допущенные при составлении сортиментных таблиц, могут сказаться на правильности определения возраста технической спелости древостоев.

При учете группы основных сортиментов в расчете возраста технической спелости результаты варьируют в зависимости от вида сортимента и его размерно-качественных харак-

теристик. По данным Института леса АН СССР [7] принимаются возраста технической спелости для ели, установленные по кульминации среднего прироста основных сортиментов (таблица 1). Сопоставление возрастов технической спелости ели, вычисленных применительно к таблицам хода роста насаждений разных авторов, дано в таблице 2.

Таблица 1 – Возраст технической спелости для ели по разным целевым сортиментам

Наименование сортимента, по которому устанавливается спелость	Возраст спелости в годах по бонитетам		
	I	II	III
Пиловочно-строительные бревна, подтоварник	60	80-90	80-100
Пиловочно-строительные бревна	70	90-100	100-110
Пиловочник (весь)	70-80	100-110	110-120
Пиловочник I и II сорта	80	100-110	110-120
Баланс и крупный пиловочник	60	80-90	80-100

Таблица 2 – Возрасты спелости ели, рассчитанные по разным таблицам хода роста

Автор	Класс бонитета							
	Iв	Iб	Iа	I	II	III	IV	V
А.В. Тюрин	-	-	70	80	90	100	120	-
Г.Л. Тышкевич	50	60-70	70	80	90	100	-	-
Н.В. Огородов	-	-	-	-	80	100	110	-
К.Б. Лосицкий	-	-	-	71-80	101-110	111-120	-	-

Отмечаются схожие показатели возраста спелости у разных авторов при одинаковых бонитетах. Это связано с тем, что размерные характеристики в древостоях различных регионов при одинаковом бонитете совпадают. Большинство авторов отмечается снижение возраста технической спелости леса с улучшением условий произрастания насаждений (т.е. бонитета). Также с повышением размерности целевого сортимента (группы сортиментов) повышается и возраст спелости. Необходимо отметить, что расчёты технической спелости, приведённые в таблицах 1 и 2, проводились в 50-70 годах прошлого века. При расчётах использовались сортиментные и товарные таблицы, составленные на основе ГОСТ 9463-60 «Лесоматериалы круглые хвойных пород. Размеры и технические требования» или более старых стандартов (Существовало 16 отдельных ГОСТ, таких как: ГОСТ 1047-51 «Бревна пиловочные хвойных пород. Технические условия», ГОСТ 284-51 «Балансы. Технические условия», ГОСТ 5992-51 «Бревна для выработки шпал железных дорог широкой колеи. Технические условия» и др.). Требования к качеству круглых лесоматериалов в стандартах того времени были более жёсткими, чем в действующем ГОСТ 9463-88 [3], что, по нашему мнению, сказалось на расчётах возрастов технической спелости древостоев.

Основная цель наших исследований заключалась в выявлении закономерностей товарной структуры еловых древостоев Московской области для обоснования возраста технической спелости. Основным сортообразующим пороком, определяющим отнесение древесины к категории деловой или дровяной, является гниль [10]. В соответствии с этим в наших исследованиях сделана попытка проследить зависимость развития и распространенности гнилей с возрастом еловых древостоев. Казалось бы, оценить влияние гнилевых поражений на выход деловой древесины из всего древостоя в современных условиях можно, используя методы промышленной сортиментации леса на корню – методы товарных и сортиментных таблиц [6]. Однако при ближайшем рассмотрении оказывается, что данные таблицы составлены с ориентацией в оценке качества сырья на действующий ГОСТ 9463-88 [3], требования к качеству сырья в котором чрезвычайно либеральны. Так, деловой древесиной, по данному ГОСТ, считается древесина, имеющая ядровую гниль (или дупло) от 1/5 до 1/2 диаметра одного из торцов, а в отдельных случаях допускается выход гнили и на второй торец (таблица 3).

Таблица 3 – Допустимые размеры гнилевых поражений по сортам (по ГОСТ 9463-88)

Порок древесины	Норма ограничения пороков древесины для сортов		
	1-го	2-го	3-го
Ядровая гниль и дупло	В мелких лесоматериалах не допускаются Допускаются укладываемые во вписанную в торец полосу (вырезку) размером не более: в средних лесоматериалах		
	Не допускаются	1/5	1/3
	диаметра соответствующего торца с выходом на 1 торец		
	В лесоматериалах толщиной от 26 до 38 см.		
	1/4	1/3	
	диаметра соответствующего торца с выходом на один торец	диаметра соответствующего торца с выходом на один торец; в лесоматериалах длиной до 3 м - 1/2 диаметра соответствующего торца с выходом на 2-й торец не более 1/4 его диам.	
	В лесоматериалах толщиной от 40 см и более		
1/3	1/3	1/2	
Диаметра соответствующего торца с выходом на один торец	Диаметра соответствующего торца с выходом на 2-й торец не более 1/4 диаметра		

Таким образом, данная «не вполне деловая» древесина оказывается деловой и в сортиментных, и в товарных таблицах. Оценить ее долю в общем выходе деловой древесины древостоя не представляется возможным. При этом европейские стандарты на круглые лесоматериалы [4] имеют гораздо более жесткие требования к допускам такого порока, как гниль в деловой древесине, а также нормируют прирост в высших сортах (таблица 4).

Таблица 4 – Допуски пороков древесины по сортам (европейский стандарт)

Порок древесины	Класс			
	A	B	C	D
Твердая гниль	Не доп.	Не доп.	Не доп.	Допуск.
Гниль	Не доп.	Не доп.	Не доп.	Не доп.
Прирост, мм	≤ 4	≤ 7	Не нормируется	

Вопрос, что считать деловой древесиной, влияет на весь процесс лесовыращивания, в том числе и на установление возраста рубки. Как уже указывалось ранее, возраст рубки эксплуатационных древостоев устанавливается по возрасту технической спелости, расчет которой ведут по таблицам хода роста и товарным таблицам. Данный подход при наличии большого количества насаждений со значительными объёмами гнилевых поражений в насаждениях региона, может приводить накоплению на корню низкосортной древесины.

В нашей работе при определении возраста технической спелости использовался метод пробных площадей (ППП). На 18-ти ППП, заложенных в ельниках зеленомошной группы типов леса (С₂-С₃, В₂-В₃), проведен сплошной пересчет деревьев. Особое внимание уделялось индивидуальному подеревному описанию для дальнейшей сортиментации. Производился сплошной отбор кернов на наличие и распространенность гнилей и определения возрастной структуры древостоев. По данным отбора кернов методом пропорционально-ступенчатого представительства был произведен отбор модельных деревьев (132 штуки из пораженных гнилями) на 11 пробных площадях по 12 штук на ППП. Путем раскряжевки моделей находились диаметры гнилей и их протяженность по стволу, определяли возбудителя гнили. По таблицам сбега производилась сортиментация остальных деревьев на пробных площадях с учетом пороков описанных при индивидуальной подеревной сортиментации. Данные, полученные с каждой пробной площади, приводились к нормальному насаждению.

В результате исследований выявлено, что наибольшее воздействие на еловые насаждения оказывает корневая губка. При этом довольно часто она встречается совместно с другими патогенами, в частности опенком. Доля стволов, поражённых гнилями, варьирует в изученных древостоях от 9,6 % до 48 %. Протяженность гнили по стволу изменяется от

0,5 м до 15,5 м. Отмечено поражение корневой губкой подроста в возрасте 20-30 лет. Не выявлено зависимости доли стволов пораженных гнилями в древостое от его возраста (коэффициент корреляции 0,05). В то же время объёмные поражения стволов гнилями влияют на выход крупной и средней древесины без гнилей с возрастом (рисунок 1).

Выход деловой древесины в зависимости от возраста характеризуется уравнениями:
 для крупной древесины $M_{кр} = -0,05A^2 + 10,152A - 307,42$; $R^2 = 0,91$;
 для средней древесины $M_{ср} = -0,08A^2 + 13,66A - 289,42$; $R^2 = 0,81$;
 где: $M_{кр}$ – выход крупной древесины, м³/га; $M_{ср}$ – выход средней древесины, м³/га;
 A – возраст, лет.

Коэффициенты уравнений регрессии значимы при 95% доверительной вероятности.

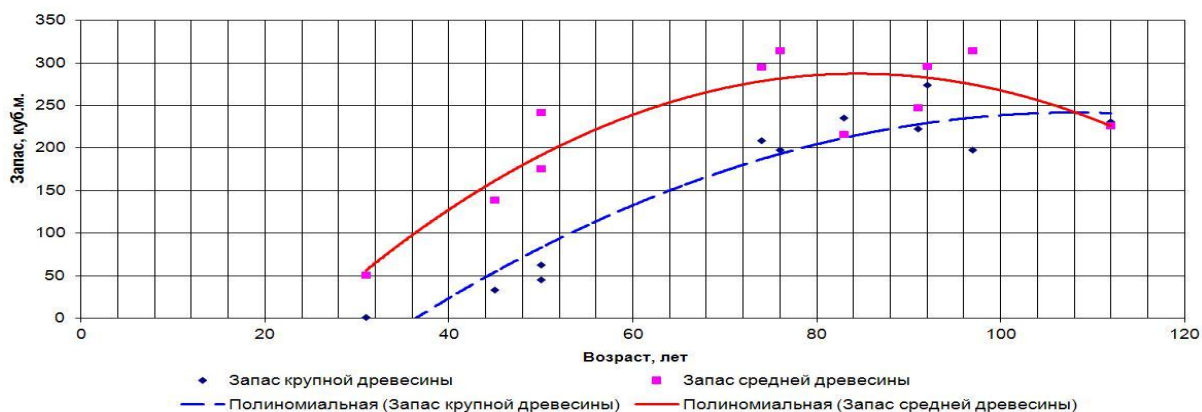


Рисунок 1 – Изменение запаса крупной и средней древесины (при полноте 1,0)

На основе полученных уравнений нами произведен расчет среднего прироста, крупной и средней древесины, не пораженной гнилями. На рисунке 2 полученные результаты сравниваются с данными, рассчитанными с использованием таблиц хода роста А.В. Тюрина и товарных таблиц Н.П. Анучина [6].

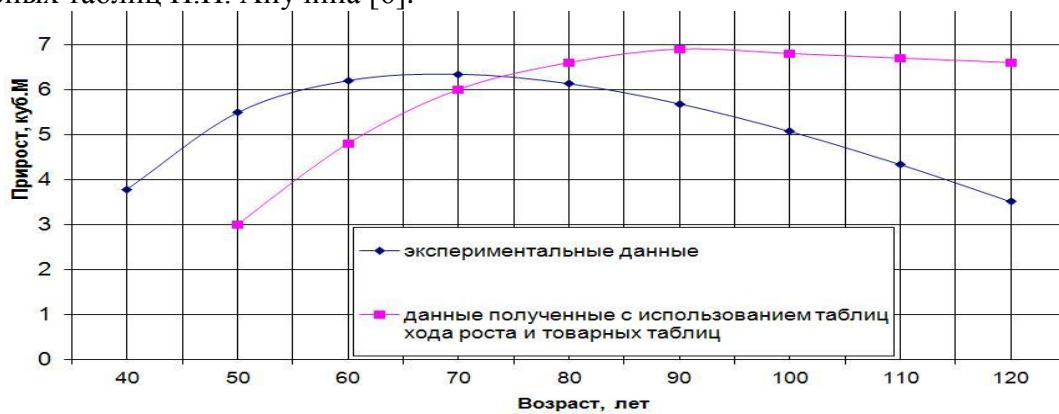


Рисунок 2 – Прирост крупной и средней древесины

Максимальный прирост древесины без гнили, по нашим данным, наблюдается в 61-70 лет, а увеличение возраста рубки ведет к потерям качества деловой древесины. Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о том, что сокращение оборота рубки еловых древостоев I-I^a классов бонитета на 40 лет позволит получать древесину лучшего качества, чем при установлении возраста рубки в 101 -120 лет [8].

Ранее возраст рубки ельников Московской области мог устанавливаться в 5-ом классе возраста (81-101 год) [9], изменение его в сторону однозначного увеличения связано, с тем, что все леса Московской области отнесены к категории защитных лесов, в которых на первый план выходят экологические функции леса. Однако катастрофическая вспышка короеда типографа после засушливого лета 2010 года, в результате которой пострадали в первую очередь старовозрастные ельники, показывает ошибочность такой стратегии в отношении еловых древостоев. Ель в условиях Московской области, в отличие от ельников севера явля-

ется быстрорастущей породой. Потеря устойчивости ельников Подмосковья и невозможность выполнять ими в старших возрастах защитные и рекреационные функции в настоящее время одна из самых актуальных проблем лесоводства и лесоуправления. При этом Московский регион – крупнейший потребитель лесопродукции в Российской Федерации. Московская область обладает значительными лесными ресурсами, но в защитных лесах запрещены сплошные рубки спелых и перестойных насаждений [13]. Единственным выходом из сложившейся ситуации является переход на выборочную форму хозяйства с назначением 1-го приёма рубки с 61-го года, что позволит, по нашему мнению, удовлетворять спрос на древесину высокого качества в Московском регионе, одновременно обеспечивая хорошее санитарное состояние лесов и их высокий рекреационный потенциал.

Выводы о более раннем наступлении возраста спелости в ельниках высших классов бонитета были сделаны многими исследователями. К.Б. Лосицкий (1961) показывает, что в ельниках 1-го бонитета оптимальным возрастом технической спелости является возраст 71-80 лет (IV класс возраста). Гиряев М.Д. [2] отмечает возможность установления оборота рубки в хвойных хозяйствах высших бонитетов в 61-65 лет с принятием 10-летних классов возраста в таких хозяйствах и назначением соответствующих режимов хозяйственных мероприятий для получения максимального среднего прироста заданного сортимента. При лесном планировании в Финляндии часто используют альтернативные стратегии управления, предусматривающие широкое варьирование сроков проведения лесозаготовок [11]. При этом рекреационное или защитное назначение лесов в Финляндии и ряде других стран Европы не является препятствием для организации интенсивного лесопользования. Применяемые режимы рубок лесных насаждений, напоминающие классические постепенные рубки с достаточно ранним первым приёмом, как правило, обеспечивают достаточное предварительное возобновление леса, а при необходимости и отсутствие периода, когда территория оказывается в категории «непокрытая лесом». В настоящее время в Московской области необходимо перейти от практики сплошных санитарных рубок погибших древостоев на интенсивную модель лесопользования с выборочной формой хозяйства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анучин, Н. П. Теория и практика организации лесного хозяйства / Н. П. Анучин. – М. : Лесн. пром-сть, 1977. – 176 с.
2. Гиряев, М. Д. Лесопользование в России / М. Д. Гиряев. – М. : ВНИИЛМ, 2003. – 240 с.
3. ГОСТ 9463-88. Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 17 с.
4. Европейские стандарты на круглые лесоматериалы и пиломатериалы. Справочник. – М. : ООО «Лесэксперт», 2005. – 141 с.
5. Сухих, В. И. Лесоустройство: учебник / В.И. Сухих, В.Л. Черных. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2014. - 400 с.
6. Лесная таксация и лесоустройство / А.В. Вагин, Е.С. Мурахтанов, А.И. Ушаков, О. А. Харин. – М. : Лесн. пром-сть, 1978. – 368 с.
7. Проблемы повышения продуктивности лесов. Экономические вопросы повышения продуктивности лесов, возрасты спелости и возрасты рубок – Т. 4 / Отв. ред.: П. В. Васильев, Г. П. Мотовилов. – М.-Л. : Гослесбумиздат, 1961.– 256 с.
8. Приказ Рослесхоза от 09.04.2015 № 105 «Об установлении возрастов рубок».
9. Приказ Рослесхоза от 19.02.2008 № 37 «Об установлении возрастов рубок».
10. Таксация товарной структуры древостоев / А. Г. Мошкалева, А. А. Книзе, Н. И. Ксенофонтов, Н. С. Уланов. – М. : Лесн. пром-сть, 1982. – 160 с.
11. Rykalainen Jouni, Kurttila Mikko. Развитие лесного планирования Финляндии: методы и опыт // Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä, 2009.
12. Korotkov, S.A. Forest-Use Issues in Moscow Region at the Beginning of 21st Century / S. A. Korotkov, V.A. Makuev, M.V. Lopatnikov, V.V. Nikitin, A.V. Sirotoev, L.V. Stonozhenko, Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II – Forestry. Wood Industry. Agricultural Food Engineering. 2016. Vol. 9 (58). No. 2 – pp. 17-24.

CHANGES IN FORESTRY: PROBLEMS AND SOLUTIONS

Paschalis-Jakubowicz P., Prof., dr. habil.

Warsaw University of Life Sciences, Faculty of Forestry, Department of Forest Utilization
(Warsaw, Republic of Poland), e-mail: Piotr.Paschalis@wl.sggw.pl

ИЗМЕНЕНИЯ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Пасхалис-Якубович П., проф., д.н.

Варшавский университет естественных наук
(Варшава, Республика Польша)

Introduction

The attempt to present forests and forestry on a global scale is based on the assumption that only a certain fraction of the problems arising from the overlap and penetration of one of the most important terrestrial, perhaps the most important, terrestrial ecosystems are present.

The global priorities of the entire forestry sector do not always coincide with the priorities of a particular region, state or even part of the state.

Continuing the actions leading to the loss of natural forests and the uncontrolled use of productive forests only has a negative impact on the further development of man and will lead to very serious consequences for the whole of mankind. Recognizing the need to meet the demand for selected forest products, especially for forest biomass and wood raw material, it must be recognized that the development of plantation forestry and fast growing plantation is inevitable.

It is the forestry sector that needs to respond to the increased demand for forest products and services, and the shared responsibility to distribute these goods and services in an efficient, fair and sustainable way.

Reality

Scenarios for the future of forests and forestry in the various regions of the world, with a specific time frame dating back to the mid-21st century, are based on the latest available data from various fields of human activity as well as on various scenarios of climate change. Regarding forest and forestry, forest knowledge and forestry are also insufficient to enable graduates of these faculties to become a serious partner in international forest policy negotiations, in the face of policies.

In Africa, just in the last few decades, most of the natural forests have been destroyed and the rest have occupied only 8% of the area 30 years old. The vast majority of African natural forests (over 93%) in more than a dozen countries have lost more than 90% of the area covered in the last 100 years. Difficult to accept is the fact that 23 African countries have lost their natural forests completely.

Approximately 31% of Latin American forest areas are natural forests, of which nearly 55% of the natural forests are located in Brazil. Similarly to the African continent, in Latin America, in the tropical zone known from the middle of the last century of unprocessed forests, less than 10% of the natural forests remained. The exception to this continent is the region of Patagonia, connecting parts of Chile and Argentina, where natural forests have preserved over 34% of the forest area.

The loss of natural forests did not bypass Southeast Asia and the Pacific Islands. There are only about 11% natural forests in the Pacific Islands and more than 57% in Indonesia and Papua New Guinea. In large surface and populated countries such as Thailand, Malaysia, India, China, Philippines, Vietnam and Cambodia, forest resources of natural origin account for less than 10%. Six countries in this region have completely destroyed their natural forests, including Bangladesh, Pakistan, Sri Lanka and Taiwan.

Only 6.4% of European forests are natural forests, of which over 90% are in Russia. The only countries with remnants of natural forests on small surface areas are Sweden, Finland, Norway and Romania, and in the remaining 36 European countries there are no forest areas in their original form.

In northern Asia, natural forests occupy about 30% of the total forest area, forming, like North America, the coniferous forests of the boreal zone (taiga). Natural forests in the People's Republic of China and Japan are only about 5% of the total forest area.

North America's natural forests occupy more than 38% of the forest area, including the vast majority of which are in Canada. The rate of loss of natural forests in North America is still very high, estimated at about 100 thousand hectares a year. More than 89% of North American natural forests are growing in boreal forest and consist of coniferous species.

Replacing natural forests with forest plantations also affects the intensity of forest functions (Sharma 1992). Production functions as the main forest cover more than 50% of the forest area and biodiversity protection, soil and water protection and other protective functions on 21% of the forest area. It is noteworthy that the 11% of forest area dominates forest biodiversity.

Taking into account only the formal income of the forest sector, attention should be paid to the dominant position of the Asia and Oceania region, followed by Europe and North America. These three regions of the world receive 90% of total income from the direct use, production function of forests. The Latin American and Caribbean regions, as well as the African continent, receive only about 10%.

Problems

The uniqueness of forests and forestry also means that, unlike most other economic sectors, forests also provide ecosystem services whose value, even if not marketed, is hundreds of billions of dollars, according to various economic valuation strategies. More accurate evaluation of the value of ecosystem services prevents methodological shortcomings, as well as the lack of appropriate information systems (Figure 1).

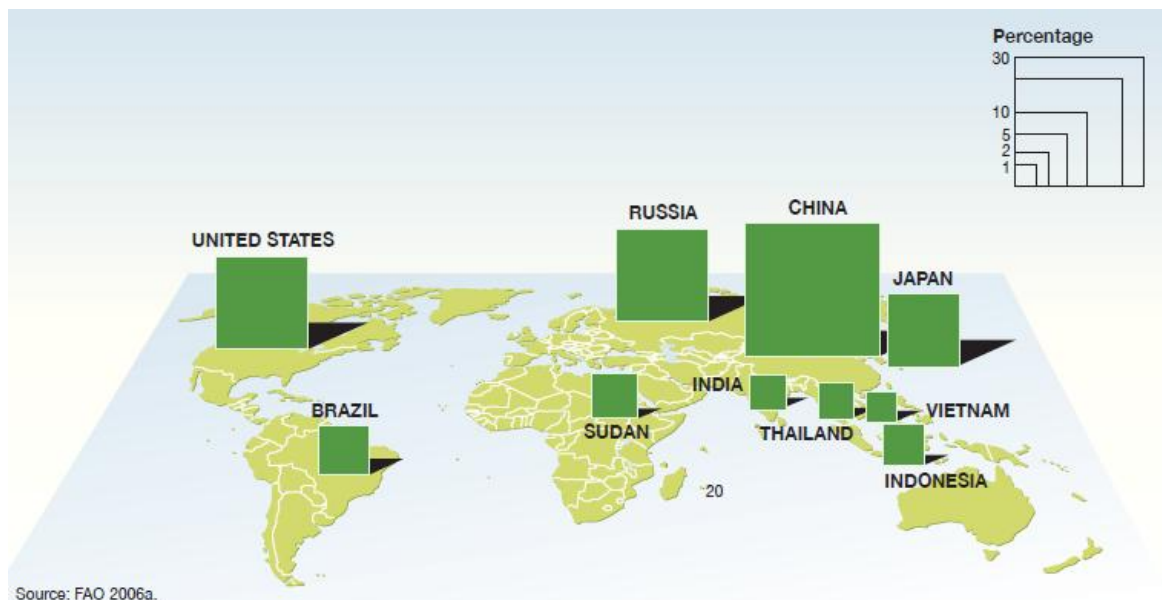


Figure 1 – Ten countries with the largest area of forests

It is estimated that half the forests lost over the last 10 thousand years have really been destroyed in the past century, with the process accelerating especially since the mid-twentieth century. Forests and participation of forests in the economic and economic development of countries and regions of the world have different forms, and there are also patterns of proceedings in the history of forest management in the world.

Cash from direct forest management accounts for about 1% of total world production. If we take account of the relative contribution of forests and forestry in our calculations, despite the lack of full knowledge of the real benefits derived from forests, we will also receive a non-monetary contribution from the forests of individual and national forests 3-5 times greater than the formal value (World Bank Report 2015).

An important factor that enhances the importance of forest management in the world is their contribution to the creation of the labor market. Over 40-60 million (according to various estimates) informally employed persons and over 1 billion to 1.5 billion people living directly or indirectly

from forest benefits should be added to more than 13 million people formally employed in the forest sector in the world.

Problems awaiting solutions are found in both forestry and other sectors of human activities. So the list of these problems is both long and interdisciplinary. We mention only a few:

- In the coming fifty years (only half the life of the stand in Europe), we can expect synergistic effects of both human-induced and environmentally-induced changes to be taken into account for forests and forestry in a global context;

- that there will be changes in production systems (management of forest resources, primarily forest use, both in terms of size and scope) and energy sources used, with an increase in the share of renewable sources;

- that the production function of the forest (e.g harvesting of wood or by-products) is helpful to all other functions of the forest;

- that the future of forestry depends on the potential for industrial development, able to cope with global challenges and change;

- and that a clear answer to whether or not the globalization processes are going to bring or benefit the world is not possible.

Significant, though often overlooked by the political class, as well as by the forest administration, is the data related to changes in the number of plant species, as their abundance will significantly affect the condition and further development of forests and forestry in the future in the perspective of 2050. The loss of a large number of plant species (including tree and shrub) by 2050 will affect entire regions of the world, including South America, Central America and the Caribbean, Africa and much of South East Asia. Reducing the number of plant species in the world is another challenge for forest managers.

The latest forest maps allow you to determine with great accuracy the change of the forest area in the world. Are these changes an indicator of forest future?

So the question is whether forests in the near future will be subject to rapid transformations and whether this will be caused mainly by climate change or human activities, remains open. The answer to this question is not clear, and any shift of responsibility to one of these factors has very serious consequences for our future.

Looking at the main trends in forest and forestry change in selected regions of the world by 2050, we base our knowledge of the forest we are gathering, combining scientific achievements with the practical experience of generations. Both of these sources of our knowledge are not sufficient, however, to build clear scenarios for the future of forests and forestry.

Recent results of forest inventories and created thematic maps showing the planet's forest resources and the extent of their vulnerability show that maps previously executed only a few years earlier were inaccurate and inconsistent.

Can we say that the Amazon is likely to lose its ability to regulate the climate and that, according to the 2010 World Bank report, it is at risk of extinction if forest loss exceeds 20% of the area originally occupied by forests? Will deforestation of the Amazon rainforest cause extreme droughts and will increase the risk of weather extremes around the world? Will climate change occur faster?

Almost 2/3 of the forests on our globe are not natural forests, because they directly depend on man-made management. In addition, the remaining part of the world's forest area is reduced, currently accounting for 36%, which has so far been subject to no direct human intervention. Approximately 6 million hectares of natural forests should be classified annually in other groups and natural rates.

There is also a systematic increase in the area of plantation forests, which has been changing the face of global forestry for more than 100 years (Del Lungo et al. 2006). The total land area occupied by plantation forests in 2015 is estimated at about 300 million hectares. The projection of forest plantation growth trends, presented by wood industry analysts, indicates that more than 0.5 billion hectares of new plantations will arrive in 2050.

Establishing forest plantations and fast growing tree plantations is one of the major causes of deforestation and degradation of natural tropical and subtropical forests. Other countries, such as

New Zealand, Australia, Chile or South Africa, plant trees growing rapidly in former forest areas that were converted to agricultural and pasture land several decades ago. All these activities produce deep, not yet fully understood environmental consequences, and the plantations themselves remain an unresolved problem in the global forest scale. It is believed that the growth dynamics of forest plantation and fast growing plantation forests threaten forest biodiversity resources.

South East Asian countries, especially Malaysia and Indonesia, as well as South America (Brazil, Chile, Peru) plantations mainly in areas previously occupied by natural forests, using the agroforestry system and slash and burn. Forests planted in natural forests are planted with fast growing evergreen trees (primarily eucalyptus hybrids and *Pinus radiata*) or oil palm, rubber trees and, to a lesser extent, *Tectona grandis*.

A simple, yet very convincing example of direct impact is the forecast of the world population changing the daily use of wood for home heating and cooking one meal per day. On a global scale, day after day, all year round - and it should be assumed that this will be a lasting trend for all subsequent years - already about 2.5 billion people nowadays. The precise and true numbers are unknown, but it is estimated that more than 30% of the world's population is directly or indirectly dependent on access to wood, based on recent data published in the State of the World Forests 2015.

In addition, the good is characterized by the continuity of demand, which in the next 15-20 years will grow rather than decrease.

Some countries in the world, particularly in South-East and Central Asia, South and Central America and Africa, are facing the problem of allocating land between forestry, agriculture, energy production, how to ensure sufficient food production, and how to meet growing demand. Water and energy for a rapidly growing population.

This is one of those global problems that must be solved using a number of tools, both political and technical (Figure 2).

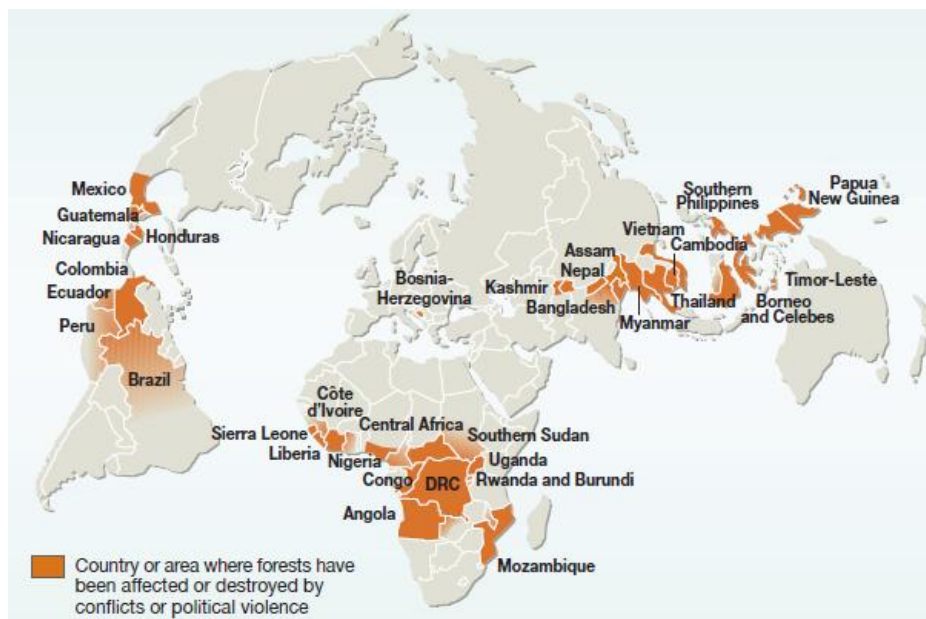


Figure 2 – Forests and conflicts

Illegal logging, infrastructure construction, natural resources and oil exploitation, and global warming are all major threats to the ecosystems of the forests, affecting the various levels of the world.

Solutions

Predicting the future is risky, especially in the case of forest ecosystems, but it would be even more risky if we did not try to prepare for the foreseeable future.

Currently, the world's attention is increasingly directed towards forests and forestry as a sector that contributes significantly to the development of international trade, national economies, employment and household incomes.

The dynamically increasing plantation forest area, subordinated to the selected production objectives, will also (to some extent) have positive environmental value. By 2050, we can expect that over 60% of total wood production will come from plantations of fast-growing trees. This opens a new field for discussion on the forest paradigm and the future of forests. It also indicates the need to develop solutions that will address forest management, requiring other forest management structures and systems.

It should be emphasized that plantation forestry does not provide people with quality of life such as natural and natural forests.

We can look at three strategies of action that will contribute to the achievement of the objectives, stating that these strategies relate to actions taken by various economic sectors, not just the forestry sector, to achieve synergies (Figure 3).

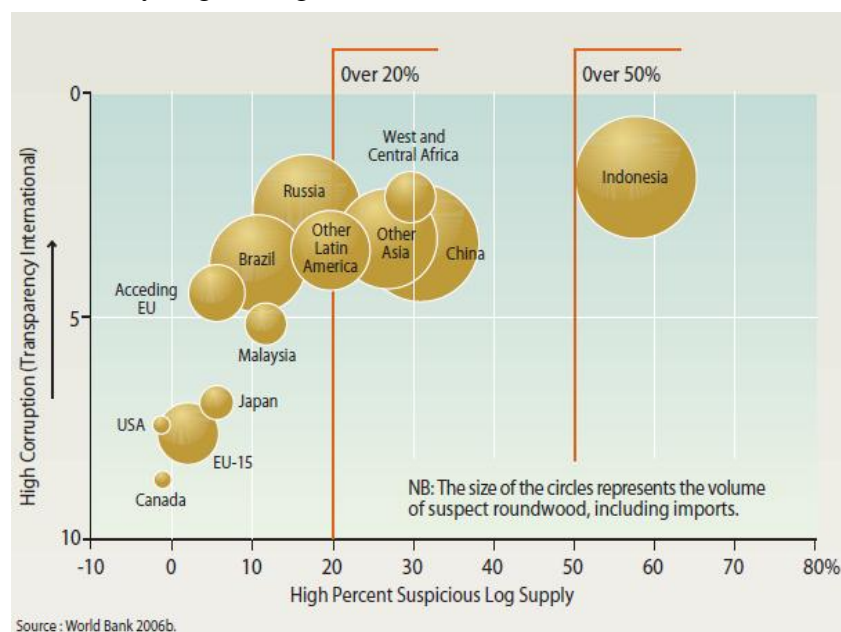


Figure 3 – Forests and conflicts

The strongest and at the same time the most difficult task is to halt the loss of natural forests, mainly in the tropics and in the boreal zone, especially in some parts of the Far East of the Russian Federation.

This involves social integration, which is built on the understanding and acceptance of forest economic activities, which in many cases are being challenged by different social groups.

It is obvious that forest management, dependent on many other factors, must take into account not only forest management mistakes that occur on all continents but also strong competition for land from other sectors, especially agriculture.

Throughout the world, forest management (the forestry sector) needs to evolve and there is no doubt that managing this sector will become even more complex to address these challenges.

This lack of knowledge means that existing forest management systems, in order to preserve ecological balance, provide ecosystem services, and certain direct economic benefits, must be legible to the public. It is extremely important to introduce institutional changes that open opportunities for the integration of different forms of forest ownership, civil society and inter-sectoral cooperation.

The 21st century opens many important international agreements referring indirectly to forests and forestry, which contain in their content a promise to launch a new era in forest management, involving a change in some regions of the world, including in Europe, a narrow understanding of forests and recognition of exceptional importance. And lasting interdependence between the forest and man throughout the history of mankind.

A controversial issue in the development of scenarios for further development and directions of change in global forestry is the ownership structure of forest areas, and above all the identification of the

actual number of private forest owners. The estimated number of private forest owners is also not subject to any analysis related to their way of managing the forest. The fundamental problem that should be tackled in the international discussion is whether, on a global scale, the form and structure of forest ownership affect sustainable use, and if so, to what extent. The experience of European countries or North America is only a partial picture of the situation, and is more ambiguous. In the case of having the appropriate legal framework, professional staff and control systems, social participation and enforced law, the principle of forest management, regardless of the form of forest ownership, is very similar.

There is a dichotomy of the choice of strategy between developing countries - mostly poor South and developed countries - the rich North, about the direction of forest use and trends in the size of this use. The vast majority of developing countries clearly accelerate the process of direct use of the forest, while the vast majority of developed countries simultaneously increase the use of their direct production functions, accompanied by increased ecosystem-based benefits.

We still cannot determine, even approximately, the nature of the dominant function of forests on nearly 8% of forest area. The global demand for wood is strongly dependent on the region of the world and is stabilizing at about 2.75 billion cubic meters a year, and the production function, including the use of forest by-products, is used on more than two thirds of the world's forest area (Report of the Secretary -General 2009).

World forestry needs a convention on forests agreed by the countries of the United Nations. The Forest Convention will not end many years of repeated attempts at writing and approving the various fora as solutions to forest problems. It will be the beginning of activities that in a real, fully transparent and verifiable manner will prove our common commitment to the process of building and implementing a vision of forests and forestry in the 21st century.

It should be assumed that XXI century will bring unprecedented changes in the meaning of the role and significance of the forest to preserve the permanence of our existence. These changes will take place on every continent where forests grow, with respect to each form of forest ownership and in every country in the world. The relationships between the development of human civilization and the sustainability of forests must be both understood and properly assessed. We have not, until now, better tools to shape these relationships than forestry.

We can significantly and positively shape the forest and have a decisive influence on the forest being played by all the functions assigned to them (for the most part not yet known) in every scale of reference - from the local level to the global level, or to be the victim of inability to implement new solutions in forestry.

REFERENCES

1. Del Lungo A., Ball J., Carle J. 2006. Global planted forests thematic study: results and analysis. Planted forests and Trees. FAO Working Paper 38.
2. FAO 2006, ABARE (Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics) /Jaakko PoyryJaakko Consulting.
3. Matti P., Uusivuori J. 1999. World Forests, Society and Environment. Springer – Science+Business. Pages: 1–403.
4. MegaForestalis 2014. Public forest agencies in the twenty first century. Driving change through transparency, tenure reform, citizen involvement and improved governance. May 2014.
5. Paschalis-Jakubowicz, P. 2015. Lasy i leśnictwo świata. Centrum Informacyjne Lasy Państwowe. Warszawa. Str. 1-550.
6. Sharma N. P. (ed.) 1992. Managing the world's forests. Looking for balance between conservation and development. Kendall / Hunt Publishing Company.
7. State of the World's Forests 2014. Enhancing the socioeconomic benefits from forests. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 2014.
8. World Bank Report. 2015. Washington DC, World Bank.

**ПЕРСПЕКТИВНЫЙ КОМПЛЕКС МАШИН
ДЛЯ СБОРА И ТРАНСПОРТИРОВКИ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ**
Мохов С. П.¹, зав. каф., к.т.н., Коробкин В. А.², зам. ген. конструктора, д.т.н.,
Голякевич С. А.¹, доц., к.т.н., Кононович Д. А.¹, асп.

¹Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: denkon_92@mail.ru

²ОАО «Минский тракторный завод»
(Минск, Республики Беларусь), e-mail: okbmtz@tut.by

**PERSPECTIVE COMPLEX MACHINES
FOR COLLECTION AND TRANSPORTATION LOGGING WASTE**
Mokhov S. P.¹, Head of Dep., PhD, Korobkin V. A.², Deputy General Designer, D.Sc.,
Golyakevich S. A.¹, Assoc. Prof., PhD, Kononovich D. A.¹ PhD Student

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

²OJSC «Minsk Tractor Plant»
(Minsk, Republic of Belarus)

An important condition for effective forest management after timber harvesting is timely and high-quality cleaning of logging sites from logging wastes. Cleaning of logging areas is associated with the involvement of additional raw materials in the production of wood chips, reducing the risk of fires, preventing the reproduction of pests, and also contributing to the natural renewal of the forest. Effective implementation of all of the above conditions is carried out a complex of machines for the collection and transportation of logging waste.

Лесозаготовительные работы сопровождаются образованием лесосечных отходов в виде сучьев, ветвей, обломков стволов, которые являются дополнительным сырьем для лесозаготовительного производства. Количество образуемых на лесосеке отходов составляет 15–20% от объема заготавливаемой древесины [1, 2] и, прежде всего, зависит от таксационного состава насаждений, вида проводимых рубок, выбранной технологии и применяемой системы машин. Основным направлением их использования на территории республики является переработка на щепу с использованием рубильных машин.

Работа рубильных машин в условиях высокой разрозненности лесосечных отходов по территории лесосеки мало эффективна. Для повышения их сконцентрированности требуются специальные лесные машины для сбора и транспортировки лесосечных отходов. Их разработка ведется совместно Белорусским государственным технологический университетом и ОАО «Минский тракторный завод» (рисунок 1).



а



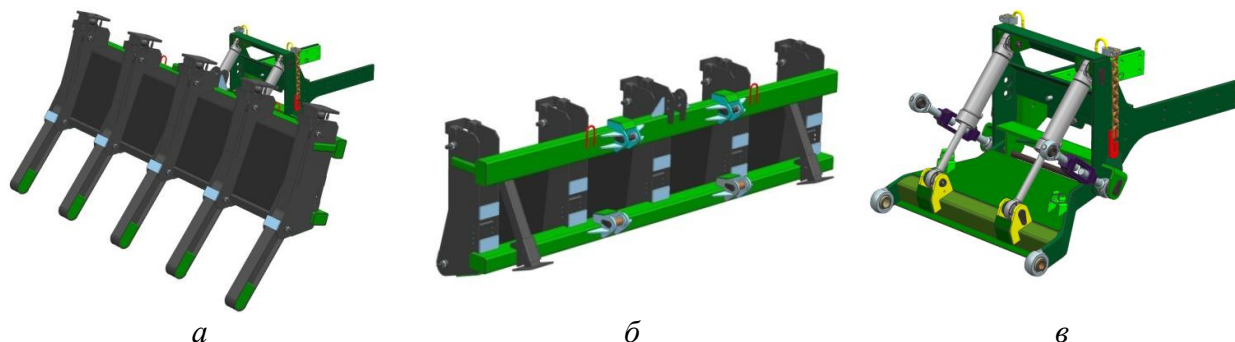
б

а – машина для сбора лесосечных отходов;

б – машина для транспортировки лесосечных отходов

Рисунок 1 – Комплекс машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов

Машина для сбора лесосечных отходов состоит из базового трактора Л82.2 и технологического оборудования грабельного типа. Технологическое оборудование может устанавливаться на передний брус трактора через специальную навесную систему, на заднюю навеску трактора и на отвал-торцеватель трелевочных тракторов ТТР-401М и ТТР-411 с помощью специальных кронштейнов. Универсальность установки технологического оборудования позволяет лесохозяйственным учреждениям исключать затраты времени на переоборудование машины для сбора лесосечных отходов, тем самым повышать коэффициент использования рабочего времени оборудования, что в конечном итоге позволяет увеличить производительность. Оборудование имеет пять подвижных рабочих зубьев с установленными за ними пружинами, позволяющие снижать динамические нагрузки при преодолении единичных неровностей: пней, камней, корней и т.д. (рисунок 2).



а – общий вид технологического оборудования с навесной системой;
б – рама технологического оборудования;
в – навесная система технологического оборудования

Рисунок 2 – Технологическое оборудование грабельного типа

Рама такого оборудования (рисунок 2, *б*) представляет собой каркасно-панельную сварную конструкцию с нишами для установки подвижных рабочих элементов и задания направления движения. Она оборудована крепежными элементами для установки на подъемный механизм и заднюю навесную систему трактора, а также убирающимися опорными ногами для размещения оборудования на земле. Подъемный механизм (рисунок 2, *в*) обеспечивает подъем и опускание технологического оборудования для сбора лесосечных отходов при установке на передний брус лесохозяйственного трактора и состоит из обвязочной рамы, подъемной рамы, гидросистемы с двумя гидроцилиндрами и двух винтовых стяжек. Технические характеристики оборудования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики оборудования

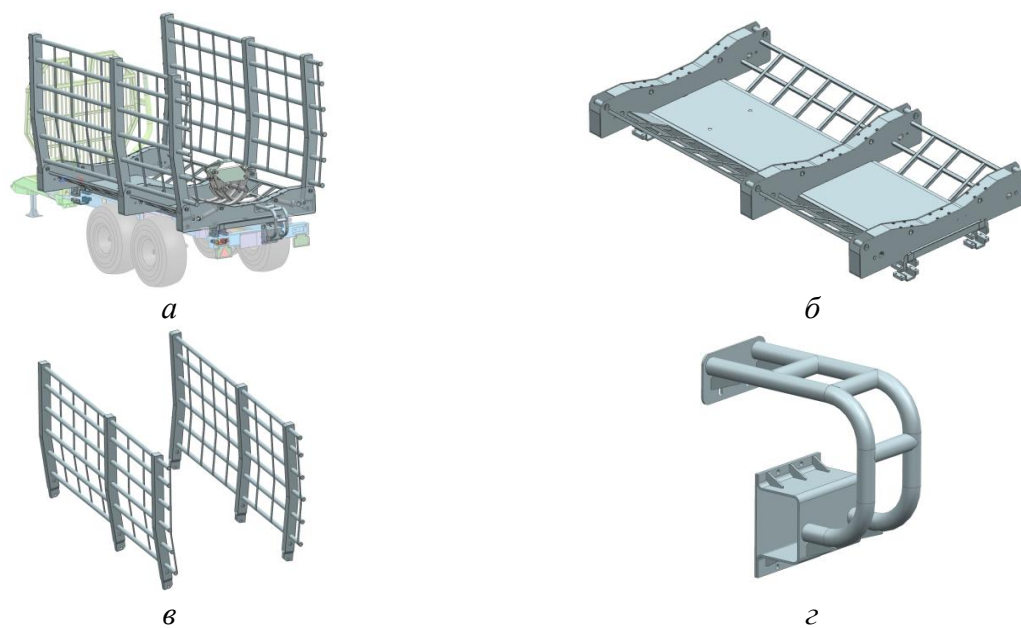
Параметр	Значение
Масса, кг	400
Ширина полосы, убираемой за один проход, мм	2400
Число подвижных рабочих элементов, шт.	5
Высота преодолеваемых препятствий, мм	250
Длина/ширина/высота, мм	930/2480/1170

Технология работы машины с таким оборудованием заключается в формировании валов или куч лесосечных отходов при челночном движении по лесосеке с чередованием рабочего и холостого ходов. Также возможна работа с совершением только рабочих ходов. В таком случае повышается производительность сбора и снижается степень повреждаемости поверхности лесосеки.

При формировании вала из лесосечных отходов после сплошных рубок необходимо соблюдать следующие правила. Валы лесосечных отходов целесообразно располагать параллельными рядами на расстоянии 15–25 м друг от друга в зависимости от захламленности лесосеки. Крайние валы не должны находиться ближе 15 м от границ лесосеки, и ближе 8–10 м

от стены леса. Валы при тракторной трелевке следует размещать в основном на волоках и по границам пазов. Вал должен быть плотным, шириной не более 1,5–2,5 м, а высотой – 0,8–1,2 м. В случаях когда необходимо предусмотреть сохранение подроста, сбор лесосечных отходов будет осуществляться не в валы, а в кучи, расположенные рядом с волоком на полосе шириной до 2 м параллельными волоку ходами трактора. Такая технология сбора позволит сохранить до 70% площади лесосеки не поврежденной. В каждой куче концентрируется до 0,5–1,5 м³ лесосечных отходов в плотной мере. Количество формируемых куч вдоль одного волока зависит, в первую очередь, от таксационных показателей лесосеки (породный состав, запас древесины на 1 га и пр.) и ширины пазов. Целесообразно, чтобы средний объем куч был кратным грузоподъемности транспортировщика лесосечных отходов, что обеспечит его полную загрузку и уменьшит количество рейсов, что в конечном итоге повысит производительность работы. Переезд подборщика от одной кучи к формированию другой осуществляется только по волоку. При осуществлении операции сбора лесосечных отходов конструкция технологического оборудования позволяет собирать только крупногабаритное вторичное сырье, мелкие ветки, листья, хвоя – остаются на лесосеке для перегнивания.

Следующей операцией после сбора является транспортировка лесосечных отходов на промежуточный склад для дальнейшей переработки их на щепу. Транспортировка имеет свою особенность, заключающуюся в низком коэффициенте полнотрепности лесосечных отходов в пределах 0,06 – 0,1, что ниже по сравнению со щепой в 5-6 раз. Поэтому при транспортировке существует необходимость уплотнения лесосечных отходов, что приведет к повышению рейсовой нагрузки полуприцепа и является основной предпосылкой к росту производительности, и снижению удельных топливных затрат. В проектируемой конструкции уплотнение лесосечных отходов осуществляется прижимными бортами (рисунок 3).



а – полуприцеп с оборудованием для транспортировки лесосечных отходов;
б – основание технологического оборудования для транспортировки;
в – прижимные борты для уплотнения лесосечных отходов;
г – кронштейн для захвата манипулятора

Рисунок 3 – Технологическое оборудование для транспортировки лесосечных отходов

Конструкция технологического оборудования состоит из основания, двух прижимных бортов и управляющей ими гидросистемы, а также устанавливается съемный кронштейн для обеспечения захвата манипулятора при его установке в транспортное положение. Основание (рисунок 3, *б*) представляет собой каркасно-панельную сварную конструкцию с силовыми коробами для присоединения прижимных бортов и размещения в

них гидроцилиндров с рукавами высокого давления. К нижним балкам основания приварены кронштейны для установки на полуприцеп. Прижимные борта (рисунок 3, в) предназначены для уплотнения лесосечных отходов, а также для удержания их в сжатом состоянии при перевозке к месту переработки. Прижимные борта представляют собой сварные панели решетчатого типа с силовыми балками. Гидросистема оборудования предназначена для подъема, опускания прижимных бортов, удержания их в поднятом положении, а также для управления манипулятором. Гидросистема состоит из шести гидроцилиндров (по три на каждый борт), гидрозамка и магистрали РВД. Гидросистема оборудования подключается к гидросистеме тягового трактора и управляется из его кабины. Кронштейн (рисунок 3, з) представляет собой сварную из труб круглого сечения конструкцию с крепежными фланцем и хомутом, а также предназначен для фиксации захвата манипулятора. В состав технологического оборудования входит специальный захват, конструкция которого позволяет осуществлять погрузку лесосечных отходов без захвата грунта. Особенность конструкции захвата заключается в его рабочих органах, которыми являются клещи дугообразной формы. Погрузка лесосечных отходов на транспортировщик без грунта позволит повысить качество щепы при переработке ее рубильной машиной на промежуточном складе. Технические характеристики технологического оборудования для транспортировки лесосечных отходов, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики оборудования

Параметр	Значение
Масса, кг, не более	1800
Грузоподъемность, кг, не более	7500
Площадь поперечного сечения платформы при закрытых бортах, м ²	4,5
Объем загрузки, м ³	20
Угол раскрытия прижимным бортов, не более	110°
Габаритные размеры, мм	
При закрытых бортах (длина/ширина/высота)	4600/2480/2520
При открытых бортах (длина/ширина/высота)	4600/5140/1800

Выбор технологии очистки лесосек значительно зависит от примененных ранее технологий разработки лесосек и использованных систем машин. После сплошных рубок бензиномоторными пилами, где имеет место высокая деконцентрация лесосечных отходов, должны последовательно применяться обе рассмотренные машины. В случае применения механизированной технологии заготовки сортиментов с использованием системы машин «харвестер+форвардер», разработка пасеки может проводиться с односторонней укладкой сортиментов (тогда лесосечные отходы находятся на одной стороне волока) или с двухсторонней укладкой (тогда лесосечные отходы образуются на двух сторонах волока). При одностороннем методе применение машины для сбора лесосечных отходов является нецелесообразным, по причине уже сформированного условного вала. При двустороннем методе лесосечные отходы сконцентрированы в кучах, и машину для сбора лесосечных отходов целесообразно применять для их перемещения с одной стороны волока на другую, тем самым формируя вал на одной из сторон. В конечном итоге такой подход ведет к росту производительности при погрузке лесосечных отходов транспортировщиком.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виногоров, Г.К. Лесосечные работы / Г.К. Виногоров. Москва: Лесная пром-сть, 1972. 240 с.
2. Федоренчик, А.С., Мохов, С.П., Клоков, Д.В. Технология и оборудование комплексного использования древесины: практ. для студ. вузов / А.С. Федоренчик, С.П. Мохов, Д.В. Клоков. Минск: БГТУ, 2003. – 132 с.

УДК 634.377

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
КАК ОСНОВНОЙ МЕТОД ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ КОЛЕСНЫХ ЛЕСНЫХ
АГРЕГАТНЫХ МАШИН**

**Симанович В. А., доц., к.т.н., Исаченков В. С., ассист.,
Арико С. Е., доц., к.т.н.**

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

**MATHEMATICAL MODELING OF DYNAMIC PROCESSES
AS THE MAIN METHOD OF INVESTIGATION OF WHEELED FOREST
AGGREGATES MACHINES**

**Simanovich V. A., Assoc. Prof., PhD, Isachenkov V. S., Assist.,
Ariko S. Ye., Assoc. Prof., PhD**

Belarussian State Technological University
(Minsk, Republic of Belarus)

A methodology for compiling calculation schemes for mathematical models of wheeled vehicles has been developed. A system of differential equations is compiled that describes the dynamic processes occurring in the subsystems of the vehicle. Calculation of dynamic loading indicators was made taking into account statistical indicators of impacts from external and internal factors. The adequacy of the mathematical model is estimated using an equivalence test of the normalized spectral densities.

Расчетные исследования при создании новых образцов лесозаготовительной техники являются одним из важнейших этапов при внедрении ее в серийное производство. Исследовательские работы в конечном счете дают возможность получить реальную картину нагружения узлов и агрегатов базовой машины и устанавливаемого на ней оборудования, что позволит производить корректирующие действия при выборе параметров.

Рассмотрение самой простой лесной машины подтверждает тот факт, что она является сложной динамической системой взаимодействующей с внутренними и внешними воздействиями с различной степенью взаимовлияния. Многолетний опыт исследований показывает, что при решении многих прикладных задач в качестве расчетной динамической модели используется твердое тело или система тел, на которую действуют силы. Такой подход был взят в качестве основного при создании расчетных моделей машин и предмета труда, пачки деревьев при трелевке, а также перемещении ее на транспортном средстве. Аналогичные методы расчета присутствуют при исследовании работы современных харвестеров и форвардеров. В исследованиях описанных в литературе, колебания твердого изучаются на основе анализа линейных уравнений движения, полученных путем упрощений из точных нелинейных уравнений его движения. Линейная теория колебаний твердого тела допускает то обстоятельство, что в направлении некоторые его обобщенных координат при выполнении определенных условий колебания могут происходить независимо друг от друга. По этой причине принцип связанности и взаимовлияния позволит исключить это обстоятельство и рассматривать подсистемы самостоятельно. В большинстве случаев такое положение, основанное на линейной теории колебаний стало основой выбора числа степеней свободы твердого тела, а это значит, что в основу идеализации движения тела в одной плоскости рассматриваются его поступательное и угловое движения при ограничительных предположениях.

Принятый подход был положен в основу теоретических исследований колесных трелевочных тракторов 4К4 с различной компоновкой технологического оборудования. В нашем понимании компоновка принимается таким усовершенствованием, что в первом приближении можно рассматривать как изменение колесной формулы базовой машины в сторону увеличения несущих осей транспортного средства с целью перераспределения нагрузки на его оси.

Разработка расчетных схем и соответствующих им математических моделей движения колесного трелевочного тягача в таких вариантах его использования необходима для исследования динамических явлений в машинах с компоновкой 6К6 и 8К8.

Подход предполагает нахождение независимых, изменяющихся во времени координат (степеней свободы), определяющих положение всех масс данной машины при рассмотрении эксплуатационных режимов движения, что позволяет наряду с общими задачами, решать круг вопросов, связанных с динамической нагруженностью узлов и агрегатов.

Колесные трелевочные тракторы имеют раздельно-агрегатную компоновку, поэтому в расчетных схемах двигатель, трансмиссия, ведущие мосты и т.д. представлены как подсистемы, соединенные между собой упругими элементами. Распределенные массы машины, технологического оборудования и пачки хлыстов при этом заменены сосредоточенными, соединенными безинерционными упругодемпфирующими связями, т.е. реальная динамическая система с бесконечным числом степеней свободы заменена схемой с конечным числом степеней свободы. Основными упругодемпфирующими элементами являются: шины, установленные на колесах, подвеска переднего моста, элементы трансмиссии, элементы технологического оборудования и пачка хлыстов.

Пневматическую шину представляют в виде пружины, нижний конец которой движется по микропрофилю трелевочного волокна, а верхний конец соединен с осью колеса. Такое описание шины предполагает точечный контакт. Распределенная масса пачки хлыстов разбивается на три дискретные массы m_1 , m_2 , m_3 , а изгибные деформации пачки хлыстов моделируются упругим элементом с коэффициентом жесткости c_{11} . Масса m_1 составляет часть пачки хлыстов, нагружающих технологическое оборудование, масса m_2 сосредоточена в центре тяжести пачки хлыстов и совершает вертикальные колебания, а масса m_3 часть пачки хлыстов, перемещающихся по поверхности трелевочного волокна. Связь колесного тягача с пачкой хлыстов осуществляется канатно-чокерным технологическим оборудованием, которое моделируется упругими элементами с коэффициентами жесткости c_9 и c_{10} . Все упругие звенья системы в направлении своей податливости обладают также демпфирующим сопротивлением.

Установлено, что колебания в поперечной плоскости можно считать не связанными с продольным угловыми, так как система симметрична относительно продольной вертикальной плоскости, проходящей через ее центр тяжести.

При составлении дифференциальных уравнений, описывающих динамические процессы, происходящие при движении трелевочного трактора, приняты следующие допущения: машина рассматривается как плоская симметричная система относительно продольной оси, проходящей через центр тяжести; трактор движется по поверхности трелевочного волокна прямолинейно без спусков и подъемов; колебания масс системы малы; упругие характеристики шин колес и других упругих элементов линейные или кусочно-линейные, а силы сопротивления пропорциональны скорости деформации; высоты микронеровностей трелевочного волокна под шинами колес правой и левой колеи усредняются; высокочастотные колебания элементов трансмиссии тягача, как с сосредоточенными, так и с распределенными параметрами не рассматриваются; беговая дорожка шины колес рассматривается в виде безинерционного обруча с радиусом, равным радиусу качения, а контакт шины колеса с трелевочным волокном точечным; шины колес имеют постоянный контакт с микропрофилем без пробуксовки и бокового проскальзывания; жесткость шин колес, подвески переднего моста, трансмиссии, чокерного технологического оборудования и пачки хлыстов постоянны.

На расчетных схемах (рисунок 1) приняты следующие обозначения:

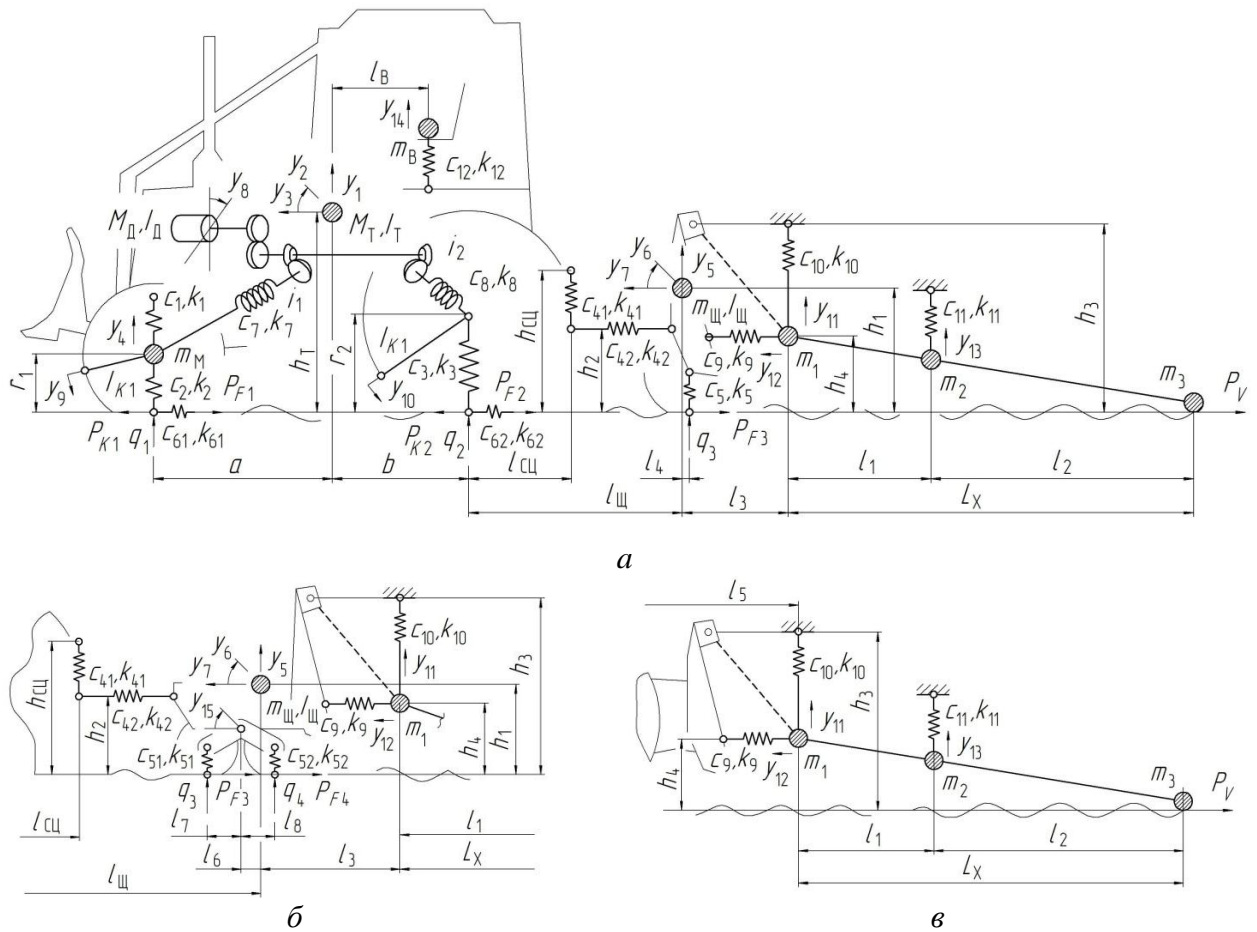
I_θ – момент инерции вращающихся масс двигателя и ведущих частей сцепления, кгм^2 ;

I_{K1} , I_{K2} – моменты инерции элементов трансмиссии и колес КТМ приведенные к их осям, кгм^2 ;

I_T , $I_{Ш}$ – моменты инерции тягача соответственно, кгм^2 ;

$M_T, m_M, m_{Щ}$ – масса тягача; подрессоренная масса переднего моста и масса прицепного оборудования, кг;

m_1, m_2, m_3 – дискретные массы пачки хлыстов, кг.



a – общая схема тягача с оборудованием;
б – прицепное оборудование на балансирной тележке;
в – навесное оборудование

Рисунок 1 – Расчетная схема динамической системы колесной трелевочной машины

К основным возмущающим воздействиям внешнего и внутреннего характера, влияющим на динамику колесного трелевочного трактора относятся неровности трелевочного волока и крутящий момент двигателя.

Возмущающие воздействия внешнего характера принято представлять в виде дискретных массивов микропрофилей неровностей трелевочного волока, которые задаются с помощью значений ординат, снятых с наиболее характерных опытных участков волока.

Полученная система дифференциальных уравнений, которая описывает динамические процессы, происходящие в модели движения тягача, имеет вид:

$$\ddot{y}_1 = \left[-c_1 (y_1 + ay_2 - y_4) - k_1 (\dot{y}_1 + a\dot{y}_2 - \dot{y}_4) - c_3 (y_1 - by_2 - q_2) - \right. \\
- k_3 (\dot{y}_1 - b\dot{y}_2 - \dot{q}_2) - c_{41} (y_1 - (b + l_{\text{цп}})y_2 - y_5 - (l_{\text{щ}} - l_{\text{цп}})y_6) - \\
- k_{41} (\dot{y}_1 - (b + l_{\text{цп}})\dot{y}_2 - \dot{y}_5 - (l_{\text{щ}} - l_{\text{цп}})\dot{y}_6) + \\
\left. + c_{12} (y_{14} - y_1 - l_B y_6) + k_{12} (\dot{y}_{14} - \dot{y}_1 - l_B \dot{y}_6) \right] / M_T;$$

$$\begin{aligned}
\ddot{y}_2 = & \left[-ac_1(y_1 + ay_2 - y_4) - ak_1(\dot{y}_1 + a\dot{y}_2 - \dot{y}_4) + \right. \\
& + bc_3(y_1 - by_2 - q_2) + bk_3(\dot{y}_1 - b\dot{y}_2 - \dot{q}_2) + \\
& + (b + l_{\text{CU}})c_{41}(y_1 - (b + l_{\text{CU}})y_2 - y_5 - (l_{\text{III}} + l_{\text{CU}})y_6) + \\
& + (b + l_{\text{CU}})k_{41}(\dot{y}_1 - (b + l_{\text{CU}})\dot{y}_2 - \dot{y}_5 - (l_{\text{III}} + l_{\text{CU}})\dot{y}_6) - \\
& - (h_T - h_{\text{CU}})c_{42}(y_3 + (h_T - h_{\text{CU}})y_2 - y_7 - (h_1 - h_2)y_6) - \\
& - (h_T - h_{\text{CU}})k_{42}(\dot{y}_3 + (h_T - h_{\text{CU}})\dot{y}_2 - \dot{y}_7 - (h_1 - h_2)\dot{y}_6) + \\
& + (h_T - r_1)c_{61}(y_3 - (h_T - r_1)y_2 - r_1y_9) - (h_T - r_1)k_{61}(\dot{y}_3 - (h_T - r_1)\dot{y}_2 - r_1\dot{y}_9) + \\
& + (h_T - r_2)c_{62}(y_3 - (h_T - r_2)y_2 - r_2y_{10}) - (h_T - r_2)k_{62}(\dot{y}_3 - (h_T - r_2)\dot{y}_2 - r_2\dot{y}_{10}) - \\
& - l_{\text{B}}c_{12}(y_{14} - y_1 + l_{\text{B}}y_2) - l_{\text{B}}k_{12}(\dot{y}_{14} - \dot{y}_1 + l_{\text{B}}\dot{y}_2) \left. \right] / I_T; \\
\ddot{y}_3 = & \left[-c_{42}(y_3 + (h_T - h_{\text{CU}})y_2 - y_7 - (h_1 - h_2)y_6) - \right. \\
& - k_{42}(\dot{y}_3 + (h_T - h_{\text{CU}})\dot{y}_2 - \dot{y}_7 - (h_1 - h_2)\dot{y}_6) - \\
& - c_{61}(y_3 - (h_T - r_1)y_2 - r_1y_9) - k_{61}(\dot{y}_3 - (h_T - r_1)\dot{y}_2 - r_1\dot{y}_9) - \\
& - c_{62}(y_3 - (h_T - r_2)y_2 - r_2y_{10}) - k_{62}(\dot{y}_3 - (h_T - r_2)\dot{y}_2 - r_2\dot{y}_{10}) + \\
& + P_{F1} + P_{F2} - P_{K1} - P_{K2} \left. \right] / M_T; \\
\ddot{y}_4 = & \left[c_1(y_1 + ay_2 - y_4) + k_1(\dot{y}_1 + a\dot{y}_2 - \dot{y}_4) - c_2(y_4 - q_1) - k_2(\dot{y}_4 - \dot{q}_1) \right] / m_M; \\
\ddot{y}_5 = & \left[c_{41}(y_1 - (b + l_{\text{CU}})y_2 - y_5 - (l_{\text{III}} - l_{\text{CU}})y_6) + \right. \\
& + k_{41}(\dot{y}_1 - (b + l_{\text{CU}})\dot{y}_2 - \dot{y}_5 - (l_{\text{III}} - l_{\text{CU}})\dot{y}_6) - c_5(y_5 - l_4y_6 - q_3) - \\
& - k_5(\dot{y}_5 - l_4\dot{y}_6 - \dot{q}_3) - c_{10}(y_5 - l_3y_6 - y_{11}) - k_{10}(\dot{y}_5 - l_3\dot{y}_6 - \dot{y}_{11}) - \\
& - c_{11}(y_5 - l_2l_3y_6/L_X - y_{13}) - k_{11}(\dot{y}_5 - l_2l_3\dot{y}_6/L_X - \dot{y}_{13}) \left. \right] / m_{\text{III}}; \\
\ddot{y}_6 = & \left[(l_{\text{III}} - l_{\text{CU}})c_{41}(y_1 - (b + l_{\text{CU}})y_2 - y_5 - (l_{\text{III}} - l_{\text{CU}})y_6) + \right. \\
& + (l_{\text{III}} - l_{\text{CU}})k_{41}(\dot{y}_1 - (b + l_{\text{CU}})\dot{y}_2 - \dot{y}_5 - (l_{\text{III}} - l_{\text{CU}})\dot{y}_6) + \\
& + (h_1 - h_2)c_{42}(y_3 + (h_T - h_{\text{CU}})y_2 - y_7 - (h_1 - h_2)y_6) + \\
& + (h_1 - h_2)k_{42}(\dot{y}_3 + (h_T - h_{\text{CU}})\dot{y}_2 - \dot{y}_7 - (h_1 - h_2)\dot{y}_6) + \\
& + l_4c_5(y_5 - l_4y_6 - q_3) + l_4k_5(\dot{y}_5 - l_4\dot{y}_6 - \dot{q}_3) - \\
& - (h_1 - h_4)c_9(y_7 + (h_1 - h_4)y_6 - y_{12}) - (h_1 - h_4)k_9(\dot{y}_7 + (h_1 - h_4)\dot{y}_6 - \dot{y}_{12}) + \\
& + l_3c_{10}(y_5 - l_3y_6 - y_{11}) + l_3k_{10}(\dot{y}_5 - l_3\dot{y}_6 - \dot{y}_{11}) + \\
& + l_2l_3c_{11}(y_5 - l_2l_3y_6/L_X - y_{13})/L_X + l_2l_3k_{11}(\dot{y}_5 - l_2l_3\dot{y}_6/L_X - \dot{y}_{13})/L_X \left. \right] / I_{\text{III}}; \\
\ddot{y}_7 = & \left[c_{42}(y_3 + (h_T - h_{\text{CU}})y_2 - y_7 - (h_1 - h_2)y_6) + \right. \\
& + k_{42}(\dot{y}_3 + (h_T - h_{\text{CU}})\dot{y}_2 - \dot{y}_7 - (h_1 - h_2)\dot{y}_6) - \\
& - c_9(y_7 + (h_1 - h_4)y_6 - y_{12}) - k_9(\dot{y}_7 + (h_1 - h_4)\dot{y}_6 - \dot{y}_{12}) + P_{F3} \left. \right] / m_{\text{III}};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\ddot{y}_8 &= c_7 (y_9 - y_8/i_1)/i_1 + k_7 (\dot{y}_9 - \dot{y}_8/i_1)/i_1 + c_8 (y_{10} - y_8/i_2)/i_2 + \\
&+ k_8 (\dot{y}_{10} - \dot{y}_8/i_2)/i_2 - M_D \Big] / I_D; \\
\ddot{y}_9 &= \left[r_1 c_{61} (y_3 - (h_T - r_1) y_2 - r_1 y_9) + r_1 k_{61} (\dot{y}_3 - (h_T - r_1) \dot{y}_2 - r_1 \dot{y}_9) - \right. \\
&- c_7 (y_9 - y_8/i_1) - k_7 (\dot{y}_9 - \dot{y}_8/i_1) \Big] / I_{K1}; \\
\ddot{y}_{10} &= \left[r_2 c_{62} (y_3 - (h_T - r_2) y_2 - r_2 y_{10}) + r_2 k_{62} (\dot{y}_3 - (h_T - r_2) \dot{y}_2 - r_2 \dot{y}_{10}) - \right. \\
&- c_8 (y_{10} - y_8/i_2) - k_8 (\dot{y}_{10} - \dot{y}_8/i_2) \Big] / I_{K2}; \\
\ddot{y}_{11} &= \left[c_{10} (y_5 - l_3 y_6 - y_{11}) + k_{10} (\dot{y}_5 - l_3 \dot{y}_6 - \dot{y}_{11}) \right] / m_1; \\
\ddot{y}_{12} &= \left[c_9 (y_7 + (h_1 - h_4) y_6 - y_{12}) + k_9 (\dot{y}_7 + (h_1 - h_4) \dot{y}_6 - \dot{y}_{12}) + \right. \\
&+ P_V \Big] / (m_1 + m_2 + m_3); \\
\ddot{y}_{13} &= \left[c_{11} (y_5 - l_2 l_3 y_6 / L_X - y_{13}) + k_{11} (\dot{y}_5 - l_2 l_3 \dot{y}_6 / L_X - \dot{y}_{13}) \right] / m_2; \\
\ddot{y}_{14} &= \left[-c_{12} (y_{14} - y_1 + l_B y_2) - k_{12} (\dot{y}_{14} - \dot{y}_1 + l_B \dot{y}_2) \right] / m_B.
\end{aligned}$$

После статистической обработки микропрофилей неровностей опытных участков трелевочного волока корреляционная функция воздействия определялась из выражения:

$$R(\tau) = \frac{1}{(N+1)} \sum_{i=1}^{i=N} [(q_{ii} - m_H)(q_{ii}^{\tau} - m_H)]$$

где N – количество ординат точек микропрофиля;

m_H – математическое ожидание микропрофиля, м;

$q_{ii} - m_H = H_{ii}$ – значение центрированной случайной величины ординаты точки микропрофиля в момент времени ti , м;

$q_{ii}^{\tau} - m_H = H_{ii}^{\tau}$ – значение центрированной случайной величины ординаты точки микропрофиля в момент времени $(ti + \tau)$, м;

τ – интервал корреляции, с.

Важное значение, при исследовании микропрофиля опытных участков трелевочного волока, имеют статистические характеристики в частотной области, которые дают представление о частоте ω повторения длин неровностей и распределения мощности колебаний по частотам при случайном процессе. Фурье аналитического выражения корреляционной функции, была получена спектральная плотность стационарного случайного процесса, которая определялась по следующему выражению:

$$\begin{aligned}
S(\omega) &= R(0) \left[A_1 \alpha_1 (\alpha_1^2 + \omega^2 + \beta_1^2) / ((\alpha_1^2 + \omega^2 - \beta_1^2)^2 + 4 \alpha_1^2 \beta_1^2) + \right. \\
&+ A_2 \alpha_2 (\alpha_2^2 + \omega^2 + \beta_2^2) / ((\alpha_2^2 + \omega^2 - \beta_2^2)^2 + 4 \alpha_2^2 \beta_2^2) \Big] / \pi
\end{aligned}$$

Приведенная методика и расчетные модели позволяют определять динамическую нагруженность элементов и систем базовой машины и технологического оборудования на различных эксплуатационных режимах с учетом статистических показателей микропрофилей волока и характеристики двигателя как источника заданной ограниченной мощности.

Оценка адекватности разработанной математической модели выполнена с помощью теста эквивалентности нормированных спектральных плотностей $S_1(\omega_i)$ и $S_2(\omega_i)$, полученных в результате статистической обработки теоретических и экспериментальных данных.

При уровне значимости $\alpha=0,05$ величина статистики D^2 для спектральной плотности крутящих моментов передней полуоси тягача составила 16,22...26,68 при значении области принятия гипотезы $\chi^2_{n,\alpha}$, равном 43,19, что свидетельствует об эквивалентности сравниваемых спектров экспериментальных и теоретических реализаций крутящих моментов, а следовательно, об адекватности разработанных математических моделей.

**ПРИМЕНЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ
УПРОЧНЯЮЩИХ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПРОСЛОЕК
В КОНСТРУКЦИЯХ ЛЕСНЫХ ДОРОГ**

Дини М. Н., асп., Жарков Н. И., доц., к.т.н.

Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), morteza.dini65@gmail.com

**APPLICATION OF HORIZONTAL AND VERTICAL
REINFORCEMENT GEOSYNTHETIC LAYER IN THE DESIGN
OF FOREST ROADS**

Dini M. N., PhD, Zharkov N. I., Assoc. Prof., PhD

Belarusian State Technological University
(Minsk, Republic of Belarus)

Based on the analysis of the most common practices in road construction designs and technology devices pavements and subgrade concluded that mainly serve this horizontal dividing and reinforcing layer. Minimize side riser capacity of soil layers, which are introduced in the structural layers and installed vertically. It is noted that the greatest stabilization effect can be achieved through the use of combined layers of a combination of vertical and horizontal mounted interconnected strips of geosynthetic material.

Одним из важнейших направлений повышения эффективности работы тяжеловесных лесовозных автопоездов на вывозке древесины, при транспортном освоении лесов, является решение вопроса стабилизации работы дорожных конструкций в процессе воздействия на них подвижной нагрузки [1].

Под воздействием колес автомобилей и других транспортных средств происходит прогиб конструктивных слоев дорожной одежды, а также износ верхнего слоя покрытия. Наиболее характерным разрушением грунта земляного полотна при воздействии нагрузки, сосредоточенной на малых площадях (колесной нагрузки), является образование поверхностей скольжения и бокового выдавливания грунта.

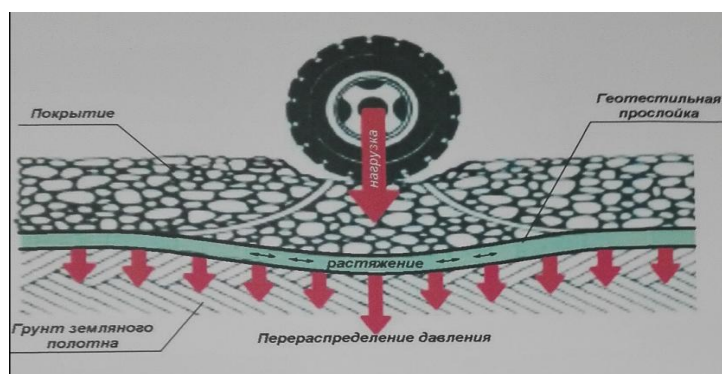


Рисунок 1 – Деформация дорожного покрытия под колесной нагрузкой

Дорожные конструкции лесных транспортных путей, как правило, имеют либо грунтовые покрытия, либо покрытия из гравийных или песчано-гравийных материалов. На таких дорогах предусматривается введение в конструкцию вертикальных и горизонтальных прослоек из геотекстильных материалов.

Основные функции, которые выполняют горизонтально уложенные прослойки из геотекстилей в конструкциях дорог: армирование и разделение слоев из насыпного и слабого грунтов.

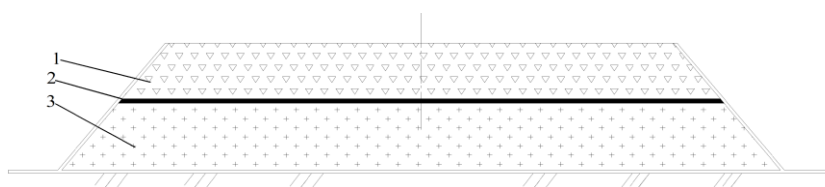


Рисунок 2 – Варианты устройства горизонтальной прослойки:

1 – песчано-гравийная смесь; 2– прослойка из геосинтетического материала; 3– песок

Вертикальные упрочняющие прослойки, способствуют гашению разрушающих напряжений, а также препятствуют интенсивному боковому смещению частиц и армируют дорожную конструкцию по вертикали.

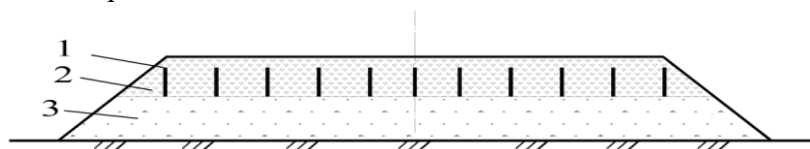


Рисунок 3 – Вариант покрытия с вертикальными прослойками:

1 – вертикальные прослойки; 2 – песчано-гравийная смесь; 3 – песок

Известен способ устройства дорожной конструкции, включающий укладку дорожной одежды на горизонтальную прослойку синтетического материала [2].

Недостатком этого способа является то, что прослойка воспринимает только вертикальную нагрузку.

Известен также способ возведения дорожного покрытия, включающий образование основания, размещение продольных вертикально расположенных полос из текстильного материала и заполнение промежутка между полосами грунтом с постепенным сокращением расстояния между полосами в верхних слоях покрытия в пределах участков, предназначенных для интенсивного движения.

Недостатком данного способа является низкие эксплуатационные качества покрытия и довольно сложная технология производства работ, а также то, что вертикальные полосы воспринимают только горизонтальные усилия.

Наиболее близким к данному способу является способ, при котором на подготовленное основание расстилают рулонный текстильный материал, имеющий на своей поверхности, прикрепленные к нему и обладающие жесткостью, сложенные горизонтальные полосы, которые в процессе раскатки рулонного геотекстильного материала устанавливают перпендикулярно горизонтальной плоскости, после чего производят засыпку грунта между полосами [3].

Недостатком данного решения является то, что рассматриваемый способ не учитывает в достаточной степени высоту установки полос, а также их размещение по ширине покрытия, которые зависят от интенсивности движения транспортных средств, массы воздействующей колесной нагрузки и материала покрытия. Что в свою очередь не позволяет оптимизировать размерные параметры размещения полос и, таким образом, регулировать прочность покрытия и расход применяемого для его устройства дорожно-строительного материала, а также геосинтетического материала прослойки.

Поставленная задача достигается тем, что в способе устройства дорожных покрытий колейного типа, включающем раскатку на подготовленное земляное полотно или основание дорожной одежды рулонного геосинтетического материала, имеющего на своей поверхности, прикрепленные к нему и обладающие жесткостью, сложенные горизонтальные полосы, которые в процессе раскатки рулонного материала устанавливают перпендикулярно горизонтальной плоскости с постепенным сокращением расстояния между полосами в верхних слоях покрытия в пределах участков, предназначенных для интенсивного движения (колесопроводах), после чего производят засыпку материала покрытия между полосами, полосы крепят к геосинтетическому материалу симметрично относительно оси дороги на одинако-

вом расстоянии друг от друга в промежутках от внутренней кромки каждого колесопровода до середины обочин, количество полос в каждом промежутке составляет 6–11, а минимальная высота установки полос равна $1/2$ – $2/3$ толщины слоя покрытия.

Предлагаемое техническое решение позволяет добиться равнопрочности работы покрытия, что обеспечит равномерность передачи колесной нагрузки по всем слоям дорожной конструкции, и уменьшить толщину слоя покрытия.

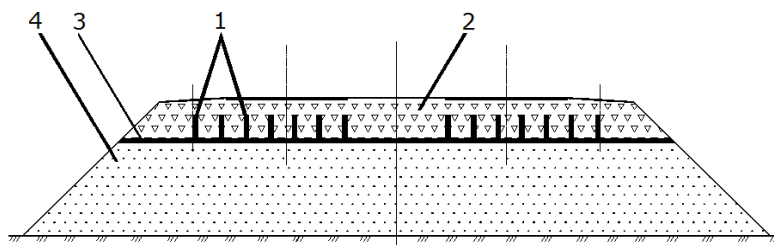


Рисунок 4 – Дорожная конструкция с комбинированной одеждой:

1 – вертикальные полосы; 2 – дорожная одежда; 3 – рулонный геосинтетический материал; 4 – земляное полотно

Разработанное техническое решение позволяет повысить несущую способность дорожного покрытия, улучшить эксплуатационные качества дорожной одежды. В данном случае дорожная конструкция включает размещение вертикальных полос геосинтетического материала с одновременным заполнением межполосного расстояния грунтом, каждый слой формируют посредством предварительной раскатки рулонного геосинтетического материала, имеющего на своей поверхности прикрепленные к нему и сложенные горизонтально вертикальные полосы, обладающие определенной жесткостью, которые в процессе раскатки рулонного материала устанавливаются перпендикулярно горизонтальной плоскости. После этого производится отсыпка грунта между полосами, причем вертикальные полосы в сложенном состоянии могут перекрывать друг друга или не доходить до места крепления смежных полос с материалом. Гибкость материала должна обеспечить вертикальную жесткость при отсыпке грунтом и одновременно горизонтальную гибкость при отсыпке грунтом в сложенном состоянии.

Для оценки влияния прослоек на прочность дорожных конструкций на грунтовом канале кафедры лесных дорог и организации вывозки древесины БГТУ были заложены опытные участки покрытий. В частности, для проведения экспериментов устраивалось покрытие без прослоек, с горизонтальной прослойкой и комбинированные с горизонтальными и вертикальными прослойками высотой и расстояниями между ними 5 и 10 см (рисунок 5).

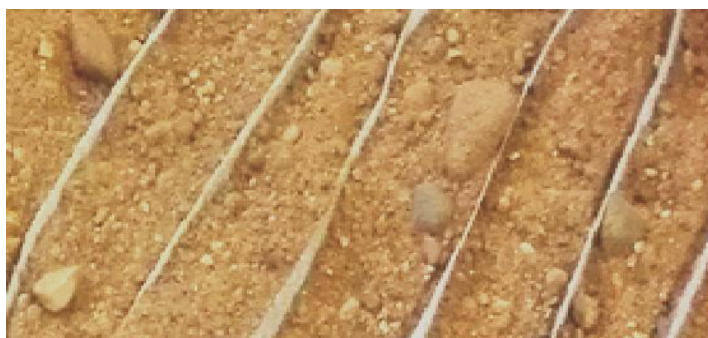


Рисунок 5 – Общий вид опытного участка

Для определения напряжений и установления зависимостей, характеризующих распределяющую способность конструктивных слоев устраиваемых участков, в них на разных глубинах в определенной последовательности закладывались предварительно оттаррированные тензорезисторные преобразователи давления (месдозы).

В свою очередь месдозы подключались к усилителю Spider-8 и персональному компьютеру, в котором для настройки, регистрации и обработки данных, получаемых с измерительного прибора, имеется пакет программного обеспечения Catman.

После этого каждый из участков испытывали посредством колесной нагрузки экспериментального стенда.

Проведенные исследования показали, что использование комбинированных прослоек оказывает стабилизирующее влияние на распределение напряжений, возникающих по глубине при воздействии подвижной колесной нагрузки транспортных средств. При этом эффективность их применения зависит от многих факторов. Учитывая результаты деформационных испытаний и технико-экономическое сравнение, для дальнейших производственных испытаний наиболее рационально принять при устройстве лесных автомобильных дорог конструкции комбинированной прослойки с высотой вертикальных полос 5 см с креплением их к горизонтально укладываемой прослойке на таком же расстоянии друг от друга.

После проведения лабораторных исследований планируется устроить опытные участки в производственных условиях ГОЛХУ «Осиповичский опытные лесхоз» на апрель на действующей лесной дороге.



Рисунок 6 – Строительство опытного участка

ЛИТЕРАТУРА

1. Насковец М. Т. Транспортное освоение лесов Беларуси и компоненты лесотранспорта. Минск: БГТУ, 2010. 178 с.
2. Вырко.Н.П Сухопутный транспорт леса. Минск: Высш.шк.,1987.-437 с.
3. Способ устройства дорожной покрытия. Заявка на патент. Республика Беларусь // М. Т. Насковец, М. Н. Дини; заявитель Беларусь. Гос. Технол. ун-т. № 20160341; заявл. 16.09.16.

**ТЕХНОЛОГИИ МАЛООБЪЕМНЫХ РУБОК ЛЕСА
В ЛЕСАХ ЗАЩИТНОЙ КАТЕГОРИИ**

Матросов А. В., доц. к.т.н., Лаптев А. В., ст. преп.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет), Мытищинский филиал
(Мытищи, Российская Федерация), matrosov@mgul.ac.ru, laptev@mgul.ac.ru

TECHNOLOGIES OF SMALL LOGGING IN FORESTS OF PROTECTIVE CATEGORY

Matrosov A. V., Assoc. Prof., Ph.D, Laptev A. V., Assis. Prof.

Bauman Moscow State Technical University
(National Research University), Mytishchi branch
(Mytishchi, Russian Federation)

The article deals with the problems of deforestation in forests of the protection category. The technology for the development of logging areas with the machine development method is given.

Лесной кодекс РФ, принятый в 2006 г., внёс новую редакцию в деление лесов по целевому назначению и для каждого целевого вида лесов закреплён правовой режим их освоения [1]. При этом режим большинства категорий защитных лесов был значительно усилен. Защитные леса подлежат освоению в целях сохранения средообразующих, водоохраных, защитных, санитарно-гигиенических, оздоровительных и иных полезных функций лесов с одновременным использованием лесов при условии, если это использование совместимо с целевым назначением защитных лесов и выполняемыми ими полезными функциями [1]. Использование защитных лесов в целях, которые не отвечают их целевому назначению и полезным функциям, было запрещено (ст.102 ЛК РФ).

В настоящее время рубки лесных насаждений осуществляются в форме выборочных рубок и сплошных рубок (ст.17 ЛК РФ) [1]. Значительная часть лесов России (около 23,3% от общей площади земель лесного фонда) отнесена к категории защитных лесов, где для большинства категорий защитных лесов были запрещены не только сплошные рубки, но и для ряда категорий были также запрещены и рубки ухода. В защитных лесах сплошные рубки осуществляются в случаях, предусмотренных частью 5.1 статьи 21 Лесного Кодекса РФ, и в случаях, если выборочные рубки не обеспечивают замену лесных насаждений, утрачивающих свои средообразующие, водоохраные, санитарно-гигиенические, оздоровительные и иные полезные функции, на лесные насаждения, обеспечивающие сохранение целевого назначения защитных лесов и выполняемых ими полезных функций [1].

В таких условиях одним из средств, обеспечивающим сохранение средообразующих, защитных и иных полезных функций лесов, рационального использования древесины для удовлетворения растущих потребностей производства и ускорения воспроизводства леса при минимальных затратах являются рубки лесных насаждений в форме выборочных рубок. При выборочной формы рубки за счет удаления отдельных деревьев или групп деревьев образуются открытые участки небольшой площади, сопоставимые по своим размерам с окнами вывалов в естественном лесу, что имитирует естественную динамику развития древостоя и сходный с естественным процесс смены поколений деревьев. Благодаря малым размерам вырубаемых участков, эти рубки не приводят ни к существенной почвенной эрозии, ни к заболачиванию, ни к формированию значительных площадей, занятых только пионерными видами деревьев и создаются благоприятные условия для естественного возобновления хвойных деревьев [10]. Выборочные формы рубок это не просто изъятие деревьев из древостоев, а осознанный процесс создания лучших условий роста для оставшихся на корню главных древесных пород за счет удаления несоответствующих условиям среды древесных пород.

При проведении рубок лесных насаждений в лесах защитной категории предпочтение отдается сортиментной технологии, как наиболее полно отвечающей лесоводственным нормативам и экономической целесообразности [7]. Технология заготовки сортиментов базируется на системах машин, состоящих как из традиционных технических средств – бензиномоторных пил и трелевочных тракторов, так и из многооперационных машин – харвестеры и форвардеры.

Применение любых лесозаготовительных машин для выполнения рабочих операций при рубках лесных насаждений подразумевает перемещение этих машин по площади лесосеки. Для этого необходимо проектирование и создание технологической сети, основа которой – система технологических коридоров (волоков) и лесопогрузочных пунктов. Критериями, характеризующими технологическую сеть, являются: ширина, протяженность, площадь технологических коридоров и расстояния между ними. Ширина волоков определяется лесохозяйственными нормативами, требованиями техники безопасности, габаритами применяемых машин и составляет 3...5 м. Расстояние между волоками (технологическими коридорами) и их ширина зависят от характера древостоя (в частности, определяются высотой вырубаемых деревьев), рельефа местности, применяемой техники с целью максимальной степени обеспечения лесоводственных требований и техники безопасности при выполнении лесосечных работ. Общая площадь трасс волоков и дорог для выборочной формы рубок составляет не более 15% от площади лесосеки [3].

Образовавшиеся волокни, в том числе и за счет удаления несоответствующих условиям среды древесных пород, выполняют биологические функции, а именно: солнечный луч, достигая поверхности почвы, прогревает её и тем самым делает более доступными питательные вещества почвы для деревьев уже в начале вегетационного периода, когда еще на контрольных участках, не тронутых изреживанием, лежит снег. Кроме непосредственных функций, волокни используют как противопожарные, защитные и постепенно улучшаемые хозяйственные дороги, а также для доставки к объектам рабочих, организованного снабжения, машин и механизмов, горюче-смазочных и других необходимых материалов. По ним удобно осуществлять оперативный технический контроль над проводимыми мероприятиями на любых участках независимо от их расположения [4].

Расстояния между технологическими коридорами формируют такой важный технологический элемент лесосеки, как ширина пасеки. В зависимости от ширины пасек выделяют следующие основные технологические варианты лесосечных работ [5]:

- узкопасечные технологии. Ширина пасеки в пределах 16...24 м. Общая площадь, занимаемая технологическими коридорами – 15...25%. Имеет ограниченное применение для выборочной формы рубки, так как площадь волоков превышает ограничение в 15% закрепленное нормативно [3];

- среднепасечные технологии. Ширина пасек в пределах одной – двух высот деревьев, что составляет 24...64 м. Общая площадь трасс волоков (технологических коридоров) – 10...15%. Технологические параметры лесосеки рассматриваются как разумный компромисс между требованиями к сохранению лесной среды и технико-экономическими возможностями заготовки древесины. Этим размерные показатели соответствуют нормативам [3], т.к. площадь волоков составляет около 13%;

- широкопасечные технологии. Ширина пасеки превышает двойную высоту деревьев в возрасте спелости и составляет 65...120 м. Площадь под волоками - 3...6%. Данная технология требует применения дополнительных технических средств (лебедок), что значительно усложняет и удорожает технологический процесс.

Приведенная классификация технологий основана только на ширине пасеки разрабатываемой за один прием. Определяющим для технологии разработки лесосек при выборочных рубках является система машин и порядок выполнения рабочих операций на определенных элементах лесосеки. На основании этих критериев можно выделить следующие технологии выполнения выборочных рубок.

Первая технология, наиболее распространенная на различных видах рубок лесонасаждений, основана на выполнении выборочной рубки сортиментным методом с использованием бензиномоторных пил и форвардера и относится к среднепасечной технологии. Для выполнения работ лесосека разбивается на пасеки, которую условно разделяют на пять полос (рисунок 1).

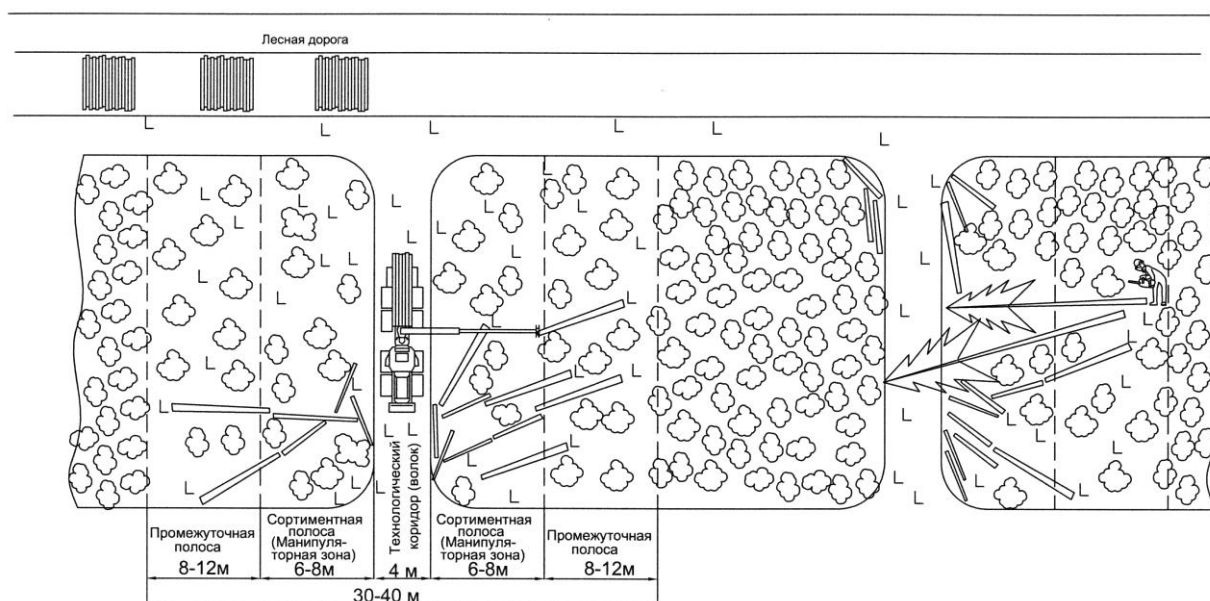


Рисунок 1 – Схема разработки лесосеки при выполнении рубки в выборочной форме с использованием бензиномоторных пил и форвардера

Первая полоса – это технологический коридор (волок) шириной 3...5 м в зависимости от габаритов применяемой техники и возраста лесонасаждения [6]. Далее две сортиментные полосы, непосредственно примыкающие к технологическому коридору (волоку) и предназначенные для размещения заготовленных сортиментов, в зоне действия манипулятора форвардера. Ширина этих полос в пределах 6...8 м и зависит от вылета манипулятора и количества подлежащих складированию сортиментов. Две полосы наиболее удаленные от волока – промежуточные полосы, шириной до 12 м. Ширина пасеки составляет до 40 м. Разработку пасеки начинают со сплошной валки деревьев на волоке, затем осуществляется обрезка сучьев и раскряжевка. Мешающие проезду форвардера сортименты откатывают к границе волока на сортиментную полосу. При разработке технологического коридора на 20...25 м, на пасеках осуществляется выборочная валка деревьев. На сортиментной полосе деревья валят так, чтобы максимально приблизить сучья к технологическому коридору. На промежуточной полосе деревья валят таким образом, чтобы не повредить оставляемые на корню деревья и с таким расчетом, чтобы сортименты разместить вблизи сортиментной полосы (в зоне досягаемости манипулятора), а сучья, образующиеся при обрезке кроны, вблизи технологического коридора. Концентрация сучьев на технологическом коридоре и в непосредственной близости от него позволяет укрепить волок для улучшения проходимости форвардера и защитить от повреждений верхнюю корневую часть деревьев, оставленных для дорастивания [8]. Сбор, погрузка и транспортировка сортиментов к лесовозной дороге осуществляется при помощи форвардера. Данная технология применима для всех видов лесосечных работ, выполняемых в форме выборочных рубок и для насаждений различных возрастов (в том числе и не достигших возраста рубки).

Все большее распространение получают технологии проведения выборочных рубок, в том числе и в лесах защитной категории, с использованием харвестеров и форвардеров (рисунок 2). Данная схема также широко применяется для выполнения сплошной рубки.

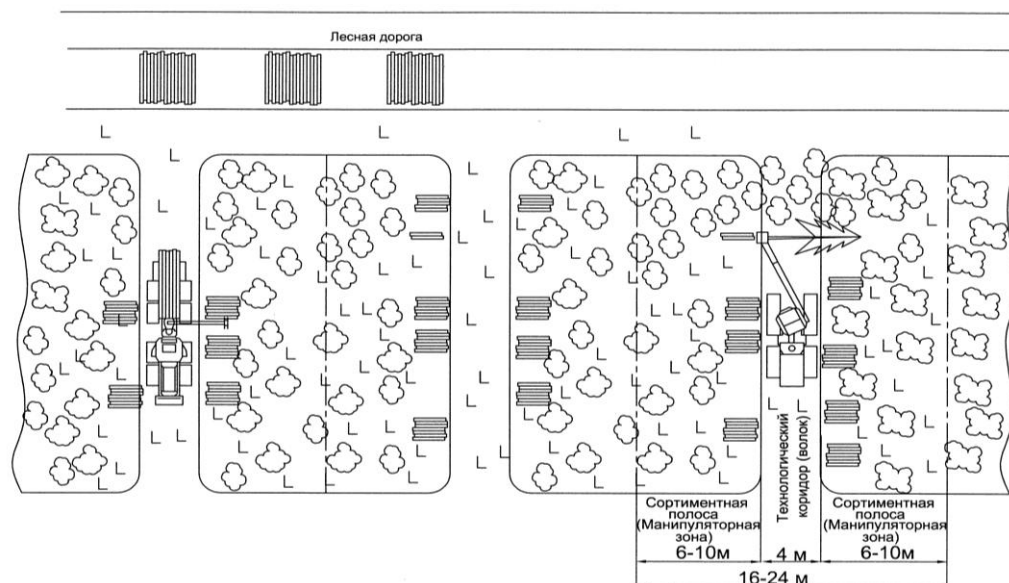


Рисунок 2 – Схема разработки лесосеки при выполнении рубки в выборочной форме с использованием харвестера и форвардера

Лесосека разрабатывается пасаками шириной 1,5-2 величины вылета манипулятора харвестера. Величина вылета определяется исходя их технических характеристик применяемого манипулятора, весовых характеристик применяемой харвестерной головки и весовых характеристик деревьев, назначенных в рубку [6]. Эта технология отличается высокой степенью механизации и высокой производительностью, а также площадью, занимаемая волоками, составляет 17...22% от площади лесосеки. Ограничения по площади, занимаемой волоками: при сплошной рубке не более 20%, с применением многооперационной техники, допускается увеличение до 30% от площади лесосеки; при выборочной рубке не более 15% [3]. Это делает данную технологию целесообразной для сплошных рубок и ограничивает применение для выборочных рубок.

Для уменьшения площади под трелевочными волоками необходимо увеличение расстояния между ними, что соответственно повлечет увеличение ширины пасаки. При работе харвестера ширина пасаки определяется эффективным вылетом манипулятора. У современных моделей харвестера вылет манипулятора ограничивается 12 м и ширина пасаки, разрабатываемая харвестером, не может превышать 24 м, что является узкопасечной технологией с перечисленными выше недостатками. Для увеличения расстояния между волоками находят применение среднепасечные технологии разработки лесосек с одной или двумя промежуточными полосами между пасечными волоками. Такие технологии целесообразно применять для выборочных рубок, а также рубок с сохранением подроста в лесах, имеющих защитное и средообразующее значение, на участках, где недопустима и нецелесообразна прокладка густой сети технологических коридоров (волоков), а подтаскивание и обработка деревьев харвестером в зоне доступности манипулятора форвардера не ведет к повреждению оставляемых деревьев и подроста [5].

Вариант с одной промежуточной полосой предусматривает размещение трелевочных волоков на расстоянии 3-3,5 эффективных вылета манипулятора (28...32 м). Между волоками и прилегающими к ним полупасакам (сортиментными полосами) располагается промежуточная полоса. При работе по этой технологии харвестер после разрубки смежных волоков и прилегающих полупасек разрабатывает промежуточную полосу. При этом выпиленные сортименты укладываются по обе стороны на ближайшие полупасаки (сортиментные полосы), чтобы они были доступны для манипулятора форвардера при движении по волоку. При данной технологии площадь, занимаемая волоками, составляет 12...14% от площади лесосеки, что приемлемо для выборочных рубок.

Технология с двумя промежуточными полосами предусматривает размещение трелевочных волоков на расстоянии 4-5 эффективных вылетов манипулятора (35...45 м). Это позволяет уменьшить площадь, занимаемую волоками до 9...11%. Отличием в технологическом процессе от технологии с одной промежуточной полосой – укладка харвестером сортиментов на одну сторону, т.е. на ближайшую сортиментную полосу.

Среднепасечные технологии с одной и двумя промежуточными полосами при использовании харвестера и форвардера следует применять в насаждениях, где выборочные рубки и рубки ухода уже проводились с необходимой интенсивностью, древостой достаточно разрежен, что обеспечивает беспрепятственное прохождение харвестера между деревьями при движении по промежуточной полосе. Разновидностью технологии разработки лесосек с промежуточной полосой является технология, при которой деревья на промежуточной полосе валются вальщиком с бензиномоторной пилой в просветы между деревьями на свободные места вершинами в сторону размеченного волока (рисунок 3).

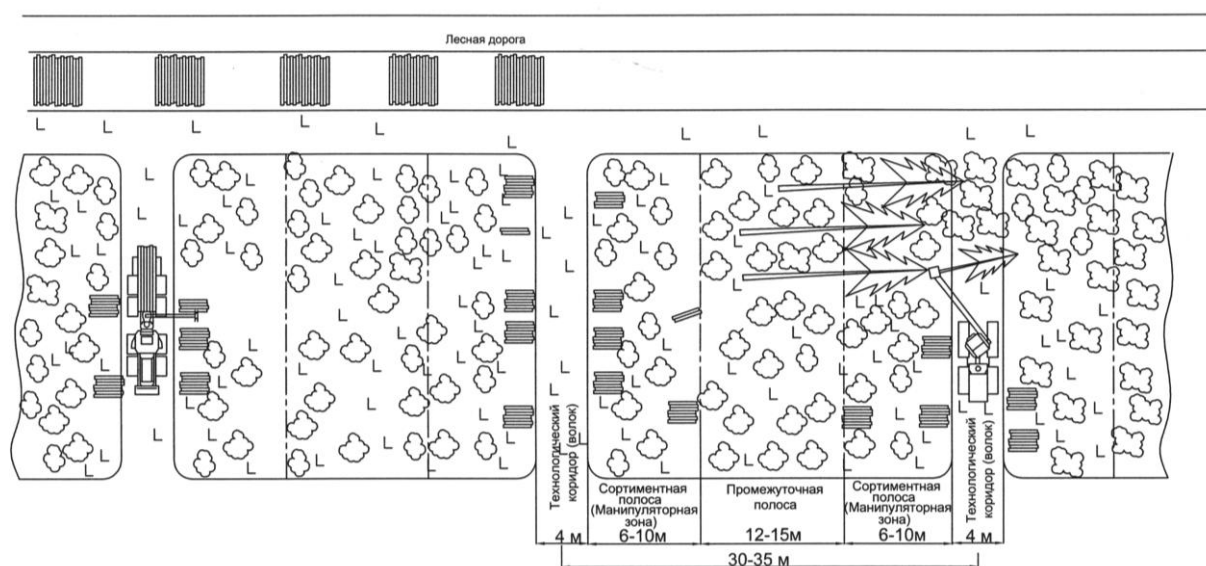


Рисунок 3 – Схема разработки лесосеки при выполнении рубки в выборочной форме с использованием харвестера и форвардера и разработкой промежуточной полосы при помощи бензопилы

После того как деревья на промежуточной полосе будут свалены, харвестер двигаясь по волоку, обрабатывает деревья на полупасеках и производит дообработку деревьев поваленных с промежуточной полосы. Эта технология позволяет сочетать высокую производительность харвестерной заготовки и вместе с тем в более щадящем режиме разрабатывать промежуточную полосу. Однако это приводит к увеличению ручного труда в тяжелых условиях. Площадь, занимаемая волоками 11...13% от площади лесосеки, что соответствует нормативным показателям.

В некоторых случаях при использовании на выборочных рубках в лесах, имеющих приоритетное защитное и средообразующее значение, харвестера и форвардера с целью снижения площади, занимаемой волоками (менее 15% от площади лесосеки), может быть применена технология с размещением между сортиментными полосами (мануляторными зонами) смежных пасек промежуточной полосы шириной 12...15 м. Образующаяся промежуточная полоса между пасеками остается неразработанной до следующего приема рубок (рисунок 4). При следующем приеме рубки по этой полосе намечается волок для перемещения машин. Данный способ не может быть использован для выборочных санитарных рубок, когда велика вероятность того, что на неразработанной полосе останутся деревья, пораженные вредителями и подлежащие вырубке.

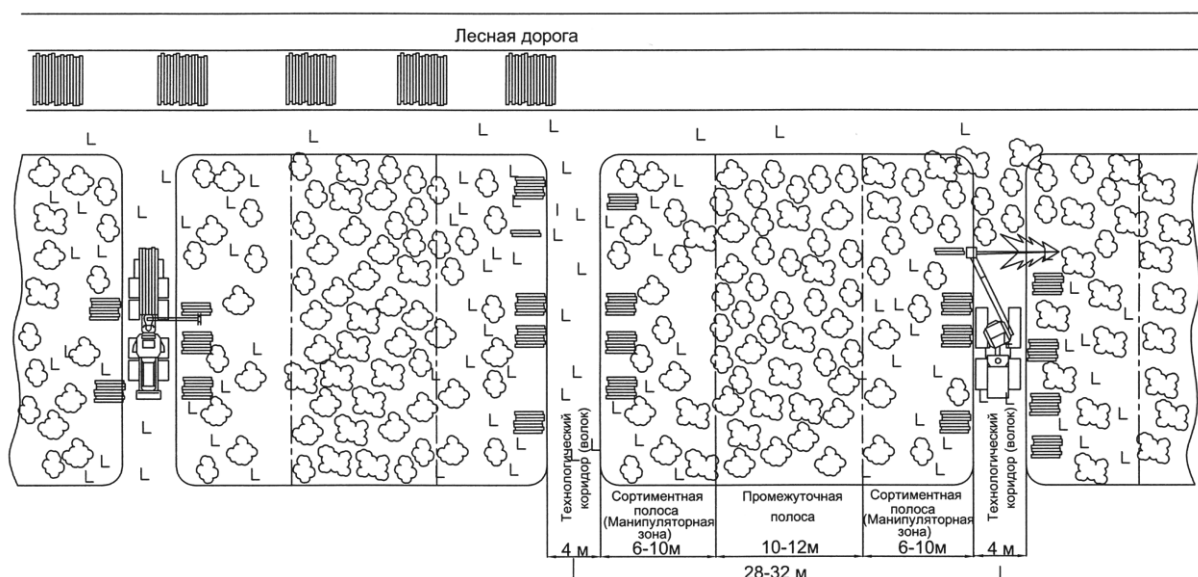


Рисунок 4 – Схема разработки лесосеки при выполнении рубки в выборочной форме с промежуточной неразработываемой полосой

Приведенные технологии свидетельствуют о возможности широкого применения для проведения выборочных рубок, а также рубок с сохранением подроста в лесах, имеющих приоритетное защитное и средообразующее значение, таких многооперационных машин манипуляторного типа как харвестеры и форвардеры. Это позволит снизить до минимума долю тяжелого ручного труда и обеспечить на высоком, полностью механизированном уровне, высокую производительность с учетом всех лесоводственных требований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лесной кодекс Российской Федерации» от 04.12.2006 N 200-ФЗ (ред. от 03.07.2016) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2017).
2. Приказ Минприроды России от 13.09.2016 N 474 (ред. от 11.01.2017) "Об утверждении Правил заготовки древесины и особенностей заготовки древесины в лесничествах, лесопарках, указанных в статье 23 Лесного кодекса Российской Федерации".
3. Приказ Минприроды России от 27.06.2016 N 367 "Об утверждении Видов лесосечных работ, порядка и последовательности их проведения, Формы технологической карты лесосечных работ, Формы акта осмотра лесосеки и Порядка осмотра лесосеки".
4. Атрохин, В. Г. Формирование высокопродуктивных насаждений / В. Г. Атрохин. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 232 с.
5. Желдак, В. И. Лесоводство: Учебник. Часть II / В.И. Желдак. М.:ВНИИЛМ, 2004. 200 с.
6. Лаптев, А. В. Технологические схемы разработки лесосек при выполнении выборочных рубок с использованием многооперационных машин манипуляторного типа / А. В. Лаптев // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2014. № S2. С. 62-70.
7. Матросов, А.В. Технологические процессы малообъемных лесозаготовок и метод их моделирования / А. В. Матросов // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2006. № 6. С. 98-101.
8. Протас, П. А. Повреждение корней деревьев движителями лесозаготовительных машин при проведении несплошных рубок леса / П. А. Протас, А. С. Федоренчик // Лесная и деревообрабатывающая промышленность : труды БГТУ. Сер. II. Минск, 2005. Вып. XIII. С. 26-27
9. Ярошенко, А. Ю. От сплошных рубок к выборочным / А. Ю. Ярошенко // Леспромформ. №3(85) . СПб.: Леспромформ, 2012. С.18–21.

**ЛОГИСТИЧЕСКАЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ
РЕСУРСОМ И ТЕРРИТОРИЕЙ ЛЕСОСЕЧНОГО ФОНДА «Л-ГИС»**

Хотянович А. И., ассист.

Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: alexander.khotyanovich@gmail.com

**LOGISTICS GEOINFORMATION SYSTEM
FOR RESOURCES AND CUTTING FOUND TERRITORY MANAGEMENT «L-GIS»**

Khotyanovich A. I., Assist.

Belarusian State Technological University
(Minsk, Republic of Belarus)

The article shows possibilities of the logistics geoinformation system for logging planning, wood resources operational monitoring, reliable delivery of round wood materials for their consumers. This system allows to use its functional for all members of forestry sector: state forestry enterprises, state and private logging and woodworking companies, energy production organizations from renewable resources, government, controlling and environmental departments.

Высокодоходное лесопользование мировых лесных держав формируется благодаря непрерывному совершенствованию отраслевого законодательства, широкому применению информационных технологий, профессиональному менеджменту, конкурентной предпринимательской среде.

Лесопромышленная отрасль Беларуси совмещает добывающую и перерабатывающую функции, располагает большим разнообразием природных условий мест рубок, применяемого лесозаготовительного оборудования и транспортных средств, мест хранения лесоматериалов и совершения учетных операций.

Для управления лесопользованием разработана и готова к внедрению в государственных лесохозяйственных учреждениях логистическая геоинформационная система, которая в условиях постоянного прироста древесной биомассы и растущего спроса на лесоматериалы и древесное топливо обеспечит инновационное развитие отечественного лесного хозяйства, процессов заготовки и переработки древесины. Основу существующего функционала отраслевой логистической системы составляют информационно-коммуникационные решения планирования географии рубок, ориентированных на потребителя; оперативного учета заготовленной древесины на лесосеках, промежуточных складах, железнодорожных станциях, лесных складах потребителей, в процессе ее перемещения; также создана инфраструктура обмена информацией между звеньями в цепи поставок древесины от лесосеки до потребителя.

«Л-ГИС» – аналитический инструмент лесопромышленной логистики, под которой, в свою очередь, понимается область исследований, связанных с планированием лесопользования и последующей реализации комплекса технологических и материально-технических процессов, связанных с обеспечением потребителей лесоматериалами и оперативной достоверной информацией о структуре и географии ресурса в соответствии с действующими нормами и правилами.

Функционал «Л-ГИС» основывается на географической информационной системе и базе данных «Повыдельная характеристика лесов». Наличие картографического материала по лесному фонду всей Беларуси делает доступным «Л-ГИС» для всех участников лесопользования.

На рисунке 1 представлено районирование республики по лесхозам и лесничествам. Различными символами также обозначаются потребители лесоматериалов в соответствии с географией их расположения.

Информация в «Л-ГИС» структурирована по трем пользовательским уровням: лесхоз – государственное лесохозяйственное объединение (ГПЛХО) – Министерство лесного хозяйства. Аналогичным образом будет выполнена структура «Л-ГИС» для концерна «Беллесбумпром» и холдинга организаций деревообрабатывающей промышленности.

Концерн и холдинг имеют в лесничествах арендные лесосеки, структура лесоматериалов по которым подобрана исходя из заявленного деревообрабатывающими предприятиями сортиментного плана. На карте рисунка 1 лесничества с арендными лесосеками окрашены в серый цвет. Хранение информации и обновление данных происходит посредством облачного сервиса «OwnCloud».

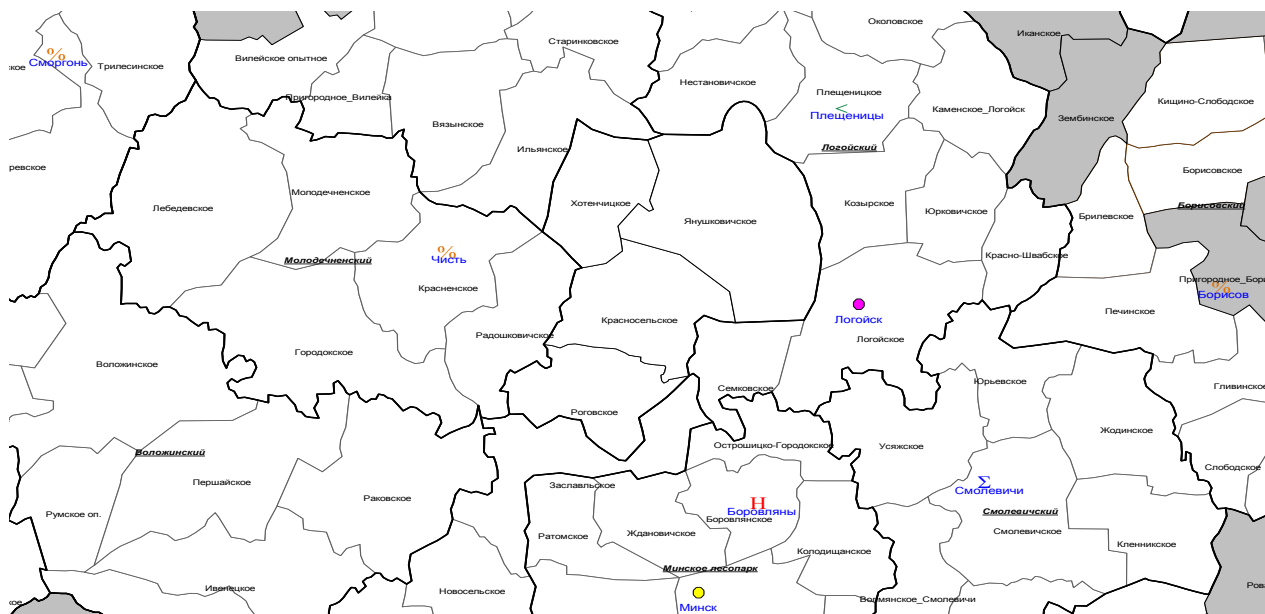


Рисунок 1 – Районирование Беларуси по лесхозам и лесничествам

Изменяя масштаб электронной карты, пользователь видит размер ресурса суммарно в квартале и по каждому таксационному выделу (лесосеке) (рисунок 2).

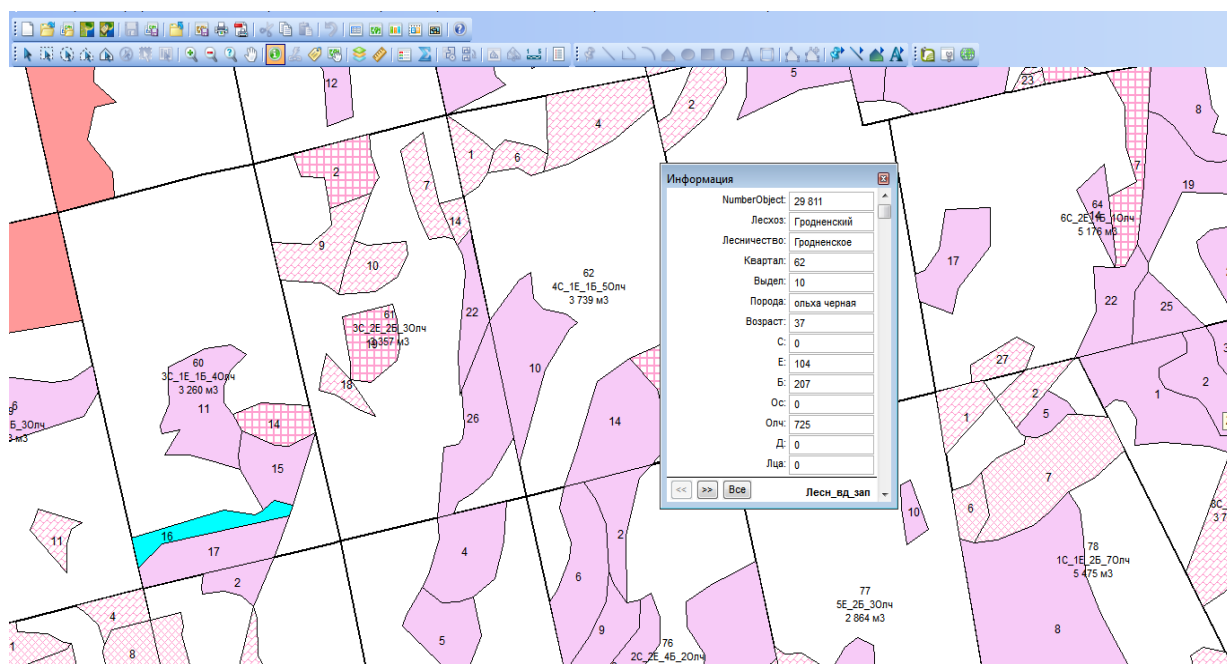


Рисунок 2 – Оценка ресурса в кварталах и выделах

В процессе разработки лесосек по окончании каждой смены формируются оперативные данные о лесоматериалах, доставленных на промежуточные склады (промежуточные лесопромышленные склады также указываются на карте лесничеств и имеют географическую привязку). Аналогичным образом контролируется перемещение лесоматериалов от промежуточных (верхних) складов до потребителя.

Всю оперативную информацию можно получить в разрезе лесоматериалов, для чего необходимо указать на карте или в диалоге объект мониторинга оперативных объемов (промежуточный склад, станция погрузки, цех переработки древесины), а также выбрать название сортиментов, породы и группы диаметров. Результирующая таблица оценки оперативных объемов позволяет иметь данные о лесоматериалах по категориям: предыдущий остаток; приход; расход; остаток. Приход и расход лесоматериалов по выбранному объекту оценивается за день, предшествующий дню выполнения запроса. Собственно остаток лесоматериалов показывает актуальные данные на начало дня, в котором выполняется запрос. На рисунке 3 представлен в виде таблицы итог оценки оперативных объемов по выбранному объекту мониторинга.

Параметры	Пиловочник Сосна 14 24	Балансы Береза 6 13
<input type="checkbox"/> Дата 12.04.2017	0	0
<input type="checkbox"/> ПРОМСКЛАД4	0	0
<input type="checkbox"/> Гожское_Гродненский	0	0
<input type="checkbox"/> - предыдущий остаток	315	217
<input type="checkbox"/> - приход	180	0
<input type="checkbox"/> - расход	78	64
<input type="checkbox"/> - остаток	417	153

Рисунок 3 – Результат оценки оперативных объемов по выбранному объекту мониторинга

Оперативный учет лесоматериалов ведется с целью снижения остатков сырья на промежуточных складах и контроля выполнения договорных обязательств на поставку древесины. На рисунке 4 представлен интерфейс выбора условий для оценки выполнения контрактов на поставку лесоматериалов.

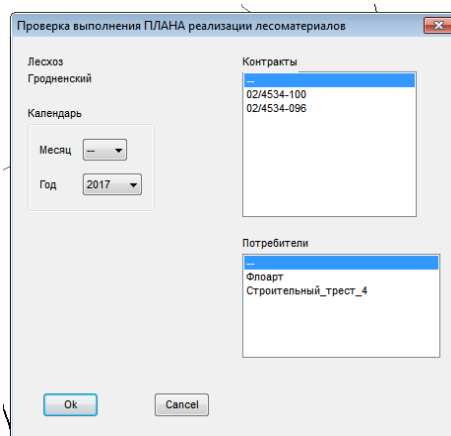


Рисунок 4 – Интерфейс выбора условий оценки выполнения контрактов на поставку лесоматериалов

В «Л-ГИС» существует возможность анализировать выполнение одного или группы контрактов, или же всех контрактов определенного контрагента. Оценка выполняется по трем параметрам: План; Факт отгружено; Процент отгружено.

Приведенные компоненты логистической геоинформационной системы – это лишь часть ее существующих возможностей. В виду схожих принципов лесоустроительных процедур в странах ЕАЭС и Балтии, развитие «Л-ГИС» рассматривается как экспортоориентированное решение.

**СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ И ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ МАШИН
И ОБОРУДОВАНИЯ В ЛЕСНОМ КОМПЛЕКСЕ**

**Салминен Э. О.¹, проф., к.т.н., Борозна А. А.¹, проф., к.т.н., Пушкин Д. В.¹, асп.,
Кобыльсков И. П.², зам. ген. директора, Насковец М. Т.³, доц., к.т.н.**

¹Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
(Санкт-Петербург, Российская Федерация), e-mail: salminen.lta@mail.ru

²НПО «Руспромремонт»

(Санкт-Петербург, Российская Федерация), e-mail: rpr-spb@mail.ru

³Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: naskovets@belstu.by

**REDUCING ENERGY CONSUMPTION AND INCREASING THE RELIABILITY
OF MACHINES AND EQUIPMENT IN THE FORESTRY COMPLEX**

**Salminen E. O.¹, Prof., PhD, Borozna A. A.¹, Prof., PhD, Pushkov D. V.¹, PhD,
Kobylskov I. P.², Deputy. Gene. Manager, Naskovets M. T.³, Assoc. Prof., PhD**

¹St Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov

(Saint-Petersburg, Russian Federation)

²NPC «Ruspromremont»

(Saint-Petersburg, Russian Federation)

³Belarusian State Technological University

(Minsk, Republic of Belarus)

Modern forestry machinery requires constant rearmament. this is condition with one side to increase in the volume of blanks, and on the other – rather complicated conditions and specific features of the operation of machinery and equipment. Increase the reliability of technical facilities and reduce energy consumption during their operation is possible by applying new technologies based on the use of repair and recovery compounds

Лесозаготовительные машины и оборудование эксплуатируются в сложных природно-технологических и погодных условия и с большими нагрузками, что приводит к быстрому износу и повышенному расходу энергетических ресурсов. В условиях экономического кризиса заменить изношенное оборудование на новое, не всегда представляется возможным. Повысить надежность работы механизмов и продлить их срок службы, снизить расход энергоресурсов возможно, применив новейшую разработку – РВС-технологии.

РВС-технология — совокупность технологических операций использования ремонтно-восстановительных составов (РВС. РВС состоит из специально изготовленной тонко помолотой смеси минералов. Основу смеси составляет никель-железо-магнезиальный гидросиликат - $(Ni - Fe - Mg)_3(Si_2O_5)(OH)_4$, в качестве катализатора используется оливинный минеральный ряд - $(Mg_{2-x}Fe_x)_2 SiO_4$).

Рекомендуемое соотношение: Никель-железо-магнезиальные гидросиликаты 90 – 95 ма. %, катализатор 5 – 10 мас. %. при этом размер зерен основы и катализатора соответствует друг другу и составляет от 1 мкм до 100 мкм.

Мелко размолотая, тщательно перемешанная смесь, поставляемая в виде порошка или геля, вводится в масляную систему в штатном режиме работы механизма.

В начальной стадии геомодификатор работает как абразив, срезая неровности и шероховатость трущихся деталей, затем в процессе работы механизма под действием высокой температуры и давления между РВС - частицами и кристаллами фаз металла происходит замещение атомов магния из минералов на атомы железа, из которых состоят детали. Продукты распада внедряются в поверхность металла на глубину 1 – 3 мкм.

При этом на кристаллической решетке металла происходит образование новых кристаллов. Кристаллы ориентированы вдоль поля, и срастаясь, образуют на всей поверхности пятна контакта непрерывный ряд твердых монокристаллов. Образованная таким способом поверхность, обладает высокой износостойкостью и низким коэффициентом трения. Формируемый в процессе работы механизма слой обладает уникальными свойствами и называется металлокерамическим защитным слоем (МКЗС).

Использование состава обеспечивает создание новообразованного слоя, обладающего способностью при трении контактирующих металлических поверхностей разрушаться и самовосстанавливаться при эксплуатации, автоматически регулируя зазор между трущимися поверхностями. При этом новообразованный слой обладает повышенными триботехническими характеристиками, повышенной износостойкостью, коррозионной стойкостью и однородностью. Фактически, он «залечивает» дефекты на изношенных трением металлических поверхностях деталей в режиме их штатной эксплуатации, при этом деталь приобретает новые, более высокие эксплуатационные свойства, значительно снижается коэффициент трения, повышается износостойкость.

Обработанные по РВС - технологии механизмы эксплуатируются с явно выраженным большим технико-экономическим эффектом, минимизирующим вредное влияние на окружающую среду. Опыт использования РВС – технологии в различных областях показал положительные результаты:

- снижение потребления электроэнергии и топлива на 2% - 15%;
- увеличение межремонтного ресурса работы узлов и механизмов от 2 до 5 раз;
- увеличение полезной мощности для различного типа механизмов от 5% до 15%;
- увеличение ресурса масел в 2 – 4 раза;
- снижение шумов и вибраций работы механизмов;
- снижение электрохимических коррозионных процессов;
- снижение вредных выбросов двигателей внутреннего сгорания (ДВС);
- увеличение выносливости механизмов в режиме масляного голодания.

Преимущества РВС-технологии:

- работы выполняются в режиме штатной эксплуатации оборудования без остановки технологического процесса;
- при своевременном применении значительно дешевле и эффективнее традиционного ремонта;
- позволяет восстанавливать эксплуатационные характеристики оборудования с износом до 50%, а в отдельных случаях имеющего предельно допустимый износ;
- применяется не только для восстановления изношенных узлов механизмов, а также для предотвращения износа новых;
- РВС не влияют на физико-химический состав масел и смазок, не требуют добавки при замене последних, т.к. не являются присадками.

В отличие от различных известных присадок, модификаторов трения и добавок в смазочные материалы, РВС восстанавливает и оптимизирует зазоры в сопряжениях деталей, полностью устраняет контакт металл-металл, предотвращая дальнейший износ и коррозию металлов в пятнах контакта пар трения.

В учебно-научной лаборатории Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета был проведен эксперимент с применением РВС - технологии.

Проведение научного эксперимента проводилось на опытной установке, которая состоит из обкаточно-тормозного стенда КО-2204 и двигателя ЗИЛ-130 выпуска 1969 года. Стенд КО-2204 состоит из следующих основных узлов (рисунок 1): 1 приспособления для установки двигателя, 2 гидротормоза, 3 весового механизма, 4 пульта контрольных приборов, 5 обгонной муфты (находится под кожухом), 6 электродвигателя.

Двигатель установлен на стенде соосно с валом гидротормоза и соединен с ним эластичными муфтами. До начала эксперимента были сняты основные технико-

экономические показатели – компрессия в цилиндрах и расход топлива. После снятия показателей в масляную систему двигателя ввели ремонтно-восстановительную смесь - РВС. Двигатель под нагрузкой проработал 40 часов и снова были сняты технико - экономические показатели (таблица 1 и таблица 2).

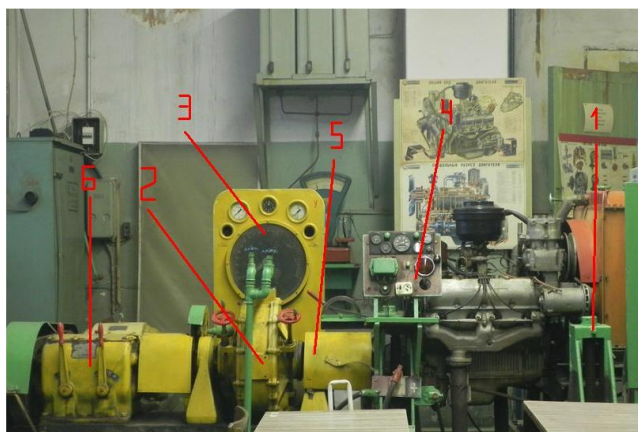


Рисунок 1 – Экспериментальная установка

Показания, снятые до и после обработки двигателя РВС составом:

Таблица 1 – Компрессия по цилиндрам, МПа

Цилиндр	1	2	3	4	5	6	7	8
До	6,7	6	6,7	6,5	6,3	6,1	6,2	6,8
После	8,6	8,4	8,9	8,5	8,6	8	8,8	8,5

Измерения проводились таким образом: двигатель был выведен на устойчивые обороты (2000об/мин) и был максимально нагружен. Затем нагрузку постепенно уменьшали, и проводился замер количества потребляемого топлива за определенный промежуток времени. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты измерений

№	До обработки				После обработки			
	об/мин	Р, Н	устан. об/мин	Δ, гр	об/мин	Р, Н	устан. об/мин	Δ, гр
1	2000	30	950	220	2000	30	900	205
2		25	1300	245		25	1100	210
3		20	1400	270		20	1300	235
4		15-17	1460	280		15-17	1500	260
5		10-12	1680	285		10-12	1700	255

Эффективная мощность двигателя N_e , л. с.:

$$N_e = 0,001P_T n;$$

где 0,001 – постоянный коэффициент весового механизма гидротормоза;

n – частота вращения двигателя в минуту;

P_T – нагрузка на гидротормозе, Н.

Часовой расход топлива G_T , кг/ч:

$$G_T = \frac{3,6\Delta G}{t}$$

где ΔG - расход топлива за время опыта, г;

t – время опыта, с.

Удельный расход топлива g_e , г/э.л.с.·ч

$$g_e = \frac{1000G_T}{N_e}$$

Среднее эффективное давление p_e , МПа:

$$p_e = \frac{0,9P_T}{V_S}$$

где V_S - литраж двигателя, л. (6.0 л).

Таблица 3 – Расчетные показатели

№	Эффективная мощность N_e , л. с.	Эффективное давление, кгс/см ²	Часовой расход топлива, G_T , кг/ч		Удельный расход топлива, g_e , г/э.л.с. ч	
			до обработки	после обработки	до обработки	после обработки
1	60	4,5	6,6	6,15	110	102,5
2	50	3,75	7,35	6,3	147	126
3	40	3	8,1	7,05	202,5	176,2
4	30	2,25	8,4	7,8	280	260
5	20	1,5	8,55	7,65	427,5	382,5

Как видно из показателей компрессия в цилиндрах изношенного двигателя восстановилась до нормативов, предусмотренных для нового двигателя (8,5), а экономия топлива составила при различной нагрузке от 7 до 15%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Салминен Э.О., Борозна А.А., Кобыльсков И.П., Сизов А.Ю. использование нанотехнологий для повышения надежности и эффективности работы машин и оборудования в лесопромышленном комплексе. СПб. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Выпуск 182. 2010 г.
2. Пушков Д.В. Применение РВС – технологий для повышения эксплуатационных качеств транспортных систем. В сб. ЛЕСА РОССИИ В XXI ВЕКЕ. Материалы девятой международной научно-технической интернет - конференции. Спб. 2012 г.
3. Пушков Д.В., Салминен Э.О., Борозна А.А., Насковец М.Т, Энергосберегающие технологии в транспортно-технологическом процессе лесного комплекса. Материалы международной научно-технической конференции “Ресурсо - и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии”. Минск. БГТУ. 2014 г.
4. Борозна А. А., Салминен Э.О., Пушков Д.В. Повышение надежности и снижение энергоемкости транспортно-технологических машин. Материалы III международной научно-технической конференции “Инновации на транспорте и в машиностроении. Том I. Транспорт и логистика. Санкт-Петербург. Университет Горный, 2015 г.

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССОВ РАЗВИТИЯ
ЛЕСНОЙ ДОРОЖНОЙ СЕТИ**

Сюнёв В. С., проф., д.т.н., Соколов А. П., проф., д.т.н.
Петрозаводский государственный университет
(Петрозаводск, Россия), a_sokolov@psu.karelia.ru

**DETERMINATION OF THE FOREST ROAD NETWORK
DEVELOPMENT PARAMETERS**

Syunev V. S., Prof., D.Sc., Sokolov A. P., Prof., D.Sc.
Petrozavodsk State University
(Petrozavodsk, Russia)

The topic of this paper is the use of new informational technologies and mathematical methods for optimal roads construction and planning of forest roads net. General set of the task, using models, methods and facilities are described in the paper.

Низкая обеспеченность транспортной инфраструктурой сдерживает развитие лесопромышленного комплекса, т. к. существенно ограничиваются возможности более полного освоения эксплуатационных лесов и снижается экономическая доступность лесных ресурсов. В этой связи особое значение получают мероприятия, позволяющие повысить эффективность строительства и эксплуатации лесных автомобильных дорог [1, 2].

Отсутствие дорог значительно повышает затраты предприятий на заготовку и в определенных случаях делает нерентабельным освоение лесных территорий. Исправить ситуацию возможно только путем постоянного целенаправленного развития дорожной сети. В этом смысле очень важным является обеспечение эффективного планирования дорожного строительства в тех объемах, которые позволят сохранить рентабельность предприятия, и одновременно сделают доступным необходимый объем лесных ресурсов.

Одним из направлений повышения эффективности строительства и эксплуатации дорог является всестороннее обоснование значений основных параметров планов строительства дорог, которое может быть организовано с применением новых информационных технологий и современных методов поддержки принятия решений, основанных на математическом программировании.

Главной целью при обосновании параметров сети лесных автомобильных дорог следует считать обеспечение транспортной доступности основных лесосырьевых баз при условии минимальных затрат на строительство дорог. При этом должны быть приняты во внимание пространственное расположение наиболее перспективных лесных массивов, природно-производственные факторы, такие как распределение различных типов грунтов по территории лесосырьевой базы, расположение русел рек, наличие озер, болот, других непреодолимых препятствий или особо охраняемых зон, где по каким-либо причинам запрещено дорожное строительство. Кроме того, должны быть учтены возможные источники материалов для дорожного строительства (песчано-гравийные карьеры и т. п.), а также существующая сеть дорог.

В качестве основной группы методов, которые были применены для обоснования параметров процессов развития сетей лесных дорог, выступили методы математического программирования. При этом был построен целый ряд моделей и осуществлено решение нескольких оптимизационных задач, для каждой из которых подобраны наиболее эффективные алгоритмы. Для обеспечения процессов планирования сети и проектирования дорог разработаны следующие модели:

- Объектные пространственные компьютерные ГИС-модели: лесосырьевой базы; местности; карьеров; дорожной сети.

- Математические модели, в том числе и оптимизационные: оптимизационная модель принятия решений о выборе конструкций земляного полотна и дорожных одежд лесных автомобильных дорог; модель оценки альтернативных участков лесных дорог; модель выбора ключевых точек лесосырьевой базы; оптимизационная модель принятия решений о размещении сети лесных дорог.

С учетом сказанного, схема методики обоснования параметров процессов развития сетей ЛАД, выглядит следующим образом (рисунок 1) [3, 4].

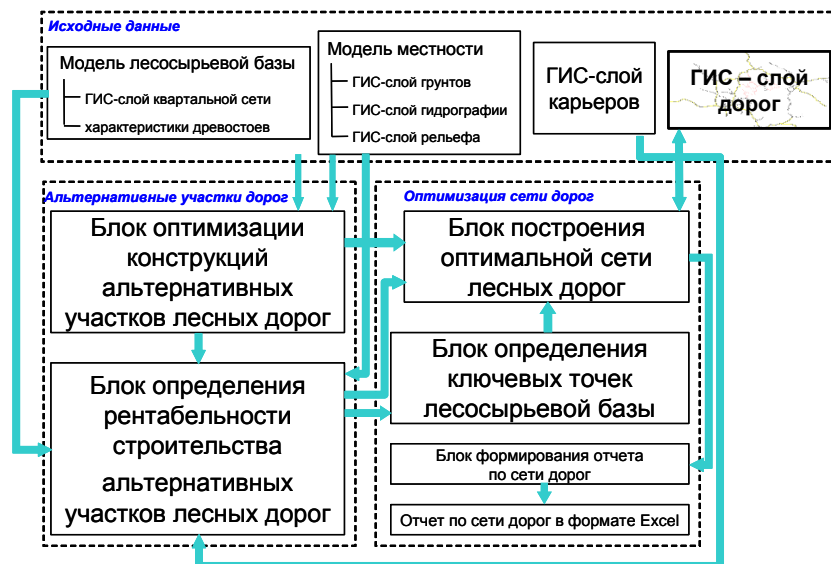


Рисунок 1 – Схема методики обоснования параметров процессов развития сетей лесных автомобильных дорог

Исходными данными служат четыре объектных пространственных модели в формате ГИС. Каждая модель представляет собой комбинацию слоев электронной карты и баз данных, содержащих информацию о соответствующих объектах.

Предлагаемая методика базируется на решении задачи Штейнера на графах. Этот подход достаточно хорошо зарекомендовал себя при решении подобных задач [5]. Такая постановка требует задания, во-первых, множества вершин и множества дуг, и, во-вторых, множества целевых вершин, являющегося подмножеством множества вершин. Каждой вершине из множества вершин должен быть присвоен вес, прямо пропорциональный выигрышу, получаемому от заготовки древесины в некоторой окрестности этой вершины. Каждой дуге также присваивается вес, прямо пропорциональный рентабельности строительства участка дороги, совпадающего с данной дугой.

При практической реализации сначала было предложено привязывать каждую вершину графа к одному из кварталов рассматриваемой лесосырьевой базы и помещать ее в геометрическом центре (центроиде) лесного квартала [3, 4]. При этом исходными данными для расчета веса вершины являлись бы характеристики древостоя в данном квартале. Множество дуг заполняется отрезками прямых, соединяющих каждую вершину с вершинами, находящимися в центроидах тех кварталов, которые имеют хотя бы одну пограничную точку с кварталом, в центроиде которого расположена рассматриваемая вершина. Другими словами, центроид каждого квартала соединяется с центроидами всех соседних кварталов, причем, соседними считаются кварталы, имеющие хотя бы одну пограничную (общую) точку.

Надо сказать, что достаточно большие размеры кварталов (в Республике Карелия это, как правило, участки 1x2 км, в Ленинградской области - 1x1 км) приводят к тому, что при использовании этого алгоритма проектируемая сеть лесных дорог получает довольно грубую пространственную привязку, которая не позволяет учитывать локальные особенности почвенно-грунтовых и гидрографических условий. Такой проект сети лесных дорог в дальней-

шем требует достаточно существенного уточнения, что может привести к отклонениям от запланированного уровня эффективности.

Для устранения влияния размеров и конфигурации лесной квартальной сети на результаты работы было предложено перейти к использованию регулярной сети одинаковых по размеру квадратных участков, размер которых может выбираться пользователем [6]. Эта сеть равномерно покрывает всю территорию рассматриваемой лесосырьевой базы. В дальнейшем эти квадратные участки используются так же, как раньше использовались кварталы. Это не требует кардинальных изменений в самой методике. Преимущества использования сети таких участков заключаются, во-первых, в ее регулярности, тогда как кварталы могли иметь самую непредсказуемую форму и размеры. Во-вторых, в этом случае пользователь может сам задавать шаг сети, т. е. размер этих элементарных регулярных участков, в зависимости от требуемой степени детализации. В-третьих, благодаря специальной методике пересчета характеристик древостоя, применение регулярной сети элементарных участков дает возможность использовать данные о лесосырьевой базе как поквартального, так и повыделного уровня детализации. Использование информации в разрезе выделов значительно повышает точность оценки перспективности заготовки на лесном участке лесосырьевой базы любого размера. В последней версии компьютерной программы, реализующей описываемую методику, пользователь может выбирать один из трех возможных вариантов шага регулярной сети элементарных участков: 500, 750 и 1000 м [6].

При этом запас древесины (по породам), доступной в каждом элементарном участке регулярной сети, определяется как сумма произведений объемов в каждом участке лесосырьевой базы (квартале или выделе), полностью или частично попавшем на территорию этого элементарного участка, на долю площади участка лесосырьевой базы, попавшей на территорию элементарного участка.

Учет рельефа местности базируется на утверждении, что при прочих равных условиях, строительство дороги в ситуации со сложным рельефом сопряжено с большей величиной затрат, чем такое же строительство в условиях равнинной местности. Степень увеличения затрат было предложено оценивать с помощью т. н. коэффициента удлинения дорожного участка, значение которого увеличивается с увеличением уклона местности [7]. Коэффициенты удлинения определяются для каждого альтернативного участка дорог (от центроида каждого элементарного участка до центроидов всех соседних элементарных участков). Для этого сначала определяется высотное положение начала и конца альтернативного участка дороги, затем вычисляется уклон и по значению этого уклона принимается коэффициент удлинения. Для определения проектных отметок начала и конца участков дорог используется цифровая модель рельефа – тематическое растровое изображение с шагом 200 м, значение каждого пикселя которого представляет собой высоту соответствующей точки рельефа. Для построения модели рельефа используется стандартный инструмент ГИС MapInfo. Инструмент задействуется автоматически при работе исполняемого модуля, написанного на языке MapBasic. Исходными данными для построения цифровой модели рельефа служат координаты и высоты задаваемых пользователем точек. Точки задаются на отдельном слое ГИС MapInfo. В базу данных этого слоя заносятся высоты этих точек. Чем больше таких точек будет использовано, тем точнее будет модель рельефа.

Для каждого из альтернативных участков проектируемых дорог должен быть определен вес. Для этого служит подсистема «Альтернативные участки дорог» (см. рисунок 1). Данная подсистема состоит из двух блоков, работающих последовательно. Это «Блок оптимизации конструкций альтернативных участков лесных дорог» и «Блок определения рентабельности строительства альтернативных участков лесных дорог».

В блоке оптимизации конструкций альтернативных участков лесных дорог в результате решения оптимизационной задачи выбирается конструкция дорожного полотна и определяются затраты на строительство данного альтернативного участка с учетом грунтовых условий по оси трассы, а также с учетом возможностей использования современных геома-

териалов, а также необходимости строительства мостов и устройства труб. В общем виде эта оптимизационная модель выглядит следующим образом [3, 4, 8]:

$$\begin{cases} C_{Д} = f(c, B, h_{Пср}, h_{Оср}, E_{ГР}, C_{\Sigma}, l_0, l_{П}, l_{ЗП}, C_{41}, C_{42}, C_{ГМ}) \rightarrow \min \\ E_{Ф}(h_{Пср}, h_{Оср}, E_{ГР}, E_0, E_{П}, \alpha) \geq K_{ПР}^{ТР} \cdot E_{ТР}(N) \\ h_{Пср}, h_{Оср} \geq 0,05 \text{ м} \\ C_{\Sigma}, l_0, l_{П}, l_{ЗП}, C_{ГМ}, \alpha \geq 0 \end{cases}$$

где $C_{Д}$ – общие затраты на строительство участка дороги, руб.;

c – ширина обочины, м;

B – ширина проезжей части, м;

$h_{Пср}$ – средняя толщина покрытия дорожной одежды (ПДО), м;

$h_{Оср}$ – средняя толщина основания дорожной одежды (ОДО), м;

$E_{ГР}$ – модуль упругости грунта земляного полотна;

C_{Σ} – общая стоимость строительных материалов дорожной одежды, руб.;

l_0 – расстояние транспортировки материала ОДО, км;

$l_{П}$ – расстояние транспортировки материала ПДО, км;

$l_{ЗП}$ – расстояние транспортировки материала ЗП, км;

C_{41} – стоимость устройства водопропускных сооружений – труб, руб.;

C_{42} – стоимость устройства мостов, руб.;

$C_{ГМ}$ – стоимость армирования геоматериалами, руб.;

$E_{Ф}$ – фактический модуль упругости дорожной одежды;

E_0 – модуль упругости материала ОДО;

$E_{П}$ – модуль упругости материала ПДО;

α – коэффициент упрочнения дорожной одежды при армировании геоматериалами;

$K_{ПР}^{ТР}$ – требуемый коэффициент прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба;

$E_{ТР}$ – минимальный требуемый общий модуль упругости конструкции;

N – число приложений нагрузки от осей с нагрузкой 10 т в весенний период (апрель, май).

Методика определения величин $C_{Д}$, $E_{Ф}$, $E_{ТР}$ и др. содержится в работе [8]. Управляемыми переменными в данном случае являются $h_{Пср}$, $h_{Оср}$, C_{Σ} , l_0 , $l_{П}$, $l_{ЗП}$, $C_{ГМ}$, α . Таким образом, в результате решения поставленной задачи определяются оптимальные толщины слоев дорожной одежды, подбираются карьеры для строительства и, если необходимо, способ упрочнения дорожной одежды, соответствующие минимальным затратам на строительство участка с учетом начальных условий местности.

Если на протяжении альтернативного участка грунтовые условия изменяются, участок разбивается на более мелкие части, для которых расчет затрат выполняется по отдельности с последующим суммированием по всему участку. Если участок является непроходимым по каким-либо причинам (например, на пути встречается озеро), затраты на строительство принимаются условно бесконечными. Если участок дороги уже существует, тогда затраты приравниваются к нулю или величине, равной затратам на ремонт участка, если таковой потребуется.

Для обеспечения работы алгоритма построения оптимальной сети лесных дорог каждый альтернативный участок дороги оценивается в соответствии с перспективностью его строительства. Это осуществляется в блоке определения рентабельности строительства альтернативных участков лесных дорог (см. рисунок 1). В качестве соответствующей оценки применяется стоимостной критерий, равный разности между выигрышем, получаемым от возможности заготовки на соответствующей лесной территории, и затратами, связанными со строительством этого участка дороги.

На следующем этапе вступает в действие подсистема «Оптимизация сети дорог» (см. рисунок 1). Для решения задачи Штейнера на графе определяется множество целевых вершин, соответствующих ключевым точкам лесосырьевой базы. Для этого служит «Блок определения ключевых точек лесосырьевой базы». В этой стадии процесса участвует пользователь компьютерного инструмента для поддержки развития лесной дорожной сети. Сначала он задает число целевых точек. Программа предлагает ему соответствующее число лесных кварталов с наибольшими значениями стоимостного критерия. Далее пользователь может скорректировать число и расположение целевых точек. Для его удобства с помощью метода IDW-интерполяции строится тематическая карта (поверхность), где цветом выделяются зоны более благоприятные и менее благоприятные с точки зрения заготовки.

После определения целевых вершин запускается «Блок построения оптимальной сети лесных дорог». Оптимальное размещение сети ЛАД производится в процессе решения задачи Штейнера на сгенерированном графе [5]. Данная задача заключается в определении частного подграфа, содержащего пути в каждую из целевых вершин при условии максимума суммы весов всех задействованных при этом дуг. В качестве весов при этом выступают значения стоимостного критерия.

Поставленная задача решается методом динамического программирования. Полученный подграф и будет являться искомой оптимизированной сетью ЛАД в рассматриваемых условиях. По результатам работы блока построения оптимальной сети ЛАД в ГИС-слой дорог вносятся соответствующие изменения – он дополняется вновь спроектированными дорогами. Кроме того, в компьютерном инструменте для поддержки развития лесной дорожной сети предусмотрены алгоритмы для автоматизированной генерации отчетов по разработанным проектам, которые, в числе прочего, содержат информацию по протяженности новых дорог, предварительных затратах на строительство в целом и по их элементам, дополнительных объемах древесины, доступной для заготовки и т. д. Эту функцию выполняет «Блок формирования отчета по сети дорог».

ЛИТЕРАТУРА

1. Развитие транспортной инфраструктуры лесной отрасли – опыт Финляндии / Ю. Ю. Герасимов, В. С. Сюнёв, А. П. Соколов, В. К. Катаров // Транспортное дело России. - 2009. - №7 (68). - С.99-102.
2. Шегельман, И. Р. Ресурсный подход к развитию региональной сети лесовозных дорог / И. Р. Шегельман, П. О. Щукин, Р. А. Петухов // Перспективы науки. - 2011. - № 26. - С. 188-191.
3. Герасимов, Ю. Ю. Разработка системы оптимального проектирования сети лесовозных автомобильных дорог / Ю. Ю. Герасимов, А. П. Соколов, В. К. Катаров // Информационные технологии. - 2011. - №1 (68). - С. 39-43.
4. Система оптимального проектирования лесовозных автомобильных дорог с учетом динамики лесосырьевой базы / Д. Г. Давыдков, Д. В. Рожин, А. П. Соколов, В. С. Сюнёв // Ученые записки ПетрГУ. - 2013. - №4 (133). - С.69-74.
5. Солтан, П. С. Задача Штейнера на графах / П. С. Солтан, К. Ф. Присакару // Доклады АН СССР. - 1971. - Т. 198. № 1. - С. 46-49.
6. Совершенствование системы оптимального проектирования сети лесных автомобильных дорог / Ю. Ю. Герасимов, А. П. Соколов, В. К. Катаров, В. С. Сюнёв, Д. В. Рожин, Н. В. Ковалева // Ученые записки ПетрГУ. - 2013. - №8 (137). - С.70-76.
7. Салминен, Э. О. Лесные дороги. Справочник / Э. О. Салминен. - СПб.: Издательство «Лань», 2012. - 496 с.
8. Расчет стоимости строительства альтернативных участков лесовозных дорог / В. К. Катаров, Д. В. Рожин, М. В. Туюнён, И. В. Редозубов // Транспортное дело России. - 2010. - №2. - С. 106-111.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛЕСОСЕЧНЫХ РАБОТ НА ВЫХОД ДЕЛОВЫХ СОРТИМЕНТОВ В БЕРЕЗОВЫХ НАСАЖДЕНИЯХ

Колодий П. В., доц., к.с.-х.н., Сасова А. Ф., студ.

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины
(Гомель, Республика Беларусь), pkolody@mail.ru

THE IMPACT OF TECHNOLOGY OF LOGGING OPERATIONS ON OUTPUT OF INDUSTRIAL ASSORTMENTS IN BIRCH PLANTINGS

Kalodzy P. V., Assoc. Prof., PhD, Sasova A. F., student

Francisk Skorina Gomel State University
(Gomel, Republik of Belarus), pkolody@mail.ru

The actual data on the output of commercial wood in birch plantings are given. The low share of harvesting of plywood and saw logs is noted. The estimated volume of the assortments in value terms is 26 % higher than the actual. The possibility of increasing the output of assortments with high cost by improving the organization of logging operations is shown.

За 2016 год в системе Министерства лесного хозяйства Беларуси заготовлено всеми видами рубок леса более 15 млн. м³ ликвидной древесины. Значительная часть из этого объема приходится на березовые насаждения, которые занимают в лесном фонде республики 23,2 % [1]. Наряду с общим объемом заготовки важное значение имеет и качество заготавливаемых лесоматериалов. Целью данной работы является сравнительный анализ фактического выхода деловых сортиментов в березовых насаждениях и расчетного выхода на основании таксационных показателей временных пробных площадей.

Работа выполнена на примере материалов, полученных в ГЛХУ «Лиозненский лесхоз». Березовые насаждения в лесном фонде Лиозненского лесхоза занимают 36,2 % площади, покрытой лесом, что в 1,5 раза больше, чем в среднем по республике. Спелые и перестойные древостои в березовой формации составляют 28,7 %. В 2016 году в лесхозе заготовлено сплошнолесосечными рубками главного пользования 34,75 тыс. м³ березовой древесины. Качественный выход сортиментов во многом определяется технологией разработки лесосеки, местом раскряжевки хлыстов и опытом рабочих. Существующая технология разработки лесосеки состоит из следующих операций: направленная валка деревьев, очистка их от сучьев и раскряжевка на сортименты производится вальщиком бензопилой «Stihl MS-361». Вальщик работает на лесосеке с помощником. Валка деревьев ведется с ближнего конца папки, вершиной в направлении трелевки, под углом не менее 60 градусов по отношению к трелевочному волоку. Угол валки принимается таким, чтобы крона дерева оказалась на трелевочном волоке или около него. Сортименты частично окучиваются у волока. Одновременно производится очистка мест рубок путем сбора порубочных остатков в кучи. Часть порубочных остатков укладывается на волок для его укрепления. Транспортировка сортиментов на погрузочный пункт осуществляется погрузочно-транспортной машиной МПТ-461.1.

Фактический выход березовых сортиментов и их стоимость приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Фактический выход сортиментов

Наименование сортиментов	Процент выхода, %	Объем, м ³	Цена за 1 м ³ , руб.	Стоимость, тыс. руб.
Фанерное сырье	18,0	6255,0	46,22	289,1
Технологическое сырье	41,0	14247,5	16,94	241,3
Дрова	29,0	10077,5	9,56	96,3
Итого ликвидной древесины	88,0	30580,0	–	626,7
Отходы	12,0	4170,0	–	–
Всего	100,0	34750,0	–	626,7

Как видно из таблицы 1, перечень деловых сортиментов ограничивается фанерным и технологическим сырьем. Следует отметить, что СТБ-1712-2007 «Лесоматериалы круглые лиственных пород. Технические условия» предусматривается заготовка из березовой древесины сортиментов для выработки пиломатериалов и заготовок общего назначения, для лыж, лож, клепки заливных и сухотарных бочек, деталей ящиков. Из березовой древесины можно изготавливать шпалы и переводные брусья железных дорог, использовать в качестве сырья для производства строганого и лущеного шпона, для выработки целлюлозы и древесной массы. Березовая древесина находит применение в круглом виде в строительстве и других отраслях народного хозяйства для вспомогательных и временных построек различного назначения [2]. Требования по качеству к лесоматериалам определяются этим же СТБ, а также СТБ 2315-2-2013 «Лесоматериалы круглые лиственных пород. Сортировка по качеству. Часть 2. Береза, осина, ольха» [3].

В настоящее время часть из перечисленных товаров уже не востребована или имеет ограниченное применение. Однако спрос на березовые пиломатериалы, фанерное сырье, балансы остается высоким.

Сортиментная структура лесосечного фонда зависит от возраста, размеров и качества деревьев. Для определения средних таксационных показателей в Лиозненском лесничестве были заложены 6 временных пробных площадей в смешанных березовых насаждениях. Пробные площади 1,3,4 представляют березняк черничный, тип лесорастительных условий – С₃, а пробные площади 2,5,6 – березняк папоротниковый, С₄. Усредненные основные таксационные показатели насаждений на пробных площадях приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Таксационная характеристика насаждений на временных пробных площадях

Площадь, га	Состав	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Бонитет	Полнота	Запас на 1 га, м ³
9,6	5Б3Е2Олч	71	21,2	23,0	II	0,7	308
2,4	5Б4Е1Лп	75	22,0	25,5	II	0,6	198
9,4	6Б2Олч2Ос	75	20,8	20,0	II	0,5	167
2,9	6Б3Е1Олч	66	18,8	20,3	II	0,8	249
3,6	6Б4С	66	21,2	21,7	II	0,7	204
5,6	6Б2Ос1Е1С	76	23,0	30,0	II	0,5	182
Средние значения							
5,6	6Б2Е1Олч1С	72	21,2	23,4	II	0,7	223

Используя нормативные материалы [3], была определена товарная структура заготавливаемых березовых лесоматериалов (рисунок 1).

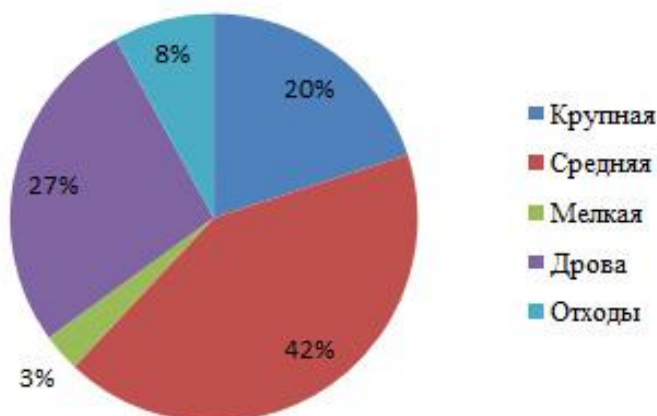


Рисунок 1 – Товарная структура березового сырья по категориям крупности

Также был определен выход основных березовых сортиментов [3] и выполнена оценка их стоимости. Для расчетов принят годовой объем заготовки березовой древесины в лесхозе. Результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Расчетный выход сортиментов

Наименование сортиментов	Процент выхода, %	Объем, м ³	Цена за 1 м ³ , руб.	Стоимость, тыс. руб.
Фанерное сырье	28,0	9730,0	46,22	449,7
Пиловочное сырье	8,0	2780,0	24,20	67,3
Балансы	21,0	7297,5	18,77	137,0
Технологическое сырье	8,0	2780,0	16,94	47,1
Дрова	27,0	9382,5	9,56	89,7
Итого ликвидной древесины	92,0	31970,0	–	790,8
Отходы	8,0	2780,0	–	–
Всего	100,0	34750,0	–	790,8

Сравнительный анализ таблиц 1 и 3 показывает, что суммарный расчетный выход березовых сортиментов в стоимостном выражении на 26 % выше, чем фактические показатели. В качестве причин, снижающих выход сортиментов с более высокой стоимостью можно отметить:

- наличие растительности вокруг лежащего ствола;
- расположение рядом лежащих стволов;
- затрудненная оценка пороков ствола, особенно кривизны, наростов, гнилей;
- недостаточная точность измерений длин сортиментов и др.

Для устранения указанных недостатков предлагается внести изменения в организацию работ на лесосеках при их разработке.

Работы по валке деревьев рекомендуется производить бензиномоторной пилой Stihl MS-362, очистку деревьев от сучьев целесообразно выполнять более легкой бензиномоторной пилой, например Stihl MS-261. Очистка деревьев от сучьев будет производиться на лесосеке у пня. Так как березовые лесосеки имеют, как правило, площадь от 2,5 га, то трелевку древесины рекомендуется выполнять в виде хлыстов на верхний склад. Для этих целей можно применить тягач трелевочный Амкордор 2243В. На верхнем складе организовывается участок раскряжевки хлыстов с помощью бензопилы Stihl MS-362, что позволит более качественно оценивать хлысты и выпиливать необходимые сортименты. Сортировку лесоматериалов выполняет погрузочно-транспортная машина МПТ-461.1, укладывая их в соответствующие штабеля. Она же при необходимости используется на погрузке сортиментов.

Технология, принятая для разработки лесосеки, обеспечит высокую производительность инструментов и машин, а также позволит заготавливать большее количество качественных деловых сортиментов и тем самым повышать экономические показатели лесозаготовок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://www.mlh.by>. Дата доступа : 27.03.2017.
2. Лесоматериалы круглые лиственных пород. Технические условия. СТБ 1712-2007. – Минск: Госстандарт, 2007. – 20 с.
3. Лесоматериалы круглые лиственных пород. Сортировка по качеству. Часть 2. Береза, осина, ольха. СТБ 2315-2-2013. – Минск: Госстандарт, 2007. – 5 с.
4. Нормативные материалы для таксации леса Белорусской ССР / под общей ред. В. Ф. Багинского. – М. : Госкомитет СССР по лесному хозяйству, 1984. – 308 с.

**НАПРАВЛЕНИЯ СНИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛОЕМКОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ
ПРИВОДОВ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ МАШИН**

Вавилов А. В., проф., д.т.н., Котлобай А. А., ст. преп., Котлобай А. Я., доц., к.т.н.
Белорусский национальный технический университет
(Минск, Республика Беларусь), e-mail ftkcdm@bntu.by

**SOME WAYS TO REDUCE THE MATERIAL CAPACITY OF THE MACHINES'
WORKING EQUIPMENT HYDRAULIC DRIVING SYSTEMS**

Vavilov A. V., Prof., D.Sc., Katlabai A. A., lecturer, Katlabai A. Ja., Assoc. Prof., PhD
Belarussian national technical university
(Minsk, Republic of Belarus)

In the work given the relative parameters of the material consumption and the cost of the pumping units for multi-motor driving systems – the specific mass and cost are proposed. These parameters allow us to evaluate the basic design solutions of the pumping units by the criteria of material consumption and cost. The direction of creating multi-flow pumping units based on a single pump and a flow divider installed between the pump and the drive mechanism or integrated into the pump design was proposed and justified.

Эффективность работы лесной машины напрямую зависит от числа рабочих органов, одновременно выполняющих технологические операции. При невозможности объединения необходимого технологического оборудования в одной специализированной машине, комплект дополняют специализированные, либо универсальные технологические машины, выполняющие отдельные технологические операции, увеличивая приведенные затраты на проведение всего комплекса работ.

В настоящее время наиболее перспективным типом передачи мощности от двигателя к рабочему оборудованию лесных машин, выпускаемых малыми сериями, является объемный гидропривод ходового и рабочего оборудования. При реализации многомоторных приводов ведущие компании – производители гидравлической аппаратуры не уделяют внимания поиску новых принципов и развитию конструкций делителей–сумматоров потоков рабочей жидкости насосов, предпочитая выпуск более материалоемких и дорогих многопоточных насосов, насосных агрегатов и делителей потока объемного типа, на базе освоенных в производстве насосов и гидромоторов.

При оценке материалоемкости лесной машины исходим из того, что общая материалоемкость машины формируется за счет суммирования материалоемкости всех комплектующих агрегатов. Анализ состояния вопроса показал, что основные технические решения по наиболее востребованным типам лесных машин отработаны. Разработки проводятся в направлении оптимизации параметров рабочего оборудования и гидравлических систем отбора мощности на привод рабочих органов. Рассмотрим материалоемкость насосного агрегата – основной составляющей системы отбора мощности на привод ходового и рабочего оборудования.

Основным параметром насосного агрегата является его рабочий объем. Оценим материалоемкость насосного агрегата относительным параметром – удельной массой насосного агрегата:

$$m_{y\partial} = \frac{M_n}{q_n}, \quad m_{y\partial cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_{y\partial i},$$

где $m_{y\partial}$ – удельная масса насосного агрегата, кг/м³; M_n – масса насосного агрегата без рабочей жидкости, кг; q_n – номинальный рабочий объем насосного агрегата, м³; i, n – номер и число анализируемых насосных агрегатов.

Таблица 1 – Материалоемкость насосных агрегатов

Параметр	Насос нерегулируемый типа НШ [1]							
	10У-3	16Г-3	32УК-3	50А-3	100А-3	250-4		
$q_n, 10^{-6} \text{ м}^3$	10	16	32	50	100	250		
$M_n, \text{ кг}$	1,9	2,9	4,0	7,1	16,5	43,6		
$m_{y\delta}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,19	0,18	0,13	0,14	0,17	0,17		
$m_{y\delta,cp}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,16							
Параметр	Насос аксиально-поршневой нерегулируемый [2]							
	типа 210			типа 310				
	12	28	28	56	80	112	160	250
$q_n, 10^{-6} \text{ м}^3$	11,6	28,1	28,0	56,0	80,0	112,0	160,0	250,0
$M_n, \text{ кг}$	4,0	8,1	9,0	17,0	19,2	29,0	45,0	65,0
$m_{y\delta}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,34	0,29	0,32	0,30	0,24	0,26	0,28	0,26
$m_{y\delta,cp}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,29							
Параметр	Насос аксиально-поршневой регулируемый [2], [3]							
	типа 207	типа 313						
	55	55	56	107	112	160	250	
$q_n, 10^{-6} \text{ м}^3$	54,8	55,0	56,0	107,0	112,0	160,0	250,0	
$M_n, \text{ кг}$	30,0	24,0	22,0	40,0	37,5	55,0	85,0	
$m_{y\delta}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,55	0,44	0,39	0,37	0,33	0,34	0,34	
$m_{y\delta,cp}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,55	0,37						
Параметр	Насос аксиально-поршневой регулируемый многопоточный [4], [5]							
	на базе насосов типа 207			на базе насосов типа 313				
	223.20	223.25	321.224А	323.20	333.20			
$q_n, 10^{-6} \text{ м}^3$	54,8+54,8	107+107	112+112	56+56	56+56+28			
$M_n, \text{ кг}$	162,0	320,0	280,0	90,0	100,0			
$m_{y\delta}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	1,48	1,50	1,25	0,80	0,71			
$m_{y\delta,cp}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	1,41			0,76				
Параметр	Насос аксиально-поршневой регулируемый двухпоточный «BOSCH-Rexroth» серия А8VO [6]							
	54,8+54,8	80+80	107+107	140+140	200+200			
	82,0	90,0	116,0	146,0	180,0			
$q_n, 10^{-6} \text{ м}^3$	54,8+54,8	80+80	107+107	140+140	200+200			
$M_n, \text{ кг}$	82,0	90,0	116,0	146,0	180,0			
$m_{y\delta}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,75	0,56	0,54	0,52	0,45			
$m_{y\delta,cp}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,56							
Параметр	Агрегат насосный многопоточный [2]							
	333.3.55. 100.220	УНА-4: 333.3.56. 000.660	333.4.107. 100.880	УНА-1: 323.4.112. 120.77	УНА-5: 323.3.112. 020.77			
	55+55+12	56+56+12	107+107+12	112+112	112+112			
$q_n, 10^{-6} \text{ м}^3$	55+55+12	56+56+12	107+107+12	112+112	112+112			
$M_n, \text{ кг}$	74,0	80,0	132,0	138,0	137,0			
$m_{y\delta}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,62	0,66	0,59	0,62	0,61			
$m_{y\delta,cp}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,62							

Анализ результатов расчета материалоемкости насосных агрегатов (см. таблица 1) показывает, что усложнение конструктивной схемы приводит к увеличению удельной массы. Так, удельная масса аксиально-поршневого насоса нерегулируемого типа 210, 310 выше удельной массы насоса нерегулируемого типа НШ на 82%. Удельная масса аксиально-поршневого насоса регулируемого типа 313 выше удельной массы насоса нерегулируемого типа 210, 310 на 28%, и аналогично, увеличение удельной массы аксиально-поршневого насоса регулируемого типа 207 выше удельной массы насоса нерегулируемого типа 210, 310 на 90%, что свидетельствует о рациональности конструктивной схемы насоса типа 313 по параметру материалоемкости. Разность значений удельной массы насосов регулируемого и нерегулируемого позволит оценить удельную массу систем регулирования и автоматики насоса.

Многопоточные насосы, широко применяемые в системах приводов ходового и технологического оборудования лесных машин, имеют различные параметры удельной массы, определяемые конструктивной схемой многопоточного насоса. Удельная масса двухпоточных насосов 223.20, 223.25, 321.224А, созданных на базе насосов типа 207 выше удельной массы насоса однопоточного типа 207 на 156% (удельная масса приводов насосов 0,86), и удельная масса этих насосов выше удельной массы насоса типа 313 на 281%. Удельная масса многопоточных насосов 323.20, 333.20, созданных на базе насосов типа 313 выше удельной массы однопоточных насосов типа 313 на 105% (удельная масса приводов насосов 0,39). Анализ соотношения удельной массы насосов аксиально-поршневых регулируемых двухпоточных «BOCH-Rexroth» серии А8VO и однопоточных насосов серии 313 показал, что удельная масса двухпоточных насосов серии А8VO выше удельной массы насосов типа 313 на 51%.

Удельная масса насосных агрегатов, созданных на базе насосов типа 313, выше удельной массы однопоточных насосов типа 313 на 68% (удельная масса приводов насосов 0,25). Насосные агрегаты создавались в качестве альтернативы многопоточных насосов 223.20, 223.25, 321.224А.

Рассмотрим связь материалоемкости насосного агрегата с рыночной стоимостью. За основу примем уровень цен насосных агрегатов, предлагаемых дилерской сетью производителей гидравлической аппаратуры России [7]. Оценим стоимость насосного агрегата – удельной стоимостью:

$$c_{y0} = \frac{C_n}{q_n}, \quad c_{y0cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_{y0i},$$

где c_{y0} – удельная стоимость насоса (насосного агрегата), RUR/м³; C_n – стоимость насоса (насосного агрегата) без рабочей жидкости, RUR.

Анализ результатов расчета (см. таблица 2) показывает, что усложнение конструктивной схемы приводит к увеличению удельной стоимости. Удельная стоимость аксиально-поршневого насоса нерегулируемого типа 210, 310 выше удельной стоимости насоса типа НШ на 466%. Удельная стоимость аксиально-поршневого насоса регулируемого типа 313 различна для насосов разного объема и превышает удельную стоимость насоса нерегулируемого типа 310 на 80,9% (удельная стоимость системы управления и автоматики насоса составляет $333,6 \cdot 10^{-6}$ RUR/м³). Удельная стоимость двухпоточных насосов 223.25, 321.224А превышает удельную стоимость насосов однопоточных типа 313 данного объема на 40,8%, и удельную стоимость двухпоточных насосных агрегатов УНА-1, УНА-5 на 1,8%. Удельная стоимость двухпоточных насосных агрегатов УНА-1, УНА-5 превышает удельную стоимость насосов однопоточных типа 313 данного объема на 38,1% (удельная стоимость системы приводов насосов составляет $241,8 \cdot 10^{-6}$ RUR/м³). Удельная стоимость трехпоточных насосных агрегатов 333.3.55.100.220, УНА-4, 333.4.107.100.880 превышает удельную стоимость насосов однопоточных типа 313 данного объема на 88,0% (удельная стоимость системы приводов насосов составляет $317,1 \cdot 10^{-6}$ RUR/м³), а также удельную стоимость двухпоточных насосных агрегатов УНА-1, УНА-5 на 36%.

Одним из возможных направлений снижения материалоемкости гидравлических систем приводов ходового и технологического оборудования машин может быть создание и использование двухпоточного насосного агрегата, состоящего из однопоточного аксиально-поршневого насоса, например, типа 313, и делителя потока малой материалоемкости [8], интегрированного в конструкцию насоса.

Таблица 2 – Стоимость насосных агрегатов

Параметр	Насос нерегулируемый типа НШ					
	10У-3	16Г-3	32УК-3	50А-3	100А-3	250-4
цена с НДС, RUR	860	1388	1428	3243	5001	26124
$C_{уд} \cdot 10^{-6} \text{ RUR/м}^3$	86,0	86,8	44,6	64,9	50,0	104,5
$C_{уд.ср} \cdot 10^{-6} \text{ RUR/м}^3$	86,4		53,2			104,5
$C_{уд.ср} \cdot 10^{-6} \text{ RUR/м}^3$	72,8					
Параметр	Насос аксиально-поршневой нерегулируемый типа 310					
	28	56	80	112	160	250
цена с НДС, RUR	18585	17200	24520	26670	59991	82600
$C_{уд} \cdot 10^{-6} \text{ RUR/м}^3$	663,8	362,4	361,7	281,0	374,9	330,4
$C_{уд.ср} \cdot 10^{-6} \text{ RUR/м}^3$	663,8	342,1				
$C_{уд.ср} \cdot 10^{-6} \text{ RUR/м}^3$	412,4					
Параметр	Насос аксиально-поршневой регулируемый типа 313					
	55	56	107	112	160	250
цена с НДС, RUR	53808	53808	73455	73455	100064	142308
$C_{уд} \cdot 10^{-6} \text{ RUR/м}^3$	978,2	960,9	686,5	655,8	625,4	569,2
$C_{уд.ср} \cdot 10^{-6} \text{ RUR/м}^3$	970,0		634,2			
$C_{уд.ср} \cdot 10^{-6} \text{ RUR/м}^3$	746,0					
Параметр	Насос аксиально-поршневой регулируемый двухпоточный					
	223.25			321.224А		
цена с НДС, RUR	195450			195450		
$C_{уд} \cdot 10^{-6} \text{ RUR/м}^3$	913,1			872,5		
$C_{уд.ср} \cdot 10^{-6} \text{ RUR/м}^3$	892,8					
Параметр	Агрегат насосный многопоточный					
	333.3.55. 100.220	УНА-4: 333.3.56. 000.660	333.4.107. 100.880	УНА-1: 323.4.112. 120.77	УНА-5: 323.3.112. 020.77	
цена с НДС, RUR	159807	142225	253110	191962	200470	
$C_{уд} \cdot 10^{-6} \text{ RUR/м}^3$	1309,9	1147,0	1120,0	857,0	895,0	
$C_{уд.ср} \cdot 10^{-6} \text{ RUR/м}^3$	1192,3			876,0		
$C_{уд.ср} \cdot 10^{-6} \text{ RUR/м}^3$	1065,8					

Так, может быть рекомендован двухпоточный насосный моноагрегат в составе насоса 313...250 массой 85 кг и делителя потока, разработанной конструктивной схемы [8]. Экспертная оценка конструктивной схемы делителя потока показывает, что при его создании может быть использован технологический уровень производства шестеренных насосов. При этом, материалоемкость делителя потока данного объема прогнозируется ниже материалоемкости шестеренного насоса. Масса насоса НШ-250-4 составляет 43,6 кг, его стоимость с

НДС – 26124 RUR. Масса делителя потока может прогнозироваться на уровне 35 кг, а его стоимость 18200 RUR. Суммарная масса двухпоточного насосного моноагрегата в составе одного насоса серии 313...250 и ДГ составит 120 кг, а его стоимость – 160500 RUR. Такой насосный агрегат может заменить аксиально-поршневые насосы регулируемые двухпоточные 223.25, 321.224А, насосные агрегаты УНА-1, УНА-5 при производстве ряда строительных и дорожных машин, например, полноповоротных экскаваторов 4-й размерной группы (рисунок 1), а также лесных машин. Применение двухпоточного насосного моноагрегата в составе насоса серии 313...250 и делителя потока позволит уменьшить массу насосного моноагрегата по сравнению с применяемыми в одноковшовых экскаваторах насосными агрегатами УНА-1, УНА-5 на 15%, и стоимость – на (19,6–24,9)%, что при цене УНА-1, УНА-5 – 191962, 200470 RUR обеспечит экономический эффект за счет уменьшения материалоемкости и совершенствования гидравлических агрегатов систем приводов ходового и рабочего оборудования – 31462–39970 RUR.

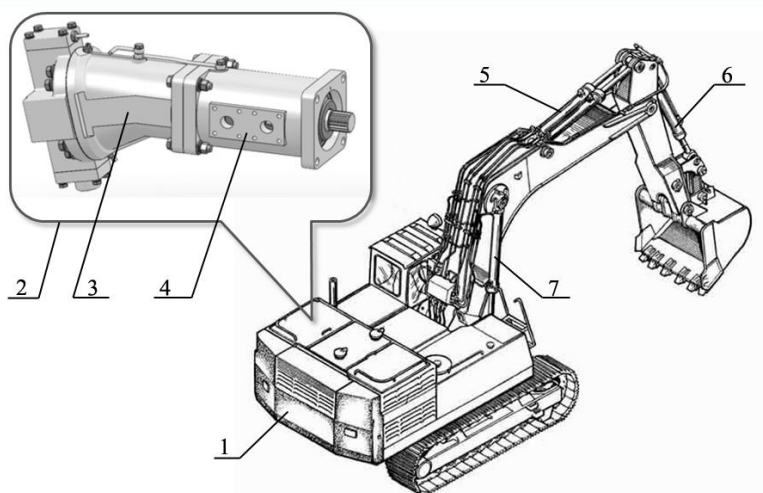


Рисунок 1 – Гидравлический экскаватор с гидравлической системой в составе насоса серии 313...250 и делителем потока:

1 – силовая установка; 2 – насосный агрегат; 3 – насос; 4 – делитель потока;
5, 6, 7 – гидроцилиндры рукояти, ковша, стрелы

ЛИТЕРАТУРА

1. Применяемость насосов шестеренных, гидрораспределителей. Проспект ОАО «Гидросила». – Кировоград. – 39 с.
2. Каталог гидравлики. ОАО «Пневмостроймашина». Издание №2. – Екатеринбург, 2005. – 134 с.
3. Гидропневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин. Объемные гидро- и пневмомшины и передачи: Учеб. Пособие для вузов / А.Ф. Андреев, Л.В. Барташевич, Н.В. Богдан и др.; Под ред. В.В. Гуськова. – Мн.: «Выш. шк.», 1987. – 310 с.
4. Каталог продукции ЧАО «Стройгидравлика». – Интернет ресурс «Stroygidravlika.com.ua».
5. Аврунин, Г.А. Обзор рынка гидрооборудования / Г.А. Аврунин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2005. – №3. – С. 7–14.
6. BOSCH Rexroth AG. Hydraulics. Axial Piston Variable Double Pump A8VO. Интернет ресурс «www.boschrexroth.com/axial-piston-pumps».
7. Прайс-лист ООО «Компания Драйв» Мобильная и промышленная гидравлика. – Екатеринбург. – Интернет ресурс «drive@r66.ru».
8. Вавилов, А.В. Создание приводов оборудования строительных и дорожных машин / А.В. Вавилов, А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай // – Строительные и дорожные машины. – 2014. – №9. – С. 35–41.

СКРЕПЕР ДЛЯ РЕМОНТА ЛЕСНЫХ ГРУНТОВЫХ ДОРОГ

Вавилов А. В., проф., д.т.н., Лапенок В. В. магистр техн. наук

Белорусский национальный технический университет
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: ftkcdm@bntu.by

SCRAPER FOR REPAIRING FOREST GROUND ROADS

Vavilov A. V., Prof., D.Sc., Lapenok V. V., Master of Technical Sciences

Belarusian National Technical University
(Minsk, Republic of Belarus)

В Беларуси эксплуатируются десятки тысяч километров грунтовых дорог, в том числе – лесных. Под воздействием колес автомобилей, лесной и другой техники на лесных грунтовых дорогах образуются выбоины, колеи, что в первую очередь сказывается на снижении проезжаемости по ним, и как следствие снижение производительности и повышение себестоимости выполнения работ в лесном комплексе.

В нашей стране распространенным способом ремонта грунтовых дорог с достаточно изношенным профилем дороги является применение комплекта машин, состоящего из бульдозера и фронтального одноковшового погрузчика (рисунок 1). Погрузчик в этом случае разрабатывает грунт в месте забоя, транспортирует его к проблемным участкам дороги и выгружает его. Далее к работе подключается бульдозер и восстанавливает профиль дороги [1]. Достоинством такого способа является наличие таких машин в лесных предприятиях, и простота технологии. Основным недостатком является применение 2-х единиц техники, небольшая экономически целесообразная дальность транспортирования грунта бульдозером: до 100 м, а также наличие дополнительных затрат на обслуживание и ремонт 2-х единиц техники.

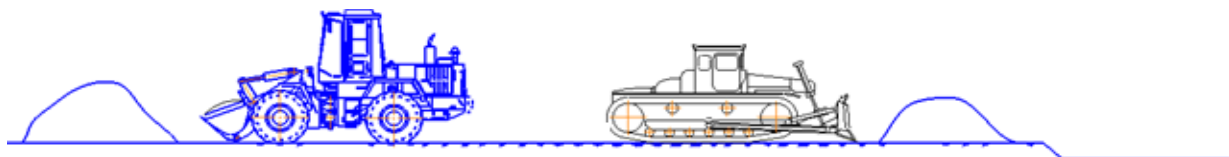


Рисунок 1 – Схема работы погрузчика и бульдозера

Зарубежный опыт показывает успешное применение для ремонта грунтовых дорог малогабаритного прицепного скрепера. Наиболее подходящей моделью для данного вида работ является прицепной скрепер упрощенной конструкции голландской фирмы АП Машинбоув (рисунок 2) с объемом перевозимого грунта 6 м^3 . Рабочая ширина ножа такого скрепера 2,3 метра, его вес 2 тонны, агрегируется он с трактором класса тяги 1,4 или 2,0 [2].

Габариты машины и ее возможности идеально подходят для целей ремонта и содержания лесных грунтовых дорог, позволяя значительно снизить себестоимость этих дорог за счет сокращения числа задействованной техники и персонала (один человек и одна машина делают всю работу). Эта машина одна способна выполнять все основные операции и заменяет фронтальный погрузчик (на погрузке грунта для подсыпки дорог и транспортировке грунта к месту подсыпки, а также), бульдозер на разравнивании грунта на месте его отсыпки и окончательной планировке).

Преимуществом рассматриваемого скрепера является совмещение операций, небольшие затраты на ремонт лесных дорог за счет сокращения холостого пробега машины, а так-

же единиц задействованной техники и персонала. Однако белорусский аналог такого скрепера отсутствует.



Рисунок 2 – Скрепер фирмы Mashinebouw

Сегодня скрепер фирмы Mashinebouw успешно эксплуатируется в ГОЛХУ «Стародорожский опытный лесхоз». С целью импортозамещения такого скрепера были проведены исследования в стародорожном лесхозе. Вначале проводили тяговый расчет скрепера по известной методике [3, 4]. В качестве базовой машины применялся трактор МТЗ – 80.

Сила сопротивления движению скрепера при копании грунта - величина переменная, она достигает максимального значения на заключительной стадии заполнения ковша. Этот момент, как наибольший, принимали за расчетный. Потребное для работы тяговое усилие расходуется на преодоление сопротивления грунта резанию, сопротивление перемещению груженого скрепера сопротивление перемещению призмы волочения и сопротивление возникающее при заполнении ковша (рисунок 3).

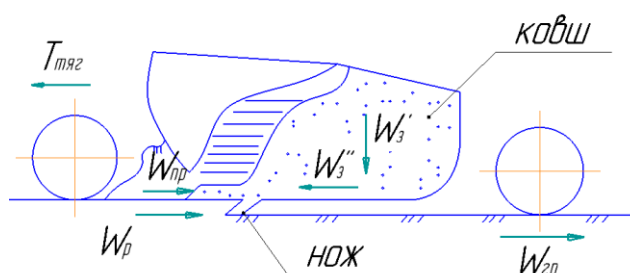


Рисунок 3 – Схема сопротивлений, действующих на прицепной скрепер

Основная задача тягового расчета скрепера заключалась в определении силы тяги и мощности для преодоления сопротивлений при заданной вместимости ковша.

Суммарное сопротивление при работе скрепера должно быть преодолено силой тяги базовой машины [3,4].

$$\Sigma W \leq T_d$$

где T_d - сила тяги по двигателю базовой машины, определяемая по формуле:

$$T_d = 3,6 \frac{N \cdot \eta}{v}$$

где N - мощность двигателя в кВт;

η - к. п. д. трансмиссии;

v - скорость перемещения машины во время копания $v = 2,5 \dots 3$ км/ч.

Наибольшее сопротивление движению скрепера возникает в конце процесса наполнения ковша и в соответствии с методикой Е.Р. Петерса определяется по формуле:

$$\Sigma W = W_{гр} + W_p + W_3 + W_{пр}$$

где $W_{гр}$ - сопротивление перемещению груженого скрепера;

W_p - сопротивление резанию;

W_3 - сопротивление наполнению;

$W_{пр}$ - сопротивление перемещению призмы волочения.

Сопротивление перемещению груженого скрепера определяется по формуле [3,4].:

$$W_{гр} = (G_c + G_r) \cdot (f \pm i)$$

где G_c - вес скрепера в кН;

G_r - вес грунта в ковше в кН;

f - коэффициент сопротивления передвигению;

i - уклон поверхности движения.

Вес грунта в ковше скрепера определяли

$$G_r = \frac{q \cdot \gamma_r \cdot k_n \cdot g}{k_p}, \text{ кН}$$

где q - геометрическая вместимость ковша в м³;

γ_r - плотность грунта в естественном залегании в кг/м³;

k_n - коэффициент наполнения ковша грунтом;

g - ускорение свободного падения;

k_p - коэффициент разрыхления грунта в ковше скрепера;

$$G_r = 6 \cdot 1600 \cdot 0,8 \cdot 9,81 / 1,2 = 62784 \text{ Н} = 62,78 \text{ кН}$$

$$W_{гр} = (G_{ск} + G_r) \cdot (f \pm i) = (25000 + 62784) \cdot (0,1 + 0,035) = 11850 \text{ Н} = 11,85 \text{ кН}$$

Сопротивление грунта резанию определяли по формуле:

$$W_p = k \cdot b \cdot h, \text{ кН}$$

где k - удельное сопротивление резанию в кН/м²,

b - ширина резания в м;

h - толщина стружки в м;

$$W_p = 90 \cdot 2,3 \cdot 0,05 = 10,35 \text{ кН.}$$

Полное сопротивление наполнению W_3 складывается из сопротивления силы тяжести грунта W_3' поступающего в ковш, и сопротивления трению грунта в ковше W_3'' .

Сопротивление силы тяжести поднимаемого столба грунта определяли по формуле:

$$W_3' = b \cdot h \cdot \gamma \cdot H \cdot g, \text{ кН}$$

где b - ширина резания в м;

h - толщина стружки в м;

γ - плотность грунта в кг/м³;

H - высота наполнения ковша в м.

$$W_3' = 2,3 \cdot 0,05 \cdot 1600 \cdot 1,2 \cdot 9,81 = 2,17 \text{ кН.}$$

Сопротивление трению W_3'' грунта по грунту в ковше возникает в результате давления боковых призм, располагающихся внутри ковша:

$$W_3'' = 2p \cdot \mu_2 = x \cdot b \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot g, \text{ кН}$$

где

$$x = \frac{\operatorname{tg} \varphi_2}{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_2} = \frac{\sin \varphi_2}{2}$$

φ_2 - угол внутреннего трения грунта

$$W_3'' = 9,81 \cdot X \cdot b \cdot H^2 \cdot \gamma = 9,81 \cdot 0,4 \cdot 2,3 \cdot 1,2^2 \cdot 1600 = 20794 \text{ Н} = 20,8 \text{ кН}$$

Соппротивление перемещению призмы волочения равно:

$$W_{\text{пр}} = y \cdot \mu_2 \cdot b \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot g, \text{ кН}$$

где y – коэффициент объема призмы волочения, образующийся перед заслонкой и ножами ковша $y = 0,5 \dots 0,7$, наибольшее значение относится к сыпучим грунтам;

H – высота наполнения;

b – ширина резания;

γ – плотность грунта в кг/м^3

$\mu_2 = 0,3 \dots 0,5$ – коэффициент трения грунта по грунту (суглинки, пески).

$$W_{\text{пр}} = 0,6 \cdot 0,4 \cdot 2,3 \cdot 1600 \cdot 1,2^2 \cdot 9,81 = 12,48 \text{ кН}$$

$$\Sigma W = W_{\text{гр}} + W_{\text{р}} + W_3 + W_{\text{пр}} = 11,85 + 10,35 + 2,17 + 20,8 + 12,48 = 57,65 \text{ кН}$$

$$T_{\text{д}} = \frac{N \cdot \eta}{v} = 3,6 \cdot 60 \cdot \frac{0,85}{3} = 61,2 \text{ кН}$$

$$57,65 \leq 61,2$$

Таким образом, условие тягового расчета выполняется, следовательно отечественный трактор имеет достаточную силу тяги для работы скрепера с принятыми параметрами.

Работа над созданием импортозамещающего скрепера продолжается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вавилов А.В. Машины по содержанию и ремонту автомобильных дорог и аэродромов А.В. Вавилов, А.М. Щемелев и др.-Мн.,БНТУ, 2003. 407 с.
2. Machine construction/ Earth moving/ AP Scrapers. Product catalogue. Ruten, 2011.2 с.
3. А.М.Холодов, В.В. Ничке, В.В. Назаров Землеройно-транспортные машины./ Справочник. Харьков: Изд-во Харьк. ун-та, 1982. 192 с.
4. Вавилов А.В. Дорожно-строительные машины /А.В.Вавилов, И.И. Леонович и др.- Мн. Технопринт. 2000. – 515 с.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ 50-ЛЕТНЕЙ ОБЫКНОВЕННОЙ СОСНЫ (*PINUS SYLVESTRIS* L) ПОЛЬСКИХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ПОПУЛЯЦИЙ

Buraczyk W.¹, д.т.н., Kozakiewicz P.², д.т.н., проф., Szeligowski H.¹, д.т.н., Dzwonkowski M.¹, асп., Koczan G.² асп.

¹Варшавский Университет Естественных Наук, Лесохозяйственный Факультет (Варшава, Республика Польша), e-mail; wburaczyk@wp.pl, wlodzimierz_buraczyk@sggw.pl

²Варшавский Университет Естественных Наук, Факультет Технологии Древесины (Варшава, Республика Польша), e-mail; pawel_kozakiewicz@sggw.pl

VARIABILITY OF WOOD OF 50-YEAR-OLD COMMON SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) OF POLISH GENETIC POPULATIONS

Buraczyk W.¹, Dr. hab., Kozakiewicz P.², Dr. hab., Prof. SGGW, Szeligowski H.¹, Dr. hab., Dzwonkowski M.¹, Mgr. inż., Koczan G.², Mgr.

¹Warsaw University of Life Science- SGGW, Faculty of Forestry (Warsaw, Republic of Poland)

²Warsaw University of Life Science- SGGW, Faculty of Wood Technology (Warsaw, Republic of Poland)

The paper presents the preliminary results of the study on the properties of 50-year-old pine trees of selected genetic origins obtained on the provenance surface located in Rogów (Poland). Studies refer to the physical and technical properties of wood, incremental, immune and other botanical and anatomical properties of wood, needles, seeds. So far examined 3 populations differ in eccentricity of the core and the proportion of hardwood and sapwood in the tree stem. The largest increase in thickness is deposited in the eastern direction, while the highest proportion of hardwoods in tree trunks is found at about 4-6 m height.

Экспериментальный объект это 50-летние сосны 16 польских генетических происхождений. Разработка представляет образцовые вступительные результаты исследования свойств древесины 50-летней сосны различного генетического польского происхождения, растущих на поверхности исследований в Опытной Лесной Станции Рогов (LZD Rogów) (рисунок 1).

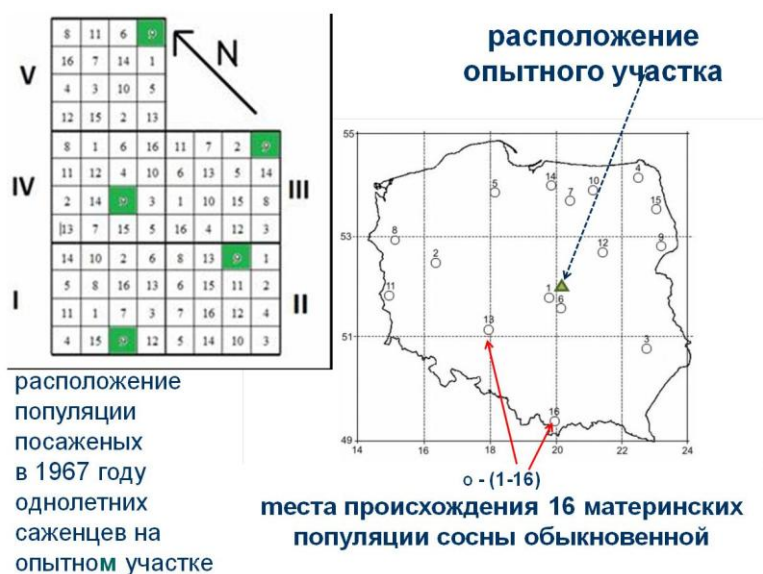


Рисунок 1 – Расположение опытного участка и распределение 16 популяции сосны обыкновенной в Опытной Лесной Станции Рогов

Список происхождения по рисунку 1: 1- Rogów, 2- Bolewice, 3- Janów Lubelski, 4- Rozpuda, 5- Lipowa, 6- Spała, 7- Dłużek, 8- Karsko, 9- Starzyna, 10- Ruciane, 11- Gubin, 12- Jegiel, 13- Rychtal, 14-Tabórz, 15- Supraśl, 16- Nowy Targ.

В работе представлены возможности междисциплинарных исследований, которые осуществлялись на 50-летней экспериментальной площади, где растёт 16 географических происхождений польской сосны обыкновенной. Также в исследованиях указана возможность анализа качественных зависимостей между многими ботаническими (селекционными, генетическими) особенностями сосны и свойствами древесины.

Это первая в Польше работа по исследованию взаимосвязи между морфологическими, анатомическими свойствами дерева и физико-химическими качествами древесины с учетом генетической изменчивости сосны. До этого времени не было исследовательских площадей на которых можно было бы вырезать 50-летнее древесное сырьё.

Исследования на площади (рисунок 1) начались в феврале 2016 года, и сейчас проводятся изыскательские работы (сбор образцов для испытаний, сушки, обработки, тестирования). Поэтому в данном докладе представлены результаты измерения эксцентricности ствола на высоте 1,3 м и толщины заболони и ядровой части по всей длине ствола трех выбранных популяций. Доля заболони и ядровой части определялся выходной уровень влажности древесины, ее естественной долговечности и пригодности для дальнейшей переработки.

Представленная тема разрабатывается в рамках крупного исследовательского проекта «Влияние генетической изменчивости особенности древесины на лесопромышленную производительность». Исследовательский материал подвергнут междисциплинарному анализу.

Схема и объем исследований - зима - 2015/216 - вырезали 135 деревьев по 15 наиболее толстых деревьев от 9 популяций: Северо-Восточная Польша-3, Центральная Польша-3, Юго-Западная Польша-3. К подробному изучению получили деревья из верхнего слоя древостоя, которые раньше были определены на вырезку.

Сферы изучения:

Технические особенности древесины: сопротивление сжатию, разрыву и сгибанию; модуль эластичности (динамический, статический); скорость перехода ультразвука; участие древесины ранней, поздней, заболони, ядровой древесины; кристалльность целлюлозы, отклонения микрофибры.

Процедуры изучения будут соответствовать требованиям международных норм ИСО.

Химические свойства древесины: содержание лигнина, целлюлозы, смолы, эфирного масла; хроматографический анализ; исследования активности патогенных грибов на заболони и ядровой древесине.

Качество роста дендрометрические особенности и другие: измерения объема и длины кроны, наклон дерева (FieldMap); дендрометрический анализ; биомасса; годовая толщина роста в разделах 2 м; засухоустойчивость (показатели засухи); характеристика игл (хвоинки), хлорофила; особенности шишек и семян; молекулярно-генетическое исследование.

Данная разработка представляет предварительные результаты исследования эксцентricности ядра ствола и участие заболони и ядровой древесины в стволе 50-летней сосны 3 выбранных генетических происхождений.

Ядровая древесина отличается от заболони различными физическими и технологическими свойствами. Её доля в сырье влияет на многие процессы обработки включая насыщенность, сушку, склеивание и улучшение качества древесины.

Сердцевина сосны долговечная, имеет большую устойчивость к деградации грибами по сравнению с заболонью. В соответствии со стандартом (EN 350-2: 1994) устойчивость сердцевины имеет класс 3-4 (средняя и низкая прочность), но заболонь имеет класс 5 (нестабильная древесина). Это определяет решающее значение в выборе сырья, с учетом намеченных требований и условий использования будущих продуктов. Поэтому, зная количество ядровой древесины и заболони в стволах сосны различных генетических происхождений, возможно оптимизировать распределение этого сырья для его переработки.

Не менее важна форма стволов, размер уплощения и связанная с этим эксцентricность ядра ствола. Эта особенность существенно влияет на производительность различных методов обработки древесины. Особенно отрицательно эксцентricность ядра влияет на периферийное резание фанеры. Исследования показали, что во всех популяциях происходит статистически значимое увеличение толщины с восточной стороны ствола (рисунки 2, 3, 4).

Рисунки 5-8 показывают дифференциацию участия ядровой древесины и заболони в зависимости от высоты ствола, возраста деревьев и генетического происхождения.

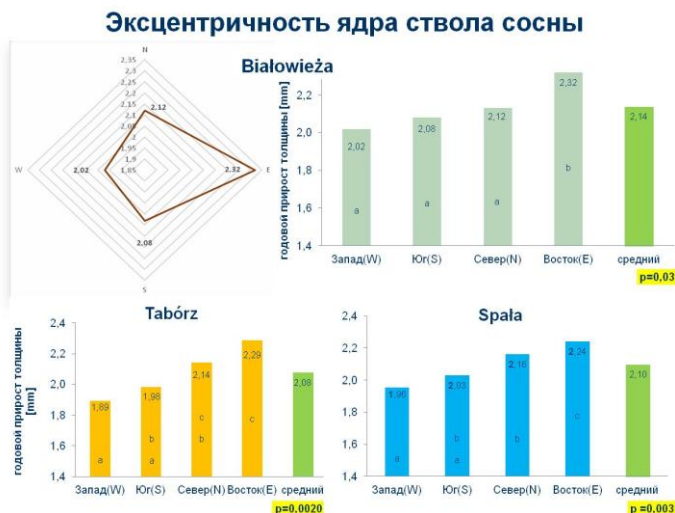
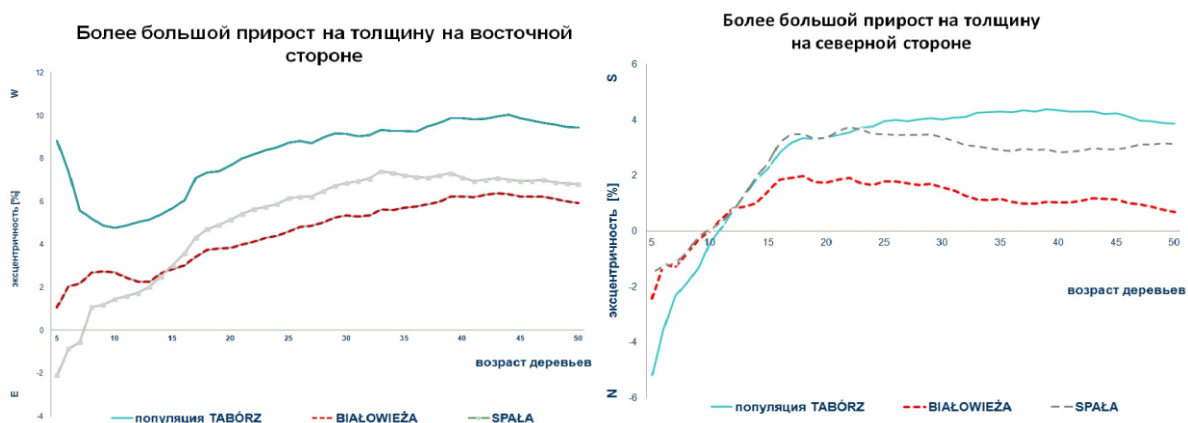


Рисунок 2 – Эксцентricность ядра ствола сосны 3 выбранных популяций



Рисунки 3, 4 – Эксцентricность W-E и N-S ядра ствола сосны 3 выбранных популяций

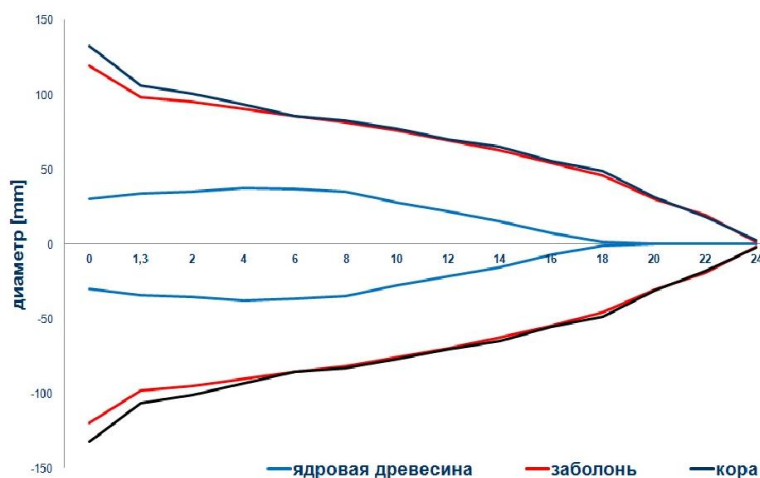
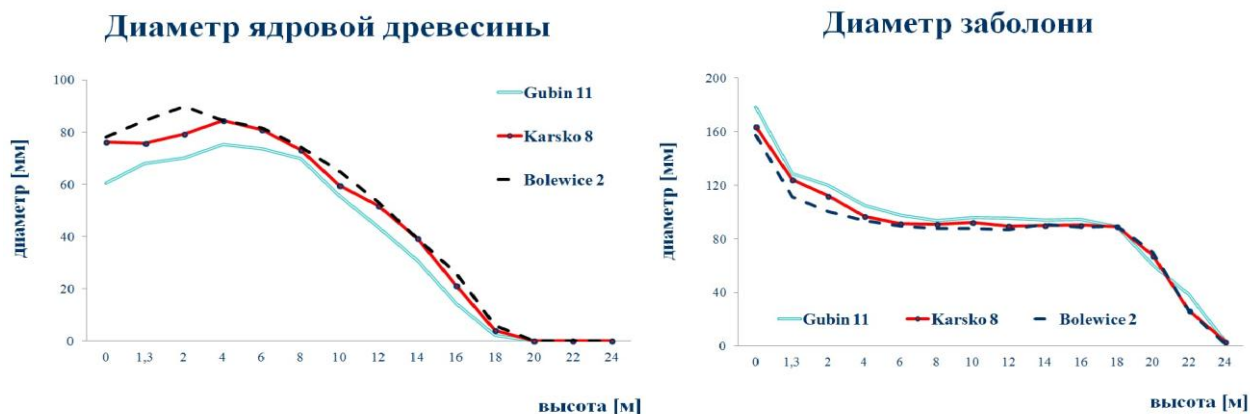


Рисунок 5 – Участие ядровой древесины, заболони и коры в стволе сосны генетического происхождения Gubin



Рисунки 6, 7 – Диаметр заболони и ядровой древесины в стволе сосны 3 генетических происхождений

Участие ядровой древесины

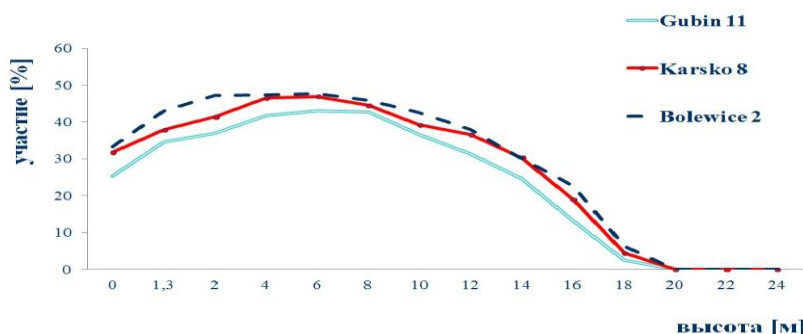


Рисунок 8 – Участие ядровой древесины в стволе сосны 3 генетических происхождений

Эта работа была выполнена в рамках обязательного исследования, проведенного на Факультете Лесного Хозяйства, Варшавского Сельскохозяйственного Университета и проекта «Повышение эффективности использования древесного сырья в производственных процессах в промышленности» (консорциум Руководитель: Barlinek Inwestycje sp. z o.o.). Проект финансируется совместно с Национальным Центром Научных Исследований и разработок в рамках Стратегической программы научных исследований и разработок, «Окружающая среда, сельское и лесное хозяйство» - BIOSTRATEG (501-04-062700-N00189-01).

ЛИТЕРАТУРА

1. Dzbeński W., Kozakiewicz P., Krutul D., Hrol J., Belkova L., 2000: Niektóre właściwości fizyko-mechaniczne drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) rogowskiej jako materiału porównawczego do badań na sośnie proveniencji łotewskiej. Materiały 14 Konferencji WTD SGGW „Drewno materiał wszechczasów”. Rogów 2000, 13-15 listopada 2000 r. str: 31-36.
2. EN 350-2:1994 Durability of Wood and Wood-based Products – Natural Durability of Solid Wood: Guide to natural durability and treatability of selected wood species of importance in Europe.
3. EN 13556:2003 Round and sawn timber – nomenclature of timbers used in Europe.
4. EN 844-8:1997 Round and sawn timber – Terminology – Part 8: Terms relating to features of round timber.
5. PAN – Instytut Dendrologii, 1993: Biologia sosny zwyczajnej. Wyd. Sorus. Poznań-Kórnik.
6. Szeligowski H., Buraczyk W., Drozdowski S., Gawron L. 2015. Wartość hodowlana polskich populacji sosny zwyczajnej na powierzchni doświadczalnej w Rogowie. (Silvicultural value of Scots pine provenances from Poland on the experimental plot in Rogów). Sylwan 159 (12):997-1007.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СПЛОШНЫХ РУБОК
ГЛАВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ В ОЛЬХОВЫХ НАСАЖДЕНИЯХ**

Колодий Т. А., ст. преп., Гриб А. А., студ.

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины
(Гомель, Республика Беларусь), tkolody@tut.by

**IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY OF CLEAN CUTTINGS
THE MAIN USE IN ALDER PLANTINGS**

Kalodzy T. A., Senior Lecturer, Grib A. A., Student

Francisk Skorina Gomel State University
(Gomel, Republik of Belarus),

The technological scheme for the development of a cutting area when using a mobile cable system on clear-felling cuttings in alder plantings is shown. The calculations of the mobile cable system's replacement performance have been performed, and the advantages of this technology of tree cutting are shown.

Ценность и редкость ольховых насаждений состоит в том, что они произрастают в труднодоступных для лесозаготовителей местах, а именно в обильно увлажненных проточными водами местах, на низинных болотах, в заболоченных лесах и поймах рек, по берегам озер, днищам оврагов и балок. Поэтому добычу ценного сырья приходится заготавливать в поздне-осеннее и зимнее время года, когда наступают морозы.

В лесхозах Беларуси на трелевке круглых лесоматериалов в ольховых насаждениях используются в основном колесные тракторы, работа которых затруднена из-за условий произрастания этих насаждений. Целью наших исследований являлось изучение технологии разработки лесосек в ольховых насаждениях и их совершенствование за счет возможности применения мобильных канатных установок. Исходными данными для анализа послужили ольховые насаждения Червенского лесхоза.

В 2016 году при проведении рубок главного пользования в Червенском лесхозе было заготовлено 8,8 тыс. м³ ольхи. Участки черноольховых насаждений были изучены и обследованы в натуре. Было заложено шесть временных пробных площадей, на которых определены основные таксационные показатели. Средняя высота насаждений составила 23,0 м, средний диаметр – 28,8 см, средний объем хлыста – 0,56 м³, запас насаждения – 366 м³/га. Состав насаждений – 7Олч2Е1Б+Ос.

Технологический процесс разработки лесосеки, применяемый при проведении рубок главного пользования в смешанных черноольховых насаждениях осокового и таволгового типов леса в лесхозе состоит из следующих операций. Валка деревьев производится вальщиком с помощником бензопилой «Stihl MS-361» под углом 45–60° к трелевочному волоку, чтобы крона дерева оказалась на трелевочном волоке. Очистка деревьев от сучьев и раскряжевка хлыстов на сортименты производится вальщиком у пня. Одновременно производится очистка мест рубок путем укладки порубочных остатков на волок с последующим равномерным уплотнением их трелевочным трактором. Трелевка сортиментов осуществляется на погрузочный пункт трактором ТТР-401М или ТТР-411 с тросо-чокерной оснасткой. С погрузочного пункта осуществляется погрузка лесопроductии гидроманипулятором на погрузочно-транспортную машину МПТ-461.1 и подвозка её на промежуточный склад.

Как правило, на лесосеке работает бригада в составе двух вальщиков и двух помощников с бензопилами, тракториста и чокеровщика на трелевочном тракторе с тросо-чокерным оборудованием и оператора погрузочно-транспортной машины.

Проведение сплошных рубок главного пользования в черноольховых насаждениях в Червенском лесхозе соответствуют «Правилам рубок леса в Республике Беларусь» с исполь-

зованием традиционной технологии и имеющейся техники. Однако в существующем технологическом процессе имеется ряд недостатков, таких как высокая доля ручного труда, использование двух механизмов на трелевке лесоматериалов на ограниченной площади, устаревшая техника, трудоемкий процесс работ. К тому же лесозаготовительные работы в болотистой местности имеют свои особенности: необходимость использования техники высокой проходимости и разработки лесосеки преимущественно в зимний период.

Для устранения перечисленных недостатков и оптимизации существующего техпроцесса заготовки в труднодоступных насаждениях был предложен проектный вариант проведения лесосечных работ, предусматривающий заготовку на лесосеке хлыстов и последующую их трелёвку на верхний склад мобильной канатной установкой.

В Республике Беларусь имеется разработка мобильной канатной установки, однако в лесохозяйственных предприятиях она не находит должного применения [1]. Анализ научной литературы позволил определить круг механизмов, возможных для использования в ольховых насаждениях. Наиболее приемлемой является самоходная канатная установка МЛ-139, которая производится в РФ.

Самоходная канатная установка МЛ-139 представлена на рисунке 1. В состав передвижной канатной установки входит автомобильное шасси КамАЗ-43118 и навесное технологическое оборудование. Навесное технологическое оборудование включает: мачту, являющейся опорой канатной системы, кабину с пультом управления, установку лебедок несутящего, тягового и возвратного канатов, привод насоса с гидрооборудованием и электрооборудование. Дополнительное технологическое оборудование включает трелевочную каретку с радиоуправляемым приводом тормозной системы [2].



Рисунок 1 – Внешний вид трелевочной канатной установки МЛ-139

Установка МЛ-139 работает следующим образом. Канатно-блочная система закрепляется одним концом за мачту в пункте погрузки, а другим – за тыловое дерево на лесосеке. К месту зацепки деревьев или хлыстов каретка доставляется холостым ходом. Прицепщик зацепляет пачку и подает сигнал по системе дистанционного управления. Оператор перемещает каретку в грузовом направлении к верхнему складу. Отцепка пачки производится оператором установки в полуручном режиме [3].

Расстояние трелевки может достигать до 500 м, скорость движения каретки 5 м/с, грузоподъемность 3-5 т, грузовой момент манипулятора – 220 кНм, максимальная ширина разрабатываемой лесосеки с одной стоянки до 100 м [2].

Проектируемый технологический процесс заключается в следующем. Все работы по валке деревьев, очистке их от сучьев и раскряжке древесины на сортименты планируется проводить бензопилой Husqvarna 365 XR. Валка и очистка деревьев от сучьев должны производиться на лесосеке у пня. Трелёвка хлыстов на верхний склад осуществляется с помощью самоходной канатной установкой МЛ-139. Раскряжка хлыстов на сортименты производится на верхнем складе. Схема работы установки показана на рисунке 2 [3].



Рисунок 2 – Схема работы канатной установки

Использование канатной установки позволяет производить трелёвку лесоматериалов в увлажненных местах круглый год, сохранять напочвенный покров, значительно сокращать затраты на лесовозобновление и сохранять экологию осваиваемых лесов.

Для сравнения двух вариантов разработки лесосек в труднодоступных местах были произведены сравнительные вычисления, которые включали в себя расчет сменной производительности машин и механизмов, количество машино-смен работы в сутки и другие показатели.

Нормы выработки в смену лесозаготовительной техники в существующем варианте определяли в соответствии с «Отраслевыми нормами выработки и расценки на лесозаготовительные работы».

Сменную производительность самоходной канатной установки МЛ-139 на трелёвке хлыстов рассчитывали по следующей формуле:

$$P_{см} = \frac{Q_{уч} \cdot T}{T_{м.ку} + T_{дм.ку} + T_{п.л} + T_{т.дер}}, м^3$$

где $Q_{уч}$ – общий объем леса, заготавливаемый на расчетном участке лесосеки, м³;

T – общее время продолжительности рабочей смены, сек;

$T_{м.ку}$ – время на монтаж установки на расчетном участке, сек;

$T_{дм.ку}$ – время на демонтаж установки на расчетном участке, сек;

$T_{п.л}$ – время на переезды между лентами на расчетном участке, сек;

$T_{т.дер}$ – время, затрачиваемое на трелёвку всех хлыстов на расчетном участке, сек.

Определив общее время работы канатной установки была рассчитана её сменная производительность, которая составила 115 м³.

Потребность в машинах и механизмах для выполнения годового объема заготовки древесины в ольсах по вариантам приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Потребность в машинах и механизмах

Операции технологического процесса	I вариант (существующий)		II вариант (проектируемый)	
	Марка	Количество, шт.	Марка	Количество, шт.
Валка деревьев	Stihl MS-361	1,7	Husqvarna 365 XP	1,9
Обрезка сучьев	Stihl MS-361	3,1		
Трелевка хлыстов	–	–	МЛ-139	1,0
Раскряжевка хлыстов	Stihl MS-361	3,2	Husqvarna 365 XP	2,0
Трелевка сортиментов	ТТР-401 М	3,4	–	–

Для сравнения эффективности рассматриваемых систем машин и механизмов были рассчитаны некоторые технико-экономические показатели, приведенные в таблице 2.

Таблица 2 – Технико-экономические показатели по вариантам

Показатели	Варианты	
	I	II
Производительность труда $P_{ч-д}$, м ³ /чел.-день	7,3	15,4
Удельные капитальные вложения $K_{уд}$, тыс. руб./м ³	20,75	13,22
Удельные эксплуатационные затраты $\Delta_{уд}$, тыс. руб./м ³	5,15	2,74

Из таблицы 2 видно, что производительность труда во втором варианте системы машин и механизмов больше в 2,1 раза чем в первом варианте, а удельные капитальные вложения и удельные эксплуатационные затраты меньше в 1,9 раз. Проектируемый вариант машин и механизмов для разработки лесосеки является более эффективным по производственным и экономическим показателям.

Анализ экономических расчетов показывает, что для выполнения годового объема работ по проведению сплошных рубок главного пользования в черноольховых насаждениях лесхоз затратит 93,1 тыс. руб. Затраты будут компенсированы за счет продажи заготовленной древесины, отпускная стоимость которой составит 110,3 тыс. руб. Себестоимость заготовки 1 м³ составит 10,6 руб. Средства, вложенные в обновление технической базы окупятся примерно через 6,3 лет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колодий, П.В. Технологические особенности использования мобильных канатных установок на рубках главного пользования в ольховых насаждениях / П. В. Колодий, А. А. Левчугова // Актуальные проблемы лесного комплекса / Под общей редакцией Е.А. Памфилова. Сборник научных трудов. Выпуск 42. – Брянск: БГИТА, 2015. – С. 16-19.
2. Национальный интернет-портал Российской Федерации [Электронный ресурс] / Машины и оборудования для лесозаготовок. – Режим доступа: http://www.mirlzm.ru/skidder/ml_139.html. – Дата доступа: 29.03.2017.
3. Национальный интернет-портал Российской Федерации [Электронный ресурс] / Интернет-журнал «Лесопромышленник» – Техника. Технологии. Оборудование. Материалы. Производство. Инновации в ЛПК. Выставки. // Карпачев, С. П. Современные трелевочные мобильные канатные установки обеспечивают безопасную работу. – Режим доступа: http://www.lesopromyshlennik.ru/timber/tech_6.html. – Дата доступа: 29.03.2017.

ТЕХНОЛОГИЯ РАБОТ ДЛЯ МАЛООБЪЕМНЫХ ЛЕСОЗАГОТОВОК

Григорьев И. В., проф., д.т.н., Григорьева О. И., доц. к.с-х.н.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
(Санкт-Петербург, Россия), e-mail: lif.spb.lta@mail.ru

THE TECHNOLOGY WORKS FOR LOW-VOLUME LOGGING

Grigorev I. V., Prof., D.Sc., Grigoreva O. I., Assoc. Prof., PhD

Saint-Petersburg state forest technical University named after S.M. Kirov
(Saint-Petersburg, Russia)

Abstract: the article considers the system of machinery on the basis of the petrol-powered saws and wheeled tractors of the Minsk tractor plant and the technological process of mechanized harvesting for the conditions of remote logging sites with low timber reserves.

Согласно известным данным статистики, 95% лесозаготовительных предприятий России, предприятий имеющих код ОКВЭД 02.01.1 «Лесозаготовки», относятся к мелким, т.е. заготавливают до 100 тысяч кубометров древесины в год. Более того, подавляющее большинство этих предприятий заготавливают менее 50 тысяч кубометров древесины в год. К таким объемам заготовки принято употреблять термин «малообъемные заготовки».

К общим проблемам этих предприятий относится недостаток средств на приобретение лесных машин, включая лесозаготовительные, а также сложности с получением лесосечного фонда, который им обычно достается сильно дефрагментированным, представляющим собой набор разрозненных, небольших по площади и запасам древесины лесосек, часто на труднодоступных участках [1].

Для эффективного освоения разрозненных, небольших, неудобных по почвенно-грунтовым условиям лесосек предлагается следующая технология и система машин.

Валка деревьев осуществляется универсальными бензиномоторными пилами, выбор которых зависит от таксационных характеристик осваиваемого лесного фонда. Затем деревья трелюются чокерным трелевочным трактором на верхний склад.

При этом, в качестве трелевочного трактора оптимально использовать трактор с чокерным оборудованием на базе трактора МТЗ.

На верхнем складе другой трактор МТЗ с погрузочным оборудованием и бревнозахватом захватывает деревья из пачки по одному, при помощи бревнозахвата, расположенного на корме машины, и проезжает через обрезчик (делимбер) для обрезки сучьев. Далее трактор перемещает полученные стволы с вершиной к разделочно-раскаточной эстакаде, для раскряжевки универсальными бензиномоторными пилами, после раскряжевки трактор штабелирует полученные сортименты.

Особенностью оборудования, устанавливаемого на тракторы МТЗ сзади на трехточечную навеску, является возможность его быстрого и не трудоемкого монтажа и демонтажа. То есть чокерное оборудование и бревнозахват могут при необходимости перемещаться с одного трактора на другой, например, в случае поломки.

Выбор передвижного обрезчика сучьев, показанного на рисунке, в паре с рабочим – раскряжевщиком обусловлен следующими соображениями. Очистка деревьев от сучьев при помощи бензиномоторной пилы является наиболее трудоемкой и мало производительной операцией в цепочке валка-очистка от сучьев - раскряжевка. Например, при прочих равных условиях, если производительность вальщика леса достигает 100 кубометров в смену, то при добавлении в его обязанности очистки деревьев от сучьев, производительность снижается до 30 кубометров, т.е. более, чем в три раза [2].

Основную стоимость технологического оборудования процессора составляют вальцы с системой обмера ствола и отмера длин и привод технологического оборудования, включая

ножи и пильный аппарат. Передвижной делимбер будет стоить почти на порядок дешевле процессора, который при малообъемных лесозаготовках, к тому же, будет большую часть времени простаивать.

Полученные сортименты погрузочно-транспортная машина, также на базе трактора МТЗ, перевозит сортименты к дороге общего пользования или на нижний склад. Погрузочно-транспортная машина нужна в виду отсутствия лесовозных дорог. В силу особенностей конструкции на бездорожье сельскохозяйственный трактор будет эффективнее, чем лесовоз, при движении по лесу до дороги общего пользования.

Для решения вопроса повышения проходимости тракторы должны иметь возможность быстрого монтажа системы полугусеничного хода. Для чего на них должны быть установлены соответствующие кронштейны. Для машины с бревнозахватом кронштейны полугусеничного хода могут входить в конструкцию рамы погрузочного оборудования.

Полугусеничный ход проверенная опция, благодаря отдельным тормозам на задние колеса трактор с полугусеничным ходом может поворачивать как гусеничный и использоваться при соответствующих дорожных условиях как колесный.

Причина выбора трактора МТЗ заключается в его доступности. Уже большое количество лесозаготовительных бригад на малообъемных заготовках бригады работают с использованием тракторов МТЗ с чокерным оборудованием, бревнозахватами и лесовозными прицепами. По мнению многих специалистов, в настоящее время в России доступность тракторов МТЗ как в финансовом, так и ремонтном отношении вне конкуренции [3].

Примерные расчеты показывают, что производительность трактора МТЗ на трелевке, безусловно сильно зависящая от среднего расстояния трелевки, на небольшой по площади лесосеке составит примерно 50 кубометров в смену. Расход топлива составит около 1 литра на кубометр.

Для согласования производительностей на операциях валки и трелевки вальщик леса совмещает обязанности чокеровщика.

Обрезка сучьев с одного дерева занимает 5 минут. Поскольку трактор на обрезке сучьев также выполняет штабелевку сортиментов, то его производительность составит также около 50 кубометров в смену. На раскряжевке достаточно одного рабочего с бензиномоторной пилой. Трактор за один раз выкладывает на эстакаду 3-5 очищенных от сучьев стволов с вершинами, раскряжевщик разделяет их на сортименты. В это время выкладывается еще 3-5 хлыстов и убираются уже готовые сортименты.

Получается, что на верхнем складе работает один трактор, установлен один делимбер, две разделочные эстакады, что бы трактор и рабочий - раскряжевщик не мешали друг другу. Расход топлива на верхнем складе составит 70 литров в смену.

Если трелевка, по каким либо причинам, будет отставать, то трактор с верхнего склада может бревнозахватом по трелевать одному дереву.

Общий итог: два трактора, два тракториста, вальщик, раскряжевщик. 120 литров диз. топлива в смену.

Ориентировочная стоимость тракторов составит – 1,6 млн. руб. - трелевочный с лебедкой; 1,8 млн. руб. - с погрузочным оборудованием и бревнозахватом; делимбер – 1,3 млн. руб. Ресурс тракторов составит около 10000 мото-часов, затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт составят около 70% от их общей стоимости.

В смену наработка 7 мото-часов, тогда тракторы могут отработать 1428 смен до капитального ремонта.

Стоимость тракторов 3,4 млн. руб., затраты на их обслуживание и ремонт 2,38 млн. руб. Итого затраты на тракторы 5,78 млн. руб., плюс делимбер. Затраты на технику из расчета на одну смену, около 5 тыс. руб. Топливо на одну смену - около 4,5 тыс. руб. Также к расходам добавится заработная плата вальщика, раскряжевщика и двух трактористов, а также отчисления.

Доставка сортиментов на промежуточный склад - отдельная операция, производительность и затраты на которую зависят, прежде всего, от расстояния и качества дороги.

Трелевка является самой энергоемкой и экологически вредной операцией лесосечных работ. Вкупе с погрузочно-разгрузочными работами и вывозкой заготовленной древесины, трелевка является транспортной технологической операцией лесозаготовительного производства, а транспортные операции занимают большую часть конечной себестоимости продукции лесозаготовителей [4].

Для оптимизации работы лесовозного транспорта часто применяется, так называемая двухэтапная вывозка древесины, когда по лесовозным усам и веткам лесоматериалы вывозятся к магистральным дорогам или промежуточным складам (терминалам) при помощи автолесовозов малой и средней и грузоподъемности, а дальнейшую вывозку выполняют уже при помощи мощных тягачей большой грузоподъемности. Например, на первом этапе используются отечественные Уралы и Камазы, а при вывозке по трассам используются автопоезда на базе зарубежных тягачей – Volvo, MAN, Scania.

Значительную долю в стоимости вывозки лесоматериалов играет стоимость строительства лесовозных дорог, которая может значительно варьироваться, в зависимости от покрытия, например, лежневка, имеет себестоимость километра укладки около 200 тыс. руб., а обычный зимник - около 60 тыс. руб./км, не считая материалов. Очевидно, что уменьшение объемов строительства и эксплуатации лесовозных дорог, при прочих равных условиях, может значительно снизить себестоимость заготавливаемой древесины, а значит и поднять рентабельность лесозаготовительного производства, снижая процент низкотоварной древесины [5].

Для снижения потребности в лесовозных дорогах, при прочих равных условиях, в СССР была предложена технология двухэтапной трелевки, примерно с таким же принципом, как и при двухэтапной вывозке. Правда широкого распространения эта технология не получила, но с учетом все более дефрагментированного лесосечного фонда на многих лесозаготовительных предприятиях, требующего больших объемов строительства новых лесовозных дорог, а также с появлением новых лесозаготовительных машин и технологий ее применение становится актуальным.

Как и при двухэтапной вывозке заготовленной древесины, технология двухэтапной трелевки исходит из различия в проходимости и работоспособности путей первичного транспорта леса – пасечных и магистральных трелевочных волоков.

Пасечные волоки имеют меньшую грузовую работу, но и их поверхность меньше укрепляется, поскольку они прорубаются во время проведения основных работ. Магистральные волоки прорубаются, профилируются и укрепляются во время проведения подготовительных работ. Они могут обеспечить большую грузовую работу, нежели пасечные, но их себестоимость меньше, чем усов лесовозных дорог [6].

Прямая вывозка заготовленной древесины, когда при помощи колесных машин древесина собирается на лесосеке и без перегрузки сразу доставляется на двор потребителя, не нашла в России распространения, но двухэтапная трелевка, при протяженности второго этапа трелевки километр и более, может позволить существенно сократить потребные объемы строительства лесовозных дорог.

Исходя из того, что, как уже говорилось, трелевка является наиболее энергоемкой операцией лесосечных работ, оптимальность ее выполнения можно оценивать по удельной энергоемкости ($\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3\cdot\text{км}$). При втором этапе трелевки, на большое расстояние, затраты времени на собственно перемещение пачки займут наибольшую часть цикла. Удельная энергоемкость перемещения пачки будет зависеть от КПД трансмиссии трактора, коэффициента сопротивления движению трелевочной системы, отношения массы трактора и трелеваемой пачки (коэффициента тары трелевочной системы), плотности трелеваемой древесины. Для уменьшения удельной энергоемкости, которая адекватна расходу топлива, необходимо снижать сопротивление движению трелевочной системы, например, хорошо подготавливая и вовремя ремонтируя магистральный трелевочный волок, увеличивать объем трелеваемой пачки (рейсовую нагрузку трактора) [7].

С увеличением мощности двигателя трактора, при прочих равных условиях, теоретическая производительность трелевочных машин повышается, а с увеличением коэффициента сопротивления движению трелевочной системы – снижается.

Снижают теоретическую производительность также затраты времени на набор и разгрузку пачки, маневрирование, обслуживание штабелей, и т.д.

Производительность трелевочных машин, с ростом мощности двигателя, наиболее интенсивно повышается при небольших (до километра) расстояниях трелевки. При длине пути три и более километров, интенсивность роста производительности незначительна. Следует учитывать тот факт, что с увеличением мощности двигателя трактора также возрастают его масса, стоимость и эксплуатационные затраты.

С увеличением объема трелеваемой пачки, при прочих равных условиях, удельный расход топлива снижается, ориентировочно с увеличением объема пачки на 50% удельный расход топлива ($\text{кг}/\text{м}^3\text{км}$) снижается на 60%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев И.В. С грамотным подходом к лесу /И.В. Григорьев // Дерево.ру, 2015. № 1. С. 24-30.
2. Даниленко О.К. Технология и машины лесосечных работ. Учебное пособие/ О.К. Даниленко, И.В. Григорьев, О.И. Григорьева, А.В. Матросов -Братск.: Изд-во БрГУ, 2015. - 186 с.
3. Чураков А.А., Суворовский принцип в лесном деле / А.А. Чураков, И.В. Григорьев, О.И. Григорьева //Лесозаготовка. Бизнес и профессия, 2016. № 3, С. 32-33.
4. Григорьев И.В. Влияние на показатели трелевки / И.В. Григорьев, М.Е. Рудов, О.И. Григорьева, А.Н. Дмитриев //Дерево.ру, 2015. № 2. С. 54-64.
5. Григорьев И.В. Современные концепции лесопользования /И.В. Григорьев, Куницкая О.А. //Материалы международной заочной научно-практической конференции "Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика"-Воронеж.: ВГЛУ, 2015. Том 3, С. 212 – 215.
6. Хитров Е.Г. Повышение эффективности трелевки обоснованием показателей работы лесных машин при оперативном контроле свойств почвогрунта /Е.Г. Хитров, И.В. Григорьев, А.М. Хахина -СПб.: Изд-во СПбГЛТУ, 2015. -146 с.
7. Григорьев И.В. Снижение отрицательного воздействия на почву колесных трелевочных тракторов обоснованием режимов их движения и технологического оборудования /И.В. Григорьев – СПб.: Изд-во СПбГЛТА, 2006. – 235 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ СЕТИ ТРЕЛЕВОЧНЫХ ВОЛОКОВ НА ЛЕСОСЕКЕ**Макаренко А. В., доц., к.т.н.**Мытищинский филиал Московского государственного технического университета
им. Н.Э. Баумана

(г. Мытищи, Россия), e-mail: makarenko@mgul.ac.ru

**OPTIMIZATION OF THE PLACEMENT OF NETWORK'S SKIDDING TRAILS
ON THE CUTTING AREA****Makarenko A. V., Assoc. Prof., PhD**Mytishchi filial, Moscow state technical University named after N. Uh. Bauman
(Mytishchi, Russia)

The article considers the questions of optimization of laying skidding trails on the territory of cutting area by criteria of minimization of average skidding distances and volume of cargo working. The methods of calculating average skidding distances based on the location and configuration of each apiary. For the implementation of the methodology a computer program was developed and describes its working principles. The results of the program to calculate values of average skidding distances for the four variants of cutting areas are presented in the article in the form of graphs.

Проектирование сети трелёвочных волоков на лесосеке является одной из важных составляющих технологии лесосечных работ и во многом определяет эффективность их проведения. Критериями для оценки эффективности выбранной схемы разработки лесосеки могут являться: среднее расстояние трелёвки, объём грузовой работы машин, загруженность волоков или количество проходов техники по одному следу, а также экологическое воздействие на природную среду в целом и др.

Сеть трелёвочных волоков, разработанная для конкретной лесосеки, характеризуется набором определённых геометрических параметров, которые включают: место расположения и количество погрузочных пунктов, число примыкающих к ним магистральных волоков с углами примыкания, значениями углов между магистральными и пасечными волоками, разветвлённость магистральных волоков.

Исходными данными для построения сети волоков являются наборы постоянных и переменных параметров. К постоянным параметрам относятся таксационные характеристики лесосеки, её размеры и форма, расположение неразрабатываемых участков, несущая способность грунтов по территории лесосеки и др. К переменным параметрам можно отнести выбранную систему машин, которая характеризуется конструктивными особенностями и техническими параметрами техники, и принятыми технологическими решениями по разработке лесосеки. Последнее включает: порядок выполнения технологических операций машинами, принципы прокладки маршрута движения машин и ширина разрабатываемой пасеки или ленты.

Далее рассматривается влияние сети трелёвочных волоков, с указанными выше определяющими её параметрами, на среднее расстояние трелёвки и объём грузовой работы.

На рисунке 1 представлена возможная схема разработки лесосеки, произвольной формы и размеров. Общий объём грузовой работы с учётом разбивки лесосеки (делянки) на пасеки и однородные участки, тяготеющие к одной стороне магистрального волока, представляет собой сумму грузовых работ с каждой пасеки (ленты). При равномерном расположении древостоя по территории лесосеки объём грузовой работы находится из формулы

$$R = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N_j} q S_{i,j}(h) (l_{c,i,j} + l_{d,i,j}),$$

где M – количество участков лесосеки, с которых трелёвка ведётся по одной стороне магистрального трелёвочного волока; N_j – количество пазек на i -ом участке; q – средний запас древесины на единицу площади; $S_{i,j}(h)$ – площадь j -ой пазеки i -го участка в зависимости от заданной ширины пазеки h ; $lc_{i,j}$ – расстояние от центра тяжести площади j -ой пазеки i -го участка, спроектированного на пасечный волок, до места примыкания пасечного волока к магистральному; $ld_{i,j}$ – расстояние от места примыкания пасечного волока к магистральному до погрузочного пункта по маршруту магистрального волока.

Среднее расстояние трелёвки определяется как частное от деления общей грузовой работы на общий запас древесины на лесосеке по формуле

$$l_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N_j} q S_{i,j}(h) (lc_{i,j} + ld_{i,j})}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N_j} q S_{i,j}(h)}$$

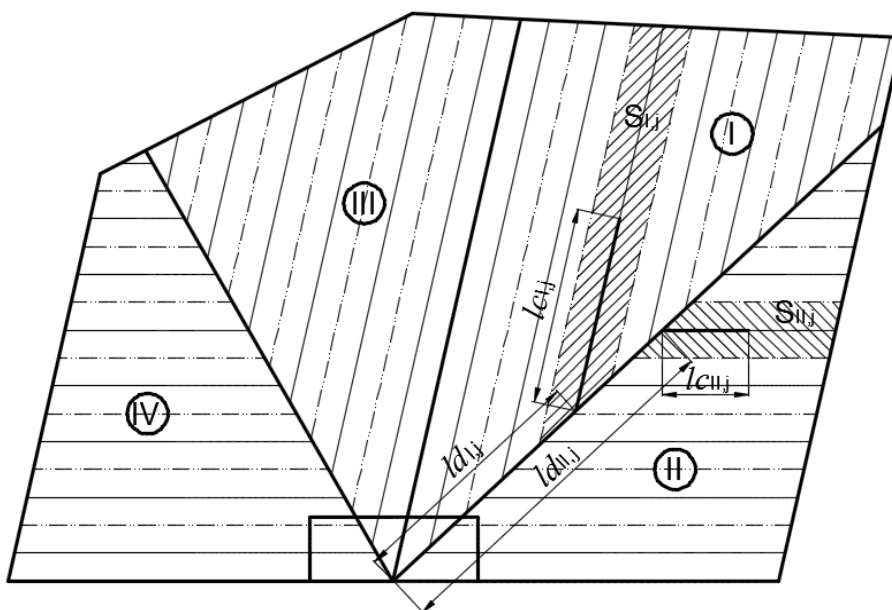


Рисунок 1 – Расчётная схема разработки лесосеки

Расчёт объёма грузовой работы и среднего расстояния трелёвки по представленным выражениям выполнен с помощью разработанной имитационной модели и её компьютерной реализации. Имитационная модель включает следующий набор процедур (программных блоков): процедура расчёта геометрических параметров лесосеки и задания разграничительных линий для магистральных волоков, процедура задания направлений магистральных волоков и разбивки лесосеки на участки, процедура разбивки участков на пазеки и расчёт их параметров, процедура определения заданных критериев эффективности проектируемой сети трелёвочных волоков.

Работа программных процедур и блоков основана на использовании структурированных массивов данных, в которых накапливается расчётная информация. Выделяются следующие основные типы массивов данных: массив характеристик узловых точек лесосеки, массив характеристик линий лесосеки (границ лесосеки, разделительных линий участков, пасечных и магистральных волоков и др.), массив характеристик объектов лесосеки (участков и пазек).

Характеристики узловых точек, представляющие собой пересечения линий лесосеки, собраны в массив $uzels(i)$. Для каждой точки в массиве содержится запись, содержащая координаты этой точки и ссылки на смежные для неё точки лесосеки и линии. Для характери-

стик линий лесосеки используется массив `borderr(i)`, структура которого аналогична предыдущему массиву. Записи в массиве по каждой линии содержат её параметры, тип линии (граница, волок и т.д.) и ссылки на смежные точки и линии.

Массивы для описания объектов лесосеки несколько отличаются от предыдущих. Для хранения характеристик участков лесосеки применяется массив `uchastr(i)`, а для характеристик пазек – массив `pasekar(i)`. Массивы содержат ссылки на записи в общих массивах `uzels(i)` и `borderr(i)`, характеристики линий и точек, относящиеся только к данным объектам, и характеристики самих объектов лесосеки.

Определение значений объёма грузовой работы и среднего расстояния трелёвки по разработанной программе производилось в зависимости от угла наклона магистральных трелёвочных волоков для нескольких вариантов лесосек с разной конфигурацией, но одинаковыми таксационными и технологическими параметрами (рисунок 2). Углы наклона магистральных волоков варьировались от 0° , когда магистральный волок параллелен базовой стороне лесосеки (стороне, где находится погрузочный пункт), до положения, когда волок параллельно разделительной линии или совпадают в один магистральный волок. Величина шага варьирования угла наклона волоков задавалась, как $1/12$ от угла крайних положение магистральных волоков (диапазона варьирования).

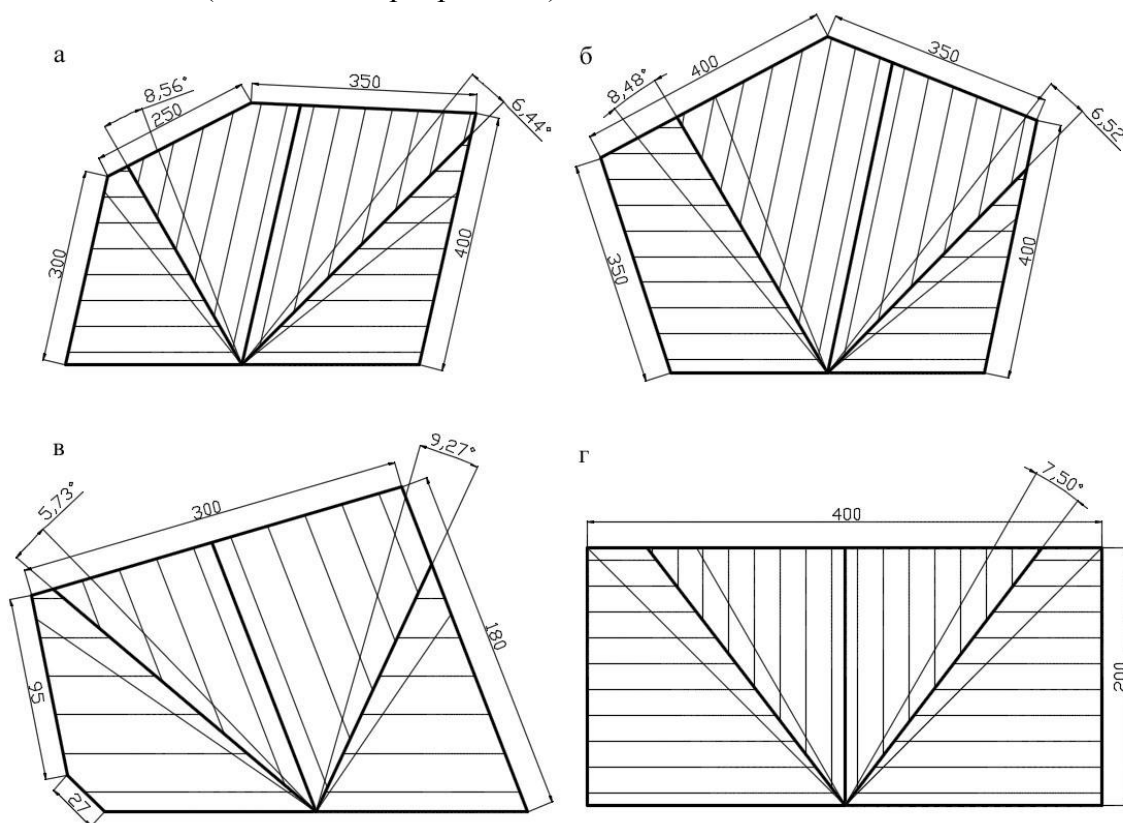


Рисунок 2 – Схемы расположения трелёвочных волоков на лесосеках в зависимости от угла наклона магистральных волоков

На рисунке 3 представлены графики результатов моделирования по определению показателя среднего расстояния трелёвки в зависимости от угла наклона магистральных волоков для четырёх вариантов лесосек. Из графиков видно, что минимальное значение среднего расстояния трелёвки (а значит, и объёма грузовой работы) соответствует значениям угла наклона магистральных волоков около середины диапазона варьирования. Диапазон возможных значений среднего расстояния трелёвки наиболее значительный у вытянутых лесосек относительно базовой стороны (стороны лесосеки, где расположен погрузочный пункт), которыми являются лесосеки а и г на рисунке 2.

Если оценить вытянутость лесосеки отношением её наибольшей ширины к длине базовой стороны, а диапазон разброса значений среднего расстояния трелёвки выразить в процентах от среднего расстояния трелёвки по вариантам прокладки магистральных волоков, то для каждой лесосеки получаются следующие результаты. Для лесосеки *a* на рисунке 2 отношение вытянутости составляет 0,638 при диапазоне варьирования среднего расстояния трелёвки 20,5%; для лесосеки *b* данные параметры составляют 0,77 и 23,03%; для лесосеки *в* – 0,652 и 24,07%; для лесосеки *г* – 0,5 и 21,32%.

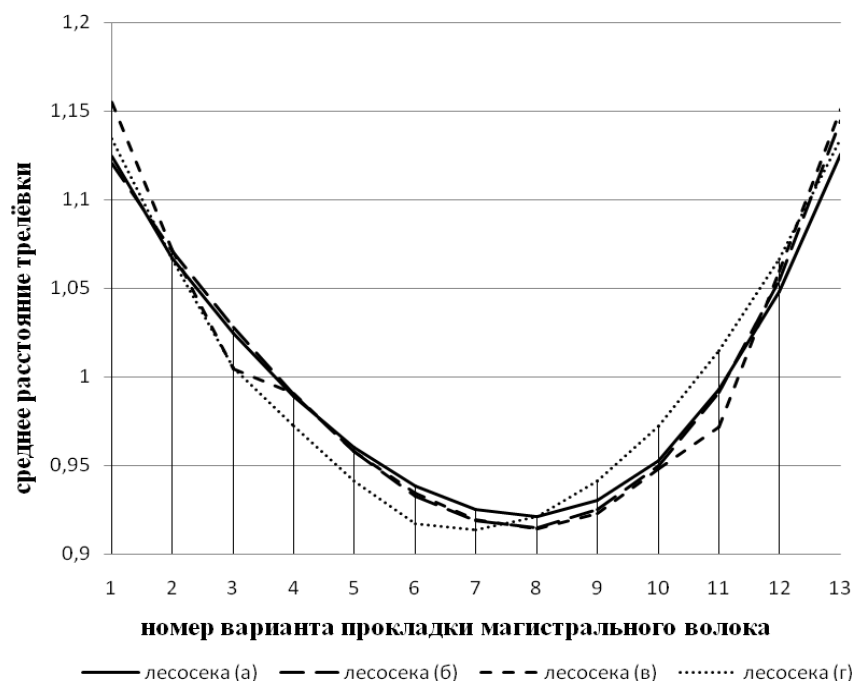


Рисунок 3 – График изменения среднего расстояния трелёвки в зависимости от угла наклона магистральных волоков на лесосеках

Кроме рассматриваемых в разработанной программе факторов на среднее расстояние трелёвки существенное влияние оказывают особенности расположения деревьев по территории лесосеки, режим работы трелёвочных тракторов по сбору и перемещению круглых лесоматериалов, а также топографические и почвенно-грунтовые условия. В связи с этим, комплексная математическая модель, учитывающая перечисленные факторы, и её программная реализация являются необходимыми для эффективной организации операции трелёвки на лесосеке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макаренко, А.В. Программное проектирование трелёвочных волоков на лесосеке./ А.В. Макаренко // Лесной вестник, вып.1 (93), М.: МГУЛ, 2013 г., 99-105 с.
2. Макаренко А.В. Эффективность выполнения технологических операций при проведении выборочных рубок леса./ А.В. Макаренко, М.А. Быковский, А.В. Лаптев // Актуальные проблемы развития лесного комплекса, Материалы тринадцатой международной научно-технической конференции ВГТУ, Вологда: 2016 г., 32 – 37 с.
3. Дербин, В.М. Технология разработки лесосек с учётом сертификационных требований сохранения неэксплуатационных площадей./ В.М. Дербин, М.В. Дербин // Лесной вестник, вып.1 (93), М.: МГУЛ, 2013 г., 50-54 с.
4. Рукомойников, К.П. Разработка алгоритма выбора вариантов прокладки транспортных путей при проведении комплекса лесосечных работ с совмещённым лесовосстановлением. / К.П. Рукомойников // Лесной вестник, вып.6 (75), М.: МГУЛ, 2010 г., 101-106 с.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ В ОБЛАСТИ ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ НА ДРЕВЕСНОЕ ТОПЛИВО НА ОСНОВЕ ЕГО ВЛАЖНОСТИ И ТЕПЛОТВОРНОЙ СПОСОБНОСТИ

Протас П. А., доц., к.т.н., Ледницкий А. В., доц., к.э.н.

Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: protas77@rambler.ru, ledniz@inbox.ru

MODERN APPROACHES TO WOOD FUEL PRICING BASED ON MOISTURE AND ENERGY CONTENT

Protas P. A., Assoc. Prof., PhD, Lednitsky A. V., Assoc. Prof., PhD
Belarusian State Technological University
(Minsk, Republic of Belarus)

The use of woody biomass is essential for the efficient production of thermal and electrical energy. However, the use of wood fuel with high moisture leads to significant energy costs for its evaporation. As a result, the energy content of such fuel is lower. For effective use of wood fuel it is necessary to provide an acceptable level of its moisture and other qualitative parameters. In the article modern approaches to wood fuel pricing based on moisture and energy content are given.

Эффективное использование древесной биомассы имеет существенное значение для производства тепловой и электрической энергии в Республике Беларусь. Поставляемое древесное топливо в виде дров и топливной щепы должно соответствовать требованиям нормативных документов: СТБ 1510-2012 «Дрова. Технические условия», ТУ РБ 100145188.003-2009 «Щепа топливная. Технические условия». Одними из основных показателей древесного топлива являются влажность и теплотворная способность.

Так дрова в зависимости от их теплотворной способности делятся на три группы: 1-я (береза, бук, ясень, граб, ильм, вяз, клен, дуб, лиственница); 2-я (сосна, ольха); 3-я (ель, кедр, пихта, осина, липа, тополь, ива), а в зависимости от их влажности на две группы: сухие (влажность 25% и менее); влажные (влажность более 25%).

Для топливной щепы массовая доля общей влаги не должна превышать 40% (по договоренности с потребителем может поставляться сырье с влажностью до 60%), а низшая теплота сгорания должна быть не менее 10200 кДж/кг.

На практике по данным показателям между поставщиками древесного топлива и потребителями могут возникать спорные ситуации. Особенно это касается котельных ЖКХ, где котлы в основном предназначены для сжигания щепы, влажностью не более 50%. Использование в качестве топлива древесной биомассы с высоким содержанием влаги приводит к значительным затратам энергии на ее испарение, вследствие чего теплотворная способность такого топлива ниже. Безусловно, высокая влажность, высокое содержание минеральных включений, неравномерность параметров древесины не могут удовлетворять потребителей – владельцев энергетических объектов. Из-за низкого качества топлива увеличивается его расход, возрастают затраты на доставку и подготовку топлива, происходит повышенная коррозия, зашлаковывание, ухудшаются показатели выбросов дымовых газов в атмосферу.

С целью повышения эффективности практики купли-продажи древесного топлива, упрощения организационных вопросов, обеспечения необходимо внедрять современные подходы в области ценообразования на древесное топливо на основе его влажности и теплотворной способности. При этом необходимо отметить, что ввиду большого многообразия потребителей с различным оборудованием, предъявляемые к древесному топливу требования могут отличаться в широких диапазонах. Поэтому не может быть одного универсального метода приемки, учета древесного топлива и способа ценообразования.

Анализ практики купли-продажи и ценообразования на древесное топливо в лидирующих европейских странах в области развития возобновляемой энергетики позволил вы-

работать наиболее эффективные методы приемки топлива. Некоторые из них применяются или могут быть применимы в ближайшей перспективе в Республике Беларусь.

1. По объему, когда древесина принимается в насыпных (или плотных) м³;

2. По весу в атротоннах (древесина пересчитывается в абсолютно сухое состояние – расчет производится за абсолютно сухую древесину) [1];

3. По весу в тоннах (древесина во влажном состоянии - воздушно сухая);

4. По энергетическому содержанию (теплотворной способности) древесной биомассы в МВт·ч.

Каждый из приведенных методов имеет свои достоинства и недостатки и его применение требует учета множества факторов.

Метод приемки древесного топлива по объему.

Данный вариант будет наиболее эффективным, если:

- тепловая станция расположена очень близко к поставщикам, поставки хорошо поддаются планированию;
- поставщики и качество поставляемой ими щепы хорошо известны;
- есть много мелких поставщиков щепы (ввиду простоты метода не нужно приобретать дорогостоящее измерительное оборудование).

Однако в этом случае необходимы более тщательная координация поставок и контроль при приемке топливной щепы из-за невысокой точности при определении качества.

Метод приемки древесного топлива по весу в атро тоннах.

Для приемки древесного топлива по весу в атро тоннах требуются весовая платформа для взвешивания автощеповозов; приспособления для отбора образцов (совки, ящики для проб); аналитические весы; сушильный шкаф.

Данный вариант в Европе больше предпочитают организации.

Расчеты за поставляемое древесное топливо, как в виде дровяной древесины, так и топливной щепы осуществляются с учетом их влажности. При этом используется сушильно-весовой метод. Оплата за поставленное топливо осуществляется за массу поставленного топлива, выраженную в атро тоннах. Поэтому оплата отсрочена по времени.

Преимуществами данного метода являются: однозначное определение количества топлива в тоннах; точное определение качества топлива (теплотворная способность), вне зависимости от того, используется ли твердая или мягкая древесина и каково содержание влаги.

Однако для внедрения такого метода требуются инвестиции в оборудование (весы, сушильный шкаф и т.д.), необходима дополнительная площадь, точный результат поставок известен только после определения содержания влаги – лишь спустя несколько дней.

Метод приемки древесного топлива по весу в тоннах.

Данный вариант возможен к применению, если щепка поставляется стабильно одинакового качества (порода и влажность) от надежного поставщика.

В Беларуси по данному методу могут поставлять сырье, например, деревообрабатывающие предприятия.

Преимуществом является простота организации и осуществления – необходимо только взвешивание.

Метод приемки древесного топлива по энергетическому содержанию.

Это энергетическое содержание топлива, рассчитанное аналитическим способом, по счетчикам, исходя из объема энергии, выработанной энергоисточником.

Здесь возможны два варианта:

1. Расчет производится за объем отпущенной энергии, выраженный в МВт·ч;

2. Расчет производится за энергетическое содержание древесного топлива, рассчитанное аналитическим способом.

Первый вариант может быть применен при наличии небольшого количества либо одного поставщика, так как при наличии значительного количества поставщиков становится невозможным разграничение топлива.

Преимущества: исключаются все операции по приемке щепы и соответственно не нужен персонал для этих целей (сокращение трудозатрат и численности персонала); все риски несет поставщик (складские потери, оптимальный КПД котельных установок).

Однако существенным недостатком является полная зависимость от одного либо нескольких поставщиков.

Расчет за энергетическое содержание древесного топлива, рассчитанное аналитическим способом.

Данный метод получил очень широкое распространение в скандинавских странах.

В основе этой его разновидности лежит классификация по древесным породам. Теплотворная способность древесного топлива в зависимости от содержания в нем влаги может быть рассчитана по следующей формуле:

$$H_{n,v} = H_n \cdot \frac{100 - F}{100} - \frac{2,442F}{100}, \text{ ГДж/т,}$$

где $H_{n,v}$ – низшая теплота сгорания влажной древесины (ГДж/т); H_n – низшая теплота сгорания сухой древесины (ГДж/т); F – содержание влаги в % от общего веса древесины.

– Применительно к щепе скандинавского происхождения, состоящей, прежде всего из сосны, ели и березы [2]:

$$H_{n,v} = 19,2 - 0,2164 \cdot F, \text{ ГДж/т,}$$

– применительно к щепе смешанных пород различного происхождения, состоящих главным образом из древесины твердолиственных пород произвольной смеси:

$$H_{n,v} = 19,0 - 0,2144 \cdot F, \text{ ГДж/т,}$$

где F – содержание влаги в % от общего веса щепы.

Таким образом, стоимость поставленной партии щепы может быть определена по формуле:

$$C = H_{n,v} \cdot M \cdot Ц$$

где M – масса поставленной партии щепы, тонн;

$Ц$ – цена 1 ГДж, руб./ГДж.

Основным преимуществом данного метода является возможность учета теплотворной способности различных пород и частей деревьев.

Однако при этом существенно усложняются расчеты.

Для внедрения данных методов приемки и учета древесного топлива, а также расчетов за него в Республике Беларусь необходимы согласованные действия заинтересованных участников рынка с целью определения для конкретных поставщиков и потребителей наиболее эффективных методов, а также разработки нормативных документов, регламентирующих данные вопросы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Richtlinie zur Übernahme von Energieholz nach Gewicht und nach Energieinhalt. FHP Kooperationsplattform Forst Holz Papier. 2016.

2. «Finnish situation of energy recovery from biomass and waste» Kai Sipilä, VTT National Technology Agency, Technology Review 99/2000.

СОДЕРЖАНИЕ

Александр Семёнович Федоренчик – ученый, учитель, друг.....	6
<i>Войтов И. В., Ледницкий А. В.</i> Современное состояние и перспективы использования древесного топлива в Республике Беларусь.....	9
<i>Демьяник Л. Ю., Шут В. П., Худицкая М. А.</i> Современное состояние лесопромышленного производства в организациях Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь.....	15
<i>Германович А. О., Лой В. Н., Пищов С. Н.</i> Анализ технологических процессов заготовки щепы мобильными рубильными машинами.....	20
<i>Мисуно Ю. И., Протас П. А.</i> Повышение работоспособности трелевочных волоков на заболоченных участках лесосечного фонда.....	25
<i>Zimelis A., Lazdiņš A., Kaleja S., Spalva G., Rozītis G.</i> Productivity of harwarder Vimek Biocombi in early thinning in Latvia.....	29
<i>Kaleja S., Lazdiņš A., Johansson P. O., Spalva G., Skola U.</i> Impact of forwarding conditions on productivity of forwarder Kranman Bison 10000.....	32
<i>Зимелис А., Лаздиньш А., Калея С., Спалва Г., Розитис Г.</i> Производительность харвестера Vimek 404 T5 на рубках ухода в Латвии.....	36
<i>Науменко А. И., Бавбель Е. И., Лыщик П. А.</i> Совершенствование конструкций лесных дорог путем применения георешеток и геосеток.....	40
<i>Азаренок В. А., Герц Э. Ф., Теринов Н. Н., Перепечина Т. А.</i> Транспортные системы для работы под пологом древостоя.....	45
<i>Веселы П.</i> Канатные дороги Ларикс на болотах.....	50
<i>Анисимов П. Н., Онучин Е.М.</i> Заготовка топливной щепы с помощью измельчающе-транспортной машины с энергообеспечением от двигателя внешнего сгорания на древесном топливе.....	55
<i>Голякевич С. А., Гороновский А. Р.</i> Методика и анализ динамики нагружения и усталостной долговечности несущих конструкций лесных машин.....	59
<i>Голякевич С. А.</i> Энергетические аспекты функционирования многооперационных лесозаготовительных машин.....	64
<i>Герман А. А.</i> Перспективы развития лесозаготовительной техники ОАО «АМКОДОР».....	69
<i>Шошин А. О., Протас П. А., Мохов С. П., Гречко В. В.</i> Исследование процесса трелевки хлыстов на заболоченных лесосеках канатными установками в зимний период.....	72
<i>Насковец М. Т., Линкевич А. Ю.</i> Повышение проежаемости лесных дорог с низкой несущей способностью грунтовых оснований.....	77
<i>Насковец М. Т., Заец С. С., Хорошун Н. В.</i> Подходы к формированию дорожно-ремонтного пункта (бригады), звена для содержания и ремонта лесохозяйственных дорог и площадок.....	81
<i>Дручинин Д. Ю.</i> Повреждение лесной почвенно-растительной среды при проведении лесозаготовительных работ.....	84
<i>Ильинцев А. С., Амосова И. Б.</i> Особенности изменения живого напочвенного покрова после сплошных узколесосечных рубок в смешанных насаждениях.....	88
<i>Левковская М. В.</i> Влияние лесозаготовительной техники на живой напочвенный покров сосняков черничных и кисличных в результате рубок ухода.....	92
<i>Леонов Е. А., Клоков Д. В.</i> Теоретическое исследование влияния вместимости ЛЭТ на загрузку технологического оборудования.....	96
<i>Činga G., Vitunskas D.</i> Technological and economic valuation of logging residues production for energy: a Lithuanian case study.....	101

<i>Каратник И. Р., Бакай Б. Я., Кий В. В.</i> Обоснование перемещений манипулятора на обслуживании участка лесопромышленного склада.....	104
<i>Коробкин В. А., Ледвик М. В.</i> Машина трелевочная канатная на базе трактора «Беларус».....	108
<i>Moskalik T.</i> Logging residues as a renewable energy source in Poland.....	112
<i>Christian Rakos</i> Developing wood chips and pellets as source of energy. Challenges and solutions.....	116
<i>Lorenz Strimitzer, Gabriele Brandl</i> Development of the wood-based bioenergy-sector in Austria.....	119
<i>Лой В. Н., Арико С. Е., Асмоловский М. К., Германович А. О., Дудко Е. М.</i> Разработка многофункционального шасси для проведения лесохозяйственных работ.....	124
<i>Сармулис З., Савельев А., Давиданс М., Симанович В. А., Кононович Д. А.</i> Среднее расстояние трелевки лесоматериалов – расчетные показатели и реальный пробег.....	127
<i>Давиданс М., Савельев А., Сармулис З., Ребокс Д., Арико С. Е.</i> Обработка нетипичных деревьев харвестером.....	132
<i>Науменко А. И.</i> Применение малоцементных смесей в конструкциях лесных дорог.....	135
<i>Бавбель Е. И., Лыщик П. А., Науменко А. И.</i> Создание опорной сети лесных автомобильных дорог на основе ГИС-технологий.....	140
<i>Васильев С. Б., Городничина М. Ю., Колесников Г. Н., Симонова И. В., Сюнев В. С.</i> Переработка отходов древесно-подготовительного цеха целлюлозно-бумажного комбината в строительные материалы.....	145
<i>Короленя Р. О.</i> Совершенствование подходов к выбору маршрутов перевозки древесины.....	149
<i>Легкий В. В., Язубец Ю. Н.</i> Техника и технологии для получения топливной щепы. Опыт прибалтийских стран.....	152
<i>Štollmann V., Šurkovský O., Slugeň J.</i> Экологический подход к лесозаготовке и транспортировке древесины в начале-середине XX века.....	157
<i>Гурский А. В., Хотянович А. И.</i> Лесозаготовительные машины Комацу в Республике Беларусь.....	161
<i>Александрович В. М.</i> Состояние и перспективы лесозаготовительного бизнеса в Республике Беларусь.....	164
<i>Стоноженко Л. В.</i> Влияние требований к качеству круглых лесоматериалов на установление возраста рубки древостоев (на примере ельников Московской области).....	167
<i>Paschalis-Jakubowicz P.</i> Changes in forestry: problems and solutions.....	172
<i>Мохов С. П., Коробкин В. А., Голякевич С. А., Кононович Д. А.</i> Перспективный комплекс машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов.....	178
<i>Симанович В. А., Исаченков В. С., Арико С. Е.</i> Математическое моделирование динамических процессов как основной метод при исследовании колесных лесных агрегатных машин.....	182
<i>Дини М. Н., Жарков Н. И.</i> Применение горизонтальных и вертикальных упрочняющих геосинтетических прослоек в конструкциях лесных дорог.....	187
<i>Матросов А. В., Лантев А. В.</i> Технологии малообъемных рубок леса в лесах защитной категории.....	191
<i>Хотянович А. И.</i> Логистическая геоинформационная система управления ресурсом и территорией лесосечного фонда «Л-ГИС».....	197
<i>Салминен Э. О., Борозна А. А., Пушков Д. В., Кобыльсков И. П., Насковец М. Т.</i> Снижение энергоемкости и повышение надежности машин и оборудования в лесном комплексе.....	200

<i>Сюнёв В. С., Соколов А. П.</i> Обоснование параметров процессов развития лесной дорожной сети.....	204
<i>Колодий П. В., Сасова А. Ф.</i> Влияние технологии лесосечных работ на выход деловых сортиментов в березовых насаждениях.....	209
<i>Вавилов А. В., Котлобай А. А., Котлобай А. Я.</i> Направления снижения материалоемкости гидравлических приводов рабочего оборудования машин.....	212
<i>Вавилов А. В., Ланенок В. В.</i> Скрепер для ремонта лесных грунтовых дорог.....	217
<i>Buraczuk W., Kozakiewicz P., Szeligowski H., Dzwonkowski M., Koczan G.</i> Изменчивость древесины 50-летней обыкновенной сосны (<i>pínus sylvestris</i> l) польских генетических популяций.....	221
<i>Колодий Т. А., Гриб А. А.</i> Совершенствование технологии сплошных рубок главного пользования в ольховых насаждениях.....	225
<i>Григорьев И. В., Григорьева О. И.</i> Технология работ для малообъемных лесозаготовок.....	229
<i>Макаренко А. В.</i> Оптимизация размещения сети трелевочных волоков на лесосеке.....	233
<i>Протас П. А., Ледницкий А. В.</i> Современные подходы в области ценообразования на древесное топливо на основе его влажности и теплотворной способности.....	237

Компания «Спектртрейдинг»

предоставляет участникам лесопользования в Республике Беларусь полный спектр услуг, включая финансирование приобретения машин и агрегатов, опыт скандинавских стран в планировании лесозаготовок, эксплуатации и сервисном обслуживании многооперационных машин Komatsu Forest и Valmet, оптимальные контракты по запасным частям и расходным материалам к харвестерам и форвардерам со склада в городе Минске.

ООО «Спектртрейдинг» является официальным дилером Komatsu Forest и Valmet – лесные машины на территории Республики Беларусь.

Т/ф: +37517 205-46-78 (79)

Velcom: +37529 327-57-12

forest.spt.by

www.komatsuforest.ru

www.komatsuforest.com пом. 17, каб. 3

220007 г. Минск

ул. Володько, д.6/6,



Научное издание

**МАТЕРИАЛЫ
МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО:
ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ»**

В авторской редакции
Ответственный за выпуск *Е. О. Черник*
Компьютерная верстка: *П. А. Протас, А. О. Шошин*

Подписано в печать 20.04.2017. Формат 60×84 $\frac{1}{8}$.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 28,4. Уч.-изд. л. 27,9.
Тираж 80 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.