

№21 (1)

ISSN 2307-0048

Resources and Technology

научный журнал

2024

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Resources and Technology

№21 (1)

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

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

Учредитель – ФГБОУ ВО Петрозаводский государственный университет.

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

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

Resources and Technology

№21 (1)

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

Founder: Petrozavodsk State University.

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

Редакционная коллегия:

Главный редактор:

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

Заместитель главного редактора:

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

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

Редакционный совет:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Editorial staff:

Editor-in-chief:

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

Deputy editor:

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

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

Editorial board:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Содержание №1, Т. 21, 2024

<i>Зорин М. В., Должиков И. С., Юдильевич А. М., Кривошеев А. А., Куницкая О. А., Михайлова Л. М.</i>	Экспериментальное исследование воздействия движителя лесной машины на укреплённое композитное основание	1 - 25
<i>Богданов Е. Н.</i>	Повышение производительности валочно-пакетирующей машины типа ЛП-19 за счёт совершенствования траектории движения рабочего органа	26 - 39
<i>Дручинин Д. Ю., Шавков М. В., Фатхулин В. Р., Болгов А. В.</i>	Совершенствование конструкций орудий для обработки почвы под посадку лесных культур в пласт	40 - 52
<i>Терехов Г. Г., Андреева Е. М., Стеценко С. К., Теринов Н. Н.</i>	Влияние рубок ухода на рост и плодоношение сибирской и европейской елей в культурах на Среднем Урале	53 - 72
<i>Селиверстов А. А., Симонова И. В., Талых А. А.</i>	Оценка качества еловых и сосновых сортиментов для производства продукции с повышенной добавленной стоимостью	73 - 85
<i>Гаврилова О. И., Грязькин А. В.</i>	Особенности структуры еловых фитоценозов в условиях интенсивного антропогенного воздействия	86 - 99
<i>Кузнецов А. В., Гайда А. А.</i>	Сравнительный анализ эффективности харвестеров зарубежного производства	100 - 112

Content №1, Vol. 21, 2024

<i>Zorin M., Dolzhikov I., Yudilevich A., Krivosheev A., Kunitskaya O., Mikhailova L.</i>	Experimental study of the forest machine mover impact on the reinforced composite base	1 - 25
<i>Evgenii B. N.</i>	Increasing the productivity of the felling-and-bunching machine LP-19 by improving the trajectory of the working tool	26 - 39
<i>Druchinin D. Y., Shavkov M. V., Fatkhulin V. R., Bolgov A. V.</i>	Design improvement of soil-tilling tools for forest side planting	40 - 52
<i>Terekhov G., Andreeva E., Stetsenko S., Terinov N.</i>	Influence of tending felling on the growth and seed production of Siberian and Norway spruce trees in cultures in the Middle Urals	53 - 72
<i>Seliverstov A., Simonova I., Talykh A.</i>	Quality control of spruce and pine logs for manufacturing high value added production	73 - 85
<i>Gavrilova O. I., Gryazkin A. V.</i>	Characteristic properties of spruce phytocenoses structure under conditions of intense anthropogenic impact	86 - 99
<i>Kuznetsov A. V., Gayda A. A.</i>	Comparative analysis of foreign-made harvesters efficiency	100 - 112

УДК 625.8

DOI: 10.15393/j2.art.2024.7323

Статья

Экспериментальное исследование воздействия двигателя лесной машины на укреплённое композитное основание

Зорин Максим Владимирович

*аспирант, Воронежский государственный лесотехнический университет
им. Г. Ф. Морозова (Российская Федерация), mr.maks489@yandex.ru*

Должиков Илья Сергеевич

*кандидат технических наук, преподаватель, Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет (Российская Федерация),
idolzhikov222@mail.ru*

Юдилевич Александр Михайлович

*аспирант, Братский государственный университет (Российская Федерация),
kafedra388@mail.ru*

Кривошеев Андрей Александрович

*аспирант, Ухтинский государственный технический университет
(Российская Федерация), ugtukrivosheev@mail.ru*

Куницкая Ольга Анатольевна

*доктор технических наук, профессор, Арктический государственный
агротехнологический университет (Российская Федерация), ola.ola07@mail.ru*

Михайлова Люция Михайловна

*аспирант, Арктический государственный агротехнологический университет
(Российская Федерация), lyutsiya.losotova@mail.ru*

Получена: 28 августа 2023 / Принята: 18 января 2024 / Опубликовано: 1 февраля 2024

Аннотация: В последние годы крупные и средние лесопромышленные компании начали существенно выравнивать объёмы заготовки древесины по сезонам, переходя практически на круглогодичную заготовку и вывозку древесины, не считая периодов закрытия дорог на просушку. Это связано с необходимостью равномерного внесения платежей за используемые ими банковские продукты,

в т. ч. на приобретение лесных машин, такие как кредит и лизинг. При этом можно объективно наблюдать результаты глобального потепления климата. Например, согласно данным статистики, за период с 1980 по 2020 г., т. е. за 40 лет, период устойчивой зимней вывозки древесины на Северо-Западе России сократился почти на 3 недели, а это очень существенно. Важно отметить, что потепление — это не значит, что жаркое лето и тёплая зима. Вполне может быть холодное лето с максимумом осадков и маломорозная, малоснежная зима. Также становится всё более характерным размытие межсезонных периодов. Иначе говоря, тепло и сыро может теперь быть практически круглый год. Проблему быстрого строительства временной дорожной сети в сложных условиях при помощи сборно-разборных покрытий научились решать достаточно давно. Однако процесс воздействия движителя машины на укреплённое композитное основание, представляющее собой синтетический дорожный мат и подстилающий лесной почвогрунт, до сих пор не изучен. В статье приведены методика, аппаратура и результаты экспериментальной проверки математической модели взаимодействия колёсного штампа-движителя с двуслойной опорной поверхностью, модели деформируемой плиты, размещённой на податливом (винклеровском) основании.

Ключевые слова: лесные дороги; сборно-разборные дорожные покрытия; композитное дорожное основание; первичный транспорт леса; лесосечные работы

DOI: 10.15393/j2.art.2024.7323

Article

Experimental study of the forest machine mover impact on the reinforced composite base

Maxim Zorin

Ph. D. student, Voronezh State Forestry Engineering University named after G. F. Morozov (Russian Federation), mr.maks489@yandex.ru

Ilya Dolzhikov

Ph. D. in engineering, lecture, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (Russian Federation), idolzhikov222@mail.ru

Alexander Yudilevich

Ph. D. student, Bratsk State University (Russian Federation), kafedra388@mail.ru

Krivosheev Andrey

Ph. D. student, Ukhta State Technical University (Russian Federation), ugtukrivosheev@mail.ru

Olga Kunitskaya

D. Sc. in engineering, professor, Arctic State Agrotechnological University (Russian Federation), ola.ola07@mail.ru

Lucia Mikhailova

Ph. D. student, Arctic State Agrotechnological University (Russian Federation), lyutsiya.losotova@mail.ru

Received: 28 August 2023 / Accepted: 18 January 2024 / Published: 1 February 2024

Abstract: In recent years, large and medium-sized timber companies have begun to significantly equalize the volume of timber harvesting by season, switching almost to round-the-year harvesting and removal of wood, not counting the periods of road closures for drying. This is due to the need for uniform payments for the banking products they use, including for the purchase of forest machines, such as credit and leasing. At the same time, it is possible to objectively observe the results of global climate warming. For example, according to statistics, for the period from 1980 to 2020, i. e. for 40 years, the period of stable winter timber removal in the North-West of Russia has decreased by almost 3 weeks, and this is very significant. It is important to note that warming does not mean hot summers and warm winters. It may well be a cold summer

with maximum precipitation and a frost-free, snow-free winter. The blurring of off-season periods is also becoming more and more characteristic. In other words, it can now be warm and damp almost all year round. The problem of rapid construction of a temporary road network in difficult conditions, with the help of collapsible coatings, has been learned to solve for a long time. However, the process of the forest machine mover impact on the reinforced composite base, which is a synthetic road mat and the underlying forest soil has not yet been studied. The article presents the methodology, equipment and results of experimental verification of a mathematical model of interaction of a wheel die-mover with a two-layer support surface, a model of a deformable plate placed on a pliable (Winkler) base.

Keywords: forest roads; collapsible road surfaces; composite road base; primary forest transport; logging operations

1. Введение

Лесозаготовительное производство в Российской Федерации является наименее прибыльной отраслью лесной промышленности, в связи с чем очень многие лесозаготовительные предприятия вошли в структуры комплексных лесопромышленных предприятий [1]. Во многом это связано с дорожными проблемами, возникающими при выполнении транспортных операций, к которым относятся трелёвка (первичный транспорт леса) и вывозка заготовленной древесины [2], [3]. Более половины территории лесного фонда РФ располагается на почвогрунтах III категории, работа на которых в тёплый период года затруднена ввиду резкого падения их несущей способности [4—7]. При этом многие крупные и средние лесозаготовительные предприятия всё больше вынуждены выравнивать объём лесозаготовок по сезонам, ввиду необходимости равномерного обслуживания используемых ими банковских продуктов (кредит, лизинг), благодаря которым они в т. ч. закупают необходимые машины и оборудование [1], [8], [9]. В результате всё большие объёмы заготовки древесины приходится на тёплые периоды года, что в условиях преобладания слабонесущих почвогрунтов или оттаивающего в тёплый период верхнего слоя вечной мерзлоты приводит к чрезмерным воздействию на лесные экосистемы и нагрузкам на лесные машины [10], [11].

Эксплуатационная эффективность лесных машин оценивается рядом показателей: производительность, энергоёмкость работы, удельная нагруженность систем, узлов и деталей машины, коэффициент технической готовности [12], [13]. При большой динамике колееобразования нагрузки в трансмиссиях лесных машин и расход топлива существенно увеличиваются, эксплуатационная эффективность снижается [14], [15]. Глубокие колеи в лесных массивах служат очагами водной и ветровой эрозии, что приводит к резкому снижению устойчивости лесной экосистемы и снижению производительности последующей сукцессии [16], [17]. Следовательно, и экологическая эффективность снижается. Чрезмерное воздействие на лесную среду от работы лесных машин на почвогрунтах со слабой несущей способностью приводит не только к сиюминутным потерям ввиду лишнего расхода топлива и более частых ремонтов машин, но и к долгосрочным затратам на восстановление леса в сильно повреждённой лесной экосистеме [18—21].

В связи с этим часто остро необходимы быстро монтируемые (и быстро демонтируемые) сборно-разборные покрытия, эффективно защищающие почвогрунты от чрезмерного негативного воздействия. Их использование будет способствовать повышению как экологической, так и эксплуатационной эффективности лесных машин на трелёвке и вывозке заготовленной древесины.

2. Материалы и методы

Основной целью экспериментальных исследований являлась проверка результатов, полученных при теоретическом моделировании воздействия движителя машины

на укреплённое композитное основание, представляющее собой синтетический дорожный мат и подстилающий лесной почвогрунт.

Прогиб дорожного мата под внешней нагрузкой, характеризуемой средним давлением по пятну контакта. Прогиб и является оценкой глубины колеи h , образующейся в лесном грунте при движении машины. Составленная ранее математическая модель использует такие величины, как толщина дорожного мата H_0 , среднее давление по пятну контакта p и несущая способность лесного грунта p_s .

Ввиду вариативности свойств лесного почвогрунта и сложности измерения прогиба непосредственно в полевых условиях, было принято решение о проведении лабораторных испытаний. Использование методов теории подобия при обосновании параметров стенда сложно из-за нелинейной связи несущей способности лесного грунта, геометрических параметров пятна контакта и нагрузки на эластичный движитель, в связи с чем стенд спроектирован и выполнен в масштабе 1 : 1; таким образом, результаты измерений будут соответствовать натурным.

Схема экспериментального стенда представлена на рисунке 1. Экспериментальный стенд смонтирован на базе кафедры «Технология и оборудование лесного комплекса» ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет» при участии в исследованиях, проводимых в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства».

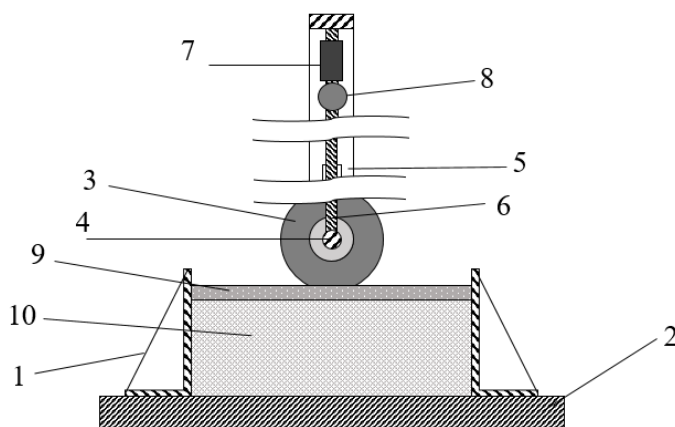


Рисунок 1. Экспериментальный стенд для определения прогиба дорожного мата:

1 — стенки лотка, 2 — жёсткое основание, 3 — эластичный штамп, 4 — вал, 5 — направляющие, 6 — шток, 7 — динамометр, 8 — механизм создания усилия, 9 — дорожный мат, 10 — почвогрунт в лотке [рисунок авторов]

Figure 1. Experimental stand for determining the deflection of the road mat: 1 — tray walls, 2 — rigid base, 3 — elastic stamp, 4 — shaft, 5 — guides, 6 — rod, 7 — dynamometer, 8 — force creation mechanism, 9 — road mat, 10 — soil in the tray

Металлический лоток с усиленными стенками (1) жёстко смонтирован на бетонном основании (2), эластичный штамп, представляющий собой колесо (3), размещён на валу (4) и перемещается в плоскости вертикальных направляющих (5) с возможностью фиксации, шток (6) передаёт усилие G_w , создаваемое рычажным домкратом (7) непосредственно при вдавливании штампа. Величина создаваемого усилия G_w контролируется по показаниям динамометра сжатия (8).

Экспериментальный материал, представляющий собой секцию синтетического дорожного мата (9) и подстилающий лесной почвогрунт (10), размещён в металлическом лотке (1).

Прогиб дорожного мата определяется по мерной шкале, нанесённой на направляющие (5), как разность положения нижней точки вала (4) в свободном (под собственным весом) и нагруженном состоянии.

Стенд был рассчитан на испытания с использованием штампа-колеса с внешним диаметром $d \approx 1,333$ м и шириной шины $b \approx 0,7$ м (стандартные параметры для лесных машин). Глубина распространения деформаций в массиве почвогрунта приближённо равна $H \approx 2b$, при этом боковые деформации затухают более резко. С учётом отмеченного, а также перспективы замены штампа на более габаритный высота стенок лотка составляет 1,7 м, длина по бортам 2,1 м. Такие размеры позволяют свободно укладывать секцию синтетического дорожного мата на лесной почвогрунт, размещённый в лотке. Лоток представляет собой сварную стальную конструкцию со стенками, усиленными дополнительными распорками.

Для создания усилия G_w выбран механический реечный домкрат Nordicwind (б/м) с грузоподъёмностью 10 т и усилием на ручке 122,5 кН. Ход рейки домкрата составляет 300 мм, что полностью отвечает условиям опытов, поскольку случаи прогиба синтетического мата свыше 0,2 м не представляют интереса с точки зрения практики (при образовании колеи свыше 0,2 м лесной грунт, в большинстве случаев, теряет несущую способность).

Электронный динамометр сжатия FB100k 100kN (10 т) 20N позволяет оперативно фиксировать создаваемое усилие с возможностью записи данных на microSD-носитель.

Штамп выполнен на основе колеса форвардера Ponsse Buffalo с пневматической шиной 600/55-26,5 20PR tianli forestry flotation HF-2 TL, внешний диаметр $d = 1344$ мм, ширина профиля $b = 610$ мм по документации, внутреннее давление $p_w = 0,35$ МПа.

Экспериментальный параметр H_0 управляется непосредственно выбором дорожного мата, укладываемого на почвенно-грунтовое основание. В экспериментах при определении его характеристик ориентировались на сведения производителя. Параметр p управляется изменением усилия G_w , сообщаемого через рычаг, при этом учитывается эластичность колеса:

$$h_z = \frac{G_w}{\pi p_w \sqrt{bd}} \quad (1)$$

где d — диаметр колеса, b — ширина пятна контакта, принимаемая равной ширине шины, p_w — давление в шине, h_z — радиальная деформация колеса, влияющая на длину пятна контакта l :

$$l = 2\sqrt{h_z d - h_z^2}, \quad (2)$$

тогда среднее давление:

$$p = \frac{G_w}{bl} = \frac{G_w}{2b \sqrt{\left(\frac{G_w}{\pi p_w \sqrt{bd}}\right) d - \left(\frac{G_w}{\pi p_w \sqrt{bd}}\right)^2}}, \quad (3)$$

Несущая способность p_s является производной величиной и зависит от фундаментальных механических характеристик почвогрунта C , φ и параметров пятна контакта b , l , глубины распространения деформаций H и непосредственно деформации грунта h . Эти факторы влияют на p_s в разной степени, и в теоретических расчётах, с учётом развития вычислительных средств, пренебрегать частью из них нет необходимости. В экспериментах, с учётом изменчивости свойств грунта, следует выделить наиболее важные параметры, позволяющие оценить p_s с точностью, достаточной для практики.

Воспользуемся следующими соображениями. Поскольку прогиб мата, по условиям эксперимента, не превосходит 0,2 м, влиянием деформации почвогрунта h на p_s можно пренебречь. Близкое к единице соотношение сторон пятна контакта для колёсного движителя отмечается на сравнительно прочных лесных почвогрунтах; жёсткость дорожного мата выше, через него же воздействие штампа передаётся на экспериментальный почвогрунт в опытах. По этим причинам в формулах для расчёта несущей способности можно принять $b \approx l$.

Влияние удельного веса γ на p_s мало даже в теории.

Тогда для оценки несущей способности в эксперименте можем воспользоваться упрощёнными формулами:

$$p_s = 0,5J_1 N_1 \gamma b + J_3 N_3 C, \quad (4)$$

где параметры внутреннего трения:

$$S = \operatorname{tg} \frac{\pi - 2\varphi}{4}, N_1 = \frac{1 - S^4}{S^5}, N_3 = 2 \frac{1 + S^2}{S^3}, \quad (5)$$

и геометрии:

$$J_1 = \frac{b}{b + 0,4b} \approx 0,714, J_3 = \frac{b + b}{b + 0,5b} \approx 1,333, \quad (6)$$

удельный вес лесного грунта примем $\gamma = 0,0085$ МН/м³ (среднее значение для трёх категорий прочности), тогда окончательно для оценки p_s в эксперименте получим:

$$p_s = 0,00304 \frac{1 - S^4}{S^5} b + 2,667 \frac{1 + S^2}{S^3} c, \quad (7)$$

Таким образом, в опытах p_s определяется расчётным путём по результатам замера удельного сцепления C и угла внутреннего трения почвогрунта φ . Для определения удельного сцепления используется полевой сдвигомер-крыльчатка (тип III) (ГОСТ 20276.5-2020 Грунты. Метод вращательного среза), для определения угла внутреннего трения используется пенетромтр статического действия ПСГ-МГ4. Измерения проводятся непосредственно перед укладкой синтетического мата на подготовленный лесной грунт.

Суть эксперимента заключается в следующем. После подготовки экспериментального лесного грунта (10) в лотке (1), включающей его выравнивание с использованием строительного правила и контроль механических свойств, на поверхности грунта размещается фрагмент синтетического дорожного мата (9) размером $2,0 \times 1,4$ м. Штамп (3) опускается до контакта с поверхностью мата (9), фиксируется положение вала (4), результат измерения положения нижней точки вала отмечается в журнале. После этого вал (4) отпускается и далее штамп (3) вдавливается под собственным весом (200 кг) и действием усилия от реечного домкрата (7) с регистрацией показаний динамометра (8). При достижении заданной отметки динамометра (8) вал (4) вновь фиксируется и регистрируется положение его нижней точки. Разность показаний по шкале на направляющих (5) представляет собой прогиб синтетического мата (9) — целевую функцию эксперимента. После окончания экспериментов грунт (10) в лотке (1) рыхлится, далее вновь происходит его подготовка к следующему наблюдению.

При необходимости снизить прочностные свойства происходит увлажнение грунта (10).

Для оценки сходимости результатов, во-первых, оценим влияние погрешностей измерения экспериментальных величин на целевую функцию.

Предположим, ранее составленная математическая модель верна, а различия объясняются лишь погрешностями измерений экспериментальных величин. Вычислим линеаризованную оценку погрешности измерений на стенде. Для этого необходимо оценить сумму [22]:

$$\Delta_y = \sum_{j=1}^N \left| \frac{\partial y}{\partial x_j} \right| \Delta_{x_j}, \quad (8)$$

где y — измеряемая величина как функция экспериментальных факторов x , j — номер фактора, N — число факторов, Δ — абсолютная ошибка.

Для наглядности представим результаты в относительных величинах:

$$\delta_y = \left(\frac{1}{y} \sum_{j=1}^N \left| \frac{\partial y}{\partial x_j} \right| \Delta_{x_j} \right) \cdot 100\%, \quad (9)$$

Примем следующие относительные погрешности величин в опытах:

Величина	b	d	p_w	G_w	H_0	C	φ
$\delta \cdot 100 \%$	5	5	5	1	5	1,5	1,5

В таблице 1 приведены условия проведения экспериментов, а также результаты оценки относительной погрешности целевой функции, обусловленной погрешностями измерения экспериментальных величин.

Таблица 1. Условия проведения опытов и оценка влияния погрешности измерений на целевую функцию (прогиб синтетического мата)

Table 1. Experimental conditions and evaluation of measurement error effect on the target function (deflection of synthetic mat)

№	b , м	d , м	p_w , МПа	G_w , МН	H_0 , м	Кат. грунта	$\delta \cdot 100 \%$	Примечание
1	0,61	1,341	0,35	0,0196	0,04	II	11,0	$C \approx 0,012$ МПа, $\varphi \approx 15^\circ$ ступени нагрузки соотв. 2, 4, 6 тс
2	0,61	1,341	0,35	0,0392	0,04	II	11,1	
3	0,61	1,341	0,35	0,0589	0,104	II	11,8	
4	0,61	1,341	0,35	0,0196	0,02	II	10,9	
5	0,61	1,341	0,35	0,0196	0,104	III	11,5	$C \approx 0,005$ МПа, $\varphi \approx 11^\circ$, увлажнённый грунт
6	0,61	1,341	0,35	0,0392	0,104	III	11,6	

Как показала линеаризованная оценка, отклонение теоретических результатов от эксперимента в пределах 11—12 % может быть обусловлено конструкцией стенда и методикой эксперимента, что, с учётом вариативности свойств лесного грунта, следует признать хорошим показателем. Это обстоятельство будем учитывать при оценке качества теоретических разработок.

Более строгим, чем линеаризованная оценка погрешности, критерием сходимости является совпадение теоретических и экспериментальных данных и их совпадение в пределах доверительных границ варьирования экспериментальной величины при повторных наблюдениях в опытах. Для применения критерия необходимо установить соответствие закона распределения экспериментальных наблюдений гауссову распределению.

Выдвигается гипотеза о соответствии распределения случайной величины гауссову закону. Вариационный ряд результатов повторных наблюдений в каждом опыте делится на интервалы, число которых принимается по формуле [23]:

$$K = [1 + 3,32 \lg n], \quad (10)$$

где n — число наблюдений.

Далее вычисляются плотности относительных частот результатов наблюдений [23]:

$$p_k = \frac{n_k}{sn}, \quad (11)$$

где k — порядковый номер интервала, s — шаг интервалов [23]:

$$s = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{K}, \quad (12)$$

Рассчитывается теоретическое распределение плотностей относительных частот при гауссовом распределении [23]:

$$p_k^{\text{теор}} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y_{\text{средн},k} - \mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (13)$$

где μ , σ — параметры гауссова распределения, совпадающие со средним арифметическим и выборочным стандартным отклонением [23]:

$$\mu = y_{\text{средн}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (14)$$

$$\sigma = S = \sqrt{\frac{\sum (y_i - y_{\text{средн}})^2}{1 - n}}. \quad (15)$$

Расчётное значение критерия согласия Пирсона определяется по формуле [23]:

$$\chi_{\text{расч}}^2 = \sum_{k=1}^K \frac{(p_k - np_k^{\text{теор}})^2}{np_k^{\text{теор}}}, \quad (16)$$

Гипотеза о соответствии распределения гауссовому распределению отвергается в том случае, когда [23]:

$$\chi_{\text{расч}}^2 > \chi_{\text{крит}}^2, \quad (17)$$

где $\chi_{\text{крит}}^2$ — табличное значение критерия Пирсона при заданном уровне значимости и числе степеней свободы.

Если же неравенство (17) не выполняется, то гипотеза не отвергается, и далее распределение считается гауссовым.

Достаточность количества выполненных наблюдений устанавливается соблюдением неравенства [23]:

$$n \geq \sqrt{\frac{t^2 v^2}{\alpha^2}}, \quad (18)$$

где t — значение двусторонней t -статистики Стьюдента при заданном уровне значимости α и числе степеней свободы, v — коэффициент вариации [23]:

$$v = \frac{S}{y_{\text{средн}}}. \quad (19)$$

Оценка доверительных границ варьирования экспериментальной величины даётся формулой [23]

$$y_{\text{средн}} - St \leq y \leq y_{\text{средн}} + St, \quad (20)$$

В том случае, если результаты теоретического моделирования отклоняются от экспериментальных данных на величины, лежащие в пределах $\pm St$, можем сделать вывод об удовлетворительной сходимости теории и эксперимента.

3. Результаты

Подробно проиллюстрируем результаты проведённых опытов на примере опыта № 1, а также изложим сводные данные по всем опытам.

На рисунке 2 показаны результаты измерения удельного сцепления экспериментального лесного грунта, выполненного при помощи полевого сдвигомера-крыльчатки.

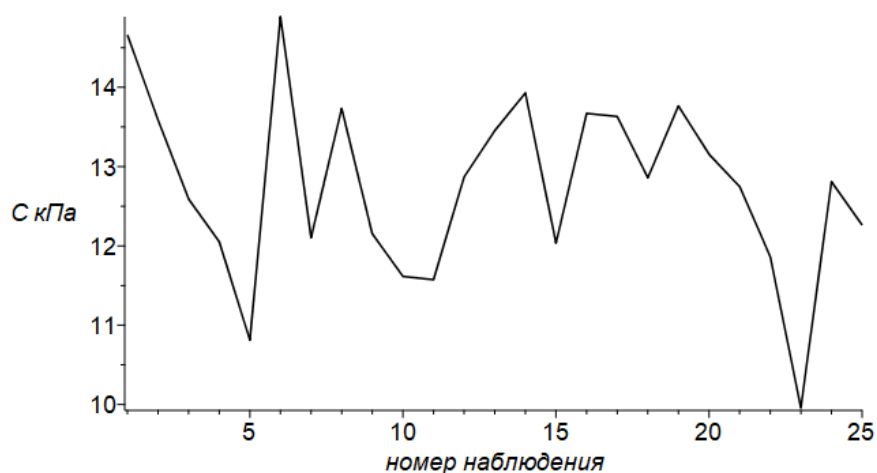


Рисунок 2. Результаты измерения удельного сцепления грунта по наблюдениям в опыте № 1 [рисунок авторов]

Figure 2. The results of measuring the specific adhesion of the soil according to observations in experiment No. 1

Как показывает график, несмотря на разброс данных, наблюдения, в целом, повторяют оценку удельного сцепления для лесного грунта II категории прочности $C = 0,012$ МПа (таблица 2).

Гистограмма и теоретическая кривая плотности относительных частот удельного сцепления грунта в опыте № 1 представлены на рисунке 3.

Таблица 2. Результаты экспериментальных исследований, опыт № 1 (лесной грунт II категории прочности, $H_0 = 40$ мм, $G_w = 0,0196$ МН соотв. 2 тс)

Table 2. Results of experimental studies, experiment No. 1 (forest soil of strength category II, $H_0 = 40$ mm, $G_w = 0.0196$ MN, respectively. 2 vehicles)

№	C , МПа	φ , °	p_s , МПа	$h_{\text{теор}}$, м	$h_{\text{эксп}}$, м	ε , %
1	0,0147	15,2	0,1479	0,13497	0,134	0,7
2	0,0136	15,1	0,1371	0,14554	0,124	17,4
3	0,0126	13,9	0,1209	0,16509	0,123	34,2
4	0,0121	17,2	0,1349	0,14791	0,135	9,6
5	0,0108	16,3	0,1171	0,17047	0,186	8,3
6	0,0149	15,5	0,1521	0,13118	0,132	0,6
7	0,0121	17,0	0,1342	0,14866	0,169	12,0
8	0,0137	15,9	0,1436	0,13893	0,156	10,9
9	0,0122	15,5	0,1258	0,15861	0,151	5,0
10	0,0116	16,8	0,1280	0,15590	0,179	12,9
11	0,0116	15,5	0,1199	0,16642	0,163	2,1
12	0,0129	15,0	0,1294	0,15427	0,158	2,4
13	0,0135	18,1	0,1556	0,12825	0,106	21,0
14	0,0139	15,4	0,1421	0,14043	0,109	28,8
15	0,0120	17,0	0,1332	0,14982	0,123	21,8
16	0,0137	13,6	0,1287	0,15510	0,173	10,3
17	0,0136	15,1	0,1377	0,14489	0,157	7,7
18	0,0129	14,3	0,1254	0,15911	0,136	17,0
19	0,0138	14,2	0,1332	0,14985	0,134	11,8
20	0,0132	14,6	0,1298	0,15381	0,161	4,5
21	0,0127	16,1	0,1348	0,14806	0,143	3,5
22	0,0119	17,3	0,1333	0,14969	0,180	16,8
23	0,0100	15,0	0,1022	0,19527	0,224	12,8
24	0,0128	16,0	0,1353	0,14754	0,176	16,2
25	0,0123	14,6	0,1215	0,16428	0,159	3,3

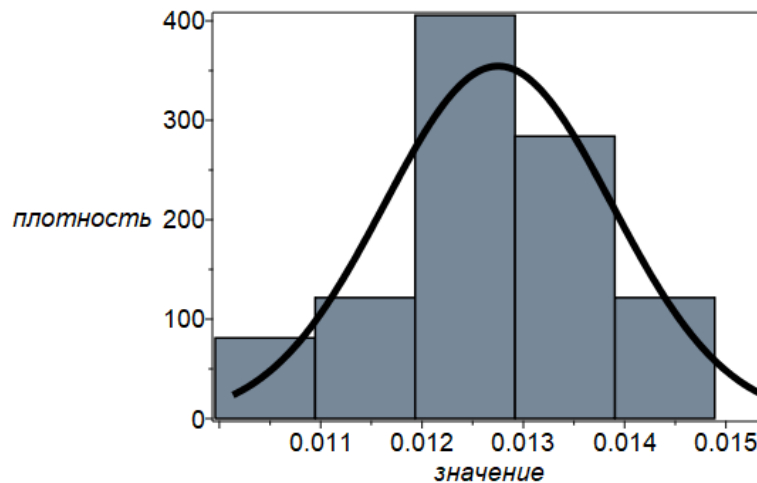


Рисунок 3. Гистограмма и теоретическая кривая плотности относительных частот удельного сцепления грунта в опыте № 1 [рисунок авторов]

Figure 3. Histogram and theoretical density curve of relative frequencies of specific soil adhesion in experiment No. 1

Расчёт критерия согласия Пирсона показал, что оснований отвергать гипотезу о гауссовом распределении результатов измерения удельного сцепления нет, $\chi^2_{\text{расч.}} = 0,4 < \chi^2_{\text{крит.}} = 9,4877$.

На рисунке 4 представлены результаты измерения угла внутреннего трения экспериментального лесного почвогрунта, выполненного при помощи статического пенетromетра.

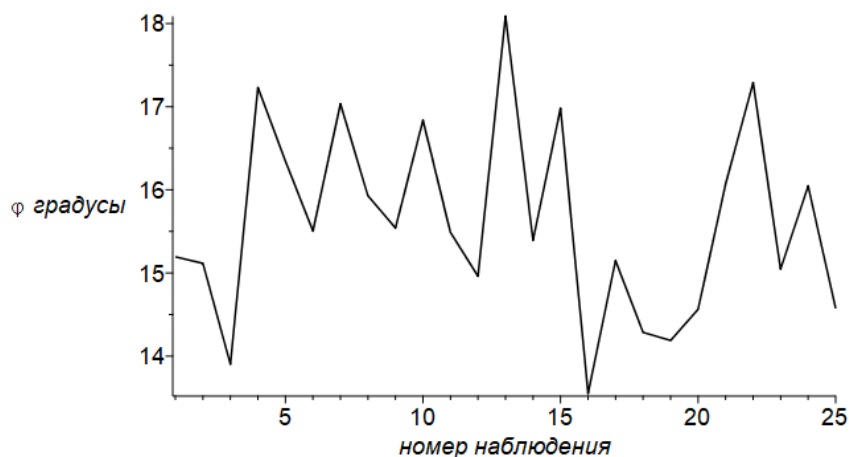


Рисунок 4. Результаты измерения угла внутреннего трения почвогрунта по наблюдениям в опыте № 1 [рисунок авторов]

Figure 4. The results of measuring the angle of internal friction of the soil according to observations in experiment No. 1

Гистограмма и теоретическая кривая плотности относительных частот угла внутреннего трения почвогрунта в опыте № 1 представлены на рисунке 5.

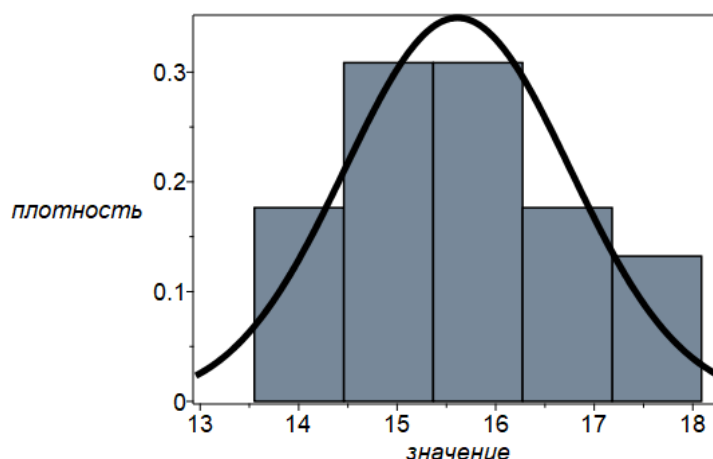


Рисунок 5. Гистограмма и теоретическая кривая плотности относительных частот угла внутреннего трения почвогрунта в опыте № 1 [рисунок авторов]

Figure 5. Histogram and theoretical curve of the density of relative frequencies of the angle of internal friction of the soil in experiment No. 1

Расчёт критерия согласия Пирсона показал, что оснований отвергать гипотезу о гауссовом распределении результатов измерения угла внутреннего трения также нет, $\chi^2_{\text{расч.}} = 0,8 < \chi^2_{\text{крит.}} = 9,4877$. Результаты несущей способности почвогрунта, величины производной от удельного сцепления и угла внутреннего трения, проиллюстрированы на рисунке 6.

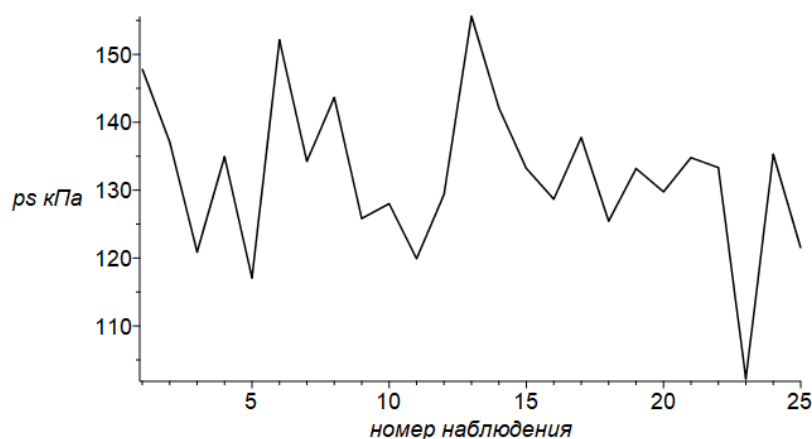


Рисунок 6. Результаты расчёта несущей способности почвогрунта по наблюдениям в опыте № 1 [рисунок авторов]

Figure 6. The results of the calculation of the bearing capacity of the soil according to observations in experiment No. 1

Гистограмма и теоретическая кривая плотности относительных частот производной экспериментальной величины в опыте № 1 представлены на рисунке 7.

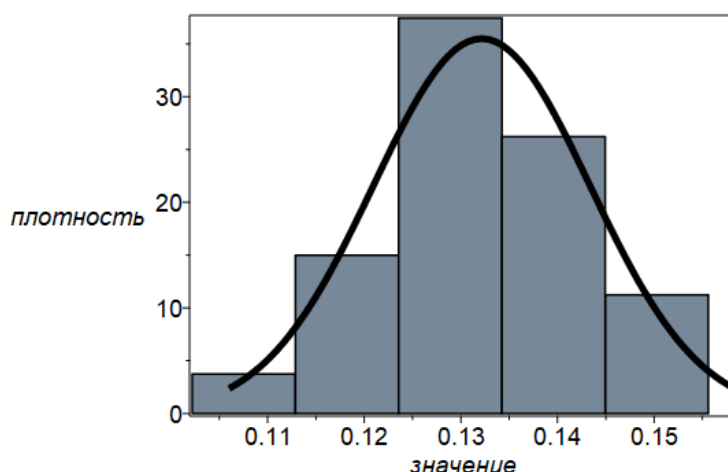


Рисунок 7. Гистограмма и теоретическая кривая плотности относительных частот несущей способности почвогрунта в опыте № 1 [рисунок авторов]

Figure 7. Histogram and theoretical curve of the density of relative frequencies of the bearing capacity of the soil in experiment No. 1

В случае с несущей способностью расчёт критерия согласия Пирсона также показал, что оснований отвергать гипотезу об её гауссовом распределении не выявлено, $\chi^2_{\text{расч.}} = 2,8 < \chi^2_{\text{крит.}} = 9,4877$. Перед проверкой сходимости теории с экспериментом в опыте убедимся в распределении прогиба синтетического мата. Гистограмма и теоретическая кривая плотности относительных частот прогиба в опыте № 1 представлены на рисунке 8.

Оснований отвергать гипотезу о гауссовом распределении прогиба в опыте № 1 не выявлено: $\chi^2_{\text{расч.}} = 0,4 < \chi^2_{\text{крит.}} = 9,4877$. На рисунке 9 для наглядности сопоставлены графики, иллюстрирующие результаты измерения прогиба синтетического мата в опыте № 1 с лесным почвогрунтом II категории прочности и результаты расчёта, выполненные с учётом толщины мата $H_0 = 40 \text{ мм} = 0,04 \text{ м}$ по составленной ранее математической модели; при этом несущая способность p_s рассчитана на основе экспериментальных значений C , φ по формуле (7), а среднее давление p — по формуле (3).

На рисунке 10 в виде точек представлены результаты теоретического расчёта прогиба мата при условиях, соответствовавших экспериментальным наблюдениям, в зависимости от результатов экспериментальных наблюдений. Красными линиями обозначены границы варьирования экспериментальной величины, определённые по формуле (20).

Оценка достаточности количества выполненных наблюдений показала, что условие соблюдено: выполнено 25 наблюдений, для заключения с точностью 95 % достаточно выполнить 17 наблюдений. На рисунках 11—15 аналогичным образом проиллюстрирована сходимость теоретических результатов с экспериментом в опытах № 5—6.

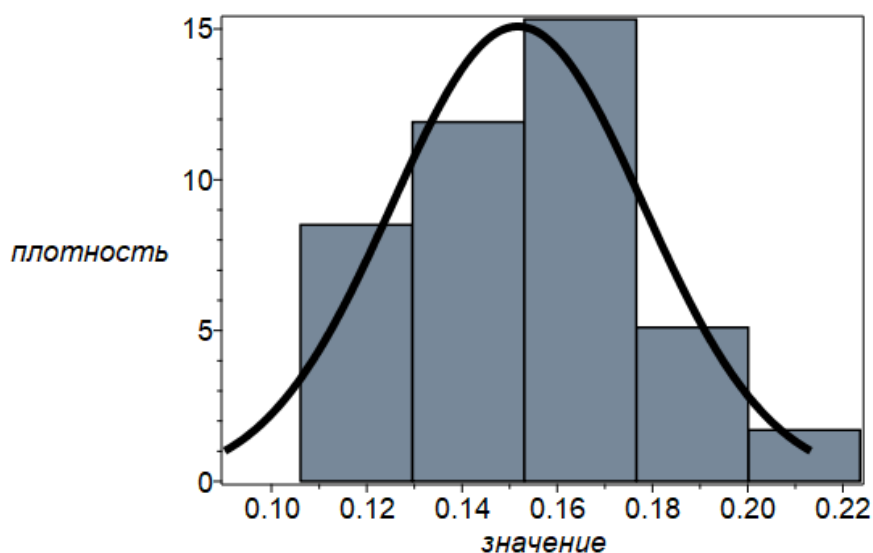


Рисунок 8. Гистограмма и теоретическая кривая плотности при относительных прогибах синтетического мата в опыте № 1 [рисунок авторов]

Figure 8. Histogram and theoretical curve of relative deflection density of synthetic mat in experiment No. 1

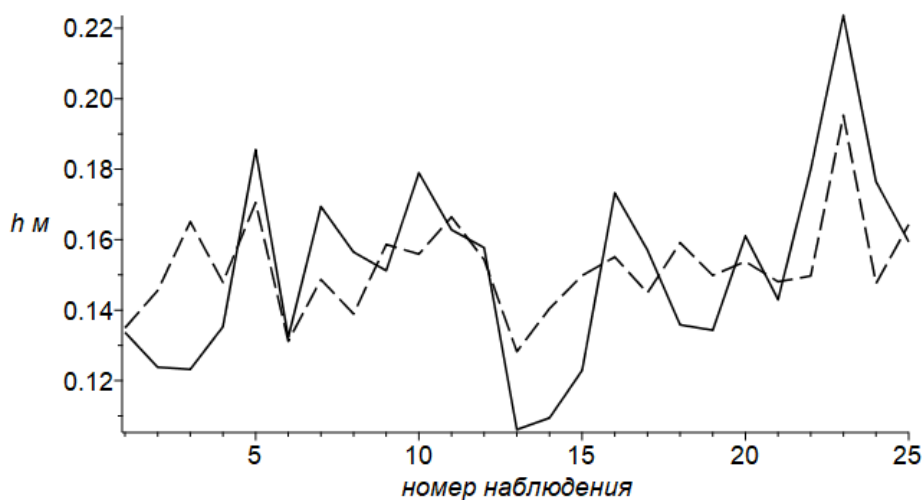


Рисунок 9. Экспериментальные (сплошная линия) и теоретические (пунктирная линия) значения прогиба синтетического мата в опыте № 1 [рисунок авторов]

Figure 9. Experimental (solid line) and theoretical (dotted line) values of the deflection of the synthetic mat in experiment No. 1

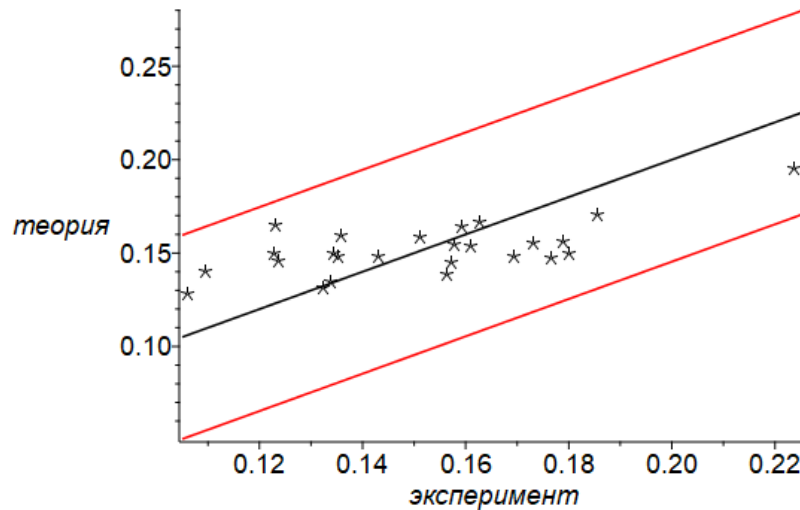


Рисунок 10. Оценка сходимости теоретических и экспериментальных значений прогиба синтетического мата в опыте № 1 (лесной грунт II категории прочности, $H_0 = 40$ мм, $G_w = 0,0196$ МН соотв. 2 тс) [рисунок авторов]

Figure 10. Evaluation of the convergence of theoretical and experimental values of the deflection of a synthetic mat in experiment No. 1 (forest soil of strength category II, $H_0 = 40$ mm, $G_w = 0.0196$ MN, respectively. 2 vehicles)

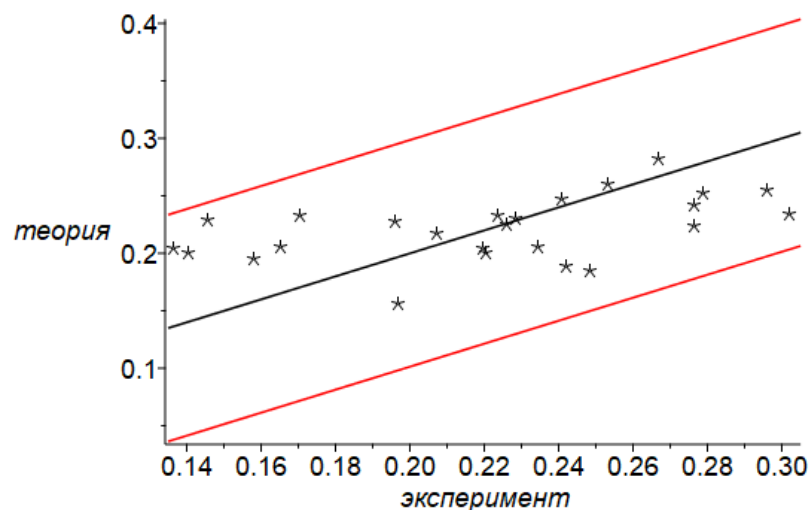


Рисунок 11. Оценка сходимости теоретических и экспериментальных значений прогиба синтетического мата в опыте № 2 (лесной грунт II категории прочности, $H_0 = 40$ мм, $G_w = 0,0392$ МН соотв. 4 тс) [рисунок авторов]

Figure 11. Evaluation of the convergence of theoretical and experimental values of the deflection of a synthetic mat in experiment No. 2 (forest soil of strength category II, $H_0 = 40$ mm, $G_w = 0.0392$ MN, respectively. 4 vehicles)

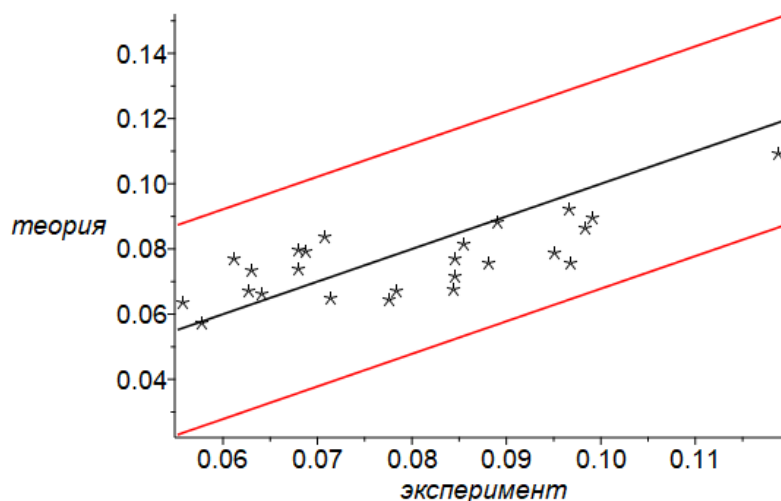


Рисунок 12. Оценка сходимости теоретических и экспериментальных значений прогиба синтетического мата в опыте № 3 (лесной грунт II категории прочности, $H_0 = 104$ мм, $G_w = 0,0589$ МН соотв. 6 тс) [рисунок авторов]

Figure 12. Evaluation of the convergence of theoretical and experimental values of the deflection of a synthetic mat in experiment No. 3 (forest soil of strength category II, $H_0 = 104$ mm, $G_w = 0.0589$ MN, respectively. 6 vehicles)

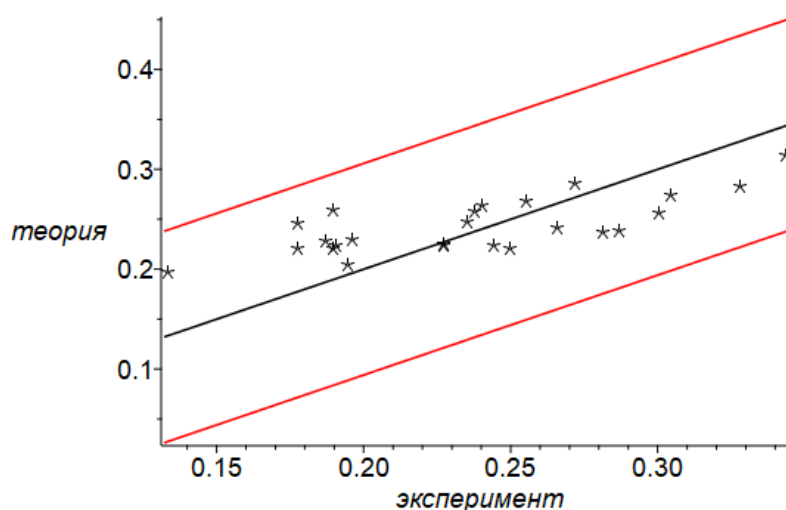


Рисунок 13. Оценка сходимости теоретических и экспериментальных значений прогиба синтетического мата в опыте № 4 (лесной грунт II категории прочности, $H_0 = 20$ мм, $G_w = 0,0196$ МН соотв. 2 тс) [рисунок авторов]

Figure 13. Evaluation of the convergence of theoretical and experimental values of the deflection of a synthetic mat in experiment No. 4 (forest soil of strength category II, $H_0 = 20$ mm, $G_w = 0.0196$ MN, respectively. 2 vehicles)

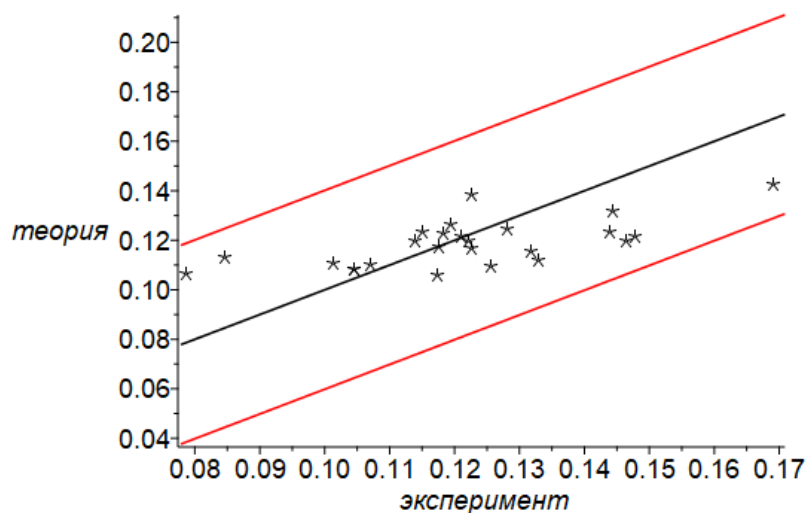


Рисунок 14. Оценка сходимости теоретических и экспериментальных значений прогиба синтетического мата в опыте № 5 (лесной грунт III категории прочности, $H_0 = 104$ мм, $G_w = 0,0196$ МН соотв. 2 тс) [рисунок авторов]

Figure 14. Evaluation of the convergence of theoretical and experimental values of the deflection of a synthetic mat in experiment No. 5 (forest soil of strength category III, $H_0 = 104$ mm, $G_w = 0.0196$ MN, respectively. 2 vehicles)

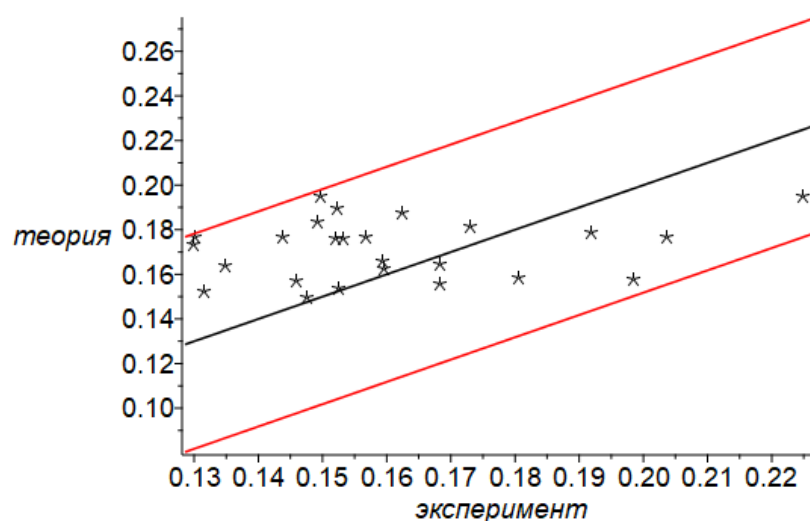


Рисунок 15. Оценка сходимости теоретических и экспериментальных значений прогиба синтетического мата в опыте № 6 (лесной грунт III категории прочности, $H_0 = 104$ мм, $G_w = 0,0392$ МН соотв. 4 тс) [рисунок авторов]

Figure 15. Evaluation of the convergence of theoretical and experimental values of the deflection of a synthetic mat in experiment No. 6 (forest soil of strength category III, $H_0 = 104$ mm, $G_w = 0.0392$ MN, respectively. 4 vehicles)

В таблице 3 приведены сводные данные об оценке сходимости результатов теоретических и экспериментальных исследований, рассчитанные с использованием данных, представленных в приложении. Для несущей способности p_s , экспериментального значения прогиба мата $h_{\text{эксп.}}$, отклонения результатов теоретических расчётов от экспериментов в таблице 3 приведены средние значения, рассчитанные по всем наблюдениям в каждом из опытов.

Таблица 3. Сводные данные по оценке сходимости результатов теоретических и экспериментальных исследований

Table 3. Summary data on the evaluation of the convergence of the results of theoretical and experimental studies

№ опыта	Категория грунта	G_w , МН	H_0 , м	p_s , МПа	$h_{\text{эксп.}}$, м	ε , %
1	II	0,0196	0,104	0,1321	0,1516	12
2	II	0,0392	0,104	0,1302	0,2220	12,1
3	II	0,0196	0,04	0,1332	0,0796	12,8
4	II	0,0392	0,04	0,1302	0,2374	11,9
5	III	0,0589	0,104	0,0480	0,1217	12,5
6	III	0,0196	0,02	0,0475	0,1608	12,6

4. Выводы

Обработка результатов эксперимента и сравнение с теоретическими оценками показали, что отклонение данных сопоставимо с оценкой погрешности измерения экспериментального стенда. Ни в одном из опытов различия экспериментальных данных и теоретических оценок прогиба мата не выходят за доверительные границы варьирования экспериментальной величины с вероятностью 95 %. Таким образом, разработанные теоретические положения нашли подтверждение в проведённых опытах для лесных почвогрунтов II и III категорий прочности.

Исследование выполнено в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» и на средства гранта Российского научного фонда № 23-16-00092, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>.

Список литературы

1. Григорьев И. В., Григорьева О. И. Эффективность лесопользования в России // Энергия: экономика, техника, экология. 2016. № 5. С. 24—30.
2. Григорьев И. В., Григорьева О. И. Основные направления обеспечения экологической безопасности лесозаготовительного производства // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, № 2-1 (13-1). С. 202—205.

3. Григорьев И. В., Григорьева О. И., Вернер Н. Н. Системы машин для создания и эксплуатации лесных плантаций // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2017. Т. 5, № 5 (31). С. 438—443.
4. Уточнённая модель для оценки тягово-сцепных свойств колёсного движителя лесной машины / Е. Г. Хитров, А. М. Хахина, М. Н. Дмитриева [и др.] // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2016. № 217. С. 108—119.
5. Чемишкова Ю. М., Давтян А. Б., Григорьева О. И. Транспортно-технологические системы для лесоразведения на базе гусеничных вездеходов // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Междунар. научно-техн. конф. / Отв. ред. Н. С. Захаров. Тюмень, 2020. С. 400—403.
6. Тетеревлева Е. В., Гринько О. И., Григорьева О. И. Транспортно-технологические машины для тушения лесных пожаров на базе колёсных вездеходов // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Междунар. научно-техн. конф. / Отв. ред. Н. С. Захаров. Тюмень, 2020. С. 374—377.
7. Григорьев И. В., Чураков А. А., Григорьева О. И. Перспективная конструкция вездехода для лесного хозяйства // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Междунар. научно-техн. конф. Тюмень, 2017. С. 136—139.
8. Концепция универсальной машины для выполнения лесохозяйственных работ и тушения лесных пожаров / О. И. Григорьева, А. Б. Давтян, О. И. Гринько [и др.] // Машиностроение: новые концепции и технологии: Сб. трудов Всерос. научно-практич. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных. Красноярск, 2020. С. 45—49.
9. Тюрин Н. А., Григорьев И. В., Григорьева О. И. Проблемы подготовки специалистов лесозаготовительного производства для устойчивого лесопользования // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2, № 2-3 (7-3). С. 363—367.
10. Поиск новых технических решений для повышения экологической совместимости лесных машин с лесной средой / И. В. Григорьев, И. И. Тихонов, О. И. Григорьева [и др.] // Интенсификация формирования и охраны интеллектуальной собственности: Материалы республиканской научно-практич. конф., посвящённой 75-летию ПетрГУ. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2015. С. 9—11.
11. Григорьев И. В., Григорьева О. И. Повышение экологической эффективности лесохозяйственного производства // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2, № 3-4 (8-4). С. 51—55.
12. Управляемый межосевой механизм распределения мощности трансмиссии лесных колёсно-гусеничных машин / Р. Ю. Добрецов, А. С. Дмитриев, К. В. Черемисин [и др.] // Системы. Методы. Технологии. 2023. № 1 (57). С. 43—48.
13. Григорьева О. И. Новая машина для очистки лесосек // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2, № 5-3 (10-3). С. 96—99.
14. Никифорова А. И., Григорьева О. И. Моделирование воздействия движителей лесных машин на почвы лесосек // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, № 5-4 (16-4). С. 320—323.
15. Григорьев И. В., Чураков А. А., Григорьева О. И. Перспективная конструкция гусеничного форвардера // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Междунар. научно-техн. конф. Тюмень, 2017. С. 140—144.
16. Григорьева О. И. Особенности естественного лесовосстановления в условиях криолитозоны // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2018. Т. 6, № 4 (40). С. 25—29.

17. Оценка экологической безопасности работы лесных машин / А. И. Никифорова, О. И. Григорьева, Д. С. Киселев [и др.] // Природные ресурсы и экология Дальневосточного региона: Материалы Междунар. научно-практич. форума. Хабаровск, 2013. С. 134—138.
18. Перспективы импортозамещения систем машин для искусственного лесовосстановления / О. И. Григорьева, В. А. Макуев, Е. В. Барышникова [и др.] // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 3 (55). С. 78—84.
19. Эффективность лесопользования в криолитозоне / С. Е. Рудов, И. В. Григорьев, О. И. Григорьева [и др.] // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: Материалы Междунар. научно-практич. конф. Воронеж, 2020. С. 460—463.
20. Григорьев И. В., Григорьева О. И., Никифорова А. И. Возможности биоконсервации при проведении сплошных рубок леса // Биоразнообразие. Биоконсервация. Биомониторинг: Сб. материалов Междунар. научно-практич. конф. / Ред.: А. С. Замотайлов, М. И. Шаповалов. Майкоп: ФГБОУ ВПО «Адыгейский государственный университет», НИИ комплексных проблем, 2013. С. 109—111.
21. Рудов С. Е., Григорьева О. И., Григорьев И. В. Эффективное восстановление лесов на вечной мерзлоте // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: Материалы 86-й научно-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с междунар. участием). Минск, 2022. С. 38—41.
22. Зайдель А. Н. Ошибки измерений физических величин. Л.: Наука, 1974. 108 с.
23. Мацкевич И. П., Свирид Г. П. Теория вероятностей и математическая статистика. Минск: Вышэйшая школа, 1993.

References

1. Grigorev I. V., Grigoreva O. I. Efficiency of forest management in Russia. *Energy: economics, technology, ecology*, 2016, no. 5, pp. 24—30. (In Russ.)
2. Grigorev I. V., Grigoreva O. I. The main directions of ensuring environmental safety of logging production. *Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*, 2015, vol. 3, no. 2-1 (13-1), pp. 202—205. (In Russ.)
3. Grigorev I. V., Grigoreva O. I., Werner N. N. Systems of machines for the creation and operation of forest plantations. *Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*, 2017, vol. 5, no. 5 (31), pp. 438—443. (In Russ.)
4. Khitrov E. G., Khakhina A. M., Dmitrieva M. N., Peskov V. B., Grigoreva O. I. A refined model for evaluating the traction properties of a wheeled propulsion of a forest machine. *Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Academy*, 2016, no. 217, pp. 108—119. (In Russ.)
5. Chemshikova Yu. M., Davtyan A. B., Grigoreva O. I. Transport-technological systems for afforestation based on tracked all-terrain vehicles. *Transport and transport-technological systems: Materials of the International Scientific and Technical Conference*. Editor N. S. Zakharov. Tyumen, 2020, pp. 400—403. (In Russ.)
6. Teterevleva E. V., Grinko O. I., Grigoreva O. I. Transport-technological machines for extinguishing forest fires on the basis of wheeled all-terrain vehicles. *Transport and transport-technological systems: Materials of the International Scientific and Technical Conference*. Editor N. S. Zakharov. Tyumen, 2020, pp. 374—377. (In Russ.)
7. Grigorev I. V., Churakov A. A., Grigoreva O. I. Perspective design of an all-terrain vehicle for forestry. *Transport and transport-technological systems: Materials of the international scientific and technical conference*. Tyumen, 2017, pp. 136—139. (In Russ.)

8. Grigoreva O. I., Davtyan A. B., Grinko O. I., Voynash S. A. The concept of a universal machine for performing forestry work and extinguishing forest fires. *Mashinostroenie: new concepts and technologies: Collection of works All-Russian Scientific and Practical Conference of students, postgraduates and young scientists*. Krasnoyarsk, 2020, pp. 45—49. (In Russ.)
9. Tyurin N. A., Grigorev I. V., Grigoreva O. I. Problems of training specialists in logging production for sustainable forest management. *Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*, 2014, vol. 2, no. 2-3 (7-3), pp. 363—367. (In Russ.)
10. Grigorev I. V., Tikhonov I. I., Grigoreva O. I., Rudov M. E. Search for new technical solutions to improve the ecological compatibility of forest machines with the forest environment. *Intensification of the formation and protection of intellectual property: Materials of the republican scientific and practical conference dedicated to the 75th anniversary of PetrSU*. Petrozavodsk, PetrSU Publishing House, 2015, pp. 9—11. (In Russ.)
11. Grigorev I. V., Grigoreva O. I. Improving the ecological efficiency of forestry production. *Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*, 2014, vol. 2, no. 3-4 (8-4), pp. 51—55. (In Russ.)
12. Dobretsov R. Yu., Dmitriev A. S., Cheremisin K. V., Revyako S. I., Grigorev I. V. Controlled interaxle transmission power distribution mechanism of forest wheeled and tracked vehicles. *Systems. Methods. Technologies*, 2023, no. 1 (57), pp. 43—48. (In Russ.)
13. Grigoreva O. I. A new machine for clearing cutting areas. *Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*, 2014, vol. 2, no. 5-3 (10-3), pp. 96—99. (In Russ.)
14. Nikiforova A. I., Grigoreva O. I. Modeling of the impact of forest machinery movers on the soils of cutting areas. *Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*, 2015, vol. 3, no. 5-4 (16-4), pp. 320—323. (In Russ.)
15. Grigorev I. V., Churakov A. A., Grigoreva O. I. Perspective design of a tracked forwarder. *Transport and transport-technological systems: Materials of the international scientific and technical conference*. Tyumen, 2017, pp. 140—144. (In Russ.)
16. Grigoreva O. I. Features of natural reforestation in the cryolithozone. *Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*, 2018, vol. 6, no. 4 (40), pp. 25—29. (In Russ.)
17. Nikiforova A. I., Grigoreva O. I., Kiselyov D. S., Khakhina A. M., Rudov M. E. Assessment of ecological safety of forest machines. *Natural resources and ecology of the Far Eastern region: Materials of the International Scientific and Practical Forum*. Khabarovsk, 2013, pp. 134—138. (In Russ.)
18. Grigoreva O. I., Makuev V. A., Baryshnikova E. V., Burmistrova O. N., Shvetsova V. V., Grigorev I. V., Ivanov V. A. Prospects of import substitution of machine systems for artificial reforestation. *Systems. Methods. Technologies*, 2022, no. 3 (55), pp. 78—84. (In Russ.)
19. Rudov S. E., Grigorev I. V., Grigoreva O. I., Grigorev M. F., Grigoreva A. I. Efficiency of forest management in the cryolithozone. *Energy efficiency and energy conservation in modern production and society: Materials of the international scientific and practical conference*. Voronezh, 2020, pp. 460—463. (In Russ.)
20. Grigorev I. V., Grigoreva O. I., Nikiforova A. I. Possibilities of bioconservation during continuous logging. *Biodiversity. Bioconservation. Biomonitoring: Collection of materials of the International scientific and Practical Conference*. Editors: A. S. Zamotailov, M. I. Shapovalov. Maykop, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Adygea State University», Research Institute of Complex Problems, 2013, pp. 109—111. (In Russ.)

21. Rudov S. E., Grigoreva O. I., Grigorev I. V. Effective restoration of forests on permafrost. *Forest engineering, materials science and design: Materials of the 86th scientific and Technical conference of the teaching staff, researchers and postgraduates (with international participation)*. Minsk, 2022, pp. 38—41. (In Russ.)
22. Zaidel A. N. *Measurement errors of physical quantities*. Leningrad, Nauka, 1974. 108 p. (In Russ.)
23. Matskevich I. P., Svirid G. P. *Probability theory and mathematical statistics*. Minsk, Higher School, 1993. (In Russ.)

© Зорин М. В., Должиков И. С., Юдильевич А. М., Кривошеев А. А., Куницкая О. А,
Михайлова Л. М., 2024

DOI: 10.15393/j2.art.2024.7564

УДК 630.36(075.8)

Статья

Повышение производительности валочно-пакетирующей машины типа ЛП-19 за счёт совершенствования траектории движения рабочего органа

Богданов Евгений Николаевич

*младший научный сотрудник, Институт механики и машиностроения, Поволжский государственный технологический университет (Российская Федерация),
bogdanoven@volgatech.net*

Получена: 21 ноября 2023 / Принята: 18 января 2024 / Опубликовано: 1 февраля 2024

Аннотация: В настоящее время отчётливо прослеживается потребность в отечественной лесозаготовительной технике. В отрасли заняты 1,5 тыс. валочно-пакетирующих машин (ВМП), в т. ч. ВПМ ЛП-19 и ещё 3,5 тыс. других устройств, как отечественного, так и импортного производства. Бóльшая часть машин эксплуатируется несколько десятков лет и требует замены. Обновление парка происходит примерно на 3 % в год, а степень износа в лесозаготовках превышает 53 %. Этот факт требует основательной работы над импортозамещением крупной техники. В работе приведено технико-экономическое обоснование использования в ВПМ ЛП-19 разработанного комплексного устройства управления траекторией рукояти, стрелы и захватно-срезающего устройства машины типа ЛП-19. Использование разработанного комплексного устройства управления обеспечивает относительное снижение отклонения от вертикали захватно-срезающего устройства при горизонтальном перемещении стрелы в диапазоне от 150 до 160 % по сравнению с базовой конструкцией машины типа ЛП-19. Экспериментально установлено, что использование разработанного комплексного устройства управления обеспечивает сокращение времени осуществления операции наводки захватно-срезающего устройства машины типа ЛП-19 (изменение вылета стрелы) с 13,2 с до 7,7 с. Также выявлено, что при использовании разработанного комплексного устройства управления среднее время производства 1 м³ древесины меньше, чем у базовой машины, а это позволило увеличить производительность на 17 %.

Ключевые слова: плоскопараллельное движение; захватно-срезающее устройство; валочно-пакетирующая машина

DOI: 10.15393/j2.art.2024.7564

Article

Increasing the productivity of the felling-and-bunching machine LP-19 by improving the trajectory of the working tool

Evgenii Bogdanov

*research assistant, Institute of Mechanics and Mechanical Engineering,
Volga State University of Technology (Russian Federation), bogdanoven@volgatech.net*

Received: 21 November 2023 / Accepted: 18 January 2024 / Published: 1 February 2024

Abstract: Currently, there is a clear need for domestic logging equipment. The industry employs 1.5 thousand felling-and-bunching machines, including felling-and-bunching machine LP-19 and 3.5 thousands of other devices, both of domestic and imported origin. Most of the machines have been in operation for several decades and require replacement. The machine fleet is updated by about 3 percent per year, and the wear rate during logging operations exceeds 53 percent. This fact requires thorough work to develop import-substituting equipment. The paper presents a feasibility study of a developed integrated device usage for trajectory control of a handle, boom and working body of felling-and-bunching machine LP-19. Using the developed integrated device provides a relative reduction of verticality deviation of the working body with horizontal boom movement in the range from 150 to 160 % compared with the basic felling and bunching LP-19 machine configuration. It has been experimentally established that the use of the developed integrated control device provides a reduction in the time of the guidance operation of the working body (changing the boom outreach) from 13.2 s up to 7.7 s. The author has experimentally established that when using the developed integrated control device the average production time of 1 m³ of wood is less than that of the basic machine, which allowed increasing the productivity of felling and bunching LP-19 machine by 17%.

Keywords: plane-parallel movement; gripping-cutting device; feller buncher

1. Введение

В настоящее время отчётливо прослеживается потребность в отечественной лесозаготовительной технике. В отрасли заняты 1,5 тыс. валочно-пакетирующих машин, в т. ч. ВПМ ЛП-19 [8], и ещё 3,5 тыс. других устройств, как отечественного, так и импортного производства. Бóльшая часть машин эксплуатируется несколько десятков лет и требует замены. Обновление парка происходит примерно на 3 % в год, а степень износа в лесозаготовках превышает 53 %. Этот факт требует основательной работы над импортозамещением крупной техники, данную работу уже ведёт ООО фирма «ЛЕСТЕХКОМ» (г. Йошкар-Ола), которая является единственным производителем валочно-пакетирующих машин в России. Предприятие выпускает валочно-пакетирующие машины ЛП-19, машины дорожные ЛТК-19, погрузчики с полноповоротным грейферным захватом на базе машины ЛП-19. Данная техника востребована, в первую очередь, предприятиями лесозаготовительной и нефтегазовой отраслей. Кроме того, машины отлично себя зарекомендовали при тушении лесных пожаров и ликвидации их последствий. Машины изготавливаются почти полностью из комплектующих российского производства: сама конструкция производится силами самого предприятия. На сегодняшний день машины используются в Ханты-Мансийском автономном округе, Томской, Иркутской и Смоленской областях, в Красноярском крае. Исходя из опыта общения с потребителями нашей техники, срок эксплуатации машины ЛП-19 при односменной работе до списания составляет в среднем 15—17 лет. В период с 2007 по 2023 г. включительно предприятием выпущено 172 единицы новых ВПМ ЛП-19 (серийные номера с 260 по 432) [9].

При ведении сплошных рубок леса валочно-пакетирующими машинами достигается высокая производительность. В то же время ранее проведёнными исследованиями установлено, что работа валочно-пакетирующих машин сопровождается частыми воздействиями оператора на комбинированные органы управления технологическим оборудованием (джойстики управления и включение гидродвигателей технологического оборудования). В результате проведённого анализа опубликованных работ установлено, что операторы валочно-пакетирующих машин затрачивают большую часть времени в технологическом цикле на выполнение определённых повторяющихся операций, таких как наводка захватно-срезающего устройства (ЗСУ) и подтаскивание дерева к машине. Гидравлические системы и конструкции манипуляторов у серийно выпускаемых лесосечных машин не обеспечивают синхронную работу гидродвигателей манипуляторов, необходимую для сокращения времени технологической операции и снижения зависимости от квалификации оператора. Для работы валочно-пакетирующих машин ЛП-19 отводятся лесосеки большой площади (как правило, не менее 50 га), чтобы обеспечить фронт работ для трёх-пяти валочно-пакетирующих машин с необходимым числом трелёвочных тракторов с гидроманипуляторами, сучкорезных машин, средств технического обслуживания машин и бытового обслуживания занятого на лесосеке персонала. Для достижения высоких

показателей производительности и качества работы на валочно-пакетирующих машинах типа ЛП-19 машинист должен следовать ряду рекомендаций, которые имеют силу для технологических схем разработки лесосек [1], [2], [3]. Данные рекомендации являются результатом обобщения передового опыта эксплуатации машин и направлены на снижение потерь рабочего времени, а также на обеспечение наиболее благоприятных условий для работы трелёвочных тракторов с захватами. В ходе проводимого исследования экспериментально было установлено, что затраты времени на цикл обработки дерева в значительной мере зависят от вылета стрелы, на котором дерево спиливается. Отмечено, что наиболее продолжительной операцией является наводка захватно-срезающего устройства на дерево — на неё затрачивается около 40 % общей продолжительности цикла. Эта операция наиболее сложная, т. к. выполняется последовательными или совмещёнными включениями поворота платформы, перемещениями в вертикальной и горизонтальной плоскостях рукояти и стрелы гидроманипулятора. Задача частично решается предложенным способом улучшения плоскопараллельного движения, что даёт возможность выполнять горизонтальное перемещение ЗСУ при изменении вылета гидроманипулятора одной рукояткой. Следует отметить, что наименьшие величины циклов зафиксированы при вылетах от 5 до 6 м. Несколько больше затраты на малых вылетах (от 3 до 5 м) и в диапазоне 6—7 м. На предельных вылетах (7—8 м) продолжительность цикла наибольшая. Вышеизложенные данные подтверждают актуальность исследования и перспективы внедрения на базе ВПМ ЛП-19 разработанного комплексного устройства управления траекторией движения рабочего органа [4].

2. Материалы и методы

Расчёт проведён на основании существующих нормативно-правовых актов и документов [5—7]. Для расчёта технико-экономического эффекта за основу взят наиболее распространённый тип технологической схемы разработки лесосеки валочно-пакетирующей машиной ЛП-19 — схема разработки лесосеки лентами, перпендикулярными усу.

Для использования выбранной системы машин необходимо проанализировать режим работы (таблица 1).

Таблица 1. Режим работы предприятия

Показатели	Значение
Продолжительность рабочей недели, ч	40
Продолжительность рабочей недели, дни	6
Продолжительность рабочей смены, ч	6,67
Сменность работы	1
Количество рабочих дней за год (Др)	227
Часовой фонд времени работы (Др × ч)	1513

Схема технологического процесса определяется исходя из заданных условий. Расстановка рабочих по операциям и нормы выработки на машино-смену и человеко-день определяются по действующим межотраслевым нормам выработки на лесозаготовительные работы.

3. Результаты

Для расчёта технико-экономического эффекта необходимо определить сменную производительность [3] ВПМ ЛП-19, м³/см, по формуле

$$П_{см} = \frac{3600 * (T_{см} - t_p) * \varphi * V}{T_{ц}}, \quad (1)$$

где $T_{см}$ — продолжительность смены (7 ч); t_p — время на регламентируемые простои (1,15 ч); φ — коэффициент использования рабочего времени (0,82); V — средний объём хлыста, (0,55 м³); $T_{ц}$ — длительность цикла, с.

При расчёте производительности время цикла валочно-пакетирующей машины (с) находим по формуле

$$T_{ц} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8 + t_9. \quad (2)$$

Наименование и характеристики технологических операций отражены в таблице 2.

Таблица 2. Технологические операции

Наименование технологической операции	Условное обозначение	ЛП-19	ЛП-19 модернизированная
Поворот платформы (с выбором дерева)	t_1	5,9	5,9
Наведение ЗСУ (изменение вылета)	t_2	13,2	7,7
Захват ствола	t_3	2,4	2,4
Натяг ствола	t_4	0,5	0,5
Пиление ствола с отводом шины	t_5	3,7	3,7
Подтягивание спиленного дерева	t_6	3,5	2,1
Поворот платформы с деревом	t_7	5,1	5,1
Укладка дерева в пачку	t_8	3,9	3,9
Время на переход машины от одной технологической стоянки на другую	t_9	10,04	10,04

Исследования траекторий и времени движения ЗСУ серийной и экспериментальной машин проводились на основе оценки пространственного положения ЗСУ. Использовались нанесённая на торце оси крепления ЗСУ к рукояти контрастная метка в виде вертикальной мерной шкалы (фото 1) и горизонтальная мерная шкала, которая располагается на поверхности пола цеха с расположенными на расстоянии 500 мм мерными индикаторами (фото 2).



Фото 1. Контрастная вертикальная мерная шкала на ЗСУ ВПМ ЛП-19 [фото автора]



Фото 2. Горизонтальная мерная шкала на полу помещения (расстояние между индикаторами 500 мм) [фото автора]

Рассчитаем время на переход машины от одной технологической стоянки на другую, с:

$$t_9 = \frac{(18000 \times V_x)}{R_B \times q \times V_p}, \quad (3)$$

где R_B — максимальный вылет стрелы (8 м); q — средний запас леса (220 м³/га); V_p — скорость передвижения машины по лесосеке (техническая характеристика) 0,56 м/с; V_x — средний объём хлыста (исходные данные) 0,55 м³.

$$t_9 = \frac{(18000 \times 0,55)}{8 \times 220 \times 0,56} \quad (4)$$

Рассчитаем производительность времени цикла ВПМ ЛП-19:

$$T_{1ц} = 5,9 + 13,2 + 2,4 + 0,5 + 3,7 + 3,5 + 5,1 + 3,9 + 8,69 = 48,24 \text{ с.} \quad (5)$$

$$T_{1ц} = 5,9 + 7,7 + 2,4 + 0,5 + 3,7 + 3,5 + 5,1 + 3,9 + 8,69 = 41,34 \text{ с.} \quad (6)$$

Находим сменную производительность ВПМ ЛП-19:

$$P_{1см} = \frac{(3600 \times (7 - 1,15) \times 0,82 \times 0,55)}{48,24} = 196,89 \text{ м}^3/\text{см};$$

$$P_{2см} = \frac{(3600 \times (7 - 1,15) \times 0,82 \times 0,55)}{41,34} = 229,75 \text{ м}^3/\text{см}. \quad (7)$$

3.1. Расчёт технико-экономических показателей использования машин и механизмов

Расчёт показателей использования машин выполняется на основе принятого технологического процесса лесозаготовок, режима работы, объёмов производства с учётом конкретных условий работы (таблица 3).

Таблица 3. Расчёт технико-экономических показателей использования машин и механизмов

Наименования показателей		Ед. изм.	ЛП-19	ЛП-19 модернизированная
Объём работ		м ³	16200	16200
Сменная производительность		м ³	196,89	229,75
Количество машино-смен	На основных работах	маш.-см.	80	68
	На прочих работах	маш.-см.	—	—
	Всего	—	80	68
Количество машино-часов в работе		маш.-ч	533	455
Количество мото-часов в работе		мото-ч	453	387
Коэффициент сменности		—	1	1
Количество машино-дней в работе		маш.-дни	80	68
Число дней работы в году		дн.	247	247
Количество машин в работе		шт.	0,32	0,28
Коэффициент резервного оборудования		—	0,83	0,83
Количество исправных машин		шт.	0,39	0,34
Машино-дни в исправном состоянии		маш.-дни	142	124
Коэффициент использования исправных машин		—	0,56	0,55
Машино-дни в ремонте и ТО		маш.-дни	29	25
Машино-дни пребывания в хозяйстве		маш.-дни	171	149
Коэффициент технической готовности		—	0,83	0,83
Списочное количество машин		шт.	0,47(1)	0,41(1)
Годовая выработка на списочную машину		м ³	16200	16200

Для определения машино-дней пребывания в ремонте и техническом обслуживании необходимо рассчитать количество ремонтов и ТО для каждого парка оборудования. Данные расчёты выполняются на основе нормативов периодичности и продолжительности простоев в ремонте и ТО (таблица 4).

Таблица 4. Расчёт времени простоя оборудования в ремонтах и ТО

Наименование оборудования	Объём работ	Виды ремонтов	Периодичность	Количество ремонтов	Время простоя в ТО		
					Норматив времени	Всего часов	Всего дней
ЛП-19	453	КР	3840	0,12	30 дней		3,6
		ТР	По потребности		15/100 мото-ч	67,95	12,22
		СО	2 раза в год	0,98	7	6,86	1,23
		ТО-3	960	0,35	21	7,35	1,32
		ТО-2	240	1,42	14	19,88	3,58
		ТО-1	60	5,66	7	39,62	7,13
Итого							29
ЛП-19 модернизированная	387	КР	3840	0,1	30 дней		3
		ТР	По потребности		15/100 мото-ч	58,05	10,44
		СО	2 раза в год	0,86	7	6,02	1,08
		ТО-3	960	0,30	21	6,3	1,13
		ТО-2	240	1,21	14	16,94	3,05
		ТО-1	60	4,84	7	33,88	6,10
Итого							25

Трудозатраты (ТЗ) по комплексу основных лесозаготовительных работ рассчитываются на основе объёмов работ с учётом действующих норм выработки (таблицы 6, 7, 8). Тарифные ставки установлены в зависимости от минимального размера оплаты труда и фонда времени работы рабочего за месяц (таблица 5). Размер премии зависит от принятых условий премирования и составляет 30 % от тарифного фонда заработной платы (ТФЗП), прочие доплаты составляют 15 %. Доплаты по районному коэффициенту принимаются в размере 15 % от размера тарифного фонда заработной платы, премии и прочих доплат. Фонд дополнительной заработной платы складывается из оплаты плановых неявок [9 % от фонда основной заработной платы (ФОЗП)] и доплат за выслугу лет (6 % от фонда основной заработной платы).

Таблица 5. Расчёт тарифных ставок

Значение	1-й разряд	3-й разряд	4-й разряд	5-й разряд	6-й разряд
Тарифный коэффициент	1,00	1,20	1,35	1,54	1,80
Месячная тарифная ставка по МРОТ (16242 на 01.01.2023)	16242,00	19490,40	21926,70	25012,68	29235,60
Дневная тарифная ставка	649,68	779,62	877,07	1000,51	1169,42

Таблица 6. Трудозатраты и оплата труда основных рабочих

Наименование оборудования	Объём, м ³	Норма выработки на 1 чел.-день	ТЗ, чел.-дни	Дневная тарифная ставка, руб.	ТФЗП, руб.
ЛП-19	16200	202,56	80	1169,42	93553,6
ЛП-19 модернизированная	16200	237,51	68	1169,42	79520,56

Таблица 7. Трудозатраты и оплата труда основных рабочих

Наименование оборудования	Премия, руб.	Прочие доплаты, руб.	Доплаты по районному коэффициенту, руб.	ФОЗП, руб.
ЛП-19	28066,08	14033,04	20347,91	156000,63
ЛП-19 модернизированная	23856,17	11928,08	17295,72	132600,53

Таблица 8. Трудозатраты и оплата труда основных рабочих

Наименование оборудования	Фонд дополнительной зарплаты, руб.			ОФЗП, руб.
	Оплата плановых неявок	Выслуга лет	Итого	
ЛП-19	14040,06	9360,04	23400,09	179400,72
ЛП-19 модернизированная	11934,05	7956,03	19890,08	152490,61

Трудозатраты на содержание основных машин указаны на одну отработанную машино-смену. Трудозатраты по техническому обслуживанию и ремонту оборудования рассчитываются по соответствующим нормативам. При определении объёмов работ указывается количество отработанных мото-часов (таблица 9) по каждому виду машин.

Амортизационные отчисления рассчитывают для возмещения износа основных средств производства. Расчёт амортизации производится по действующим нормам амортизационных отчислений в процентах от балансовой стоимости основных фондов (таблицы 10, 11).

Таблица 9. Расчёт трудозатрат и оплаты труда вспомогательных рабочих

Наименование оборудования	Объём работ, мото-ч	Норматив ТЗ, чел.-дни/ маш.-см.	Общие ТЗ, чел.-дни	Дневная тарифная ставка, руб.	ТФЗП, руб.	ОФЗП, руб.
Содержание основных производственных средств						
ЛП-19	80	0,5	40	877,07	35082,80	57886,62
ЛП-19 модернизированная	68	0,4	27,2	877,07	23856,30	39362,90
Техническое обслуживание и ремонт						
ЛП-19	453	82/100	46,43	877,07	40722,36	67191,89
ЛП-19 модернизированная	387	55,5/100	26,85	877,07	23549,33	38856,39

Таблица 10. Расчёт амортизационных отчислений

Наименование оборудования	Количество единиц	Балансовая стоимость, тыс. руб.		Норма амортизации, %	Амортизационные отчисления, тыс. руб.
		Единицы	Всего		
ЛП-19	0,47	23500	11045	25	2761,25
ЛП-19 модернизированная	0,41	23500	9635	25	2408,75

Таблица 11. Расчёт затрат на капитальный ремонт

Наименование оборудования	Стоимость оборудования, тыс. руб.	Нормы отчисления в ремонтный фонд, %	Сумма затрат на капитальный ремонт, тыс. руб.
ЛП-19	3995	10,7	1181,82
ЛП-19 модернизированная	3485	10,7	1030,95

Расчёты потребности в топливе выполняются на основании объёмов работ по видам оборудования и норм расхода горюче-смазочных материалов (ГСМ) и электроэнергии. Объём работ принимается в соответствии с технико-экономическими показателями работы машин и механизмов. Нормы расхода топлива и смазочных материалов определяются в соответствии с действующими нормами расхода. Цены на приобретение топлива и смазочных материалов указаны по данным предприятия с учётом расходов по их доставке и хранению (таблица 12).

Таблица 12. Расчёт потребности и стоимости ГСМ

Виды ГСМ	Объём работ, маш.-см.	Нормы расхода, кг/см.	Цена за 1 кг, руб.	Общая потребность в ГСМ, кг	Общая стоимость ГСМ, руб.	Общая стоимость ГСМ с учётом транспортно-заготовительных расходов, руб.
ЛП-19						
Дизельное топливо	80	94	45	7520	360960,00	389836,80
Бензин		0,92	42	74	3330,00	3596,40
Дизельное масло		5,6	72	448	33600,00	36288,00
Гидромасло		1,99	98	159	16218,00	17515,44
Автол		0,71	60	57	3705,00	4001,40
Нигрол		1,72	68	138	9660,00	10432,80
Солидол		0,82	81	66	5478,00	5916,24
Консталин смаз		0,1	72	8	600,00	648,00
Итого					433551,00	468235,08
ЛП-19 модернизированная						
Дизельное топливо	68	94	45	6392	287640,00	310651,20
Бензин		0,92	42	63	2646,00	2857,68
Дизельное масло		5,6	72	381	18288,00	19751,04
Гидромасло		1,99	98	135	6075,00	6561,00
Автол		0,71	60	48	3600,00	3888,00
Нигрол		1,72	68	117	11934,00	12888,72
Солидол		0,82	81	56	3640,00	3931,20
Консталин смаз		0,1	72	7	490,00	529,20
Итого					334313,00	361058,04

Расчёт стоимости запасных частей и ремонтных материалов и затрат на капитальный ремонт основывается на соответствующих нормах (таблица 13).

Таблица 13. Расчёт стоимости ремонтных материалов и запасных частей

Наименование оборудования	ТФЗП ремонтных рабочих, руб.	Норма расхода, процент от ТФЗП	Стоимость ремонтных материалов и запасных частей, руб.
ЛП-19	40722,36	70	28505,65
ЛП-19 модернизированная	23549,33	70	16484,53

Смета расходов на ТО и ремонт основных производственных фондов представлена в таблицах 14, 15, смета затрат на содержание машин — в таблице 16.

Таблица 14. Смета затрат на ТО и ремонт основного оборудования

Наименование оборудования	Статьи затрат, руб.		
	Оплата труда ремонтных рабочих	Страховые взносы	Стоимость ремонтных материалов и запасных частей
ЛП-19	67191,89	20157,57	28505,65
ЛП-19 модернизированная	38856,39	11656,92	16484,53

Таблица 15. Смета затрат на ТО и ремонт основного оборудования

Наименование оборудования	Статьи затрат, руб.		
	Услуги вспомогательных производств	Прочие затраты	Затраты на капитальный ремонт
ЛП-19	33595,95	14945,11	1181820
ЛП-19 модернизированная	19428,20	8642,60	1030950

Итого: ЛП-19 — 1 346 216,16 руб., ЛП-19 модернизированная — 1 126 018,64 руб.

Таблица 16. Расчёт себестоимости содержания машин и оборудования

Наименование оборудования	Статьи затрат, руб.					
	Оплата труда вспомогательных рабочих	Страховые взносы	Топливо	Амортизация	Ремонт	Прочие затраты
ЛП-19	57886,62	17365,99	468235,08	2761250,00	1346216,16	465095,38
ЛП-19 модернизированная	39362,90	11808,87	361058,04	2408750,00	1126018,64	394699,85

Итого: ЛП-19 — 5 116 049,23 руб., ЛП-19 (модернизированная) — 4 341 698,30 руб.

Результат расчёта эксплуатационных затрат приведён в таблице 17.

Таблица 17. Расчёт эксплуатационных затрат

Наименование	Базовый вариант	Проектируемый вариант
	вариант	вариант
Объём работ, м ³	16200	16200
Затраты, руб.:	—	—
оплата труда производственных рабочих	179400,72	152490,61
ЕСН	53820,22	45747,18
расходы по содержанию и эксплуатации оборудования	5116049,23	4341698,30
прочие затраты	267463,51	226996,80
Итого, руб.	5616733,68	4766932,89
Удельные эксплуатационные затраты, руб./м ³	346,71	294,26

4. Обсуждение и заключение

Экспериментально установлено, что при использовании разработанного комплексного устройства управления среднее время производства 1 м³ древесины меньше, чем у базовой машины, что позволило повысить производительность ВПМ ЛП-19 на 17 % [4] по сравнению с базовой. Следовательно, можно констатировать благоприятный экономический эффект.

Удельные капитальные вложения составят:

$$K_{уд} = \frac{(23500)}{16,2} = 1450,62 \text{ руб./м}^3. \quad (8)$$

Удельные приведённые затраты по базовому варианту:

$$ПЗ_{уд1} = 346,71 + 0,25 \times 1450,62 = 709,37 \text{ руб./м}^3. \quad (9)$$

Удельные приведённые затраты по проектируемому варианту:

$$ПЗ_{уд1} = 294,26 + 0,25 \times 1450,62 = 656,92 \text{ руб./м}^3. \quad (10)$$

Возможный прирост прибыли следующий:

$$П = (346,71 - 249,26) \times 16200 = 849690 \text{ руб.} \quad (11)$$

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-19-00568 «Методы и интеллектуальная система поддержки динамической устойчивости операторов эргатических систем», <https://rscf.ru/project/23-19-00568/>.

Список литературы

1. Валочно-пакетирующая машина ЛП-19 / Под ред. В. С. Круглова, М. А. Бармана. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 288 с.
2. Машины и оборудование лесозаготовок, лесосплава и лесного хозяйства / Под ред. Ю. В. Шелгунова, Г. М. Кутукова, Г. П. Ильина. М., 1982. 520 с.
3. Виногоров Г. К. Технологические циклы валочно-пакетирующих машин // Труды ЦНИИМЭ. 1974. № 141. С. 5—15.
4. Совершенствование движения рабочего органа валочно-пакетирующей машины ЛП-19 / Е. Н. Богданов, И. А. Полянин, А. В. Егоров [и др.] // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. № 1. С. 153—160.
5. Нормы расхода горюче-смазочных материалов на механизированные работы, выполняемые в лесном хозяйстве: Утв. Федеральной службой лесного хозяйства Российской Федерации: Приказ № 180 от 13.09.1999. М., 1999. 144 с.
6. Типовые нормы выработки, нормы времени на рубки ухода за лесом в равнинных условиях: Утв. Федеральной службой лесного хозяйства Российской Федерации: Приказ № 148 от 15.07.1999. М., 1999. 82 с.
7. Руководство по эксплуатации валочно-пакетирующей машины ЛП-19А с сервоуправлением, отечественным гидрооборудованием и импортными механизмами

передвижения и механизмом поворота / ООО фирма «ЛЕСТЕХКОМ», Республика Марий-Эл, г. Йошкар-Ола, 2008.

8. Опрос Рослесинфорга: 35 % лесозаготовителей готовы закупать лесную технику российского производства // Рослесинфорг. URL: <https://roslesinforg.ru/news/all/opros-roslesinforga-35-lesozagotoviteley-gotovy-zakupat-lesnuyu-tekhniku-rossiyskogo-proizvodstva/> (дата обращения: 19.12.2023). Текст: электронный.
9. Волгатех и Лестехком обсудили вопросы развития лесного машиностроения // Официальный сайт ПГТУ. URL: https://www.volgatech.net/news/Novosti_universiteta/412782/ (дата обращения: 19.12.2023). Текст: электронный.

References

1. *Felling-and-bunching machine LP-19*. Edited by V. S. Kruglov, M. A. Barman. Moscow, Forest Industry, 1982. 288 p. (In Russ.)
2. *Machines and equipment for logging, timber rafting, and forestry*. Edited by Iu. V. Shelgunov, G. M. Kutukov, G. P. Iliin. Moscow, 1982. 520 p. (In Russ.)
3. Vinogorov G. K. Tekhnologicheskie tsikly valочно-paketiruiushchih mashin. *Technological cycles of felling-and-bunching machines. Proceedings of TSNIIME*, 1974, no. 141, pp. 5—15. (In Russ.)
4. Bogdanov E. N., Polianin I. A., Egorov A. V., Bagautdinov I. N. Improving the movement of the working head in the felling-and-bunching machine LP-19. *Scientific and technical bulletin of Briansk State University*, 2020, no. 1, pp. 153—160. (In Russ.)
5. Fuel and lubricants consumption rates for mechanized work performed in forestry: Approved by the Federal Forestry Service of the Russian Federation: order no. 180 of 13.09.1999. Moscow, 1999. 144 p. (In Russ.)
6. Standard norms of production and time for selective cutting in lowland conditions: Approved by the Federal Forestry Service of the Russian Federation: order no. 148 of 15.07.1999. Moscow, 1999. 82 p. (In Russ.)
7. Operating manual of the LP-19A felling-and-bunching machine with servo control, domestic hydraulic equipment and imported movement and rotation mechanisms. LESTECHKOM, LLC, Republic of Mari-El, Yoshkar-Ola, 2008. (In Russ.)
8. Roslesinforg survey: 35 % of forest harvesters are ready to purchase Russian-made forestry equipment. The survey Roslesinforga. Available at: <https://roslesinforg.ru/news/all/opros-roslesinforga-35-lesozagotoviteley-gotovy-zakupat-lesnuyu-tekhniku-rossiyskogo-proizvodstva/> (accessed: 19.12.2023). Text. Image: electronic. (In Russ.)
9. Volgatech and Lestekhhom discussed the development of forestry engineering. The official website of the State Technical University. Available at: https://www.volgatech.net/news/Novosti_universiteta/412782/ (accessed: 19.12.2023). Text. Image: electronic. (In Russ.)

DOI: 10.15393/j2.art.2024.7423

УДК 630*232

Статья

Совершенствование конструкций орудий для обработки почвы под посадку лесных культур в пласт

Дручинин Денис Юрьевич

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

Шавков Михаил Викторович

кандидат технических наук, ООО «Русгидроком» (Российская Федерация), shavkovmv@mail.ru

Фатхулин Вадим Русланович

магистрант, Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова (Российская Федерация), injener25776@mail.ru

Болгов Андрей Вячеславович

студент, Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова (Российская Федерация), bolgovtacher@gmail.com

Получена: 15 октября 2023 / Принята: 18 января 2024 / Опубликовано: 11 февраля 2024

Аннотация: Лесное хозяйство всего мира, перед которым в настоящее время всё острее встают глобальные экологические вызовы, одной из важнейших для себя задач ставит разработку современной модели использования и воспроизводства лесов. Актуализация климатической повестки в мире требует повышения экологического потенциала природных насаждений за счёт увеличения площади лесных ландшафтов. Лесовосстановление — это сложный многооперационный процесс, одним из основных этапов которого является сплошная или частичная подготовка почвы под создаваемые лесные культуры. Данная операция должна быть строго зональной, обусловленной конкретными природно-производственными условиями. От качества её выполнения во многом зависит успешность приживаемости высаженных растений и дальнейшего развития насаждений. Обеспечение высоких требований к агротехнической подготовке почвы невозможно без использования современных технических средств. Авторами представлены плуги с лемешными и дисковыми рабочими

органами, используемые в настоящее время для подготовки почвы в лесном хозяйстве, наиболее часто применяемым среди которых является плуг ПКЛ-70. В процессе работы орудие образует одно- или двухотвальную борозду, при высадке посадочного материала в дно которой на площадях с высокой степенью увлажнения почвы происходит скапливание атмосферной и почвенной влаги и, как следствие, вымокание растений. Поэтому в таких условиях посадку лесных культур необходимо проводить в специально создаваемые микроповышения, и, в частности, в отваленные пласты. Специалисты лесного хозяйства отмечают, что созданные по такой технологии культуры лучше приживаются и активнее растут. Рассмотрены особенности конструкций современных лесных плугов для обработки переувлажнённых почв с высокой пластичностью или сильно задернелых почв. Разработаны дополнительные узлы для дооснащения лесных плугов по блочно-модульному принципу, использование которых позволяет повысить качество и эффективность подготовки пластов в виде обогащённых дренированных микроповышений для посадки лесных культур. Блочно-модульный принцип позволит снизить номенклатуру используемых машин и механизмов в организациях-лесопользователях.

Ключевые слова: лесовосстановление; переувлажнённые почвы; посадка в пласт; лесной плуг; прикатывающий каток-формообразователь

DOI: 10.15393/j2.art.2024.7423

Article

Design improvement of soil-tilling tools for forest side planting

Denis Druchinin

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

Mikhail Shavkov

PhD in engineering, LLC «Rushydrocom» (Russian Federation), shavkovmv@mail.ru

Vadim Fatkhulin

Master's student, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov (Russian Federation), injener25776@mail.ru

Andrey Bolgov

Student, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov (Russian Federation), bolgovtacher@gmail.com

Received: 15 October 2023 / Accepted: 18 January 2024 / Published: 11 February 2024

Abstract: World forestry facing global environmental challenges aims at developing

a modern model for utilization and regeneration of forests. Climatic change challenges require ecological potential rise of natural plantings by increasing the forest landscape area. Reforestation is a complex multi-operational process, one of the main stages of which is the broadcast or partial soil cultivation for a new forest plantation. This operation must be strictly a zonal one due to specific natural and industrial conditions. High survival rate of forest plantation and its further development largely depend on the quality of performed work. Modern technical means should be used to ensure high quality of soil cultivation. The authors present bottom and disc plows currently used for soil cultivation in forestry, PKL-70 plow being the most commonly used one. During operation the plow forms a single- or double moldboard furrow. If the seedlings are planted in the furrow bottom of water-logged soil, atmospheric and soil moisture accumulates and as a result plants damp off. Therefore in such conditions forest transplantation should be performed in specially created microhills, in particular in moldboards. Forestry experts note that in this case seedlings take root better and grow more actively. The authors consider modern forest plows designs used for cultivation of waterlogged soils with high plasticity are turfiness. They have developed additional

units for refitting forest plows according to the modular-assembly principle. Their usage allows the quality and efficiency of soil preparation improvement by formation of flushed drained microhills for a new forest plantation. The modular-assembly principle may help reduce the range of machines and mechanisms used by forest owners.

Keywords: reforestation; water-logged soils; forest side planting; forest plow; covering roller-shifter

1. Введение

Перед мировым сообществом всё актуальнее встаёт вопрос рациональности использования лесных ресурсов и остановки процессов их деградации, т. к. леса, помимо наличия в них значительного разнообразия природных ресурсов, выполняют средообразующую функцию в биосфере Земли [1], [2]. Интенсивное развитие промышленности, активная лесозаготовка и постоянно возрастающий объём лесных площадей, уничтоженных в результате природных стихийных бедствий, привели к тому, что в настоящее время в лесном хозяйстве всего мира большое значение уделяется процессам лесовосстановления и лесоразведения. Задача увеличения площади лесных ландшафтов имеет первостепенное значение и по причине актуализации климатической повестки в мире, позволяя укрепить экологическую целостность лесонасаждений, тем самым повысив экологический потенциал лесов в виде возможности депонирования ими углерода из атмосферы нашей планеты [3].

Тактика ведения лесовосстановительных работ в разных странах мира определяется природно-климатическими условиями, объёмом лесного фонда и экономическими возможностями. Однако общей тенденцией лесохозяйственного производства является предъявление высоких требований к агротехнике обработки почвы как важному фактору обеспечения создания качественных лесных культур и последующему агротехническому уходу, что способствует ускоренному росту насаждений [4].

2. Материалы и методы

При создании лесных культур осуществляется механическое воздействие на поверхность восстанавливаемой площади различными машинами и орудиями в виде сплошной или частичной обработки почвы. Выполняемый вид почвообработки должен соотноситься с зональным расположением участка лесовосстановления, обусловленным конкретными условиями — типами условий местопроизрастания, состоянием и происхождением лесокультурных площадей, биоэкологическими свойствами выращиваемых древесных пород [5], [6], [7], [8].

Для осуществления обработки лесных почв используются широко распространённые плуги с лемешными рабочими органами, такие как ПКЛ-70, ПЛП-135, ПЛ-1, а также дисковый плуг ПЛД-1,2 и некоторые другие [9].

Лесные лемешные плуги подрезают пласт снизу и в вертикальной плоскости, а затем поднимают, переворачивают и укладывают его рядом с бороздой в опрокинутом виде, т. е. дерниной на дернину. Заделка произрастающей растительности происходит путём перевёртывания её вверх корнями и придавливания её почвенной массой [9].

В зависимости от почвенных условий (и в особенности от влажности почвы) выделяют следующие основные способы посадки лесных культур (рисунок 1): *а* — в дно двухотвальной борозды; *б* — в отваленный пласт с одной стороны от борозды;

в — в микроповышение; з — в отваленный пласт с двух сторон от борозды. Следует отметить, что, по сообщениям лесоводов, большая часть созданных насаждений погибает до момента окончания лесоводственных уходов и смыкания насаждений по целому ряду причин [10], [11].

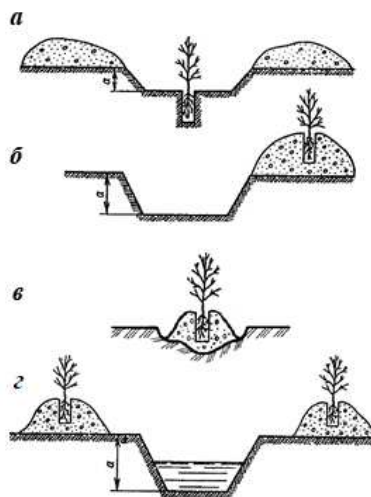


Рисунок 1. Способы создания лесных культур [https://konspekta.net/poisk-ruru/baza1/1954122873541.files/image007.png]

Figure 1. Ways to create forest plantations

При работе по схеме обработки почвы (а), которая из-за простоты и дешевизны применяется практически повсеместно, на восстанавливаемых участках создаются плужные двухотвальные борозды (фото 1). При этом образуются два неравноценных лесокультурных места: обеднённое микропонижение — дно борозды и обогащённое дренированное микроповышение — пласт в виде сдвоенной дернины и гумусового горизонта. Однако специалисты лесного хозяйства отмечают, что применение технологии посадки сеянцев в дно плужных борозд эффективно для дренированных почв, однако для многих условий работы данный способ посадки совершенно неподходящий. Посадка сеянцев в дно борозды оправдана, например, для лесостепной и степной лесорастительных зон, которые характеризуются увеличением содержания влаги с глубиной. Борозда в этом случае защищает созданные культуры как от иссушения, играя роль естественного «сборщика» осадков, так и от перегрева [12].

На влажных, сырых и избыточно увлажнённых почвах во всех лесокультурных зонах высадку сеянцев и саженцев, наоборот, необходимо проводить в искусственно созданные микроповышения. Посадка и посев леса здесь могут проводиться в перевёрнутые пласты, однако не сразу, а после их слёживания для устранения пустот и разложения растительных остатков. Кроме того, пласты напахивают на богатых гумусом почвах, быстро зарастающих травянистой и древесно-кустарниковой растительностью.



Фото 1. Пример создания двухотвальной борозды на вырубке при проведении лесовосстановительных работ [фото авторов]

Photo 1. An example of creating a double-mould furrow in a clearing during reforestation operation

На микроповышениях такого типа культуры лучше приживаются и активнее растут. Однако быстрое разрастание нежелательной травянистой растительности на лесокультурной площади вызывает необходимость большего числа агролесоводственных уходов. Поэтому для снижения активности развития сорных растений лесоводами рекомендуется выворачивание вместе с пластом части слабоплодородного подзолистого горизонта с низким содержанием гумуса.

На богатых суглинистых свежих почвах глубина вспашки (толщина перевёрнутого пласта) должна составлять 12—15 см. На суглинистых почвах на вырубках толщина перевёрнутого пласта не должна превышать 15—18 см. При этом вспашку проводят широко распространёнными плугами ПКЛ-70, ПЛП-135 и др. Однако проводимая работа на переувлажнённых почвах, имеющих высокую пластичность, с использованием данных орудий часто приводит к неудовлетворительным результатам.

Пластичность, как физико-механическое свойство почвы, характеризует её способность изменять свою форму под влиянием внешних сил без нарушения сплошности (без разрывов и трещин) и сохранять приданную форму после их устранения [13].

При обработке таких почв подрезаемый пласт после схода с отвала укладывается в виде сплошной ленты на край борозды, что затрудняет дальнейшие возможные работы по посадке растений. Поэтому отраслью лесного машиностроения для повышения эффективности проведения обработки переувлажнённых почв с высокой пластичностью или сильно задернелых почв разработаны орудия с комбинированными рабочими органами.

Рядом заводов-изготовителей выпускается плуг-рыхлитель навесной ПРН-40Д. Данное орудие, предназначенное для комплексной обработки задернелых почв под посадку лесных культур, помимо основных узлов конструкции в виде рамы, навесного устройства, дискового ножа и двухотвального плужного корпуса, содержит две дисковые батареи с балластными

ящиками. Батареи размещены по бокам от отвалов и предназначены для дополнительного разбивания почвенных пластов, укладываемых после нарезки борозды на её края.

В Польше предприятием Ośrodek Techniki Leśnej для агрегатирования с тракторами малой мощности разработан двухотвальный плуг для обработки лесных почв LPŻ-30. Особенность его конструкции заключается в том, что позади отвальных поверхностей плужного корпуса установлены прикатывающие цилиндрические катки для дополнительного прижатия пласта к краю борозды и недопущения его возврата в борозду [14].

В развитие предложенного технического решения был разработан лесной плуг LPŻ-75, предназначенный для обработки почвы при лесовосстановлении и лесоразведении в особо сложных условиях, в т. ч. на площадях с преобладанием травянистой растительности или покрытых нежелательной древесной порослью высотой до 1 м [14].

Позади отвальных поверхностей здесь расположены прикатывающие катки с дополнительно размещёнными на них тремя дисковыми ножами, которые обеспечивают прижатие обёрнутых пластов с их одновременным разделением на более мелкие фракции.

В этой же серии лесных орудий выпускается двухотвальный плуг LPŻ PRO 2, выполняющий нарезку борозд глубиной до 15 см под посадку лесных культур на непокрытых лесом супесчаных почвах различной степени задернения и объёма древесно-кустарниковой растительности. Может применяться на раскорчёванных вырубках, очищенных от порубочных остатков [14].

Имеющиеся в конструкции плуга режущие прижимные ролики разделяют обёрнутый пласт на более мелкие фракции и удерживают их таким образом, чтобы они не возвращались обратно в борозду.

3. Результаты

На основе оценки недостатков технологической схемы обработки пластичных почв с созданием микроповышений по краям борозды в виде уложенных пластов и конструктивных особенностей имеющихся плугов-аналогов в ВГЛУ с использованием методов 3D-моделирования разрабатывается конструкция лесного плуга для обработки влажных, сырых и избыточно увлажнённых почв с высокой степенью пластичности. Сферой применения проектируемого плуга для образования микроповышений по краям борозды являются раскорчёванные полосами вырубки.

Среди основных элементов орудия особое внимание следует уделить наличию в его конструкции эффективного узла для разделения сходящих с отвалов пластов почвы на более мелкие фрагменты с одновременным их прижатием к краю борозды для устранения воздушных пустот и недопущения возврата пласта в борозду.

Анализ конструкций серийно выпускаемых лесных плугов показал, что в качестве таких дополнительных элементов могут выступать дисковые батареи (рисунок 3, а). Однако недостатком использования сферических дисков батарейного размещения является то, что помимо размельчения ими почвенного объёма пласта происходит его смещение

от края борозды. Помимо этого, при движении дисковых батарей, установленных под определённым углом атаки, по уложенным на край борозды пластинам затруднительно добиться согласованного заглубления данных элементов конструкции плуга, что приводит к боковому смещению орудия [15].

Исследованиями, проведёнными в лабораторном почвенном канале кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ВГЛТУ, установлено, что помимо тягового сопротивления с увеличением угла атаки сферических дисков сила бокового увода батареи также возрастает (рисунок 2).

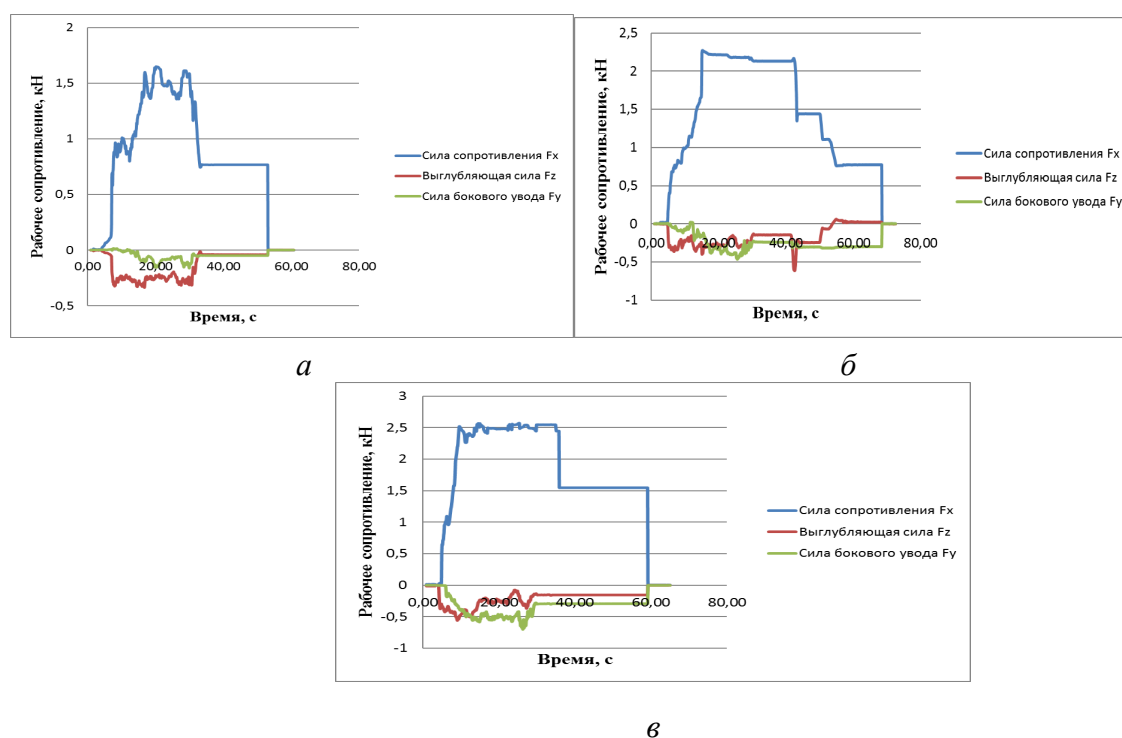


Рисунок 2. Результаты замера силовых показателей работы дисковой батареи по трём осям OX , OY и OZ : *а* — при угле атаки 10° , *б* — при угле атаки 20° , *в* — при угле атаки 30° [результаты исследований авторов]

Figure 2. The results of measuring the power indicators of the disk battery on three axes OX , OY and OZ : **(a)** at an angle of attack of 10° , **(b)** at an angle of attack of 20° , **(c)** at an angle of attack of 30°

Замеры силовых показателей работы дисковой батареи при значении угла её атаки 10° , 20° и 30° выполнялись с использованием специальной тензометрической навески, позволяющей оценить возникающие усилия по трём осям. Время перемещения дисковой батареи в почве специальной тяговой тележкой составляло 25—27 с. Постоянное значение тягового сопротивления после тридцатой секунды объясняется натяжением тензодатчиков в статическом положении.

Другим дополнительным узлом конструкции плугов для обработки лесных почв часто выступают гладкие цилиндрические катки (рисунок 3, б), но при их использовании пласт лишь прижимается к необработанной поверхности без измельчения. Улучшение рабочих характеристик катков также может быть осуществлено за счёт размещения на них дисковых ножей (рисунок 3, в), в т.ч. и с криволинейной режущей кромкой (рисунок 3, г). Однако наибольшую перспективу представляет компоновка узла, в котором на одной оси размещены как дисковые ножи (цельнокрайние или с криволинейной режущей кромкой), так и катки-уплотнители конической формы, установленные по краям (рисунок 3, д, е).

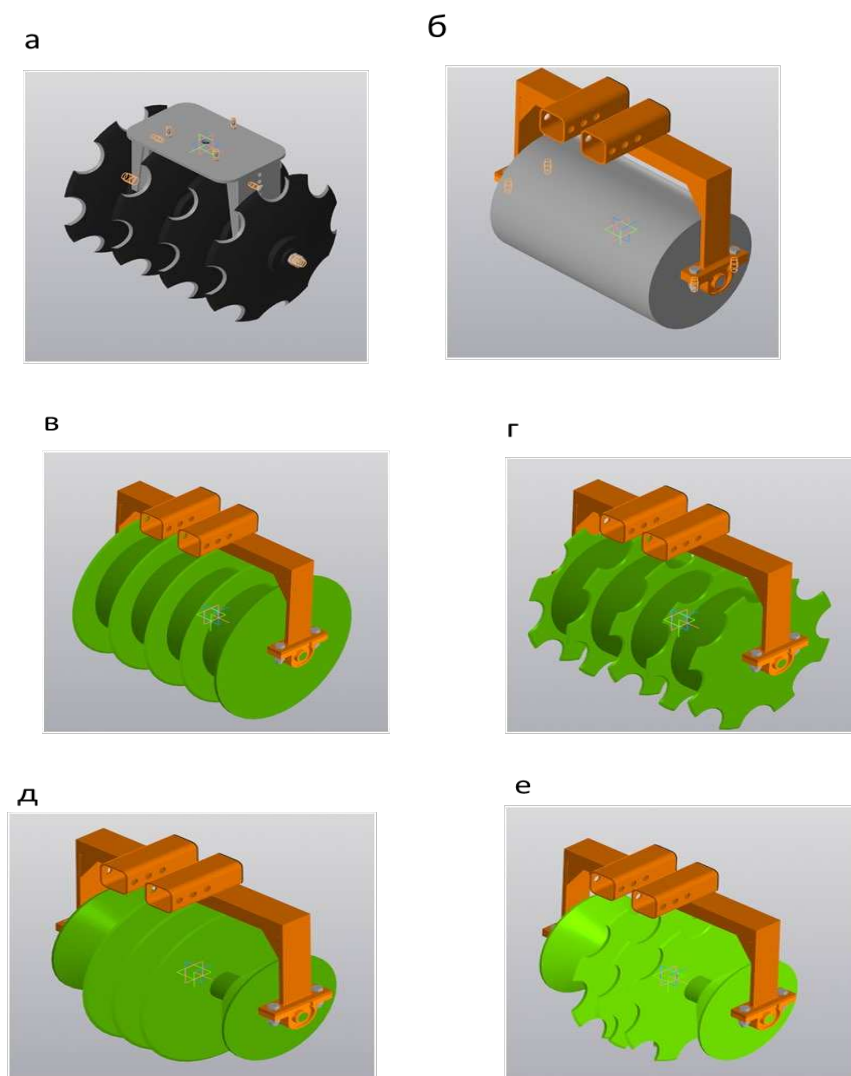


Рисунок 3. Дополнительные узлы лесных плугов для воздействия на почвенный пласт, уложенный на край борозды [разработки авторов]

Figure 3. Additional nodes of forest plows for influencing the soil layer laid on the edge of the furrow

4. Обсуждение и заключение

Специалисты лесного хозяйства отмечают, что невысокая доля искусственно созданных лесов в общем объёме лесного фонда складывается вследствие низкого технического уровня лесовосстановительных работ и, в частности, неудовлетворительного качества проведения почвообработки [1]. Поэтому обеспечение требований, предъявляемых к процессу обработки лесных почв, характеризующихся разнообразной типологией, невозможно без использования современных технических средств. Немаловажен и тот факт, что ресурсный потенциал предприятий и организаций-лесоиспользователей не всегда отвечает требованиям к их эффективной работе, поэтому, помимо прочих, основной характеристикой лесохозяйственных машин должна являться их универсальность. Большая номенклатура требующейся в лесном хозяйстве техники и разнообразие её типоразмеров вкупе с ограниченными финансовыми возможностями предприятий лесного хозяйства требует перехода к блочно-модульному принципу создания лесохозяйственных машин [16].

С учётом данного обстоятельства наличие в конструкции разрабатываемого лесного плуга для возможности работы, в т. ч. и на площадях с высокой степенью увлажнения почвы, съёмных катков позволяет качественно измельчать пласт, не допуская смещения объёмов почвы от края борозды. Конические катки-уплотнители позволяют устранить возникающие пустоты после фрагментирования обёрнутого пласта и ускорить разложение растительных остатков, а значит, сократить срок от выполнения обработки почвы до начала посадки лесных культур.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 22-79-10010, <https://rscf.ru/project/22-79-10010/>.

Список литературы

1. Основные технические направления совершенствования лесовосстановления и лесообразования / Н. А. Луганский, В. А. Азаренок, С. В. Залесов [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2008. № 2 (30). С. 1—18.
2. Попов Н. Л. Лесовосстановление в России: текущее состояние и пути развития // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2021. № 5 (131). С. 198—202.
3. A large and persistent carbon sink in the world's forests / Y. Pan, R. Birdsey, J. Fang [et. al.] // Science. 2011. No. 333. P. 988—993. DOI: 10.1126/science.1201609.
4. Пошарников Ф. В. Технология и машины лесовосстановительных работ: Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 250301 — Лесоинженерное дело. Воронеж: ВГЛТА, 2006. 523 с.
5. Зима И. М., Малюгин Т. Т. Механизация лесохозяйственных работ. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 416 с.
6. Mechanical site preparation for forest restoration / M. Löf, D. Dey, R. Cerrillo [et. al.] // New For. 2012. Vol. 43, no. 5—6. P. 825—848.

7. Alcázar J., Woodard R. P. L. M. Soil Disturbance and the Potential for Erosion After Mechanical Site Preparation // *Northern Journal of Applied Forestry*. 2002. No. 19. P. 5—13. DOI: 10.1093/njaf/19.1.5.
8. Способы подготовки почвы для создания лесных культур / Д. Ю. Дручинин, М. А. Гнусов, Е. В. Поздняков [и др.] // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Седьмой Всерос. национал. научно-практич. конф. с междунар. участием, Петрозаводск, 25 мая 2021 года. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2021. С. 58—59.
9. Технология и механизация лесохозяйственных работ: Учебник / И. В. Казаков, Н. Е. Проказин, С. А. Родин [и др.]. М.: Юрайт, 2021. 348 с.
10. Горбунов И. В., Зима Ю. В. Причины гибели лесов байкальского региона (Забайкальский край) // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2018. № 1. С. 139—143.
11. Сунгурова Н. Р., Сунгуров Р. В., Гаевский Н. П. Анализ эффективности искусственного лесовосстановления и предложения по его улучшению // *Учёные записки Петрозаводского государственного университета*. 2014. № 8-1 (145). С. 71—76.
12. Ярошенко А. Правильно ли сажают и выращивают лес после рубки // *Леспроминформ*. 2022. № 1 (163). С. 74—79.
13. Мамонтов В. Г. *Общее почвоведение: Учебник*. М.: КноРус, 2017. 538 с.
14. Ośrodek Techniki Leśnej. URL: otljarocin.lasy.gov.pl. (accessed: 29.09.2023). Text. Image: electronic.
15. Лысыч М. Н. Исследование процесса обработки почвы дисковым культиватором с использованием метода дискретных элементов // *Современные наукоёмкие технологии*. 2020. № 3. С. 59—64.
16. Казаков В. И., Прохоров Л. Н. О концепции развития механизации лесного хозяйства и лесохозяйственного машиностроения // *Вестник Центрально-Чернозёмного регионального отделения наук о лесе РАЕН Воронежской государственной лесотехнической академии*. 2002. С. 244—246.

References

1. Lougansky N. A., Azarenok V. A., Zalesov S. V., Zalesov A. S., Isaeva R. P., Terexov G. G., Freiberg I. A. The main technical trends to improve reforestation and forest formation. *Forests of Russia and the economy in them*, 2008, no. 2 (30), pp. 1—18. (In Russ.)
2. Popov N. L. Reforestation in Russia: current situation and development. *Proceedings of the Saint Petersburg state university of economics*, 2021, no. 5 (131), pp. 198—202. (In Russ.)
3. Pan Y., Birdsey R., Fang J., Houghton R. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 2011, no. 333, pp. 988—993. doi: 10.1126/science.1201609.
4. Posharnikov F. V. *Technology and machines of reforestation works*. Voronezh, VGLTA, 2006. 523 p. (In Russ.)
5. Zima I. M., Malyugin T. T. *Mechanization of forestry works*. Moscow, Forest Industry, 1976. 416 p. (In Russ.)
6. Löf M., Dey D., Cerrillo R., Jacobs D. Mechanical site preparation for forest restoration. *New Forests*, 2012, vol. 43, no. 5—6, pp. 825—848.
7. Alcázar J., Woodard R. P. L. M. Soil Disturbance and the Potential for Erosion After Mechanical Site Preparation. *Northern Journal of Applied Forestry*, 2002, no. 19, pp. 5—13. doi: 10.1093/njaf/19.1.5.

8. Druchinin D. Yu., Gnusov M. A., Pozdnyakov E. V., Popov M. A. Methods of soil preparation for the creation of forest plantation. Improving the efficiency of the forest complex. *Materials of the Seventh All-Russian National Scientific and Practical Conference with international participation*. Petrozavodsk, Publishing houses Petrozavodsk State University, 2021, pp. 58—59. (In Russ.)
9. Kazakov I. V., Prokazin N. E., Rodin S. A., Zinin V. F., Klimov O. G. *Technology and mechanization of forestry works: Textbook*. Moscow, Yurit, 2021. 348 p. (In Russ.)
10. Gorbunov I. V., Zima Yu. V. The causes of forest death in the Baikal region (Trans-Baikal Territory). *International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2018, no. 1, pp. 139—143. (In Russ.)
11. Sungurova N. R., Sungurov R. V., Gaevsky N. P. Analysis of artificial reforestation efficiency and suggestions on its improvement. *Scientific notes of Petrozavodsk State University*, 2014, no. 8-1 (145), pp. 71—76. (In Russ.)
12. Yaroshenko A. Is it right to plant and grow a forest after logging. *Lesprominform*, 2022, no. 1 (163), pp. 74—79.
13. Mamontov V. G. *General soil science: Textbook*. Moscow, KnoRus, 2017. 538 p. (In Russ.)
14. Ośrodek Techniki Leśnej. URL: otljarocin.lasy.gov.pl. (accessed: 29.09.2023). Text. Image: electronic.
15. Lysych M. N. Investigation of the soil tillage process with a disc cultivator using the method of discrete elements. *Modern high-tech technologies*, 2020, no. 3, pp. 59—64 (In Russ.)
16. Kazakov V. I., Prokhorov L. N. On the concept of development of mechanization of forestry and forestry engineering. *Bulletin of the Central Chernozem Regional Department of Forest Sciences of the Voronezh State Forestry Academy*, 2002, pp. 244—246.

DOI: 10.15393/j2.art.2024.7463

УДК 630*24 : 630*174.755 : 630*181.522 : 630*181.7 (470.51/.54)

Статья

Влияние рубок ухода на рост и плодоношение сибирской и европейской елей в культурах на Среднем Урале

Терехов Геннадий Григорьевич

*доктор сельскохозяйственных наук, Ботанический сад УрО РАН (Российская Федерация),
terekhov_g_g@mail.ru*

Андреева Елена Михайловна

*кандидат биологических наук, Ботанический сад УрО РАН (Российская Федерация),
e_m_andreeva@mail.ru*

Стеценко Светлана Карленовна

*кандидат биологических наук, Ботанический сад УрО РАН (Российская Федерация),
stets_s@mail.ru*

Теринов Николай Николаевич

*доктор сельскохозяйственных наук, Ботанический сад УрО РАН (Российская Федерация),
n_n_terinov@mail.ru*

Получена: 16 октября 2023 / Принята: 12 февраля 2024 / Опубликовано: 25 февраля 2024

Аннотация: Цель исследований — изучение влияния прочистки на регулирование морфоструктуры и густоты древостоя, рост ствола и кроны, ускорение и увеличение репродуктивной способности ели. Объектом исследований являлся участок 19-летних культур ели сибирской и ели европейской, заложенных одновременно на старой вырубке в типе леса ельник разнотравно-зеленомошниковый со свежими, периодически влажными почвами. На участке проведена прочистка разной интенсивности изреживания смешанного древостоя. После прочистки образовалось шесть секций: контрольная (без рубки), остальные опытные — с вырубкой стволов древесных видов: 19, 24, 38, 44 и 67 %. Все виды естественного возобновления на последних 2 секциях вырублены сплошь. Исследованиями установлено, что эффективность рубок ухода определялась интенсивностью изреживания лиственного древостоя. Максимальные периодические (за 12 лет) приросты высоты и диаметра стволов, проекции и объема кроны обоих видов елей отмечены на последних двух секциях. При этом

полное отсутствие лиственных пород на участке способствовало повреждению центральных побегов ствола и ветвей елей высотой до 5 м позднеосенними заморозками, а в летне-осенний период у елей с максимальными размерами кроны в культурах третьего и начала четвёртого десятилетий отмечалась ветровальность. На секциях с участием лиственных пород влияние этих абиотических факторов на ели не отмечено. Ель европейская по некоторым таксационным показателям к 31-летнему возрасту культур превосходит ель сибирскую. Прочистка способствовала активному накоплению деревьев елей обоих видов в первом ярусе древостоя. Больше всего их было на секциях без лиственных пород и в рядах с изреживанием елей. Увеличенный размер кроны елей и постоянная освещённость её солнечными лучами стимулируют семеношение с наибольшим количеством репродуктивных органов по сравнению с деревьями елей на секциях с участием лиственных пород. Через 15 лет после посадки культур ежегодно в опадоуловителях имелись здоровые семена елей. Их количество (0,1—1,2 кг/га) зависело от возраста культур и урожайности шишек. В междурядьях постоянно появляются всходы, из которых образуется подрост. За счёт его накопления есть возможность сформировать разновозрастные еловые древостои, что создаст предпосылку для «натурализации» культурценозов. Даны рекомендации по организации здесь постоянного лесосеменного участка ели сибирской и ели европейской.

Ключевые слова: рубки ухода; культуры елей сибирской и европейской; рост ствола и кроны деревьев; семеношение

DOI: 10.15393/j2.art.2024.7463

Article

Influence of tending felling on the growth and seed production of Siberian and Norway spruce trees in cultures in the Middle Urals

Gennadii Terekhov

Dr. Sc. in agriculture, Botanical Garden Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Russian Federation), terekhov_g_g@mail.ru

Elena Andreeva

Ph. D. in biology, Botanical Garden Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Russian Federation), e_m_andreeva@mail.ru

Svetlana Stetsenko

Ph. D. in biology, Botanical Garden Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Russian Federation), stets_s@mail.ru

Nikolay Terinov

Dr. Sc. in agriculture, Botanical Garden Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Russian Federation), n_n_terinov@mail.ru

Received: 16 October 2023 / Accepted: 12 February 2024 / Published: 25 February 2024

Abstract: The purpose of the research was to study the effect of tending felling on the regulation of stand morphostructure and density, trunk and crown growth, acceleration and increase of spruce reproductive ability. The object of the research was a site of 19-year-old *Picea obovata* and *Picea abies* planted simultaneously on an old clear cutting in the spruce forest with the fresh moist soil covered with different grass species and green mosses. Tending felling was performed on the site with different thinning intensity of mixed forest stand. After clearing six sections were formed: one control section (without cutting), and five experimental ones with 19, 24, 38, 44 and 67 % tree trunks cut down. All the trees of natural regeneration were cut down on two last sections. It was found that the efficiency of tending felling resulted from the intensity of deciduous stand clearing. The maximum periodic (over 12 years) growth of the trunks height and diameter, projection and volume of crowns of both types of fir trees were noted in the last two sections. At the same time the complete absence of deciduous trees on the site contributed to the damage of the central shoots of the trunk and branches of spruce trees

up to 5 m high by late spring frosts. Windfall spruce trees with the maximum crown size in the cultures of the third and early fourth decades were noted in the summer and autumn periods. The influence of these abiotic factors on spruce trees was not observed in sections with deciduous trees presence. By the age of 31 years *Picea abies* surpassed *Picea obovata* by some taxation indicators. Clearing contributed to the active accumulation of spruce trees of both types in the first layer of the forest stand. Most of spruce trees grew on sections without deciduous trees and in rows thinned of fir trees. The increased size of fir trees crown and its constant solar illumination stimulated seed production due to larger number of reproductive organs compared to spruce trees on sections with the deciduous trees presence. Healthy spruce seeds in the traps were available every year in 15-year old stands. Their number (0.1—1.2 kg/ha) depended on trees age and the spruce cone harvest. Spruce undergrowth appeared between the rows of trees. Therefore is possible to form uneven spruce stands. The recommendations for the organization of a permanent seed plantation of *Picea abies* and *Picea obovata* are given.

Keywords: thinning; *Picea abies* and *Picea obovata* cultures; tree trunk and crown growth; seed production

1. Введение

Актуальной задачей современного отечественного и зарубежного лесного хозяйства является разработка новой стратегии, направленной на недопущение смены хозяйственно ценных пород, улучшение товарной структуры древостоя и повышение производительности насаждений, на ускорение процесса начала выполнения лесными насаждениями средообразующих функций и репродуктивной способности с сохранением их высокого уровня на всём протяжении онтогенеза [1—5].

Особенностью формирования искусственных молодняков в условиях сплошных вырубок является их тесное взаимоотношение с естественными сообществами. В смешанных молодняках быстрорастущие лиственные древесные породы и кустарниковые виды, в основном вегетативного происхождения, многократно превышают по количеству посаженные растения и занимают господствующий ярус уже с молодого возраста. Без рубок ухода они оказывают негативное влияние на сохранность и рост культур ели, сосны и других пород, сдерживая на многие десятилетия их выход в первый ярус [7], [8].

Общеизвестно, что рубки ухода решают множество задач [4], [9], [10], но крайне скупы сведения об оптимальном соотношении после рубок ухода численности и видового состава лиственных пород, защищающих на начальных этапах формирования ель от неблагоприятных абиотических факторов и при этом несущественно снижающих её рост и развитие. В условиях уральского региона не обнаружено сведений о допустимом режиме развития лиственных пород на участках ели второго класса возраста, поэтому исследование влияния своевременных рубок ухода на процесс формирования устойчивых еловых культурценозов и ускорения срока начала их репродуктивной способности — одна из актуальнейших задач современного лесоведения и лесоводства.

Культуры ели на территории Свердловской и Пермской областей начали создавать с конца 60-х гг. XX в., объёмы их постоянно наращиваются [11]. Учитывая срок примыкания сплошных вырубок в 5 лет, то за последние 50 лет образовались огромные массивы еловых насаждений искусственного происхождения. Высокополнотные участки еловых культурценозов с минимальным участием других лесообразующих пород могут представлять интерес для организации постоянной лесосеменной базы [2], [12], [13].

Данная работа посвящена изучению влияния второго приёма рубок ухода — прореживание разной интенсивности на выход в первый ярус деревьев ели разной видовой принадлежности и динамика семеношения их в наиболее распространённом типе леса — ельник разнотравно-зеленомошниковый.

Целью прорубки являлось регулирование морфоструктуры и густоты древостоя, улучшение условий для роста ствола и кроны и увеличение числа семеносящих деревьев елей и количества репродуктивных органов на них.

2. Материалы и методы

Объектом исследований являлся опытно-производственный участок (ОПУ) культур ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) и ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst.) площадью 4,1 га. Он находится в квартале 103 (выдел 17) Починковского участкового лесничества Невьянского лесничества Свердловской области. Территория лесничества расположена в низкогорных лесах подзоны южной тайги [14]. Участок приурочен к нижней 1/3 макросклона восточной экспозиции, уклон 4—6°, длинной стороной (350 м) поперёк склона. Его координаты: 57°08' 25" с. ш. и 59° 98' 59" в. д. Посадка культур ели на опытно-производственном участке выполнена под руководством Г. Г. Терехова в 1985 г. на 6-летней сплошной вырубке в типе леса ельник разнотравно-зеленомошниковый, который отнесён к травяно-зеленомошной группе типов леса [15]. Почва на ОПУ дерново-подзолистая суглинистая, свежая, периодически влажная, при близком водоупоре из глинистого элювия плотных горных пород, создающего верховодку. Посадочным местом служили микроповышения — гряды (плуг ПЛМ-1,3) и пласты (ПЛП-135). Культуры ели сибирской и ели европейской созданы 4-летними сеянцами, шаг посадки 0,7 м. Каждый ряд от начала и до конца посажен одним видом ели. Чередование ели сибирской с елью европейской равномерное — через один ряд. Направление рядов с севера на юг вдоль длинной стороны участка.

Освещение узкокоридорным методом проводили в 9-летних культурах на всём участке (15-летняя рубка), ширина прорубленных коридоров вдоль рядов ели 1,5—2,5 м. В 19-летних культурах ели (осенью 2004 г.) выполнена прочистка разной интенсивности изреживания древостоя. Перед прочисткой лесокультурный участок разделили вдоль длинной стороны на две равные половины, а затем обе половины ещё раз разделили поперёк на три равные части. Образовалось 6 равных секций (постоянные пробные площади): секция 1 вторым приёмом рубок ухода не затрагивалась, является контрольной; на секции 1а (примыкает длинной стороной к секции 1) вначале изреживали деревья елей в рядах, после этого вырубали со стороны междурядий только те естественные деревья, крона которых перекрывала осевую точку роста оставленных деревьев елей, общая степень изреживания деревьев составила 24 % от их количества; на секции 2 (короткой стороной примыкает к секции 1) применяли верховой метод рубки возобновившихся деревьев коридорами вдоль рядов елей (ширина коридоров до 3 м), в междурядьях сохранились узкие разорванные кулисы лиственных пород, из-за этого значительная часть культур ели оказалась с открытой вершиной, степень изреживания составила 19 %; на секции 2а (примыкает длинной стороной к секции 2, а короткой стороной — к секции 1а) вначале изредили ель в рядах, а затем всё то же, что на секции 2, общая степень изреживания деревьев составила 38 %; на секции 3 (короткой стороной примыкает к секции 2) полностью удалены все виды естественного возобновления высотой более 1 м, степень изреживания деревьев 44 % и на секции 3а (примыкает длинной стороной к секции 3, а короткой — к секции 2а) — всё то же,

но дополнительно изреживали деревья елей в рядах, степень изреживания деревьев составила 67 %. Промежутки между кронами оставшихся деревьев елей сибирской и европейской в изреженных рядах от 1 до 2 м. После прочистки на секциях 1а, 2 и 2а вдоль рядов елей образовались окна, коридоры без лиственных пород, их размер составил от 30 до 180 м².

Сразу после прочистки и по окончании наблюдений на каждой секции у всех деревьев елей сибирской и европейской изучены морфометрические показатели: высота и диаметр ствола, проекция кроны вдоль и поперёк ряда, протяжённость её по стволу. Ко второму ярусу отнесены деревья елей, у которых высота ствола меньше на 20 %, чем средняя высота деревьев первого яруса. Учёт урожайности шишек на участке проводился с 2003 г., а после прочистки ежегодно — на каждом дереве каждой секции. Имеющиеся шкалы А. А. Молчанова [16], В. Г. Капера [17] оценки урожайности шишек на деревьях хвойных пород, используемые во взрослых насаждениях, для еловых молодняков с небольшим размером кроны не совсем подходят. Чтобы глазомерным способом более точно оценить количество шишек на всех семеносящих деревьях каждой секции, а затем перевести на 1 га, нами принята следующая балльная шкала: балл 1 присутствует от 1 до 10 шт. шишек на одном дереве; балл 2 — 11—50 шт.; балл 3 — 51—100; балл 4 — 101—150; балл 5 — 151—200 шт. и т. д. с интервалом через 50 шт. Подобная градация ранее также была использована в работе Н. А. Рыбаковой, М. В. Рубцова [1].

3. Результаты

Молодняки — основа будущего древостоя. Исследование горизонтальной и вертикальной структуры древесного полога в искусственных дендроценозах позволяет выявить их биологическую устойчивость к абиотическим факторам, определить условия, обеспечивающие высокие приросты ствола и кроны, а также теоретически обосновать методы, способы и виды рубок ухода и главных рубок [18].

Последующее семенное возобновление лиственных деревьев и кустарников на лесокультурном участке отсутствовало, а вегетативное возобновление лиственных пород было неравномерным, на секциях 1а, 2 и 2а оно представлено лишь ивой козьей, черёмухой обыкновенной и ивой кустарниковой формы (высотой не более 1,5 м). На секциях 3 и 3а по междурядьям отмечена мозаично поросль берёзы, черёмухи, рябины и ивы козьей от пней и отпрыски осины. Большинство стволиков осины и берёзы в молодом возрасте оказались повреждёнными на разной высоте дикими животными. Высота 12-летних порослевых деревьев вторичного возобновления была до 6 м, а общая площадь проекции их крон — не более 25 % территории междурядий. Лиственные породы вторичного возобновления в отдельных случаях выполняли роль подгона для обоих видов елей; кроме того, ежегодно в составе древесного опада присутствует много листьев, что ускоряет процесс минерализации хвойного опада.

Перед прочисткой 7—12 % деревьев ели сибирской имели многовершинность (результат воздействия заморозков), у ели европейской таких деревьев было 6—14 %. Во время второго приёма рубок ухода они почти все были удалены. Вновь повреждённые заморозками деревья обоих видов елей отмечены лишь на секциях 3 и 3а; это, как правило, деревья высотой до 5 м (второй ярус). Повреждение заморозками центральных побегов ствола и кроны елей на секциях сплошного удаления лиственных пород отмечено трижды. Общее количество повреждённых деревьев второго яруса на секции 3а у ели сибирской (в среднем) составило 23 %, а это около 4 % от всех деревьев (1-й и 2-й яруса); у ели европейской соответственно 21 % и 5 %. Центральный побег деревьев 1-го яруса заморозками не повреждался.

Состав насаждения (по запасу древесины) в конце наблюдений (2016 г.) на контрольной секции составил 1Е(л. к.)5Б3Ос1Е (ест.), относительная полнота 1,0; на секции 1а — 1Е(л. к.)5Б3Ос1Е (ест.) и 0,9; на секции 2 — 2Е5Б3Ос и 0,8; на секции 2а — 2Е5Б3Ос ед. Е (ест.) и 0,7; на секции 3 — 10Е ед. Б и 0,7; на секции 3а — 10Е ед. Б и 0,5.

Основные морфометрические показатели деревьев ели сибирской и ели европейской в начале и по окончании исследований приведены в таблице 1, откуда видно, что к концу первого класса возраста (на момент проведения прочистки) сохранность обоих видов елей довольно высокая. Однако большое количество сибирской и европейской елей оказалось под раскидистой кроной деревьев лиственных пород (берёза, осина, ива козья) третьего класса, что негативно отразилось на высоте и других морфометрических показателях 19-летних культур обоих видов елей. Посадка елей проведена на сплошной вырубке 6-летней давности с обильным возобновлением лиственных видов. Крона их в облиствённом состоянии на сплошной вырубке ельника разнотравно-зеленомошникового, приуроченного к нижней части склона, долгое время надёжно защищала молодые побеги елей от поздневесенних заморозков, которые отмечаются здесь часто до конца второй декады июня.

Деревья елей в начале 2-го класса возраста на секциях 1, 2 и 3 без изреживания давно сомкнулись кронами и корнями в рядах. Здесь наиболее выражена дифференциация деревьев по высоте (разница между максимальной и минимальной высотой 3—4-кратная). В результате межвидовой и внутривидовой конкуренции большое количество елей имеют незначительный прирост центрального побега, отстали в росте, занимают 2-й ярус в древостое. Низкая способность к самоизреживанию елей увеличивает число жизнеспособных деревьев, но при этом очень много угнетённых елей, у которых начался процесс усыхания и отпада.

У большинства деревьев каждого вида елей на контрольных секциях 12-летний периодический прирост центрального побега был незначителен, несмотря на то, что за этот период увеличилась высота лиственных деревьев, а в нижней части их кроны уменьшилось количество живых ветвей, что способствовало увеличению освещённости. Лишь отдельные деревья елей в окнах между лиственными породами имели высокие приросты центрального побега. По сравнению с контролем морфометрические показатели роста елей на опытных

секциях заметно увеличились. Максимальный периодический прирост высоты ствола елей относительно исходного показателя отмечен на секциях при сплошной рубке лиственных древесных и кустарниковых видов (секция 3) и дополнительного изреживания (секция 3а) деревьев в рядах (рисунок 1).

Таблица 1. Текущая густота и морфометрические показатели деревьев ели в культурах. Числитель — 2004 г., знаменатель — 2016 г.

Table 1. Current density and morphometric parameters of spruce trees in cultures. Numerator — 2004 year, denominator — 2016 year

№ секции	Ствол деревьев		Крона			Густота деревьев, шт./га
	высота, м	диаметр, см	проекция, м		протяжённость относительно высоты ствола, %	
			вдоль ряда	поперёк ряда		
Ель сибирская						
1	<u>7,4 ± 0,48</u>	<u>6,4 ± 0,46</u>	<u>1,5 ± 0,15</u>	<u>1,8 ± 0,16</u>	<u>68,2</u>	<u>3708</u>
	9,2 ± 0,62	8,8 ± 0,79	1,6 ± 0,15	2,1 ± 0,17	58,8	3287
1a	<u>8,1 ± 0,41</u>	<u>7,1 ± 0,53</u>	<u>1,9 ± 0,13</u>	<u>2,0 ± 0,16</u>	<u>59,1</u>	<u>1638</u>
	13,8 ± 0,52	11,5 ± 0,68	2,5 ± 0,29	2,7 ± 0,13	84,0	1521
2	<u>7,6 ± 0,44</u>	<u>6,2 ± 0,49</u>	<u>1,5 ± 0,11</u>	<u>1,9 ± 0,19</u>	<u>66,7</u>	<u>3843</u>
	14,7 ± 0,63	12,2 ± 0,78	1,9 ± 0,15	2,4 ± 0,14	68,3	3398
2a	<u>7,9 ± 0,41</u>	<u>7,5 ± 0,51</u>	<u>2,0 ± 0,16</u>	<u>2,2 ± 0,19</u>	<u>63,3</u>	<u>1820</u>
	15,6 ± 0,78	12,4 ± 0,76	2,7 ± 0,24	3,0 ± 0,23	78,4	1669
3	<u>7,9 ± 0,53</u>	<u>6,1 ± 0,48</u>	<u>1,5 ± 0,11</u>	<u>1,8 ± 0,16</u>	<u>42,9</u>	<u>4170</u>
	14,3 ± 0,59	12,6 ± 0,81	1,8 ± 0,16	2,5 ± 0,17	64,6	3773
3a	<u>7,8 ± 0,59</u>	<u>7,6 ± 0,53</u>	<u>1,9 ± 0,17</u>	<u>2,2 ± 0,14</u>	<u>85,4</u>	<u>1792</u>
	14,8 ± 0,64	13,7 ± 0,86	3,2 ± 0,11	3,4 ± 0,12	81,5	1776
Ель европейская						
1	<u>7,6 ± 0,41</u>	<u>5,8 ± 0,59</u>	<u>1,3 ± 0,14</u>	<u>1,8 ± 0,15</u>	<u>69,6</u>	<u>4477</u>
	11,5 ± 0,67	7,4 ± 0,70	1,5 ± 0,17	2,4 ± 0,19	65,7	3687
1a	<u>8,4 ± 0,61</u>	<u>6,4 ± 0,41</u>	<u>1,8 ± 0,16</u>	<u>2,0 ± 0,13</u>	<u>74,1</u>	<u>2269</u>
	15,1 ± 0,74	10,0 ± 0,62	2,4 ± 0,18	2,8 ± 0,19	72,2	2012
2	<u>7,5 ± 0,55</u>	<u>6,3 ± 0,55</u>	<u>1,2 ± 0,16</u>	<u>1,9 ± 0,17</u>	<u>66,7</u>	<u>3894</u>
	14,1 ± 0,89	9,5 ± 0,67	1,5 ± 0,19	2,5 ± 0,13	63,3	3509
2a	<u>8,8 ± 0,57</u>	<u>6,6 ± 0,54</u>	<u>2,0 ± 0,18</u>	<u>2,4 ± 0,27</u>	<u>69,1</u>	<u>1624</u>
	17,4 ± 0,87	13,4 ± 0,81	2,9 ± 0,21	3,3 ± 0,19	77,1	1512
3	<u>7,6 ± 0,54</u>	<u>6,4 ± 0,57</u>	<u>1,3 ± 0,16</u>	<u>1,7 ± 0,17</u>	<u>67,4</u>	<u>2597</u>
	17,8 ± 0,89	10,9 ± 0,76	1,4 ± 0,18	2,8 ± 0,15	66,0	2364
3a	<u>8,7 ± 0,67</u>	<u>6,7 ± 0,52</u>	<u>1,9 ± 0,16</u>	<u>2,2 ± 0,16</u>	<u>63,6</u>	<u>1923</u>
	16,9 ± 0,89	14,4 ± 0,88	3,3 ± 0,21	3,7 ± 0,34	85,3	1912

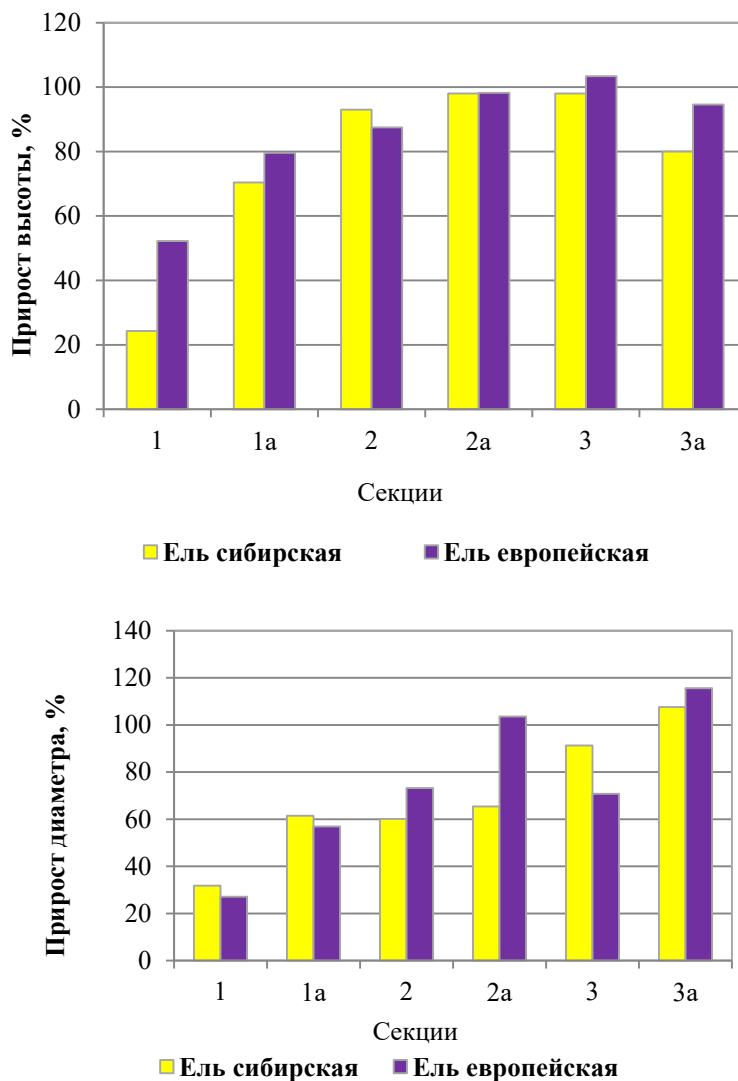


Рисунок 1. Прирост ствола по высоте и диаметру деревьев елей за 12-летний период (2005—2016 гг.) после прочистки

Figure 1. The height and diameter increment of the spruce trees trunk over a 12-year period (2005—2016) after tending felling

Вырубка лиственных деревьев разной интенсивности и дополнительное изреживание деревьев елей в рядах снизило межвидовую и внутривидовую конкуренцию надземной части и корневой системы, в большей мере улучшило освещённость кроны, что положительно отразилось на приросте ствола по диаметру, прежде сего у ели европейской. Периодический прирост ствола по диаметру в опытных секциях превысил исходный в 1,6—2,1 раза и более. Особенно это заметно на секциях 3а у обоих видов елей.

Доля деревьев ели сибирской, находящихся в первом ярусе древостоя в момент прочистки, составляла в среднем около 10 % от общего количества, ели европейской — 9 %. Через 12 лет количество таких деревьев на контрольной секции у ели сибирской

уменьшилось до 7 % (230 шт./га), ели европейской — до 4 % (147 шт./га). На опытной секции 1а, где интенсивность изреживания древостоя составляла 24 % (в т. ч. 17 % ели и 7 % лиственных пород), их было соответственно 13 % и 19 % (198 шт./га и 324 шт./га). На опытной секции 2 при небольшой степени изреживания лиственных деревьев (19 %), но с большим количеством окон в пологе доля деревьев ели сибирской, достигших 1-го яруса в древостое, составила 33 % (1121 шт./га) и ели европейской — 37 % (1298 шт./га). Более высокая степень изреживания древостоя на секции 2а (38 %, в т. ч. 16 % лиственных пород) позволила к этому возрасту достигнуть 1-го яруса преобладающей части деревьев ели сибирской (55 %, или 918 шт./га) и ели европейской (58 %, или 877 шт./га). При отсутствии затенения со стороны лиственных пород и с изреживанием елей в рядах (секции 3а) почти все деревья обоих видов елей находились в 1-м ярусе (ель сибирская — 91 %, ель европейская — 93 %), на секции без изреживания — соответственно 67 % и 55 %. В последнем случае у елей в 31-летних культурах отмечается высокая внутривидовая конкуренция, из-за угнетения многие деревья отстали в росте. Количество деревьев, достигших 1-го яруса, у ели европейской на многих опытных секциях было чуть больше, чем у ели сибирской. Кроны деревьев елей на секции 3а в течение светового дня освещались полностью, на секции 3 — только у деревьев 1-го яруса, а у деревьев 2-го яруса — частично (в утренние и послеобеденные часы). У деревьев елей, достигших 1-го яруса на секциях 1, 1а, 2 и 2а, максимальное освещение получала лишь самая верхняя часть вершины.

В начале четвёртого десятилетия культур на секциях без изреживания деревьев в рядах значительная часть нижних ветвей кроны елей отмерла, в результате протяжённость живой кроны по стволу уменьшилась. После изреживания деревьев в рядах с частичным либо полным удалением лиственных пород текущий периодический прирост ствола по высоте был значительно больше, а отмирание нижних ветвей замедлилось, поэтому протяжённость кроны у ели сибирской достигала 78—84 % (фактический размер кроны 10—12 м), ели европейской — 72—85 % (11—14 м).

Периодический прирост ветвей (кроны) вдоль ряда на секции 2 (с лиственными породами) без изреживания деревьев в рядах у ели сибирской составил 21 % от общей протяжённости, ели европейской — 20 %, а на секции 3 (без лиственных пород) — соответственно 17 % и 7 %. Поперёк ряда периодический прирост ветвей елей сибирской и европейской на этих секциях был в 1,5—2 раза больше. Максимальные значения отмечены на секциях без лиственных пород. Развитие кроны елей на секциях с изреживанием деревьев в рядах происходило активнее (таблица 1), прирост кроны вдоль ряда на секциях 1а, 2а и 3а у ели сибирской составил 24 %, 35 % и 41 % от общего размера проекции, а у ели европейской — соответственно 25 %, 31 % и 42 %. Разница между проекцией кроны вдоль и поперёк ряда на секциях без изреживания достигала у ели сибирской 1,3—1,4, ели европейской 1,6—2,0, на секциях с изреживанием — соответственно 1,1—1,2 и 1,1—1,2.

Наибольшая площадь горизонтальной проекции и объём кроны елей отмечены (рисунок 2) на секциях с изреживанием деревьев в рядах; особенно высокие показатели были как у ели сибирской, так и ели европейской на секциях без лиственных пород.

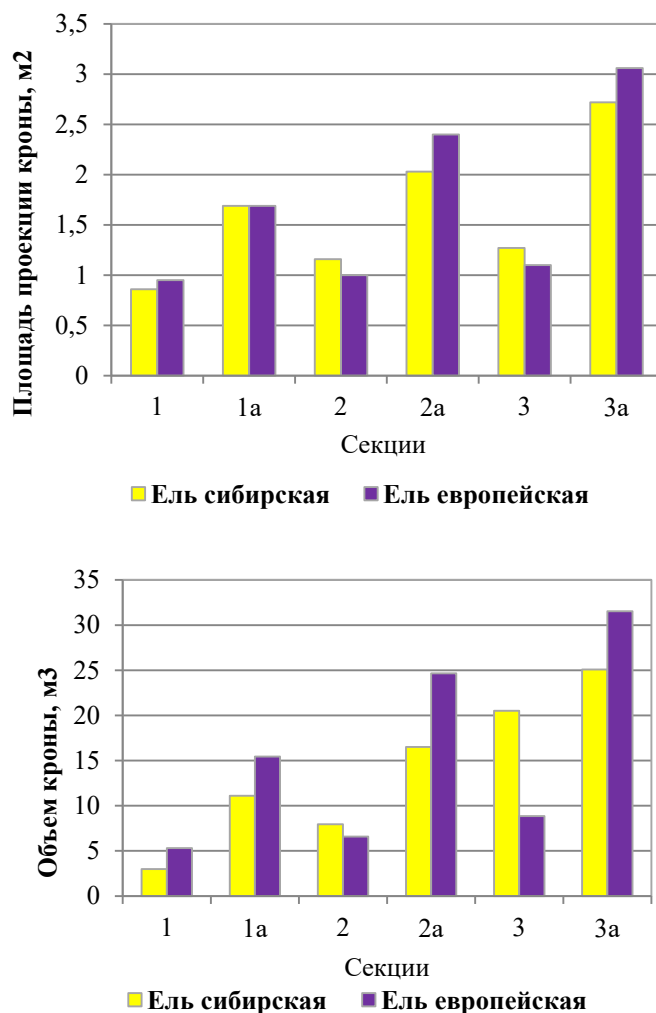


Рисунок 2. Площадь проекции и объём кроны в 31-летних еловых культурах

Figure 2. Projection and crown volume in 31-year-old spruce stands

Основные показатели роста (высота и диаметр ствола, проекция и объём кроны) деревьев ели европейской в 30-летних культурах чуть больше, чем ели сибирской, но достоверность различий между ними отсутствует. Форма кроны на секциях без изреживания елей в рядах овальная (эллипсоидная) с вариантами яйцевидной, выпуклой стороной в направлении наибольшей освещённости, по плотности средняя. На секциях с изреживанием овальность становится менее выраженной и порывы резких ветровых нагрузок на крону будут более равномерно распределяться по ней, не вызывая негативных явлений — слом ствола или одностороннее закручивание кроны с ветровальностью деревьев. При очередном приёме

рубок ухода деревья с односторонне развитой (асимметричной) кроной могут оказаться подлежащими рубке.

Во всех секциях ОПУ к 31-летнему возрасту культур имеется отпад (усыхание отставших в росте) деревьев елей. Наиболее выражен он на контроле (ель сибирская 13 %, ель европейская 18 %) и на опытных секциях 2 и 3 без изреживания деревьев в рядах соответственно 10—11 % и 9—10 %. На секциях 1а и 2а отпад деревьев елей (4—10 %) связан с воздействием разросшихся крон лиственных деревьев и кустарников. На секции 3а хотя незначительный, но также имеется отпад деревьев ели (2 % и 1 %), который образовался в результате ветровальности елей с максимальным объёмом кроны, растущих на нижнем пласту относительно уклона, где более длительное время сохраняется анаэробное явление на переувлажнённых почвах. Корневая система у этих деревьев елей поверхностная, образует веерообразную форму с односторонней направленностью в сторону междурядий. Её протяжённость в сторону борозд не превышает 30 см от внешней окружности ствола. Из-за длительного присутствия воды по дну борозд весной, осенью и при затяжных летних осадках она не выходит в сторону борозд. Ежегодно мелкие корни елей, образовавшиеся летом, проникают в борозды, но осенью либо весной при заполнении борозд водой они отмирают. По количеству вывалившихся деревьев преобладала ель европейская. На секциях 1, 1а, 2 и 2а это явление не отмечено.

Таким образом, в культурах, созданных по пластам на периодически влажных почвах при близком водоупоре из глинистого элювия плотных горных пород, где по дну борозд происходит длительное застаивание воды в вегетационный период, полное удаление лиственных деревьев нежелательно.

Начало появления генеративных органов (шишек) у единичных деревьев ели сибирской, произрастающих на открытых местах, отмечено через 9 лет после посадки 5-летними (3 + 2) саженцами [19]. Отдельные деревья елей обоих видов, находящихся в 1-м ярусе с хорошей освещённостью, имели генеративные органы до прочистки. Через два года после вырубki всей древесной и кустарниковой естественной растительности на секциях 3 и 3а в культурах обоих видов елей произошло значительное увеличение количества деревьев с репродуктивными органами. При этом одновременно возросло количество шишек на каждом дереве по сравнению с предыдущими годами. Семеношение на этих секциях у елей в 1-м ярусе было крайне неравномерно, но ежегодно у разного количества деревьев имелись шишки, их количество — от 3 до 91 шт. на одно дерево.

После прочистки на секциях 2 и 2а у обоих видов елей также произошло увеличение количества деревьев в 1-м ярусе, а через 5 лет величина деревьев с шишками достигла 10 %, но наибольшее количество (до 50 шт.) шишек было только на самых высоких деревьях с максимальной освещённостью кроны. На секции 1а доля таких деревьев елей с каждым годом увеличивалась и возрастала численность шишек на них. В контроле к 25-летнему возрасту лишь отдельные деревья обоих видов елей достигли 1-го яруса, а генеративные

органы (в небольшом количестве) стали образовываться у самых высоких деревьев на последних 1—2-летних приростах вершин.

Присутствие генеративных органов у деревьев елей 2-го яруса (по высоте перед прореживанием они были меньше деревьев 1-го яруса) на секции 3а отмечено на 3-й год у отдельных деревьев, в дальнейшем их количество возрастало. Семеношение на секции 3 было лишь у отдельных деревьев елей 2-го яруса (не затенённых либо со слабым затенением) через 5 лет после прочистки. На остальных секциях наличие шишек у деревьев елей сибирской и европейской к 31-летнему возрасту культур, находящихся во 2-м ярусе, не отмечено.

Наибольшая урожайность шишек за весь период наблюдения отмечена в 30-летних культурах (таблица 2). К этому времени на контрольной секции и на всех опытных секциях у обоих видов елей стали накапливаться деревья в 1-м ярусе. Их количество определялось степенью изреживания древостоя при прочистке. Самое главное то, что на всех секциях, в т. ч. впервые на контрольной секции у обоих видов елей, отмечены деревья с репродуктивными органами. У деревьев елей на контрольной и опытных секциях с участием лиственных пород репродуктивные органы присутствовали только на 1—3-летних приростах вершин. При этом балл урожайности шишек у них невысокий (количество шишек от 3 до 58 шт. на одном дереве), оценён, в основном, 1, 2 и 3 баллами.

Таблица 2. Распределение деревьев с репродуктивными органами в 30-летних культурах (2015 г.) по баллам урожайности на секциях (%)

Table 2. Distribution of trees with reproductive organs in 30-year-old cultures (2015) by yield points in sections (%)

Секция	Количество деревьев с баллом урожайности шишек, %						Всего деревьев с шишками, %
	1	2	3	4	5	6	
Ель сибирская							
1	1	1	0	1	0	0	3
1a	1	2	1	1	1	0	6
2	3	1	2	2	0	0	8
2a	7	3	7	2	1	0	20
3	19	10	6	4	7	6	52
3a	14	14	8	15	18	8	77
Ель европейская							
1	1	1	0	0	1	0	2
1a	1	2	0	2	1	0	6
2	2	1	2	3	1	0	9
2a	3	4	6	5	5	1	24
3	9	16	6	6	3	5	45
3a	8	13	21	19	19	7	87

Максимальное количество деревьев елей с разной урожайностью шишек отмечено на секции 3а (ель сибирская 77 %, ель европейская 87 % от общего количества). Крона этих деревьев освещалась в течение светового дня полностью, генеративные органы здесь отмечены на значительно большем количестве приростов вершины и даже на ветвях в средней части кроны (единично). Доля деревьев ели с высоким баллом урожайности шишек (4, 5 и 6 баллов) на секции 3а у ели сибирской составила 41 %, ели европейской — 45 %. После прочистки на секции 3а у обоих видов елей обильное семеношение (деревьев с шишками в 1-м ярусе 70 % и более) отмечено 3 раза (2009, 2013 и 2015 гг.).

Таким образом, на данном лесокультурном участке можно сформировать постоянный участок по заготовке семян ели сибирской и ели европейской. Для этого необходимо при прореживании на секциях 1, 2 и 3 изредить деревья елей в рядах, а на секциях 1а, 2а и 3а ещё раз изредить деревья елей в рядах. Затем на секциях 1, 1а, 2, и 2а убрать из 1-го яруса все лиственные деревья, сохранив их во 2-м ярусе. При отсутствии 2-го яруса 1-й ярус изреживается так, чтобы крона не менее чем у 70 % деревьев елей оказалась открытой. На секциях 3 и 3а после изреживания елей в рядах следует оставить большую часть лиственных деревьев вторичного возобновления во избежание ветровальности елей.

Эти мероприятия снизят внутривидовую и межвидовую конкуренцию для оставшихся деревьев елей и создадут им благоприятные условия для роста надземной части и корневой системы. Увеличение размера кроны деревьев в культурах и её максимальная освещённость повысят урожайность шишек, что будет способствовать появлению большего количества семян и самосева, тем самым создаётся возможность формирования 2-го яруса из елового подроста под пологом искусственного материнского древостоя.

Начало раскрытия семенных чешуек и вылет семян определяются погодными условиями в период созревания шишек и семян. В тёплое и сухое лето эти явления ускоряются. Нами отмечено начало массового вылета семян ели сибирской в первых числах сентября (с 1-е по 4-е число) в 2007, 2008, 2010, 2013 и 2014 гг., у ели европейской это происходило на 7—11 дней позже. Часто основное количество семян обоих видов елей выпадает на поверхность почвы до начала основного древесного листопада и отпада надземной части травянистой растительности, которые наиболее выражены после осенних заморозков. Отпад травянистой растительности и листьев надёжно прикрывает семена ели и сохраняет их от поедания орнитофауной, численность которой к этому времени в лесу заметно сокращается.

Ежегодно под пологом культур третьего-четвёртого десятилетий в опадоуловителях обнаруживались здоровые семена ели (0,1—1,2 кг/га) [11]. Пройдя естественную стратификацию, некоторая часть сохранившихся семян под опадом дала всходы, из которых впоследствии образовался еловый подрост [20—22]. За счёт накопления его по междурядьям [23] появляется возможность с помощью рубок ухода сформировать разновозрастные устойчивые продуктивные еловые древостои [24], что создаст предпосылку

для «натурализации» культурценозов и последовательного переформирования их в сложные разновозрастные экосистемы.

4. Обсуждение и заключение

В послерубочный период максимальный прирост высоты и диаметра стволов, проекции и объёма крон деревьев елей, а также количества деревьев обоих видов елей в 1-м ярусе древостоя отмечен при удалении лиственных пород. На секциях без лиственных пород в ельнике разнотравно-зеленомошниковом кроме положительного явления имело место и отрицательное — молодые побеги ствола, ветвей елей высотой до 5 м повреждались поздневесенними заморозками. Кроме того, в культурах обоих видов елей у деревьев с максимальными размерами кроны в конце третьего и начале четвёртого десятилетия стала отмечаться ветровальность. Ель европейская к 31-летнему возрасту культур превосходит по некоторым таксационным показателям ель сибирскую.

После прочистки активнее стали накапливаться деревья елей в 1-м ярусе, их количество определялось степенью изреживания древостоя. Постоянная освещённость солнечными лучами кроны этих деревьев активнее стимулирует семеношение с наибольшим количеством репродуктивных органов как на вершине, так и в её средней части. Репродуктивных органов у деревьев елей обоих видов на секциях с участием лиственных пород было значительно меньше (от 3 до 58 шт. на одном дереве), присутствовали только на 1—3-летних приростах вершин.

На данном участке через 15 лет после посадки культур в опадоуловителях ежегодно имелись здоровые семена елей. Их количество (0,1—1,2 кг/га) зависело от возраста культур и урожайности шишек. Пройдя естественную стратификацию, некоторая часть семян, сохранившихся под опадом, дала всходы, из которых впоследствии по междурядьям накапливается еловый подрост. С помощью рубок ухода появляется возможность сформировать разновозрастные устойчивые продуктивные еловые древостои, что создаст при одноразовой посадке предпосылку для «натурализации» культурценозов. Здесь путём двух прореживаний можно сформировать лесосеменной участок из ели сибирской и ели европейской с небольшим числом лиственных деревьев вторичного возобновления.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН «Ботанический сад УрО РАН».

Список литературы

1. Рыбакова Н. А., Рубцов М. В. Влияние рубки древостоев берёзы на семеношение ели предварительной генерации в южной тайге // Известия вузов. Лесной журнал. 2017. № 2. С. 21—31.
2. Багаев С. С., Чудецкий А. И. Результаты рубок ухода в лиственно-еловых насаждениях Костромской области // Лесохозяйственная информация. 2018. № 1. С. 5—20. URL:

http://lhi.vniilm.ru/PDF/2018/1/LHI_2018_01-01-Bagaev.pdf (дата обращения: 14.06.2023).
Текст: электронный.

3. Дерюгин А. А., Глазунов Ю. Б. Рост деревьев ели предварительного возобновления после рубки березняков в подзоне южной тайги Русской равнины // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2018. № 2 (38). С. 5—18.
4. Залесов С. В. Лесоводство: Учебник. Екатеринбург: УГЛТУ, 2020. 295 с.
5. Paquette A., Messier Ch. The Role of Plantations in Managing the World's Forests in the Anthropocene // *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2010. Vol. 8, no. 1. P. 27—34. DOI: 10.1890/080116.
6. Lessons from Native Spruce Forests in Alaska: Managing Sitka Spruce Plantations Worldwide to Benefit Biodiversity and Ecosystem Services / R. L. Deal, P. Hennon, R. O'Hanlon [et al.] // *Forestry*. 2014. Vol. 87, no. 2. P. 193—208. DOI: 10.1093/forestry/cpt05.
7. Рыбакова Н. А. Многолетняя динамика парцеллярной структуры лесных фитоценозов после рубки южнотаёжных березняков с сохранением второго яруса ели // Лесохозяйственная информация. 2018. № 3. С. 37—50. DOI: 10.17238/issn0536036.2017.2.21/.
8. Рыбакова Н. А. Динамика семеношения восстановительной сукцессии ели обыкновенной (*Picea abies* L.) в южной тайге // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2022. № 1 (53). С. 20—30. DOI: <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2022.1.20>.
9. Антонов О. И., Кузнецов Е. Н. Совершенствование технологии комплексного ухода за лесом с целью повышения качественной продуктивности насаждений // Лесотехнический журнал. 2017. Т. 7, № 1 (25). С. 42—49. DOI: 12737/25191.
10. Правила ухода за лесом: Приказ Министерства природных ресурсов и экологии № 534 от 30.07.2020. Зарегистрирован в Минюсте 18.12.2020. № 61555. 206 с.
11. Терехов Г. Г., Бирюкова А. М., Пермякова Л. П. Влияние насекомых-конофагов на выход семян в шишках культур ели на Среднем Урале // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2012. Вып. 200. С. 160—172.
12. Создание лесных плантаций лесоводственными методами в Костромской области / С. С. Багаев, А. И. Чудецкий, И. А. Коренев [и др.] // Актуальные проблемы ботаники и охраны природы: Сб. науч. ст. Междунар. научно-практич. конф., посвящённой 150-летию со дня рождения проф. Г. Ф. Морозова (г. Симферополь, 28—30 нояб. 2017 г.). Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2017. С. 223—227.
13. Чудецкий А. И., Багаев С. С. Оценка потенциала еловых насаждений для создания лесных плантаций лесоводственными методами в южно-таёжном районе европейской части России // Лесной журнал. 2019. № 2. С. 22—31. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.22.
14. Колесников Б. П., Зубарева Р. С., Смолоногов Е. П. Лесорастительные условия и типы леса Свердловской области: Практическое руководство. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1973. 176 с.
15. Исаева Р. П. Рекомендации по ведению лесного хозяйства на зонально-типологической основе в лесах Свердловской области. М., 1984. 56 с.
16. Молчанов А. А. География плодоношения главнейших древесных пород СССР. М.: Наука, 1967. 104 с.
17. Атрохин В. Г., Кузнецов Г. В. Лесоводство. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1989. 400 с.

18. Моделирование динамики лесных экосистем как инструмент прогнозирования и управления лесами / П. Я. Грабарник, В. Н. Шанин, О. Г. Чертов [и др.] // Лесоведение. 2019. № 6. С. 488—500.
19. Терехов Г. Г. Особенности создания и выращивания культур ели сибирской на Урале // Лесной и химический комплексы — проблемы и решения (экологические аспекты): Материалы Всерос. научно-практич. конф. Красноярск, 2004. Т. 1. С. 201—206.
20. Беляева Н. В., Казы И. А., Матвеева А. С. Естественное возобновление ели европейской под пологом древостоев в зависимости от их состава в южно-таёжном лесном районе Ленинградской области // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: Материалы Междунар. научно-техн. конф. Вологда: Вологодский государственный университет, 2016. С. 7—10.
21. Беляева Н. В., Апаницына А. П. Влияние состава материнского древостоя на естественное возобновление ели европейской // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: Сб. науч. тр. Воронеж: ВГЛУ, 2016. № 4 (24). С. 33—42.
22. Екимов Д. В. Ход естественного возобновления в сосновых и еловых типах леса в Емцовском учебно-опытном лесхозе // Молодой учёный. 2020. № 24 (134). С. 137—139.
23. Луганский Н. А., Терехов Г. Г. Влияние микроэкофитов лесокультурного участка на естественное восстановление ели сибирской // Лесной вестник. 2007. № 8. С. 40—45.
24. Терехов Г. Г., Усольцев В. А., Бирюкова А. М. Лесоводственная оценка самосева ели сибирской в еловых культуранозах на Среднем Урале // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2007. № 180. С. 20—30.

References

1. Rybakova N. A., Rubtsov M. V. Effect of Birch Stand Cutting on Seed Production of Spruce of Preliminary Generation in the South Taiga. *Forestry journal*, 2017, no. 2, pp. 21—31. doi: 10.17238/issn0536-1036.2017.2.21. (In Russ.)
2. Bagaev S., Chudetsky A. Results of Thinning in Deciduous-and-Spruce Stands in the Kostroma Region. *Forestry information*, 2018, no. 1, pp. 5—20. Available at: <http://dx.doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2018.1.01>. Text. Image: electronic. (In Russ.)
3. Derugin A. A., Glazunov Yu. B. Growth of Spruce of Advance Regeneration after Birch Groves Felling in the Subzone of Southern Taiga of Russian Plain. *Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Forest. Ecology. Nature Management*, 2018, no. 2 (38), pp. 5—88. doi: 10.15350/2306-2827.2018.2.5. (In Russ.)
4. Zalesov S. V. *Silviculture: Schoolbook*. Yekaterinburg, UGLTU, 2020. 295 p. (In Russ.)
5. Paquette A., Messier Ch. The Role of Plantations in Managing the World's Forests in the Anthropocene. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2010, vol. 8, no. 1, pp. 27—34. doi: 10.1890/080116.
6. Deal R. L., Hennon P., O'Hanlon R., D'Amore D. Lessons from Native Spruce Forests in Alaska: Managing Sitka Spruce Plantations Worldwide to Benefit Biodiversity and Ecosystem Services. *Forestry*, 2014, vol. 87, no. 2, pp. 193—208. doi: 10.1093/forestry/cpt055.
7. Rybakova N. A. Long-Term Dynamics Parcellary Structure of Forest Phytocenoses in Clearings of Birch Forests With the Preservation of the Second Layer of Spruce in the Southern Taiga. *Forestry information*, 2018, no. 1, pp. 5—20. Available at: <http://lhi.vniilm.ru/-DOI:10.17238/issn 0536036.2017.2.21>. (In Russ.)
8. Rybakova N. A. Dynamics of Seed Production of Secondary Succession of European Spruce (*Picea Abies* L.) in the Southern Taiga. *Vestnik of Volga State University of Technology*.

- Series: Forest. Ecology. Nature Management*, 2022, no. 1 (53), pp. 20—30. doi: <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2022.1.20>. (In Russ.)
9. Antonov O. I., Kuznetsov E. N. Improving the technology of complex care for forests with the aim of improving quality of productivity of plantations. *Forestry Engineering Journal*, 2017, vol. 7, no. 1 (25), pp. 42—49. doi: 12737/25191. (in Russ.)
 10. Rules for the care of the forest: Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology No. 534 dated 07.30.2020. Registered with the Ministry of Justice on 12.18.2020 No. 61555. 206 p. (In Russ.)
 11. Terekhov G. G., Biryukova A. M., Permyakova L. P. Influence of konophagous insects on the yield of seeds in cones of spruce cultures in the Middle Urals. *Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Academy*, 2012, no. 200, pp. 160—172. (In Russ.)
 12. Bagaev S. S., Chudetsky A. I., Korenev I. A., Tretyakov V. V. Creating of forest plantations by silvicultural methods in Kostroma region. *Current problems of botany and nature protection* Materials of scientific articles of the International scientific and practical conference dedicated to the 150th anniversary of the birth of Professor G. F. Morozov. Simferopol, IT «ARIAL», 2017, pp. 223—227. (In Russ.)
 13. Chudetsky A. I., Bagaev S. S. Potential Assessment of Spruce Stands for the Development of Forest Plantations by Silvicultural Methods in the Southern Taiga Region of the European Part of Russia. *Forestry Journal*, 2019, no. 2, pp. 22—31. doi: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.22 (In Russ.)
 14. Kolesnikov B. P., Zubareva R. S., Smolonogov E. P. *Forest-growing conditions and forest types of the Sverdlovsk region: A practical guide*. Sverdlovsk, UNC AN SSSR, 1973. 176 p. (In Russ.)
 15. Isaeva R. P. *Recommendations for forest management on a zonal-typological basis in the forests of the Sverdlovsk region*. Moscow, 1984. 56 p. (In Russ.)
 16. Molchanov A. A. *Geography of fruiting of the main tree species of the USSR*. Moscow, Nauka, 1967. 104 p. (In Russ.)
 17. Atrokhin V. G., Kuznetsov G. V. *Forestry*. 2nd edition, revised and added. Moscow, Agropromizdat, 1989. 400 p. (In Russ.)
 18. Grabarnik P. Ya., Shanin V. N., Chertov O. G., Priputina I. V., Bykhovets S. S., Petropavlovskii B. S., Frolov P. V., Zubkova E. V., Shashkov M. P., Frolova G. G. Modelling of Forest Ecosystem Dynamics: an Instrument for Forest Prediction and Management. *Forestry*, 2019, vol. 6, pp. 488—500. (In Russ.)
 19. Terekhov G. G. Features of the creation and cultivation of Siberian spruce cultures in the Urals. *Forest and chemical complexes — problems and solutions (environmental aspects)*: Materials of the articles of the All-Russian scientific-practical conference. Krasnoyarsk, 2004, vol. 1, pp. 201—206. (In Russ.)
 20. Belyaeva N. V., Kazi I. A., Matveeva A. S. Natural renewal of European spruce under the canopy of forest stands, depending on their composition in the southern taiga forest region of the Leningrad region. *Actual problems of the development of the forest complex*: Materials of the International Scientific and Technical Conference. Vologda, Vologda State University, 2016, pp. 7—10. (In Russ.)
 21. Belyaeva N. V., Apanitsyna A. P. Influence of the composition of the parent stand on the natural renewal of European spruce. *Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*: Materials of the International Scientific and Practical Conference. Voronezh, VGLTU, 2016, no. 4 (24), pp. 33—42. (In Russ.)

22. Ekimova D. V. The course of natural renewal in pine and spruce forest types in the Yemtsovsky educational and experimental forestry. *Young scientis*, 2020, no. 24 (134), pp. 137—139. (In Russ.)
23. Lugansky N. A., Terekhov G. G. Influence of microecotopes of the forest area on the natural renewal of Siberian spruce. *Forestry Bulletin*, 2007, no. 8, pp. 40—45. (In Russ.)
24. Terekhov G. G., Usoltsev V. A., Biryukova A. M. Forestry assessment of self-sowing of Siberian spruce in spruce cultural cenoses in the Middle Urals. *Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Academy*, 2007, no. 180, pp. 20—30. (In Russ.)

© Терехов Г. Г., Андреева Е. М., Стеценко С. К., Теринов Н. Н., 2024

DOI: 10.15393/j2.art.2024.7523

УДК 630*8

Статья

Оценка качества еловых и сосновых сортиментов для производства продукции с повышенной добавленной стоимостью

Селиверстов Александр Анатольевич

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

Симонова Ирина Витальевна

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

Талых Алексей Александрович

кандидат педагогических наук, доцент, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация), ata77@mail.ru

Получена: 15 ноября 2023 / Принята: 12 февраля 2024 / Опубликовано: 2 марта 2024

Аннотация: В статье приведены результаты исследований по оценке качества еловых и сосновых сортиментов, заготавливаемых по технологиям с применением бензомоторных пил и харвестеров с последующей трелёвкой форвардером, для дальнейшей переработки с целью получения продукции с повышенной добавленной стоимостью (сувенирная продукция, музыкальные инструменты, развивающие игры для детей). Производство подобной продукции является одним из перспективных направлений, связанных с углублённой переработкой древесины. При этом древесина должна быть экологически чистой и качественной (бездефектной). Любые дефекты следует исключить на этапе заготовки древесины в лесу. С этой целью по обращениям ряда лесозаготовительных предприятий Республики Карелия проводились исследования для оценки качества еловых и сосновых сортиментов на предмет дальнейшей поставки для производства продукции с повышенной добавленной стоимостью. Все необходимые полевые исследования проводились в зимний и летний сезоны на лесосеках. Были выявлены основные дефекты сортиментов, обусловленные применяемой технологией; оценён их качественный и количественный уровень для летних и зимних условий работы. Исследования показали наиболее распространённые

дефекты сортиментов в изученных технологиях, такие как механические повреждения (вырыв, задира, запил) и дефекты обработки («пеньки» сучьев, скол, отщеп, трещина). Все из указанных дефектов существенно снижают качество сортиментов ели и сосны для дальнейшей переработки и ведут к потере ценного материала для создания продуктов с высокой добавленной стоимостью. Таким образом, предложены организационно-технологические решения для снижения уровня выбраковки сортиментов. Предлагаемые решения позволяют добиться положительного эффекта от рационального использования сырья при производстве деревянной продукции с повышенной добавленной стоимостью. Операторам харвестера и форвардера необходимо по регламентам обслуживать механизмы технологического оборудования, а применяемая харвестерная головка должна обеспечивать высокие усилия и скорости протаскивания. Вальщики и операторы машин должны проходить обязательное обучение навыкам по обеспечению качества лесоматериалов для поставки на предприятия.

Ключевые слова: сортименты еловые и сосновые; лесозаготовительные технологии; качество древесины; сувенирная продукция, музыкальные инструменты, развивающие игры

DOI: 10.15393/j2.art.2024.7523

Article

Quality control of spruce and pine logs for manufacturing high value added production

Alexander Seliverstov

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

Irina Simonova

*Ph. D. in engineering, assistant professor, Petrozavodsk State University (Russian Federation),
shaina_irina@mail.ru*

Alexey Talykh

*Ph. D. in pedagogy, assistant professor, Petrozavodsk State University (Russian Federation),
ata77@mail.ru*

Received: 15 November 2023 / Accepted: 12 February 2024 / Published: 2 March 2024

Abstract: The article reports the results of studies assessing the quality of spruce and pine logs harvested using cut-to-length technology (chainsaw-forwarder and harvester-forwarder), for further processing to obtain high value added production (souvenirs, musical instruments, and learning games for children). The manufacture of such products is one of the promising areas focused on advance wood processing. The wood must be ecologically clean and of high quality. Also any surface imperfections should be avoided at the stage of timber harvesting in the forest. Due to some Karelian logging enterprises appeals the research was performed to assess the quality of spruce and pine logs for further supply for manufacturing high value added production. The research was performed in the winter and summer seasons in the forest. The main defects of the logs, caused by the technology used were identified as well as their qualitative and quantitative level for summer and winter conditions. The research has shown that the common defects of logs in the technologies studied are mechanical damage (breakouts, raised grains of timber, saw damages) and processing defects (snags, splitting, splints, shakes). All these defects significantly reduce the quality of spruce and pine logs for further processing and lead to the loss of valuable material for manufacturing products with high added value. Thus, organizational and technological solutions have been proposed to reduce the culling level of log defects. The proposed solutions make it possible to achieve a positive effect from the rational use of raw materials in

manufacturing wood products with increased added value. Harvester and forwarder operators must meet the regulations while maintaining the mechanisms of technological equipment, and the harvester head used must provide high forces and pulling speeds. Loggers and forest machine operators must be trained to assure the quality of timber.

Keywords: spruce and pine logs; logging technologies; wood quality; souvenirs; musical instruments; learning games

1. Введение

В условиях сокращения экспорта одним из перспективных направлений, связанных с углублённой переработкой древесины для нужд внутреннего рынка, является производство продукции с повышенной добавленной стоимостью [1]. Одними из видов такой продукции являются сувениры, музыкальные инструменты, развивающие игры для детей [2—3]. Так, например, стандарты для изготовления деревянных сувенирных изделий регламентированы ГОСТ Р 56071-2014; для производства игр из древесины для детей — ГОСТ Р 53906-2010. Такая продукция должна быть изготовлена из экологически чистой, качественной, бездефектной древесины и проходить соответствующую сертификацию и маркировку.

Типичным представителем сувенирных изделий — струнных щипковых музыкальных инструментов является кантеле — карело-финский музыкальный инструмент, родственник гуслям (фото 1). Корпус инструмента изготавливается из массива сосны. Верхняя дека выполняется из древесины ели, нижняя — из древесины сосны. Для изготовления корпуса и дек используются доски из хорошо высушенной древесины (влажность 8—10 %) радиального распила. Доски радиального распила наименее подвержены короблению. Также расположение волокон древесины при радиальном распиле оптимально для восприятия колебаний струн при игре на инструменте. Заготовки для дек могут быть как цельные, так и клеёные (из двух, трёх или четырёх частей). Дека должна иметь примерно одинаковую ширину годовичных слоёв, без дефектов (сучков, свилеватости и др.). На корпусе допускаются небольшие сросшиеся сучки (не более двух-трёх на всю заготовку). По возможности лучше исключить любые дефекты. Это обстоятельство следует учитывать уже на этапе заготовки древесины в лесу.



Фото 1. Музыкальный инструмент кантеле [фото авторов]

Photo 1. Musical instrument kantele

Развивающие игры-тренажёры из древесины широко используют в своей педагогической деятельности воспитатели, дефектологи, психологи, логопеды. На фото 2 представлена оригинальная конструкция развивающей игры-тренажёра вида «Кантеле-конструктор», которая позволяет обучающимся ознакомиться с конструктивными особенностями музыкального инструмента, выполнить сборку и разборку прототипа музыкального инструмента кантеле без использования клея. Корпус тренажёра может быть изготовлен из массива сосны (или ели).



Фото 2. Развивающая игра-тренажёр «Кантеле-конструктор» [2]

Photo 2. Learning game training apparatus «Kantele-constructor»

Стоимость пятиструнного кантеле на рынке продаж составляет более 10 тыс. руб. Стоимость подобного рода игр-тренажёров из древесины составляет от 5 тыс. руб.

Очевидно, что к исходному сырью для производства подобной продукции предъявляются повышенные требования. В этой связи уже на стадии лесозаготовок необходимо обеспечивать ряд условий по обеспечению надлежащего качества заготавливаемой древесины. Для производства указанной продукции в условиях Северо-Западного региона РФ целесообразно рассматривать сосновые, еловые сортименты, получаемые в подавляющем случае при использовании сортиментной заготовки леса [4—5], [12—13].

На качество сортиментов, поступающих с лесосеки для дальнейшей переработки (лесопильное производство), оказывают влияние две группы факторов [6], [8—9]:

- зависящие от природных и лесоводственных условий произрастания (почвы, климат, наличие вредителей леса, система ухода, антропогенное воздействие);
- обусловленные применяемой технологией и системой машин.

Соответственно сучковатость, наличие гнили, повреждения огнём зависят от условий произрастания и предыдущего воздействия. Во втором случае дефекты обусловлены технологическим воздействием и согласно нормативно-техническим документам, определяющим качество сортиментов [1—3], подразделяются на: механические

повреждения, загрязнения песком и глиной, несоответствие размеров сортиментов техническим требованиям предприятия.

К механическим повреждениям, возникающим в процессе заготовки, трелёвки, сортировки, штабелёвки и вывозки лесоматериалов, относятся сколы, отщепы и трещины, козырьки, скосы пропила, вырывы древесины ножами или вальцами харвестера, задиры, обдиры коры, случайные запилы, смятия грейферным захватом форвардера и др.

Ориентируясь на обеспечение высокого качества конечной продукции с высокой добавленной стоимостью, лесозаготовительные компании должны минимизировать потери древесины во время заготовки, что особенно актуально при переориентации рынков сбыта круглых лесоматериалов с экспортных поставок на внутренний рынок. В этой связи необходимо выявить и устранить причины технологических нарушений, снижающих качество заготавливаемых сортиментов.

По обращениям ряда лесозаготовительных предприятий Республики Карелия нами были проведены исследования по оценке качества еловых и сосновых сортиментов на предмет дальнейшей поставки для производства продукции с повышенной добавленной стоимостью.

2. Материалы и методы

Исследования проводились в зимний и летний сезоны на лесосеках при заготовке древесины системой машин харвестер — форвардер и бензопила — форвардер. Замеры заготовленных круглых лесоматериалов выполнялись по краям волока до их трелёвки форвардером (расположение сортиментов показано на фото 3) и после трелёвки на верхнем складе (фото 4).



а



б

Фото 3. Расположение сортиментов вдоль волока: *а* — заготовка системой машин харвестер — форвардер; *б* — заготовка системой машин бензопила — форвардер [фото авторов]

Photo 3. The location of logs at cutting area: **(a)** logging harvester-forwarder; **(b)** chainsaw-forwarder



Фото 4. Расположение сортиментов в штабелях на верхнем складе после трелёвки
[фото авторов]

Photo 4. The arrangement of assortments in a stack near the road after forwarding

Количество обмеренных сортиментов равнялось трёмстам по ели и по сосне. Для оценки механических повреждений древесины использовались рекомендации ГОСТ 2140-81 и ГОСТ 2292-88. Измерения проводились по отработанной ранее методике, описанной в работах [7], [10] и [14]. В качестве измерительного инструмента использовались: прецизионный штангенциркуль с глубиномером, мерная лента, измерительная скоба торцов брёвен, угломер на передвижной планке. Загрязнения сортиментов почвой, влияющие в дальнейшем на качество распила, оценивались по ширине и длине сортиментов визуально с замером пятна загрязнения.

3. Результаты

По результатам исследований было установлено, что наиболее распространёнными в изученных технологиях являлись механические повреждения (вырыв, задир, запил) и дефекты обработки (сучья, скол, отщеп, трещина). Все из указанных дефектов (фото 5) существенно снижают качество сортиментов ели и сосны для дальнейшей переработки и ведут к потере ценного материала для создания продуктов с высокой добавленной стоимостью.

Вырывы и задиры (фото 5а) оказались наиболее характерными дефектами для сортиментов, получаемых при заготовке леса харвестером. Для ели количество забракованных сортиментов составило 1,7 %, для сосны — 1,3 % в летних условиях. Для зимы данный показатель оказался чуть выше: соответственно 1,8 % и 1,4 %, что связано с обработкой мёрзлой древесины. В зимних условиях валыцы харвестера чаще пробуксовывали, повреждая древесину. Например, были выявлены остатки коры,

древесины и наледи на ошиповке вальцов. Особо отрицательный эффект (фото 5в) выявлен при затуплении сучкорезных ножей головки харвестера и изменении их формы режущей кромки при неверной заточке [11]. У операторов форвардера встречались нарушения при выполнении погрузочно-разгрузочных операций, приводящие к механическим повреждениям (вырыв, задир) от грейферного захвата на боковой поверхности сортимента (до 2 %).

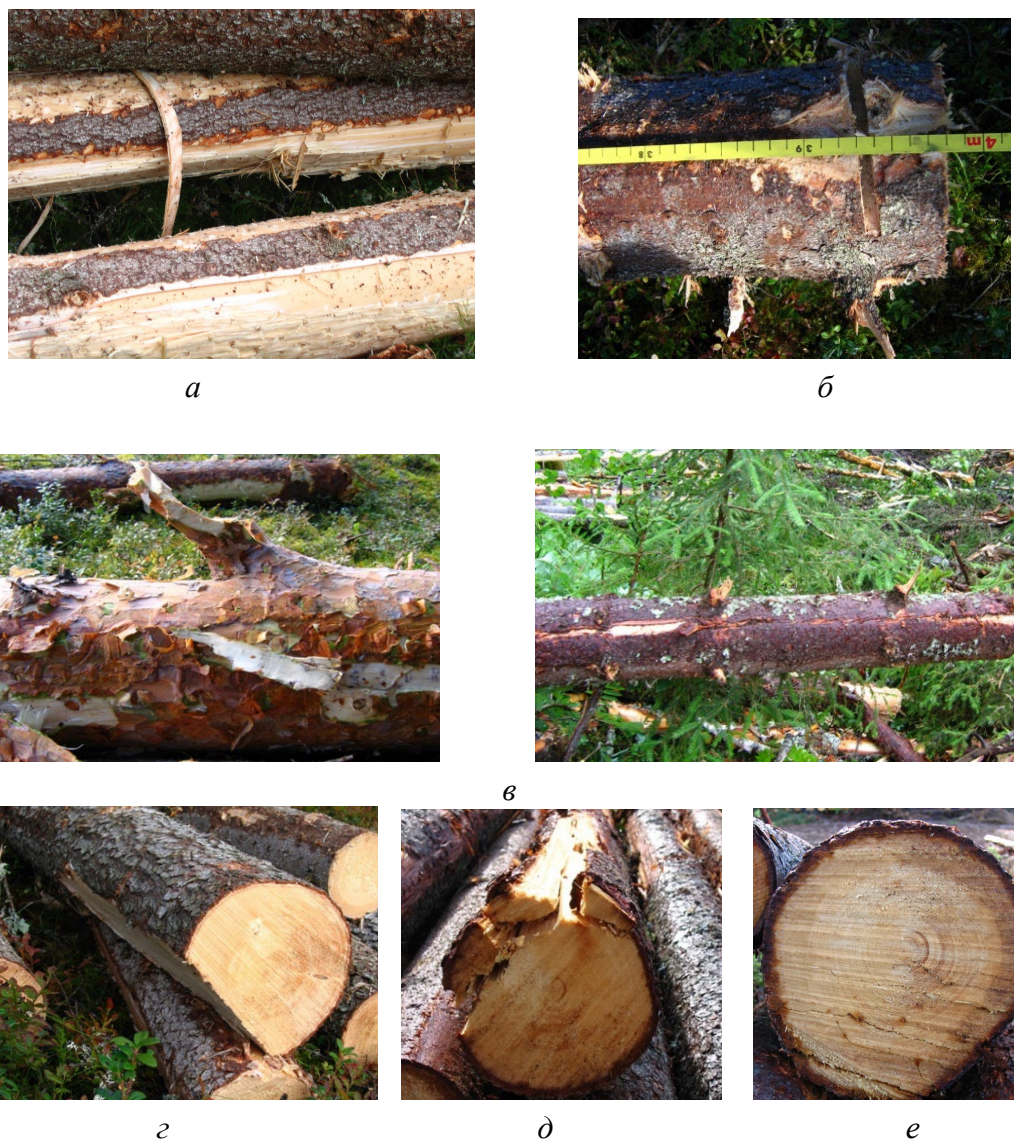


Фото 5. Характерные дефекты сортиментов ели и сосны: *а* — вырыв, задир; *б* — запил; *в* — сучья; *г* — скол; *д* — отщеп (сквозная боковая трещина от торца); *е* — трещина [фото авторов]

Photo 5. Characteristic defects of spruce and pine logs: **(a)** breakouts, raised grains of timber; **(b)** saw damages; **(c)** snags; **(d)** splitting; **(e)** splint (an open side crack at the end of the log); **(f)** shake

Запилы (фото 5б), наоборот, оказались более характерным дефектом сортиментов, получаемых по технологии валки и раскряжёвки бензопилой; их значения для зимы и лета составили 2—2,3 %. Данный дефект, в основном, обусловлен невнимательностью или усталостью вальщика.

Сколы, отщепы и трещины (фото 5г, д, е) также характерны для технологии работы бензопилой и составляют 2,3—2,7 %. Они чаще встречаются на ели и преобладают в зимний период работы.

Дефектность при обрезке сучьев (фото 5в) практически отсутствует при использовании бензопил. Опытные вальщики проводят данную операцию качественно [7]. При обработке дерева харвестером на 1,7—2 % сосновых сортиментов были отмечены оставшиеся «пеньки» сучьев (фото 5в). Для ели этот показатель чуть выше — 1,8—2,2 %, особенно летом. Для снижения или полного исключения «пеньков» сучьев необходимо применять харвестерную головку с большим усилием протаскивания и скоростью подачи, а также систематически при обслуживании харвестера контролировать углы заточки сучкорезных ножей.

Несоответствие размеров сортиментов (максимального диаметра в комлевом торце и минимального диаметра в верхнем торце) требованиям контрактов лесозаготовителей не оказывает существенного негативного влияния на качество при дальнейшей переработке древесины [7].

Поскольку в сортиментной технологии по обследованным нами сортиментам загрязнения не превысили 15 % площади поверхности цилиндра сортимента и не более 50 % площади торца, то подобные результаты можно считать вполне удовлетворительными.

4. Обсуждение и заключение

При оценке качества заготовленных сортиментов по технологии бензопила — форвардер выявлено, что наиболее распространёнными дефектами являлись сколы, отщепы и трещины (3 %); были зафиксированы повреждения сортиментов бензопилой и грейферным захватом форвардера (2 %). Объём брака хвойных пиловочных брёвен в зимний сезон составил около 4 %, в летний — 3 %.

При использовании сортиментной технологии на основе харвестера, как в зимний, так и летний сезон, наиболее распространёнными оказались: сколы, отщепы, трещины при валке и раскряжёвке (2 %); вырывы и задиры, нанесённые протаскивающим механизмом харвестерной головки (2 %); не полностью срезанные сучья (2 %). Повреждения грейферным захватом форвардера были меньше, чем в предыдущей технологии (менее 1 %). Скорее всего, это объясняется более компактным размещением сортиментов в кучи после работы харвестера, что исключает необходимость повторных перехватов.

В том случае, когда операторами харвестеров выполнялись все требования и инструкции, объём брака при использовании сортиментной механизированной технологии хвойных пиловочных брёвен составляет менее 3 %, вне зависимости от сезона.

В этой связи операторам машин следует рекомендовать своевременно по регламентам обслуживать технологическое оборудование: выполнять регулировку сучкорезно-протаскивающего механизма харвестерной головки, заточку сучкорезных ножей, очистку валцов от внедрившихся остатков коры и древесины. Применяемая харвестерная головка должна обеспечивать высокие усилия (30 кН) и рабочие скорости протаскивания (3—4 м/с).

Вальщики и операторы лесосечных машин должны проходить обязательное обучение по обеспечению качества лесоматериалов для поставки на предприятия, производящие продукцию с высокой добавленной стоимостью.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 075-03-2023-128).

Список литературы

1. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 г. Утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 20.09.2018 № 1989-р.
2. Талых А. А. Из опыта проектирования и изготовления народных музыкальных инструментов — кантеле в вузе // Проблемы современного педагогического образования. Ялта, 2017. № 54-3. С. 198—205.
3. Талых А. А., Кемпи К. Д., Терентьев К. Ю. Разработка оригинальных комплектов развивающих игр-тренажёров и специфика их использования в дошкольных образовательных учреждениях // Актуальные проблемы педагогики и психологии: вызовы XXI века: Сб. науч. тр. Москва: Перспектива, 2023. Вып. 7. С. 449—454.
4. Заготовка древесины по сортиментной технологии: Рекомендации по расчёту затрат / Ю. Ю. Герасимов, К. К. Демин, В. А. Ананьев [и др.] // Журнал лесопромышленного комплекса России PRO. 2004. № 3. С. 6—11.
5. Селиверстов А. А., Коновалов А. П., Сюнёв В. С. Себестоимость механизированной сортиментной технологии в условиях Республики Карелия // Лес и бизнес. 2006. № 9. С. 54—59.
6. Селиверстов А. А., Симонова И. В. Сохранение геометрии формы элементов рабочих органов лесных машин как ресурсосберегающий фактор // Воронежский научно-технический вестник. Воронеж: Воронежская государственная лесотехническая академия, 2014. № 4 (10). С. 116—120.
7. Сравнение технологий лесосечных работ в лесозаготовительных компаниях Республики Карелия / Ю. Ю. Герасимов, В. С. Сюнёв, А. П. Соколов [и др.]. Йоэнсуу: Изд-во НИИ леса Финляндии (METLA), 2008. 126 с.
8. Adebayo A. B., Han H. S., Johnson L. Productivity and cost of cut-to-length and whole-tree harvesting in a mixed-conifer stand. // For. Prod. J. 2007. No. 57. P. 59—69.
9. Wood harvesting and logistics in Russia — focus on research and business opportunities. Final report of the research project / T. Karjalainen, Yu. Yu. Gerasimov, V. Golcev [et al.] // Working Papers of the Finnish Forest Research Institute. 2011. No. 210. P. 1—160.

10. Comparison of Wood Harvesting Methods in the Republic of Karelia / Yu. Yu. Gerasimov, V. S. Syuney, A. P. Sokolov [et al.] // Working Papers of the Finnish Forest Research Institute. 2009. No. 120. P. 117.
11. Gerasimov Yu. Yu., Seliverstov A. A., Syuney V. S. Industrial Round-Wood Damage and Operational Efficiency Losses Associated with the Maintenance of a Single-Grip Harvester Head Model: A Case Study in Russia // Forests. 2012. P. 864—880.
12. Gerasimov Y., Seliverstov A. Industrial round-wood losses associated with the harvesting systems in Russia // Croat. J. For. Eng. 2010. No. 31. P. 111—126.
13. Northwest Russian Forest Sector in a Nutshell / S. Karvinen, E. Väliky, Y. Gerasimov [et al.]. Helsinki: Finnish Forest Research Institute (METLA), 2011.
14. Operational efficiency and damage to sawlogs by feed rollers of the harvester head / Y. Nuutinen, K. Väättäin, A. Asikainen [et al.] // Silva Fennica. 2010. Vol. 44, no. 1. P. 121—139.

References

1. Strategy for the development of the forestry complex of the Russian Federation until 2030. Order of the Government of the Russian Federation. 20.09.2018 No. 1989-p. (In Russ.).
2. Talykh A. A. From the experience of designing and manufacturing folk musical instruments-kantele at a university. *Problems of modern pedagogical education*. Yalta, 2017, no. 54-3, pp. 198—205. (In Russ.).
3. Talykh A. A., Kempf K. D., Terent'yev K. Y. Development of original sets of educational games-simulators and the specifics of their use in preschool educational institutions. *Current problems of pedagogy and psychology: challenges of the 21st century: collection of scientific works*. Moscow, Perspective, 2023, issue 7, pp. 449—454. (In Russ.).
4. Gerasimov Yu. Yu., Demin K. K., Anan'yev V. A., Syuney V. S. Wood harvesting using cut-to-length technology: Recommendations for cost calculation. *Journal of the Russian timber industry PRO*, 2004, no. 3, pp. 6—11. (In Russ.).
5. Seliverstov A. A., Konovalov A. P., Syuney V. S. Cost of machine-assisted cut-to-length technology in the conditions of the Republic of Karelia. *Forest and business*, 2006, no. 9, pp. 54—59. (In Russ.).
6. Seliverstov A. A., Simonova I. V. Preservation of the geometry of the shape of elements of working bodies of forestry machines as a resource-saving factor. *Voronezh scientific and technical bulletin*. Voronezh, Voronezh State Forestry Academy, 2014, no. 4 (10), pp. 116—120. (In Russ.).
7. Gerasimov Yu. Yu., Syuney V. S., Sokolov A. P., Seliverstov A. A., Katarov V. K., Konovalov A. P., Karvinen S., Väliky E. *Comparison of logging technologies in logging companies of the Republic of Karelia*. Joensuu, Publishing of the Finnish Forest Research Institute (METLA), 2008. 126 p. (In Russ.).
8. Adebayo A. B., Han H. S., Johnson L. Productivity and cost of cut-to-length and whole-tree harvesting in a mixed-conifer stand. *For. Prod. J.*, 2007, no. 57, pp. 59—69.
9. Karjalainen T., Gerasimov Yu. Yu., Golcev V., Syuney V. S., Sokolov A. P., Karvinen S., Leynönen T., Koponen M., Tolonen T., Dalin B., Havimo M., Katarov V. K., Lopatin E., Mönkönen P., Seliverstov A. A., Senkin V., Suhanov Yu. V., Trishkin M., Väliky E., Vyätyäinen K., Yutila L. Wood harvesting and logistics in Russia — focus on research and business opportunities. Final report of the research project. *Working Papers of the Finnish Forest Research Institute*, 2011, no. 210, pp. 1—160.

10. Gerasimov Yu. Yu., Syunев V. S., Sokolov A. P., Seliverstov A. A., Katarov V. K., Konovalov A. P., Karvinen S., Välkky E. Comparison of Wood Harvesting Methods in the Republic of Karelia. *Working Papers of the Finnish Forest Research Institute*, 2009, no. 120, 117 p.
11. Gerasimov Yu. Yu., Seliverstov A. A., Syunев V. S. Industrial Round-Wood Damage and Operational Efficiency Losses Associated with the Maintenance of a Single-Grip Harvester Head Model: A Case Study in Russia. *Forests*, 2012, pp. 864—880.
12. Gerasimov Y., Seliverstov A. Industrial round-wood losses associated with the harvesting systems in Russia. *Croat. J. For. Eng.*, 2010, no. 31, pp. 111—126.
13. Karvinen S., Välkky E., Gerasimov Y., Dobrovolsky A. *Northwest Russian Forest Sector in a Nutshell*. Helsinki, Finnish Forest Research Institute (METLA), 2011.
14. Nuutinen Y., Väättäinen K., Asikainen A., Prinz R., Heinonen J. Operational efficiency and damage to sawlogs by feed rollers of the harvester head. *Silva Fennica*, 2010, vol. 44, no. 1, pp. 121—139.

DOI: 10.15393/j2.art.2024.7584

УДК 630.2

Статья

Особенности структуры еловых фитоценозов в условиях интенсивного антропогенного воздействия

Гаврилова Ольга Ивановна

доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Петрозаводский государственный
университет (Российская Федерация), ogavril@mail.ru

Грязькин Анатолий Васильевич

доктор биологических наук, профессор, Санкт-Петербургский лесотехнический
университет им. С. М. Кирова (Российская Федерация), lesovod@bk.ru

Получена: 5 декабря 2023 / Принята: 5 марта 2024 / Опубликовано: 9 марта 2024

Аннотация: Объект исследования — ельники, произрастающие вдоль федеральной трассы Мурманск — Санкт-Петербург (960-й километр трассы) на разных элементах рельефа. Учёт нижних ярусов растительности осуществлялся на круговых учётных площадках по 10 м². При этом фиксировали высоту, возраст и состояние для подроста и подлеска, встречаемость и проективное покрытие для всех видов в составе живого напочвенного покрова. Ельники в придорожной зоне испытывают интенсивное антропогенное воздействие — густая тропинопная сеть и потоки автомобильного транспорта на трассе федерального значения. Показаны слабая представленность отдельных компонентов леса в данных фитоценозах, бедный видовой состав растительности в живом напочвенном покрове. Древостой характеризуется наличием большого количества сухостойных деревьев (6—10 %), ветровала и бурелома (8—15 %). В составе подроста преобладают мелкие экземпляры ели. От общего количества подроста доля нежизнеспособного составляет более 38 %, а доля сухого — около 10 %. Единично встречается вид *Quercus robur* — около 100 экз./га. Другие лесообразующие породы в составе подроста не выявлены. Подлесок представлен видами *Sorbus aucuparia* и *Frangula alnus* общей численностью около 3 тыс. экз./га. Основная часть подлеска имеет высоту от 0,6 до 1,5 м. Отмечается, что в составе живого напочвенного покровов преобладает вид *Vaccinium myrtillus*, встречаемость которого 100 %-я, проективное покрытие — около 50 %. На большей части лесного участка встречаются зелёные мхи — проективное покрытие более 50 %. Аборигенные виды в составе живого напочвенного покрова

представлены небольшим количеством видов *Avenella flexuosa*, *Maianthemum bifolium* и *Vaccinium vitis-idaea*. Режим освещённости под пологом исследованных ельников различается: 4,32 тыс. люкс на первом опытном участке и на 5,34 тыс. люкс — на втором. С этим связаны и различия в температурном режиме воздуха и почвы. Полученные материалы можно использовать при оценке состояния лесных фитоценозов, испытывающих интенсивное внешнее воздействие, а также в учебном процессе.

Ключевые слова: структура фитоценоза; ель европейская; аэротехногенное загрязнение; видовой состав

DOI: 10.15393/j2.art.2024.7584

Article

Characteristic properties of spruce phytocenoses structure under conditions of intense anthropogenic impact

Olga Gavrilova

D. Sc. in agriculture, associate professor, Petrozavodsk State University (Russian Federation), ogavril@mail.ru

Anatoly Graskin

D. Sc. in biology, professor, Saint Petersburg Forestry University named after S. M. Kirov (Russian Federation), lesovod@bk.ru

Received: 5 December 2023 / Accepted: 5 March 2024 / Published: 9 March 2024

Abstract: The object of the study was spruce forests growing along the federal highway Murmansk — Saint Petersburg (960th kilometer of the highway) on different terrain elements. The inventory of the lower storey was performed on circular discount areas of 10 m². At the same time, the height, age and condition of the understory and underwood, frequency and projective cover for all species in the composition of the living ground cover were recorded. Spruce forests in the roadside zone were experiencing intense anthropogenic impact due to a dense path network and traffic flows on the federal highway. The weak representation of individual forest components in these phytocenoses, poor species composition of vegetation in the living ground cover is shown. The stand featured a large number of dead trees (6—10 %) and windbreakage and windfall timber (8—15 %). The composition of the undergrowth was dominated by small specimens of spruce. The proportion of unviable undergrowth was more than 38 %, and the proportion of the dry one was about 10 % of the total amount of undergrowth. Single *Quercus robur* made about 100 specimens/ha. Other forest-forming species in the undergrowth were not identified. The undergrowth was represented by *Sorbus aucuparia* and *Frangula alnus* with a total number of about 3 thousand specimens/ha. The height of the main part of the undergrowth was 0.6 to 1.5 m. It was noted that the composition of the living ground cover was dominated by *Vaccinium myrtillus*, its frequency was 100 %, the projective cover was about 50 %. Green mosses covered most of the forest area with a projective cover of more than 50 %. Native species in the living ground cover were represented by a small number of *Avenella flexuosa*, *Maianthemum bifolium* and *Vaccinium vitis-idaea*. The light intensity mode under the canopy of the studied spruce forests varied with 4.32 thousand lux on the first

experimental site and 5.34 thousand lux on the second one. This also resulted in the differences in the temperature regime of air and soil. The obtained materials may be used in assessing the state of forest phytocenoses experiencing intense external influence, as well as in the educational process.

Keywords: phytocenosis structure; European spruce; aerial technogenic pollution; species composition

1. Введение

Ель — одна из основных лесообразующих пород лесного фонда России [1], [6], [11], [14], [17], [18]. В последние десятилетия доля ельников, подверженных аэротехногенному загрязнению, увеличивается существенным образом [9], [12], [16]. В большей степени страдают фитоценозы, расположенные в непосредственной близости от промышленных зон и крупных автомобильных трасс [4], [8], [9]. Первые признаки негативного воздействия — увеличение доли сухостойных деревьев, ветровал и бурелом [5], [13]. Всё это является результатом ослабления деревьев и их заселения энтомофитами, а впоследствии и дереворазрушающими грибами. Под пологом ослабленных древостоев не всегда представлены основные компоненты леса — подрост, подлесок и живой напочвенный покров [1], [11], [14], [18]. Как в составе древостоев, так и в составе молодого поколения ели отмечается большая доля отпада. Кроме сухого подроста увеличивается и доля нежизнеспособного подроста. В первую очередь повреждаются крупные и средние по высоте растения [4], [8]. Видовой состав подлеска в таких условиях представлен небольшим количеством видов и небольшой численностью. Живой напочвенный покров включает виды, наиболее устойчивые к антропогенному воздействию, — злаки, ситники и другие синантропные виды [5], [6], [13]. Однако встречаемость и проективное покрытие даже таких устойчивых к антропогенному воздействию видов растений постепенно снижаются.

Цель исследования — оценка особенностей структуры еловых фитоценозов, расположенных в зонах активного антропогенного воздействия.

2. Материалы и методы

Объектами исследований являлись ельники, расположенные вдоль федеральной трассы Мурманск — Санкт-Петербург (960-й километр трассы) на разных элементах рельефа. Первый объект — ельник черничный на равнинном участке (фото 1). Второй объект, ельник долгомошный, расположен в подножье западного склона. Учёт нижних ярусов осуществляли на круговых учётных площадках по 10 м². При этом фиксировали численность, состав, высоту и виталитет подроста и подлеска [5]. Для живого напочвенного покрова указывали видовой состав, встречаемость и проективное покрытие по всем видам.

Режим освещённости фиксировали при помощи портативного люксметра «ТКА-Люкс». Температуру воздуха и почвы измеряли с помощью электронного термометра.



Фото 1. Распадающийся ельник черничный у федеральной трассы Мурманск — Санкт-Петербург [фото авторов]

Photo 1. Decaying blueberry spruce forest near the federal highway Murmansk — Saint Petersburg

3. Результаты

Объект исследования — старовозрастной ельник, подверженный регулярному воздействию выбросов автомобильного транспорта. Непосредственная близость ельника к автомагистрали оказывает прямое воздействие на все компоненты фитоценоза. Характеристика древостоев на объектах исследования представлена в таблице 1.

Таблица 1. Основные характеристики древостоев на объектах исследования

Table 1. Main characteristics of forest stands on the study sites

Характеристики	Объект 1	Объект 2
Тип леса	Ельник черничный	Ельник долгомошный
Тип условий местопроизрастания	B2-3	A4
Состав, %	98Е 2Б	92Е4Б4Олс
Возраст, лет	96	80
Относительная полнота	0,8	0,6
Средняя высота, м	23,4	20,6
Средний диаметр, см	25,2	21,8
Численность, экз./га	582	603
Количество сухостоя, экз./га	62	36
Количество ветровала и бурелома, экз./га	92	48

В составе древостоя ежегодно увеличивается доля ослабленных деревьев и сухостоя. Большинство сухостойных деревьев на первом объекте поражено дереворазрушающими грибами и короедами. Сухостойные деревья, как правило, образуют очаги разного размера (фото 2). Ветровал и бурелом встречаются хаотично, по всему участку, однако основная их часть расположена в опушечной зоне, прилегающей к трассе. Основная часть ветровала и бурелома представлена старовозрастными, наиболее крупными деревьями ели. Ветровал и бурелом характеризуются разной степенью деструкции.



Фото 2. Куртина сухостоя на объекте исследования 1 [фото авторов]

Photo 2. Cluster of dead wood at study site 1

Подрост под пологом ельника представлен преимущественно елью европейской — *Picea abies* L. и дубом черешчатым — *Qwercus robur* L. Преобладают растения высотой до 0,5 м (таблица 2). Дуб представлен единичными экземплярами, и его наличие на учётных площадях связано, видимо, с небольшим расстоянием от городских насаждений и переносом жёлудей птицами. Численность подроста на объекте 1 превышает 1300 экз./га, а на объекте 2 — более 1 тыс. экз./га. Преобладает жизнеспособный подрост. Доля нежизнеспособного подроста от общей численности составляет на объекте 1 38 %, на объекте 2 — не более 2 %. В составе подроста имеется и отпад, на объекте 1 — 210 экз./га, а на объекте 2 — в два раза меньше. Доля сухостоя на объектах исследования составляла около 10 %.

Видовой состав подлеска представлен тремя видами кустарников — крушиной ломкой (*Frangula alnus* Mill.), рябиной обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.) и шиповником иглистым (*Rosa acicularis* Lindl.). В подлеске, как и в составе подроста, преобладают жизнеспособные

растения. Доля нежизнеспособных экземпляров на объекте 1 составляет около 6 %, а на объекте 2 нежизнеспособные растения отсутствуют. Количество отпада в составе подлеска не более 5 %. Коэффициент различия видов по Жаккару для подроста составил 0,25, для подлесочных видов — 0,33.

Таблица 2. Основные характеристики подроста и подлеска на объектах исследований

Table 2. Main characteristics of undergrowth on research sites

Характеристики	Объект 1		Объект 2	
	подрост	подлесок	подрост	подлесок
Состав, %	94Е6Д	97Ряб3Круш	80Е10Д10Б	55Ряб45Шип
Средняя высота, см	36	78	41	180
Численность жизнеспособных растений, экз./га	1310	2930	1040	920
Количество сухостоя, экз./га	210	145	115	46
Количество нежизнеспособных растений, экз./га	845	245	23	—

Примечание: Е — ель, Д — дуб, Ряб — рябина, Круш — крушина, Шип — шиповник.

Флористический состав растений в травяно-кустарниковом и мохово-лишайниковом ярусах более разнообразен, чем в других компонентах обследованных фитоценозов (таблица 3). Живой напочвенный покров (ЖНП) представлен 11 видами на первом опытном участке и 13 видами — на втором. Большее число видов на объекте 2 исследований связано с лучшей освещённостью почвы (таблица 4). Коэффициент различия видов живого напочвенного покрова для объектов по Жаккару составил 0,41.

Из данных, представленных в таблице 3, следует, что на первом опытном участке в составе живого напочвенного покрова преобладает черника (фото 3). При встречаемости 100 %-е проективное покрытие вида составляет 65,0 %.

Второй объект отличается от первого режимом увлажнения почвы, что подтверждается преобладанием сфагнома (проективное покрытие 68,0 %) и хвоща лесного (26,5 %).

Визуализация данных по освещённости и доле отражённой радиации свидетельствует о значительном разбросе значений (таблица 4). Это связано, в первую очередь, с наличием просветов в пологе древостоя, освещённость в которых близка к освещённости на открытом месте, а величина освещённости под кронами деревьев минимальна. Величина отражённого света связана и с характеристиками растительного покрова, сформированного нижними ярусами фитоценоза (подрост, подлесок, живой напочвенный покров).

Таблица 3. Состав, встречаемость и проективное покрытие видов в живом напочвенном покрове

Table 3. Composition, frequency and projective cover of species in living ground cover

Название вида	Объект 1		Объект 2	
	встречае- мость, %	проективное покрытие, %	встречае- мость, %	проективное покрытие, %
Брусника — <i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	70	1,8	95	3,7
Вейник лесной — <i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth	20	0,1	60	4,2
Зелёные мхи — <i>Bryidae</i> sp. Engl.	100	50,0	35	4,0
Золотарник — <i>Solidago virgaurea</i> L.	—	—	10	0,3
Кислица — <i>Oxalis acetozella</i> L.	—	—	15	0,4
Линнея северная — <i>Linnaea borealis</i> f. <i>arctica</i> Wittr.	20	0,1	45	1,2
Луговик извилистый — <i>Avenella flexuosa</i> (L.) Drejer	80	8,2		
Майник — <i>Mayanthemum bifolium</i> L.	90	5,5	90	4,0
Марьяник лесной — <i>Melampyrum sylvaticum</i> L.	50	1,2	—	—
Ожика волосистая — <i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd.	90	1,5	—	—
Седмичник — <i>Trientalis europaea</i> L.	30	0,1	90	2,7
Сфагнум — <i>Sphagnum</i> sp. L.	50	3,1	100	68,1
Хвощ лесной — <i>Equisetum sylvaticum</i> L.	—	—	100	26,5
Черника обыкновенная — <i>Vaccinium myrtillus</i> L.	100	65,0	85	17,3
Щитовник игольчатый — <i>Dryopteris carthusiana</i>	—	—	10	0,3
Щучка дернистая — <i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P. Beauv.	—	—	40	1,2
Всего видов	11	11	13	13
Общее проективное покрытие	—	136,6		133,9



Фото 3. Доминирование черники в составе живого напочвенного покрова на объекте исследования 1 [фото авторов]

Photo 3. Dominance of blueberries in the composition of living ground cover on research object no. 1

Таблица 4. Температурный режим и режим освещённости на объектах исследования

Table 4. Temperature and lighting conditions on the study sites

Показатели	Ечер	Едол
Температура воздуха, °С	22,8	21,3
Температура на поверхности почвы, °С	21,2	17,3
Температура почвы на глубине 5 см, °С	15,8	15,2
Температура почвы на глубине 10 см, °С	12,0	11,7
Средняя освещённость под пологом, тыс. люкс	4,32	5,34
Среднее значение отражённой радиации, люкс	383	438

В зависимости от структуры фитоценоза световой режим под пологом древостоев различается. Количество приходящего света зависит от сомкнутости полога, относительной полноты и густоты древостоя. Доля отражённой радиации зависит также от характеристик фитоценоза и связана с количеством приходящей радиации на поверхность почвы (см. рисунок). Температурный режим связан с режимом освещённости и изменяется подобным образом.

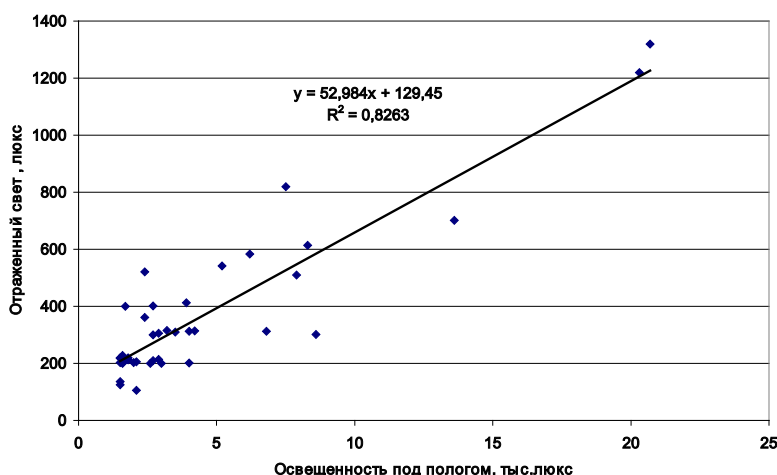


Рисунок. Зависимость величины отражённой радиации от освещённости под пологом древостоев

Figure. Dependence of the magnitude of reflected radiation on illumination under the canopy of tree stands

4. Обсуждение и заключение

Таким образом, на обследованных участках ельников, подверженных интенсивному антропогенному влиянию, структура фитоценозов отличается от типичных ельников. В первую очередь это выражается в большом количестве сухостоя, ветровала и бурелома в древостое. Другое отличие — в состоянии и структуре подроста. Преобладает мелкий подрост, крупный и средний не выживает. Доля нежизнеспособного подроста достигает 38 %. Общая численность подроста ели под пологом материнского древостоя недостаточна для формирования нового древостоя (численность жизнеспособного подроста по объектам исследования составляет около 1300 экз./га). Исследуемые участки отличаются по составу и представленности видов в живом напочвенном покрове. В ельнике черничном выявлено 11 видов высших растений, а в ельнике долгомошном — 13 видов. Световой режим под пологом исследуемых ельников связан с сомкнутостью крон, относительной полнотой и густотой древостоя. Освещённость выше под пологом ельника долгомошного и составляла 5,34 тыс. люкс. И наоборот, температура воздуха и почвы больше под пологом ельника черничного.

Список литературы

1. *Артемьев О. С., Россинина А. А.* Динамика численности деревьев хвойных пород в условиях крупного промышленного центра (на примере города Красноярск) // Хвойные бореальной зоны. 2019. № 2. С. 11—16. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dinamika-chislennosti-dereviev-hvoynyh-porod-v-usloviyah-krupnogo-promyshlennogo-tsentra-na-primere-goroda-krasnoyarska>. Текст: электронный.

2. *Беляева Н. В., Грязькин А. В., Ковалева О. А.* Связь парцеллярной структуры фитоценоза с характеристиками подроста ели // Вестник Московского государственного университета леса — Лесной вестник. 2014. № 4. С. 22—29.
3. *Беляева Н. В., Григорьева О. И., Ароян К. А.* Возобновление ели под пологом древостоя в условиях Ленинградской области // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 6 (17). С. 123—130.
4. *Белых О. А.* Прогнозирование динамики лесных экосистем в условиях загрязнения промышленными аэровыбросами по состоянию травянистых растений // Известия КГТУ. 2022. № 66. С. 19—29. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-dinamiki-lesnyh-ekosistem-v-usloviyah-zagryazneniya-promyshlennymi-aerovybrosami-po-sostoyaniyu-travyanistykh>. Текст: электронный.
5. *Грязькин А. В.* Возобновительный потенциал таёжных лесов (на примере ельников Северо-Запада России). СПб.: СПбГЛТА, 2001. 188 с.
6. *Кази И. А.* Исследование конкурентных отношений между древостоем и подростом в насаждениях, сформированных рубками ухода: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. СПб., 2016. 20 с.
7. *Матвеева А. С., Беляева Н. В., Данилов Д. А.* Возрастная структура подроста ели разных фенологических форм в зависимости от состава и строения древостоя // Лесной журнал. 2018. № 1. С. 47—60. (Известия высших учебных заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.47.
8. *Михайлова Т. А., Калугина О. В., Шергина А. В.* Мониторинг техногенного загрязнения и состояния сосновых лесов на примере Иркутской области // Лесоведение. 2020. № 3. С. 265—273.
9. *Олейникова Е. В., Зиновьева И. С.* Антропогенное воздействие на леса // Успехи современного естествознания. 2012. № 4. С. 191—193. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=29992>. Текст: электронный.
10. A new EU Strategy: For forests and forest-based sector. Communication from the Commission to the European parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Region. Brussels, 2013, COM(2013) 659 final. 17 p.
11. *Budeanu M., Șofletea N.* Stem and crown characteristics of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst] populations from Romanian Carpathians // Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 2013. No. 41. P. 593—600.
12. Impact of climate change on growth dynamics of Norway spruce in south-eastern Norway / P. Čermák, M. Rybníček, N. Žid [et al.] // Silva Fennica. 2017. No. 51 (2), article id 1781.
13. Soil attributes and microclimate are important drivers of initial deadwood decay in sub-alpine Norway spruce forests / G. Fravolini, M. Egli, C. Derungs [et al.] // Science of the Total Environment. 2016. No. 569. P. 1064—1076.
14. Mechanical site preparation for forest restoration / M. Lof, D. Dey, R. Navarro [et al.] // New Forests. 2012. No. 5-6 (43). P. 825—848.
15. Multi-annual Implementation Plan of the new WE Forest Strategy. European Commissions, Brussels, 3.9.2015, SWD (2015) 164 final. 34 p.
16. Growth trends and climate responses of Norway spruce along elevational gradients in East-Central Europe / T. Ponocná, B. Spyt, R. Kaczka [et al.] // Trees. 2016. No. 30. P. 1633—1646.
17. Biology and Ecology of Norway Spruce / M. G. Tjoelker, A. Boratynski, B. Wladyslaw, eds. // Netherlands, Springer Netherlands. 2007. Vol. 78. 474 p.
18. *Walmsley J. D., Godbold D. L.* Stump Harvesting for Bioenergy — A Review of the Environmental Impacts // Forestry. 2010. No. 1 (83). P. 17—38.

References

1. Artemyev O. S., Rossiinina A. A. Dynamics of the number of coniferous trees in the conditions of a large industrial center (on the example of the city of Krasnoyarsk). *Coniferous boreal zones*, 2019, no. 2, pp. 11—16. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/dinamika-chislennosti-dereviev-hvoynyh-porod-v-usloviyah-krupnogo-promyshlennogo-tsentra-na-prime-re-goroda-krasnoyarska>. Text. Image: electronic. (In Russ.)
2. Belyaeva N. V., Gryazkin A. V., Kovaleva O. A. The connection of the partial structure of phytocenosis with the characteristics of spruce undergrowth. *Bulletin of the Moscow State University of Forests — Lesnoy Vestnik*, 2014, no. 4, pp. 22—29. (In Russ.)
3. Belyaeva N. V., Grigorieva O. I., Aroyan K. A. The renewal of spruce under the canopy of a stand in the conditions of the Leningrad region. *Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*, 2015, vol. 3, no. 6 (17), pp. 123—130. (In Russ.)
4. Belykh O. A. Forecasting the dynamics of forest ecosystems in conditions of pollution by industrial air emissions according to the state of herbaceous plants. *KSTU News*, 2022, no. 66, pp. 19—29. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-dinamiki-lesnyh-ekosistem-v-usloviyah-zagryazneniya-promyshlennymi-aerovybrosami-po-sostoyaniyu-travyanistykh>. Text. Image: electronic. (In Russ.)
5. Gryazkin A. V. *The renewable potential of taiga forests (on the example of spruce forests in the North-West of Russia)*. Saint Petersburg, SPbGLTA, 2001. 188 p. (In Russ.)
6. Kazi I. A. *A study of the competitive relationship between a stand and a teenager in plantations formed by logging*. The author's abstract. diss. on the job. degree of Candidate of Agricultural Sciences. Saint Petersburg, 2016. 20 p. (In Russ.)
7. Matveeva A. S., Belyaeva N. V., Danilov D. A. The age structure of spruce undergrowth of different phenological forms depending on the composition and structure of the stand. *Forest Journal*, 2018, no. 1, pp. 47—60. (Higher Ed. studies. establishments). doi: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.47. (In Russ.)
8. Mikhailova T. A., Kalugina O. V., Shergina A. V. Monitoring of anthropogenic pollution and the state of pine forests on the example of the Irkutsk region. *Forest science*, 2020, no. 3, pp. 265—273. (In Russ.)
9. Oleinikova E. V., Zinovieva I. S. Anthropogenic impact on forests. *Successes of modern natural science*, 2012, no. 4, pp. 191—193. Available at: <https://natural-sciences.-ru/ru/article/view?id=29992>. Text. Image: electronic. (In Russ.)
10. A new EU Strategy: For forests and forest-based sector. Communication from the Commission to the European parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Region. Brussels, 2013, COM (2013) 659 final. 17 p.
11. Budeanu M., Șofletea N. Stem and crown characteristics of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst] populations from Romanian Carpathians. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 2013, no. 41, pp. 593—600.
12. Čermák P., Rybníček M., Žid T., Andreassen K., Børja I., Kolář T. Impact of climate change on growth dynamics of Norway spruce in south-eastern Norway. *Silva Fennica*, 2017, no. 51 (2), article id 1781.
13. Fravolini G., Egli M., Derungs C., Cherubini P., Ascher-Jenull J., GómezBrandón M., Marchetti M. Soil attributes and microclimate are important drivers of initial deadwood decay in sub-alpine Norway spruce forests. *Science of the Total Environment*, 2016, no. 569, pp. 1064—1076.
14. Lof M., Dey D., Navarro R., Jacobs D. Mechanical site preparation for forest restoration. *New Forests*, 2012, no. 5-6 (43), pp. 825—848.

15. Multi-annual Implementation Plan of the new WE Forest Strategy. European Commissions, Brussels, 3.9.2015, SWD (2015) 164 final. 34 p.
16. Ponocná T., Spyt B., Kaczka R., Büntgen U., Treml V. Growth trends and climate responses of Norway spruce along elevational gradients in East-Central Europe. *Trees*, 2016, no. 30, pp. 1633—1646.
17. Tjoelker M. G., Boratynski A., Wladyslaw B., eds. Biology and Ecology of Norway Spruce. *Netherlands, Springer Netherlands*, 2007, vol. 78. 474 p.
18. Walmsley J. D., Godbold D. L. Stump Harvesting for Bioenergy — A Review of the Environmental Impacts. *Forestry*, 2010, no. 1 (83), pp. 17—38.

© Гаврилова О. И., Грязькин А. В., 2024

DOI: 10.15393/j2.art.2024.7543

УДК 630*3

Статья

Сравнительный анализ эффективности харвестеров зарубежного производства

Кузнецов Алексей Владимирович

*доктор технических наук, доцент, Петрозаводский государственный университет
(Российская Федерация), kuzalex@psu.karelia.ru*

Гайда Александр Александрович

*мастер лесозаготовок, АО «Кондопожское лесопромышленное хозяйство» (КЛПХ)
(Российская Федерация), Office@klpkh.com*

Получена: 16 ноября 2023 / Принята: 5 марта 2023 / Опубликовано: 23 марта 2024

Аннотация: В работе представлен анализ эффективности доступных харвестеров, что особенно актуально в современных условиях санкций. На основе анализа сформулированы цель и задачи исследования. Цель исследования — оценка эффективности доступных в условиях санкций харвестеров зарубежного производства. Задачи исследования: 1) Сравнение доступных харвестеров в условиях введенных санкций; 2) Анализ производительности харвестера на базе гусеничного экскаватора SANY SY245F и харвестера John Deere 1270G; 3) Оценка возможности рекомендации применения на лесозаготовках харвестера китайского производства на базе гусеничного экскаватора SANY SY245F. Авторами проведена оценка работы харвестера на базе гусеничного экскаватора SANY SY245F с харвестерной головкой WARATAN H480C и харвестера John Deere 1270G. Средняя выработка ($H_{выр}$) на человеко-день составила 233,17 м³ у харвестера John Deere 1270G (среднее отработанное время в день 15,20 ч) и 207,67 м³ у харвестера на базе SANY SY245F (отработанное время в день 15,48 ч). В среднем $H_{выр}$ на человеко-день у харвестера на базе SANY SY245F меньше в 1,126 раза. В качестве критерия оценки эффективности лесозаготовительных машин применён адаптированный для харвестеров коэффициент технологической эффективности ($K_{мэ}$). На основе проведённого анализа установлено изменение значений коэффициента технологической эффективности, при этом максимальные значения $K_{мэ} = 0,638$ и 0,647 достигаются при $V_{хл} = 0,36$ м³ и 0,53 м³ и чистом времени работы 7,5 ч и 9 ч соответственно (John Deere 1270G). Уменьшение значений $K_{мэ}$ в других условиях позволяет

констатировать снижение эффективности работы харвестера под влиянием дополнительных природно-производственных факторов, в т. ч. при выполнении незапланированных операций. Оценка работы харвестера посредством критерия $K_{тэ}$ даёт возможность сравнить фактическую и теоретическую эффективность лесозаготовительной машины, что, в свою очередь, позволит выявить проблемные места и провести мероприятия по повышению производительности техники и снижению затрат. Анализ показал, что харвестеры китайского производства, в частности на базе экскаватора SANY SY245F, по эффективности вполне конкурентоспособны с лесозаготовительными машинами других производителей.

Ключевые слова: лесозаготовки; харвестер; анализ; эффективность; производительность; коэффициент технологической эффективности

DOI: 10.15393/j2.art.2024.7543

Article

Comparative analysis of foreign-made harvesters efficiency

Aleksey Kuznetsov

*D. Sc. in engineering, associate professor, Petrozavodsk State University
(Russian Federation), kuzalex@psu.karelia.ru*

Aleksandr Gayda

*logging foreman, AO «Kondopoga timber industry»
(Kondopozhskoye lesopromyshlennoye khozyaystvo) (Russian Federation), Office@klpkh.com*

Received: 16 November 2023 / Accepted: 5 March 2024 / Published: 23 March 2024

Abstract: The paper presents an analysis of the efficiency of available harvesters, which is especially important in the current conditions of sanctions. The purpose of the study was to assess the effectiveness of foreign-made harvesters available under sanctions. The authors compared and analyzed the productivity of a harvester based on the SANY SY245F crawler excavator and the John Deere 1270G harvester; and assessed possible usage of a Chinese-made harvester based on the SANY SY245F crawler excavator in logging. The authors evaluated the work of a harvester based on SANY SY245F, with a harvester head WARATAH H480C and that of a harvester John Deere 1270G. The average output per man-day made 233.17 m³ for the John Deere 1270G (average hours worked per day 15.20 hours) and 207.67 m³ for the SANY SY245F-based harvester (average day hours worked 15.48 hours). On average, the output per man-day for a harvester based on SANY SY245F was 1.126 times less. As a criterion for evaluating the efficiency of logging machines, we used the coefficient of technological efficiency (CTE) adapted for harvesters. The analysis revealed a change in the values of the technological efficiency coefficient, while the maximum values of CTE = 0,638 and 0,647 were achieved at volume of stem 0,36 and 0.53 m³ and a net operating time of 7.5 and 9 hours, respectively (John Deere 1270G). A decrease in the values of CTE in other conditions allows us to state a decrease in the efficiency of the harvester under the influence of additional natural production factors, including unplanned operations. Evaluation of the harvester operation using the CTE criterion allows comparing the actual and theoretical efficiency of the logging machine, which in turn may allow identifying weaknesses and taking measures to increase equipment productivity and reduce costs. The analysis showed that harvesters made in China and,

in particular, based on the SANY SY245F excavator are quite competitive in terms of efficiency with forest machines from other manufacturers.

Keywords: logging works; harvester; analysis; efficiency; productivity; coefficient of technological efficiency

1. Введение

Основные технологии проведения лесосечных работ в России связаны с заготовкой древесины в хлыстах, деревьях или сортиментах, при этом сортиментная технология находит всё большее распространение [1], [2]. В этих условиях применение на лесозаготовках многооперационных машин позволяет повысить эффективность лесосечных работ и безопасность их проведения. Использование лесозаготовительными компаниями комплексов машин в составе харвестера и форвардера стало неотъемлемым атрибутом сортиментной технологии лесозаготовок. В отдельных регионах эти системы машин преобладают, вытеснив другие комплексы машин.

В современных реалиях санкций лесозаготовительные компании столкнулись с проблемой доступности к приобретению новой лесозаготовительной техники и ремонта существующих образцов. В этих условиях на рынке представлены (или планируются к производству) лесозаготовительные машины отечественного и зарубежного производства, из которых особо стоит отметить модели, выпускаемые белорусской компанией «АМКОДОР» (AMKODOR FH3081, AMKODOR FF1681 и т. д.), и харвестеры на базе экскаваторов китайского производства (Xuvol, LiuGong CLG922E, SANY SY245F и т. д.) [2].

2. Материалы и методы

Холдингом «Карелия Палп» (Республика Карелия) и, в частности, входящим в него АО «Кондопожское лесопромышленное хозяйство» (КЛПХ) [3], [4] был приобретён и прошёл апробацию в условиях предприятия харвестер на базе гусеничного экскаватора SANY SY245F с харвестерной головкой WARATAN H480C. Стоит отметить, что данная модификация харвестера выпускается также с головками LOGMAX 6000, Ponsse H7 и Техноком Т600. При этом особый интерес с точки зрения импортозамещения вызывает харвестерная головка Техноком Т600 (вес 1,350 т, максимальный диаметр ствола 72 см, скорость протяжки до 6 м/с), являющаяся аналогом одного из ведущих финских производителей и разработанная китайскими партнёрами ГК «Техноком» [5].

В рамках работы при оценке эффективности лесозаготовительных машин в современных условиях было проведено исследование работы харвестера на базе экскаватора SANY SY245F с харвестерной головкой WARATAN H480C и харвестера John Deere 1270G с такой же головкой в схожих природно-производственных условиях (средний объём хлыста $V_{хл}$ соответственно 0,28 м³ и 0,27 м³, равнинный рельеф местности). На базе фактических данных и технических характеристик харвестеров проведены расчёт их производительности и оценка эффективности работы в определённых природно-производственных условиях на основе технологического показателя их эффективности.

В работах [6] и [7] для оценки технических и технологических параметров эффективной работы лесотранспортных средств на транспортировке древесины предлагается использовать обобщённый показатель проходимости:

$$P_{np} = \frac{Q_m \cdot S_m \cdot t_{\varepsilon} \cdot q_{\varepsilon}}{Q_{\varepsilon} \cdot S_{\varepsilon} \cdot t_m \cdot q_m} = \frac{Q_m \cdot v_m \cdot q_{\varepsilon}}{Q_{\varepsilon} \cdot v_{\varepsilon} \cdot q_m}, \quad (1)$$

где Q_{ε} и Q_m — объём пачки при движении по эталонному и трудному участкам пути, м³; S_{ε} и S_m — протяжённость эталонного и трудного участков пути, м; t_{ε} и t_m — время при движении как по эталонному, так и по трудному участку пути, с; v_{ε} и v_m — скорость движения машины по эталонному и трудному участкам пути, м/с; q_{ε} и q_m — расход топлива при движении как по эталонному, так и по трудному участку пути, л/км (м³).

С учётом особенностей работы лесотранспортных машин [изменение P_{cm} лесотранспортных машин в эталонных, удовлетворительных (осложнённых) или трудных природно-производственных условиях] специалистами [8] предложен объективный технологический показатель эффективности лесозаготовительных машин — коэффициент технологической проходимости:

$$K_{mn} = \frac{P_{cm}^m \cdot q_{\varepsilon}}{P_{cm}^{\varepsilon} \cdot q_m}, \quad (2)$$

где P_{cm}^{ε} и P_{cm}^m — сменная производительность машин при работе в эталонных и трудных (осложнённых или удовлетворительных) условиях, м³/смену; q_{ε} и q_m — расход топлива при работе в эталонных и трудных условиях, л/км (м³).

На основе полученных данных проведём оценку комплексной эффективности лесозаготовительных машин — харвестера на базе гусеничного экскаватора SANY SY245F с харвестерной головкой WARATAN H480C и харвестера John Deere 1270G. В качестве критерия оценки эффективности применим адаптированный для харвестеров коэффициент технологической эффективности ($K_{m\varepsilon}$):

$$K_{m\varepsilon} = \frac{P_{cm}^m \cdot q_{\varepsilon}}{P_{cm}^{\varepsilon} \cdot q_m} = \frac{H_{выр}^m \cdot q_{\varepsilon}}{H_{выр}^{\varepsilon} \cdot q_m}, \quad (3)$$

где P_{cm}^{ε} и P_{cm}^m — сменная производительность харвестера при работе в эталонных (на основе теоретических расчётов) и трудных (на основе фактических данных) природно-производственных условиях, м³/смену; $H_{выр}^{\varepsilon}$ и $H_{выр}^m$ — средняя выработка харвестера при работе в эталонных и трудных природно-производственных условиях, м³/чел.-день; q_{ε} и q_m — расход топлива при работе в эталонных и трудных условиях, л/чел.-день.

3. Результаты

На основе результатов анализа полученных фактических данных (представлены специалистами АО «КЛПХ») было установлено, что у харвестера John Deere 1270G средний расход топлива (q) на один моточас составил 13,52 л, а средний расход на кубический метр при $V_{хл} = 0,2—0,23 \text{ м}^3$ — 1,3 л, при $V_{хл} = 0,24—0,27$ — 0,7 л. Соответственно у харвестера на базе гусеничного экскаватора SANY SY245F средний расход на один моточас составляет 20,1 л, а средний расход на кубический метр при $V_{хл} = 0,2—0,23 \text{ м}^3$ — 1,9 л, при $V_{хл} = 0,24—0,27 \text{ м}^3$ — 1,4 л, т. е. разница по расходу топлива в среднем в 1,5 раза, при $V_{хл} = 0,24—0,27 \text{ м}^3$ — в 2 раза больше у харвестера на базе экскаватора SANY SY245F.

В то же время средняя выработка на человеко-день ($H_{выр}$) составила 233,17 м^3 у харвестера John Deere 1270G (среднее отработанное время в день 15,20 ч) и 207,67 м^3 у харвестера на базе экскаватора SANY SY245F (среднее отработанное время в день 15,48 ч), т. е. по выработке на человеко-день китайский харвестер практически идентичен харвестеру John Deere 1270G (в среднем $H_{выр}$ на человеко-день меньше в 1,126 раза).

На основе наиболее полноценных групп, выбранных посредством сравнения наибольшего значения коэффициента детерминации R^2 , был проведён регрессионный анализ с целью определения зависимости динамики изменения выработки ($H_{выр}$, $\text{м}^3/\text{чел.-день}$) в зависимости от объёма хлыста ($V_{хл}$, м^3), эффективного рабочего времени (T , ч) и расхода топлива (q , л/день). Степень достоверности полученных результатов подтверждается с помощью значения R^2 . В таблицах 1—4 представлены результаты дисперсионного анализа уравнений регрессий.

Харвестер John Deere 1270G:

$$H_{выр} = 792,554 \cdot V_{хл} + 13,2931 \cdot T + 0,302962 \cdot q - 262,555. \quad (4)$$

Таблица 1. Дисперсионный анализ уравнения регрессий

Table 1. Analysis of variance of the regression equation

Источник дисперсии	Сумма квадратов	Степени свободы	Среднеквадратичное значение	Критерий Фишера	P -значение
Модель	324128,0	3	108043,0	45,07	0,0000
Остаток	57534,8	24	2397,28		
Всего	381663,0	27			

Коэффициент детерминации $R^2 = 84,9 \%$.

Стандартная ошибка оценивания равна 48,962.

Средняя абсолютная погрешность равна 33,4494.

Харвестер John Deere 1270G:

$$H_{\text{выр}} = 858,091 \cdot V_{\text{хл}} + 15,7948 \cdot T - 239,539. \quad (5)$$

Таблица 2. Дисперсионный анализ уравнения регрессий

Table 2. Analysis of variance of the regression equation

Источник дисперсии	Сумма квадратов	Степени свободы	Среднеквадратичное значение	Критерий Фишера	P-значение
Модель	318400,	2	159200,	62,91	0,0000
Остаток	63262,5	25	2530,5		
Всего	381663,	27			

Коэффициент детерминации $R^2 = 83,42 \%$.

Стандартная ошибка оценивания равна 50,304.

Средняя абсолютная погрешность равна 34,77.

Харвестер на базе экскаватора SANY SY245F:

$$H_{\text{выр}} = 279,731 \cdot V_{\text{хл}} + 5,83285 \cdot T + 0,329899 \cdot q - 77,0391. \quad (6)$$

Таблица 3. Дисперсионный анализ уравнения регрессий

Table 3. Analysis of variance of the regression equation

Источник дисперсии	Сумма квадратов	Степени свободы	Среднеквадратичное значение	Критерий Фишера	P-значение
Модель	134256,0	3	44752,0	38,75	0,0000
Остаток	28870,0	25	1154,8		
Всего	163126,0	28			

Коэффициент детерминации $R^2 = 82,3 \%$.

Стандартная ошибка оценивания равна 33,9823.

Средняя абсолютная погрешность равна 24,1559.

Харвестер на базе экскаватора SANY SY245F:

$$H_{\text{выр}} = 257,032 \cdot V_{\text{хл}} + 14,0332 \cdot T - 77,1492. \quad (7)$$

Таблица 4. Дисперсионный анализ уравнения регрессий

Table 4. Analysis of variance of the regression equation

Источник дисперсии	Сумма квадратов	Степени свободы	Среднеквадратичное значение	Критерий Фишера	<i>P</i> -значение
Модель	130093,	2	65046,3	51,20	0,0000
Остаток	33033,4	26	1270,51		
Всего	163126,	28			

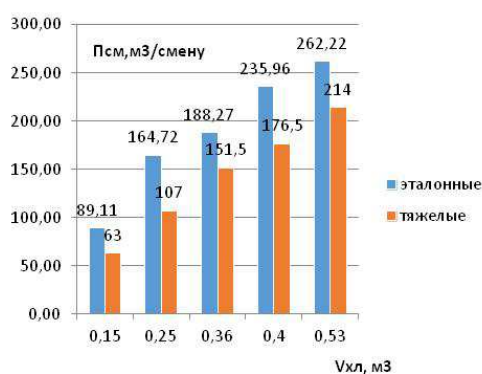
Коэффициент детерминации $R^2 = 79,75 \%$.

Стандартная ошибка оценивания равна 35,64.

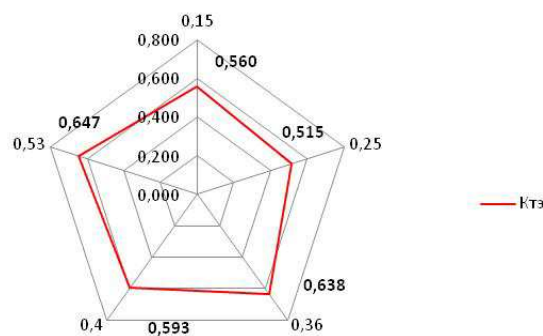
Средняя абсолютная погрешность равна 26,038.

Опираясь на фактические данные и технические характеристики рассмотренных лесозаготовительных машин, проведём расчёт $\Pi_{см}^э$ и $\Pi_{см}^м$ харвестера John Deere 1270G (рисунок 1, а), а также оценку значений $K_{мэ}$ (рисунок 1, б). При расчёте сменной производительности ($\Pi_{см}$) рассмотренных выше лесозаготовительных машин (на основе их технических характеристик) с использованием методических рекомендаций, представленных в работе [9], с учётом идентичных условий работы (отработанное время в смену 8 ч), были получены значения $\Pi_{см}$, превышающие фактические данные в 1,071—1,477 раза (на базе экскаватора SANY SY245F) и 1,225—1,539 раза (на базе экскаватора John Deere 1270G). Данное обстоятельство лишний раз указывает на влияние дополнительных природно-производственных факторов и затрат времени на эффективность лесных машин при проведении лесосечных работ в реальных природных условиях.

При установке на базовую машину SANY SY245F харвестерных головок разных производителей (WARATAN H480C, LOGMAX 6000, Ponsse H7, Техноком Т600) эффективность гусеничного харвестера, согласно теоретическим расчётам на основе технических характеристик харвестерных головок, варьируется в следующих пределах (рисунок 2, а). Кроме этого, согласно теоретическим расчётам на основе технических характеристик машин, производительность харвестера John Deere 1270G выше $\Pi_{см}$ харвестера на базе SANY SY245F в 1,035—1,191 раза (рисунок 2, б), что вполне соответствует представленному выше анализу фактических данных (разница по среднему значению $H_{выр}$ составляет 1,126 раза). Полученные результаты измерений и расчётов в целом соответствуют данным, представленным в работах [10], [11] и [12] ($\Pi_q = 18—21 \text{ м}^3/\text{ч}$, при $V_{хл} = 0,3 \text{ м}^3$), с учётом погрешности в измерениях и влиянии природно-производственных условий на работу лесозаготовительных машин.



а



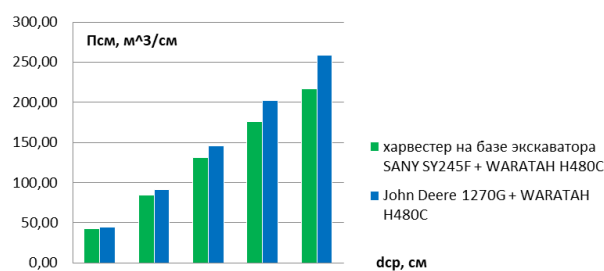
б

Рисунок 1. Харвестер John Deere 1270G: а — $P_{см}$ в зависимости от $V_{хл}$, в эталонных и тяжёлых условиях соответственно; б — значение коэффициента технологической эффективности ($K_{тэ}$) при варьировании $V_{хл}, м^3$

Fig. 1. Harvester John Deere 1270G: (a) P_{sm} , depending on V_{hl} , in standard and severe conditions, respectively; (b) value of the technological efficiency coefficient (C_{TE}) with varying $V_{hl}, м^3$



а



б

Рисунок 2. Сменная производительность ($P_{см}$): а — харвестеров на базе гусеничного экскаватора SANY SY245F с разными харвестерными головками и John Deere 1270G при $V_{хл} = 0,26 м^3$, б — харвестера на базе экскаватора SANY SY245F и John Deere 1270G

Fig. 2. Output per shift (P_{sm}): (a) harvesters based on the SANY SY245F crawler excavator with different harvester heads and John Deere 1270G at $V_{hl} = 0,26 м^3$, (b) harvesters based on the SANY SY245F and John Deere 1270G excavator

На основе проведённого анализа установлено изменение значений коэффициента технологической эффективности, при этом максимальные значения $K_{мэ} = 0,638$ и $0,647$ достигаются при $V_{хл} = 0,36$ и $0,53 \text{ м}^3$ и чистом времени работы $7,5$ ч и 9 ч соответственно. Уменьшение значений коэффициента $K_{мэ}$ в других условиях ($V_{хл}$) позволяет констатировать снижение эффективности работы харвестера под влиянием дополнительных природно-производственных факторов, основным из которых являются потери времени при выполнении незапланированных операций. Оценка работы харвестера посредством критерия $K_{мэ}$ позволяет оценить, насколько фактическая эффективность лесозаготовительной машины соответствует её возможностям, что, в свою очередь, позволит выявить проблемные места и провести мероприятия для совершенствования технологического процесса её работы, в т. ч. повышения производительности техники и снижения затрат на её эксплуатацию.

4. Обсуждение и заключение

Анализ показал, что харвестеры китайского производства, в частности на базе гусеничного экскаватора SANY SY245F, по эффективности вполне конкурентоспособны с лесозаготовительными машинами других зарубежных производителей. Достоинства: достаточно высокая производительность, доступность, простота конструкции базовой машины и т. д. Недостатки: повышенный расход топлива, недостаточная защита остекления кабины, перегрев масла в гидравлической системе, операторами отмечаются и другие конструктивные особенности. Стоит отметить, что при анализе эффективности рассмотренных харвестеров не принимались во внимание надёжность и ремонтпригодность машин, что, несомненно, является важным фактором при выборе лесозаготовительной техники и требует проведения отдельных исследований.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о вполне реальных предпосылках к использованию харвестеров на базе китайских гусеничных экскаваторов (например, SANY SY245F) на лесозаготовках в нашей стране, которые вполне эффективны при проведении лесосечных работ и являются прямыми конкурентами продукции компании «АМКОДОР» и подержанных лесозаготовительных машин зарубежного производства.

Список литературы

1. Обоснование направлений совершенствования лесозаготовительных машин / В. И. Скрыпник, А. В. Кузнецов, А. С. Васильев [и др.]. Петрозаводск: ООО «Verso», 2016. 93 с.
2. Кузнецов А. В., Галактионов О. Н. Анализ производства лесозаготовительных машин в России // Инженерный вестник Дона. Ростов н/Д., 2023. С. 712—722.
3. ООО «Карелия Палп». URL: <http://karjalapulp.com/> (дата обращения: 12.08.2023). Текст: электронный.
4. АО «Кондопожское лесопромышленное хозяйство» (КЛПХ). URL: <http://klpkh.com/> (дата обращения: 12.08.2023). Текст: электронный.

5. Харвестерная головка Т600 — первая в России реальная альтернатива европейским брендам // Журнал «ЛПК Сибири». URL: <https://lpk-sibiri.ru/logging/harvester-heads/harvesternaya-golovka-t600-pervaya-v-rossii-realnaya-alternativa-evropeyskim-brendam/?ysclid=lfnw3hgino292636735> (дата обращения: 12.08.2023). Текст: электронный.
6. Анисимов Г. М., Котиков В. М., Куликов М. И. Лесотранспортные машины. М.: Экология, 1997. 448 с.
7. Кнороз В. И., Астров И. П. Оценка проходимости колёсных машин // Труды НАМИ. 1973. Вып. 142. С. 66—76.
8. Шегельман И. Р., Скрыпник В. И., Кузнецов А. В. Анализ показателей работы и оценка эффективности лесозаготовительных машин в различных природно-производственных условиях // Учёные записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки. 2010. № 4. С. 66—75.
9. Производство лесосечных работ: Технология и техника / И. Р. Шегельман, В. И. Скрыпник, А. В. Питухин [и др.]. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2015. 366 с.
10. Apafai A. I., Proto A. R., Borz S. A. Performance of a mid-sized harvester-forwarder system in integrated harvesting of sawmill, pulpwood and firewood // Ann. For. 2017. Res. 60 (2). P. 227—241. DOI: 10.15287/afr.2017.909.
11. Eriksson M., Lindroos O. Productivity of harvesters and forwarders in CTL operations in northern Sweden based on large follow-up datasets // International Journal of Forest Engineering. 2014. No. 25 (3). P. 179—200. DOI: 10.1080/14942119.2014.974309.
12. Расчёт эксплуатационных затрат лесосечных машин / Ю. Ю. Герасимов, К. Н. Сибиряков, С. Л. Мошков [и др.]. Йоэнсуу: НИИ леса Финляндии, 2009. 46 с.

References

1. Skrypnik V. I., Kuznetsov A. V., Vasilyev A. S., Sapozhkov D. V., Zaitsev V. G. *Justification of directions for improving forestry machines*. Petrozavodsk, Verso LLC, 2016. 93 p. (In Russ.)
2. Kuznetsov A. V., Galaktionov O. N. Analysis of the production of forestry machines in Russia. *Engineering Bulletin of the Don*. Rostov-on-Don, 2023, pp. 712—722. (In Russ.)
3. Karelia Pulp LLC. Available at: <http://karjalapulp.com/> (date accessed: 08.12.2023). Text. Image: electronic. (In Russ.)
4. JSC «Kondopoga timber industry» (KLPH). Available at: <http://klpkh.com/> (date accessed: 08.12.2023). Text. Image: electronic. (In Russ.)
5. Harvester head T600 — the first real alternative to European brands in Russia. *Journal «LPK Siberia»*. Available at: <https://lpk-sibiri.ru/logging/harvester-heads/harvesternaya-golovka-t600-pervaya-v-rossii-realnaya-alternativa-evropeyskim-brendam/?ysclid=lfnw3hgino292636735> (date accessed: 08.12.2023). Text. Image: electronic. (In Russ.)
6. Anisimov G. M., Kotikov V. M., Kulikov M. I. *Forest transport vehicles*. Moscow, Ecology, 1997. 448 p. (In Russ.)
7. Knoroz V. I., Astrov I. P. Assessment of the cross-country ability of wheeled vehicles. *Proceedings of NAMI*, 1973, release 142, pp. 66—76. (In Russ.)
8. Shegelman I. R., Skrypnik V. I., Kuznetsov A. V. Analysis of performance indicators and assessment of the efficiency of logging machines in various natural and production conditions. *Scientific notes of Petrozavodsk State University. Series: Natural. and Tech. Sciences*, 2010, no. 4, pp. 66—75. (In Russ.)
9. Shegelman I. R., Skrypnik V. I., Pitukhin A. V., Galaktionov O. N. *Production of logging works: Technology and equipment*. Petrozavodsk, PetrSU Publishing House, 2015. 366 p. (In Russ.)

10. Apafaian A. I., Proto A. R., Borz S. A. Performance of a mid-sized harvester-forwarder system in integrated harvesting of sawmill, pulpwood and firewood. *Ann. For.*, 2017, res. 60 (2), pp. 227—241. doi: 10.15287/afr.2017.909.
11. Eriksson M., Lindroos O. Productivity of harvesters and forwarders in CTL operations in northern Sweden based on large follow-up datasets. *International Journal of Forest Engineering*, 2014, no. 25 (3), pp. 179—200. doi: 10.1080/14942119.2014.974309.
12. Gerasimov Yu. Yu., Sibiryakov K. N., Moshkov S. L., Vålkkylä E., Karvinen S. *Calculation of operating costs of logging machines*. Joensuu, Finnish Forest Research Institute, 2009. 46 p. (In Russ.)