



№19 (1)

ISSN 2307-0048

Resources and Technology

научный журнал

2022

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Resources and Technology

№19 (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@petsu.ru. Номер телефона: 8 (8142) 76-97-11.

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

Resources and Technology

№19 (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. 19, 2022

<i>Куницкая О. А., Беляев Н. Л., Хитров Е. Г.</i>	Совершенствование методики программного определения объёма партии круглых лесоматериалов для повышения точности результатов её применения	1 - 47
<i>Сюнев В. С., Графова Е. О.</i>	Новые технические решения по снижению негативного воздействия лесопромышленных производств на лесную среду	48 - 71
<i>Юдин Р. В., Попиков П. И., Усков В. И., Платонов А. А., Попиков В. П., Канищев Д. А.</i>	Математическая модель рабочих процессов бесчokerного трелевочного захвата с энергосберегающим гидроприводом	72 - 86
<i>Тебенькова Д. Н., Катаев А. Д.</i>	Мультифункциональное лесное хозяйство или заготовка древесины?	87 - 113
<i>Побединский В. В., Анянова Е. В., Ковалев Р. Н., Иовлев Г. А.</i>	Нечеткое моделирование процесса естественной рекультивации нарушенных земель	114 - 128
<i>Каляшов В. А., Шапиро В. Я., Григорьев И. В., Куницкая О. А., Григорьева О. И.</i>	Исследование устойчивости массива оттаивающего почвогрунта при его динамическом взаимодействии с колёсной лесной машиной на склонах	129 - 148

Content №1, Vol. 19, 2022

<i>Kunickaya O., Belyaev N., Hitrov E.</i>	Methodology enhancement for program determination of roundwood batch volume to improve the accuracy of its application	1 - 47
<i>Syunev V., Grafova E.</i>	New technical solutions for reducing the negative impact of forest industries on the forest environment	48 - 71
<i>Yudin R. V., Popikov P. I., Uskov V. I., Platonov A., Popikov V., Kanishchev D.</i>	Mathematical model of operating processes of the chocker-free trip with energy-saving hydraulic drive	72 - 86
<i>Tebenкова D. N., Kataev A. D.</i>	Multifunctional forestry or timber harvesting?	87 - 113
<i>Pobedinskiy V. V., Anyanova E. V., Kovalev R. N., Iovlev G. A.</i>	Fuzzy modeling of disturbed lands natural revegetation	114 - 128
<i>Kalyashov V., Shapiro V., Grigorev I., Kunickaya O., Grigoreva O.</i>	Assessment of the efficiency of the skidding portage on the slope of the thawing soil mass under cyclic static loads	129 - 148

УДК 657.6

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6043

Статья

Совершенствование методики программного определения объёма партии круглых лесоматериалов для повышения точности результатов её применения

Куницкая Ольга Анатольевна

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

Беляев Николай Львович

представитель компании в Российской Федерации, Timbeter OÜ, г. Таллин (Эстония), nikolai@timbeter.com

Хитров Егор Германович

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

Получена: 30 ноября 2021 / Принята: 18 февраля 2022 / Опубликовано: 28 февраля 2022

Аннотация: Проблема повышения точности и автоматизации учёта круглых лесоматериалов по-прежнему стоит достаточно остро. В отечественной и зарубежной практике используются различные ручные поштучные методы измерения объёма, как с учётом, так и без учёта коры. К ним относятся метод концевых сечений, метод срединного сечения, метод усечённого конуса. В то же время всё чаще используются автоматизированные методы, чаще всего секционный. Развиваются и групповые методы определения объёма. В дополнение к ручному штабельному методу в учётной практике используются весовые методы, построение 2-D- и 3-D-моделей на базе фотографической и лазерной съёмки. Однако весьма часто отсутствует нормативное регулирование вопросов учёта лесоматериалов: какой метод и когда применять, какие погрешности измерений допустимы, что делать с расхождениями и т. п. К настоящему времени разработаны пакеты прикладных программ, основанные на машинном зрении, которые позволяют существенно сократить трудоёмкость операций по измерению объёмов круглых лесоматериалов в плотном штабеле или на автолесовозе. В статье показано, что при программном определении объёма хвойных и лиственных лесоматериалов непосредственные оценки завышены

по сравнению с контрольными показателями. Распределение относительных отклонений оценок от контрольных значений не подчиняется нормальному закону распределения. В результате анализа выборки партий листовых лесоматериалов получена регрессионная модель, предназначенная для корректировки программной оценки объёма партии с учётом объёма, среднего диаметра и числа брёвен. Использование данной модели позволяет повысить точность программной оценки по сравнению с контролем. Работа выполнена в рамках деятельности научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» Арктического государственного агротехнологического университета.

Ключевые слова: лесозаготовки, учёт заготовленной древесины, круглые лесоматериалы, групповой учёт, сортименты

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6043

Article

Methodology enhancement for program determination of roundwood batch volume to improve the accuracy of its application

Ol'ga Kunickaya

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

Nikolaj Belyaev

*Representative of the Company in the Russian Federation, Timbeter OÜ, Tallinn (Estonia),
nikolai@timbeter.com.*

Egor Hitrov

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

Received: 30 November 2021 / Accepted: 18 February 2022 / Published: 28 February 2022

Abstract: The problem of improving the accuracy and automation of round timber accounting is still quite urgent. In domestic and foreign practice various manual piece-by-piece methods of volume measurement are used, both with and without taking bark into account. These include the method of end sections, the middle section method, and the truncated cone method. At the same time automated methods, mainly sectional methods, are finding wide application. . Group methods are also being developed. In addition to the manual stacking method, accounting practice uses weight methods, construction of 2-D and 3-D models on the basis of photographic and laser surveying. However, quite often there is no normative regulation of timber accounting issues: which method and when to use, what measurement errors are acceptable and how to deal with discrepancies. To date, application software packages based on machine vision have been developed to significantly reduce the labor intensity of operations to measure the volume of round timber in a dense stack or on a timber truck. The article shows that in software-based volume determination of coniferous and hardwood timber the direct estimates are overestimated as compared with the control ones. The distribution of relative deviations of estimates from the reference values does not adhere to the normal distribution law. As a result of analyzing a sample of hardwood timber batches, a regression model was obtained to adjust the software estimates of the batch

volume with regard to the volume, average diameter, and number of logs. This model allows improving the accuracy of program estimation compared to the control one. The work was performed within the framework of the scientific school «Innovative developments in the field of logging industry and forestry» of the Arctic State Agrotechnological University.

Keywords: logging, logging accounting, roundwood, group accounting, assortments

1. Введение

Во многих зарубежных странах практикуют сквозной процесс учёта древесины, основанный на измерении заготовленных сортиментов харвестерами или процессорами. Эти машины автоматически производят измерение объёма каждого заготовленного сортимента, с одновременным учётом его породы и назначения, введённых оператором, и записывают данные измерений в бортовой компьютер. Данные измерений затем передаются онлайн или на физическом носителе в контору лесозаготовительного предприятия и служат основой для расчёта производительности машин, оплаты операторам и последующей логистики заготовленной древесины [1—5].

К сожалению, в РФ такая практика не используется из-за отсутствия ряда необходимых нормативных документов, включая ГОСТ на мерную вилку для харвестера.

Наиболее динамично в России развиваются технологии группового учёта плотно уложенных круглых лесоматериалов при помощи фотографии и её последующей оцифровки системами машинного зрения [6]. Этот же принцип используется и в древесно-подготовительных цехах деревоперерабатывающих предприятий [7].

Групповые методы измерений, например штабельный, «подстроены» под опорный метод измерений путём использования коэффициентов полнодревесности, применяемых к геометрическому (т. н. складочному) объёму группы сортиментов (штабеля) для получения плотного объёма, т. е. эквивалента суммы объёмов всех составляющих штабель сортиментов, найденных опорным методом [8—12].

Основная цель экспериментальных исследований — совершенствование методики программного определения объёма партии лесоматериалов, повышение точности результатов её применения. Нами выдвинуто предположение о том, что ошибка программного определения объёма партии лесоматериалов складывается из двух составляющих:

- 1) случайная ошибка, связанная с погрешностью измерений и обработки снимков;
- 2) систематическая ошибка, связанная с действием факторов, не учтённых существующей методикой определения объёма партии по снимку.

Будем рассматривать лиственные и хвойные лесоматериалы отдельно, поскольку систематическая ошибка, предположительно, обусловлена, главным образом, геометрическими параметрами брёвен (такими как сбеги и закомлёванность), значительно различающимися у лиственных и хвойных лесоматериалов.

2. Материалы и методы

В результате экспериментов были определены следующие величины: число брёвен в партии $n^{\text{прогр}}$ (определено с помощью программы Timbeter); объём партии брёвен $V^{\text{прогр}}$ (определён с помощью программы Timbeter); средний диаметр брёвен на снимке $d_{\text{ср}}^{\text{прогр}}$

(определён с помощью программы Timbeter); контрольное число брёвен $n^{\text{контр}}$ (ручной пересчёт); контрольный объём партии брёвен $V^{\text{контр}}$ (ручной обмер).

Контрольный объём партии брёвен $V^{\text{контр}}$, определённый поштучным обмером, будем считать эталонным. По полученным данным рассчитано относительное отклонение объёма партии, определённого программно, от контрольного значения:

$$\delta = \frac{V^{\text{прогр}} - V^{\text{контр}}}{V^{\text{контр}}} \cdot 100\%. \quad (1)$$

Наша задача состоит в снижении отклонения δ . Задача будет решаться с использованием методов регрессионного анализа [13—17]. Всего изучено восемь выборок (одна основная выборка берёзовых брёвен + три контрольных, одна основная выборка еловых лесоматериалов + три контрольных), общие сведения о выборках приведены в таблице 1.

Таблица 1. Экспериментальные выборки круглых лесоматериалов

Table 1. Experimental roundwood sampling

№	Шифр	Лесоматериалы	Регион	Число партий
1	ЛО-1	Лиственные		289
2	ЛК-1	Лиственные		331
3	ЛК-2	Лиственные		364
4	ЛК-3	Лиственные		48
5	ХО-1	Хвойные		265
6	ХК-1	Хвойные		322
7	ХК-2	Хвойные		302
8	ХК-3	Хвойные		182

3. Результаты

3.1. Лиственные породы древесины

Основные статистические данные по выборке ЛО-1 (№ 1) приведены в таблице 2. Обозначения в таблице 2: N — число объектов в выборке, M — среднее арифметическое значение, S — выборочное стандартное отклонение, A — коэффициент асимметрии выборки, E — коэффициент эксцесса, \min — минимальное значение, \max — максимальное значение, med — медианное значение.

Таблица 2. Статистические данные по выборке ЛО-1 (№ 1)

Table 2. Statistical data on the LO-1 sample (No 1)

Показатель	$n^{\text{прогр}}$, шт.	$d_{\text{ср}}^{\text{прогр}}$, см	$V^{\text{прогр}}$, м ³	$n^{\text{контр}}$, шт.	$V^{\text{контр}}$, м ³	δ , %
N	289	289	289	289	289	289
M	61,028	25,627	16,884	61,263	15,986	5,970
S	10,200	1,654	1,802	10,132	1,899	6,578
A	0,1853	0,4912	-0,0827	0,1679	-0,0776	0,0908
E	-0,6382	0,5058	-0,5862	-0,6514	-1,0073	-1,0521
min	39	21,6	12,50	39	11,79	-6,536
max	87	31,8	21,52	87	19,52	18,833
med	60	25,4	17,06	61	15,84	5,914

На рисунке 1 сопоставлены объёмы партий по программе Timbeter и контрольные значения в выборке ЛО-1 (№ 1).

Предположим, что оценка объёма партии лесоматериалов даётся непосредственно лишь на основе замера при помощи программы. При попытке аппроксимации контрольных значений функцией

$$V^{\text{контр}} = V^{\text{прогр}}, \quad (2)$$

получим оценку точности приближения по формуле

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (V_i^{\text{контр}} - V_i^{\text{прогр}})^2}{\sum_{i=1}^N (V_i^{\text{контр}} - V_{\text{ср}}^{\text{контр}})^2}, \quad (3)$$

где $V_{\text{ср}}^{\text{контр}}$ — среднее значение контрольного объёма партии лесоматериалов в выборке, индекс i соответствует номеру партии лесоматериалов в выборке.

В результате получим коэффициент детерминации $R^2 = 0,4996$, что неудовлетворительно.

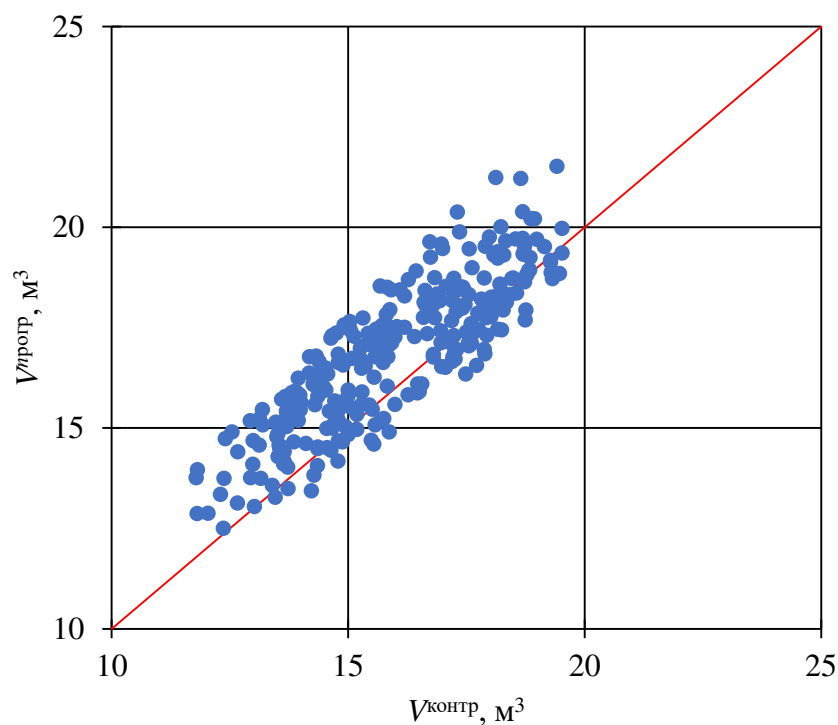


Рисунок 1. Сопоставление объёма партии, определённого с использованием программы Timbeter без корректировки, с контрольным значением (ЛО-1)

Figure 1. Comparison of the batch volume determined using the Timbeter program without correction with the control value (LO-1)

Составим вариационный ряд из значений ошибки δ , рассчитанных для выборки ЛО-1 (№ 1), и сгруппируем значения δ по интервалам. Число интервалов примем, ориентируясь на формулу Стирджеса:

$$K \approx 1 + 3,32 \lg N, \quad (4)$$

где N — число наблюдений.

Для выборки ЛО-1 (№ 1) принимаем, с учётом округлений и удобства группировки данных, $K = 9$. Шаг интервалов $h = 3 \%$. В таблице 3 приведены результаты группировки.

Таблица 3. Результаты группировки наблюдений по интервалам

Table 3. Results of grouping observations by intervals

№	Начало интервала	Конец интервала	Середина интервала	Абсолютная частота	Относительная частота
1	-7	-4	-5,5	12	0,0415
2	-4	-1	-2,5	40	0,1384
3	-1	2	0,5	46	0,1592
4	2	5	3,5	32	0,1107
5	5	8	6,5	41	0,1419
6	8	11	9,5	42	0,1453
7	11	14	12,5	36	0,1246
8	14	17	15,5	24	0,0830
9	17	20	18,5	16	0,0554

На рисунке 2 представлена гистограмма абсолютных частот δ по интервалам, выделенным в соответствии с таблицей 2.

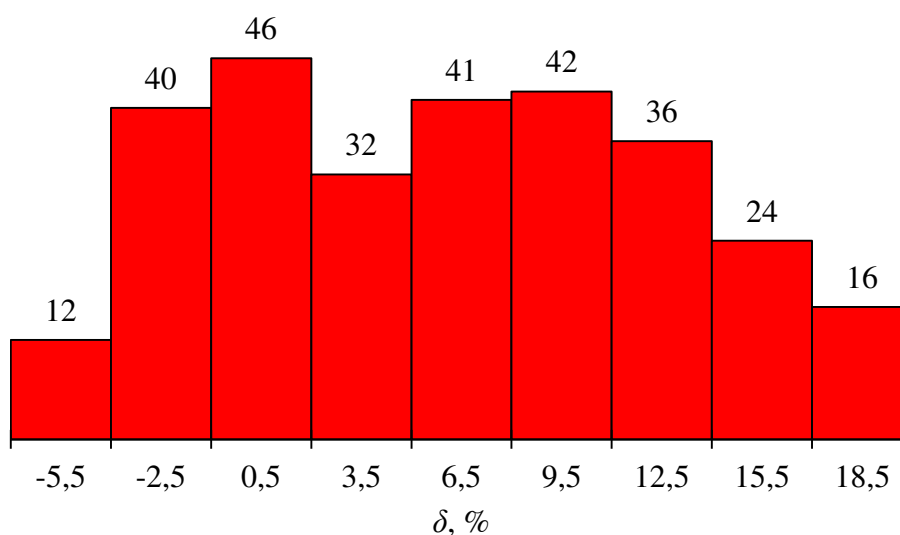


Рисунок 2. Относительное отклонение объёма партии по программе Timbeter от контрольного значения

Figure 2. Relative deviation of the batch volume by Timbeter program from the reference value

Проанализируем распределение относительного отклонения δ . На рисунке 3 представлено экспериментальное распределение плотностей относительных частот δ (гистограмма):

$$p_k \approx \frac{N_k}{hN}, \quad (5)$$

а также теоретическое распределение плотностей относительных частот при гипотезе о нормальном распределении δ :

$$p_k^{\text{теор}} \approx \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_{\text{ср},k}-M)^2}{2S^2}}, \quad (6)$$

где индекс k соответствует номеру интервала группировки данных, $x_{\text{ср},k}$ — середина k -го интервала группировки.

В таблице 4 приведены сведения, необходимые для расчёта критерия согласия Пирсона по формуле

$$\chi_{\text{расч}}^2 = \sum_{k=1}^K \frac{(N_k - Nq_k^{\text{теор}})^2}{Nq_k^{\text{теор}}}, \quad (7)$$

где $q_k^{\text{теор}}$ — теоретическая вероятность того, что величина δ примет значение из интервала соответствующего интервала:

$$q_k^{\text{теор}} = \frac{1}{2} \cdot \left[\operatorname{erf}\left(\frac{x_k - M}{\sqrt{2S^2}}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{x_k - h - M}{\sqrt{2S^2}}\right) \right] \quad (8)$$

где x_k — конец k -го интервала.

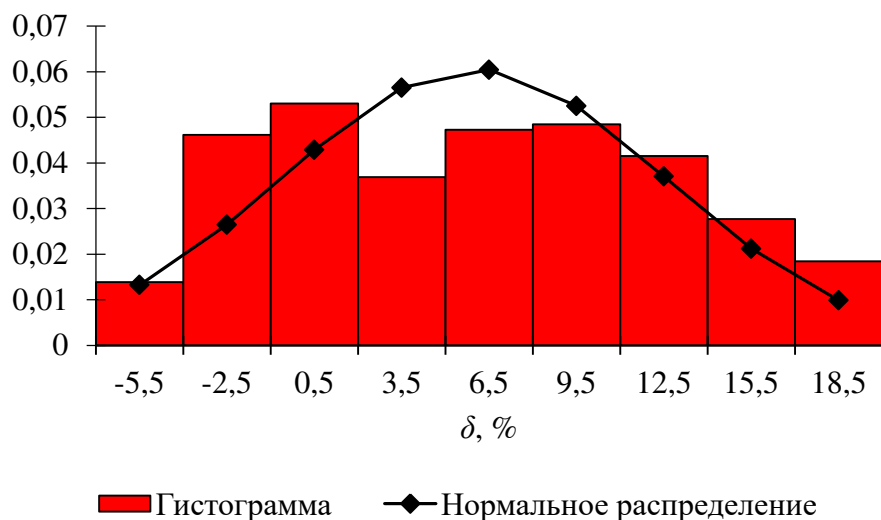


Рисунок 3. Сравнение экспериментального и теоретического распределения плотностей относительных частот

Figure 3. Comparison of experimental and theoretical distributions of relative frequency densities

Таблица 4. Расчёт критерия согласия Пирсона

Table 4. Calculation of the Pearson agreement criterion

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N_k	12	40	46	32	41	42	36	24	16
$q_k^{\text{теор}}$	0,0405	0,0799	0,1284	0,1683	0,1798	0,1566	0,1111	0,0643	0,0420

По формуле (7) значение критерия равно: $\chi_{\text{расч}}^2 = 26,05$, при этом критическое значение $\chi_{\text{крит}}^2(\alpha, f) = 12,59$ (α — уровень значимости, $\alpha = 0,05$, f — число степеней свободы, $f = K - s - 1 = 9 - 2 - 1 = 6$, s — число параметров распределения, определённых на основе экспериментальных данных).

Гипотеза о распределении отвергается в том случае, когда

$$\chi_{\text{расч}}^2 > \chi_{\text{крит}}^2, \quad (9)$$

таким образом, в рассматриваемом случае гипотеза о нормальном распределении отклонения δ отвергается, что в том числе подтверждает сделанное предположение о необходимости учёта дополнительных факторов при определении объёма партии брёвен.

Воспользуемся методами регрессионного анализа для получения более приемлемых результатов приближения [18—20]. На основе выражения (1) запишем:

$$V_{\text{контр}} = \frac{V_{\text{прогр}}}{1 + 0,01\delta}. \quad (10)$$

Рассмотрим некоторое скорректированное значение программной оценки объёма партии лесоматериалов:

$$V_{\text{прогр,корр}} = \frac{V_{\text{прогр}}}{1 + 0,01\delta^{\text{корр}}}, \quad (11)$$

причём положим:

$$\delta^{\text{корр}} = f(V_{\text{прогр}}, d_{\text{ср}}^{\text{прогр}}, n^{\text{прогр}}). \quad (12)$$

Для приближения оценок $V_{\text{прогр,корр}}$ к контрольным значениям $V_{\text{контр}}$ зададимся условием:

$$\Phi = \sum_{i=1}^N (\delta_i - \delta_i^{\text{корр}})^2 \rightarrow \min. \quad (13)$$

Примем общий вид функции $\delta^{\text{корр}}$:

$$\begin{aligned} \delta^{\text{корр}} = & a_0 + a_1 V_{\text{прогр}} + a_2 n^{\text{прогр}} + a_3 d_{\text{ср}}^{\text{прогр}} + a_4 V_{\text{прогр}} n^{\text{прогр}} \\ & + a_5 V_{\text{прогр}} d_{\text{ср}}^{\text{прогр}} + a_6 n^{\text{прогр}} d_{\text{ср}}^{\text{прогр}}, \end{aligned} \quad (14)$$

где a_j — коэффициенты регрессионной модели, подлежащие определению с учётом выражения (13).

Вектор значений коэффициентов a , минимизирующих функцию (13), определим по формуле

$$\mathbf{a} = \mathbf{\Gamma}^{-1}\mathbf{b}, \quad (15)$$

где $\mathbf{\Gamma}$ — матрица Грама:

$$\mathbf{\Gamma} = \mathbf{X}^T\mathbf{X}, \quad (16)$$

в рассматриваемом случае

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} 1 & V_1^{\text{прогр}} & \dots & n_1^{\text{прогр}} d_{\text{ср},1}^{\text{прогр}} \\ 1 & V_2 & \dots & n_2^{\text{прогр}} d_{\text{ср},2}^{\text{прогр}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & V_N & \dots & n_N^{\text{прогр}} d_{\text{ср},N}^{\text{прогр}} \end{pmatrix}, \quad (17)$$

вектор \mathbf{b} :

$$\mathbf{b} = \mathbf{X}^T\mathbf{y}, \mathbf{y} = \begin{pmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \dots \\ \delta_N \end{pmatrix}. \quad (18)$$

Обратим внимание на корреляции значений экспериментальных факторов в выборке ЛО-1 (№ 1), сопоставленных на рисунках 4—6.

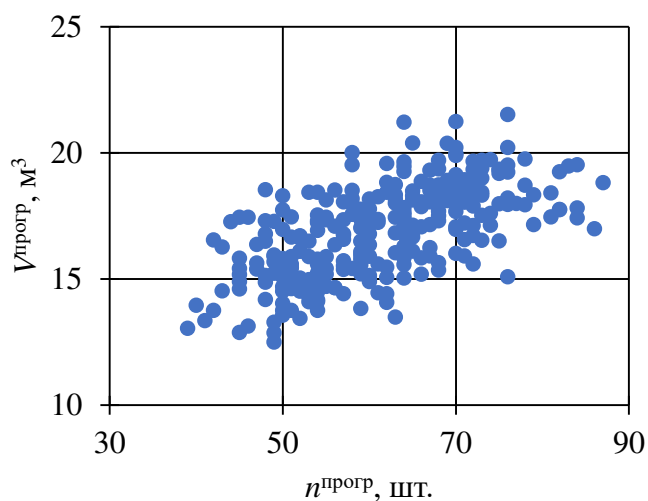


Рисунок 4. Сопоставление объёма партии и числа брёвен в партии (программа Timbeter) (ЛО-1)

Figure 4. Comparison of batch volume and number of logs in the batch (Timbeter program) (LO-1)

Расчёт коэффициентов линейной корреляции (таблица 5) осуществим по формуле

$$r = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{\sqrt{[N \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2] \cdot [N \sum_{i=1}^N y_i^2 - (\sum_{i=1}^N y_i)^2]}} \quad (19)$$

это показывает, что экспериментальные факторы, в ряде случаев, тесно коррелируют между собой.

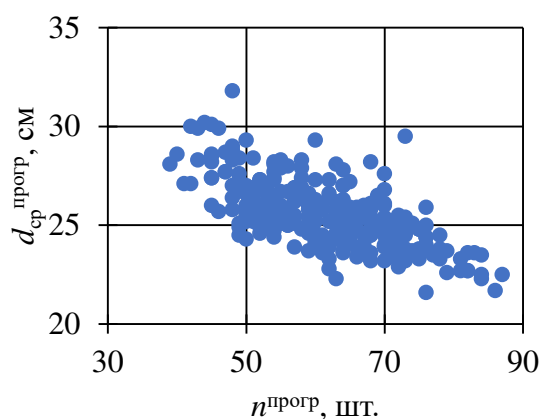


Рисунок 5. Сопоставление среднего диаметра брёвен в партии и числа брёвен в партии (программа Timbeter) (ЛО-1)

Figure 5. Comparison of the average diameter of logs in the batch and the number of logs in the batch (Timbeter program) (LO-1)

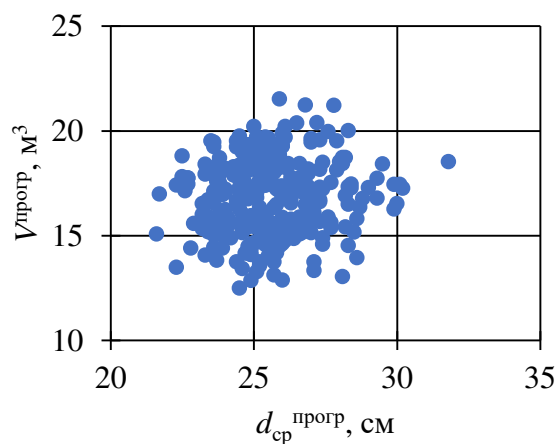


Рисунок 6. Сопоставление объёма партии и среднего диаметра брёвен в партии (программа Timbeter) (ЛО-1)

Figure 6. Comparison of batch volume and average log diameter in the batch (Timbeter program) (LO-1)

Таким образом, следует учитывать возможную мультиколлинеарность параметров регрессионной модели (14). Для снижения её эффекта используем следующий подход. После определения значений коэффициентов модели (14) рассчитаем дисперсию:

$$S_{\text{перп}}^2 = \frac{\mathbf{e}^T \mathbf{e}}{N - m}, \quad (20)$$

где m — число коэффициентов в уравнении регрессии, \mathbf{e}^T — вектор отклонений:

$$\mathbf{e} = \begin{pmatrix} \delta_1 - \delta_1^{\text{корр}} \\ \delta_2 - \delta_2^{\text{корр}} \\ \dots \\ \delta_N - \delta_N^{\text{корр}} \end{pmatrix}, \quad (21)$$

и для каждого коэффициента стандартную ошибку определения:

$$S_{a,j} = \sqrt{S_{\text{перп}}^2 \Gamma_j^{-1}}, \quad (22)$$

здесь индекс j соответствует номеру коэффициента в регрессионной модели.

Далее для каждого коэффициента рассчитаем статистику:

$$t_{a,j} = \left| \frac{a_j}{S_{a,j}} \right|. \quad (23)$$

Результаты расчёта представлены в таблице 6.

Таблица 5. Результаты расчёта коэффициентов линейной корреляции факторов в выборке ЛО-1 (№ 1)

Table 5. The results of calculating the linear correlation coefficients of factors in the LO-1 sample (No 1)

	$n^{\text{прогр}}$	$d_{\text{ср}}^{\text{прогр}}$	$V^{\text{прогр}}$
$n^{\text{прогр}}$	—	−0,6793	0,6225
$d_{\text{ср}}^{\text{прогр}}$	−0,6793	—	0,0660
$V^{\text{прогр}}$	0,6225	0,0660	—

Таблица 6. Результаты расчёта коэффициентов уравнения регрессии (14)

Table 6. Results of calculating the coefficients of the regression equation (14)

№	Коэффициент	Оценка	S_a	t_a
1	a_0	4,51	91,2	0,0494
2	a_1	4,86	6,22	0,782
3	a_2	–0,2	0,6953	0,2876
4	a_3	0,3757	2,8807	0,1304
5	a_4	0,01383	0,02685	0,5151
6	a_5	–0,0758	0,1827	0,4152
7	a_6	–0,0384	0,0387	0,9934

Будем поштучно исключать из модели (14) коэффициенты, начиная с коэффициента с минимальным значением t_a , всякий раз повторяя вычисления по формулам (15)—(18), (20)—(23) и учитывая результаты пересчёта. Исключения продолжим до тех пор, пока для всех коэффициентов не будет выполнено условие:

$$t_{a,j} > t(\alpha, f), \quad (24)$$

где $t - t$ — распределение Стьюдента при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $f = m - 1$.

В результате получим оценки коэффициентов уравнения (14), представленные в таблице 7.

Таблица 7. Результаты расчёта коэффициентов уравнения регрессии (14)

Table 7. Results of calculating the coefficients of the regression equation (14)

№	Коэффициент	Оценка	S_a	t_a
2	a_1	2,369	0,3090	7,667
7	a_6	–0,02194	0,003354	–6,541

Тогда уравнение (14) примет следующий вид:

$$\delta^{\text{корр}} = 2,369V^{\text{прогр}} - 0,02194n^{\text{прогр}}d_{\text{ср}}^{\text{прогр}}. \quad (25)$$

Рассчитаем скорректированный объём партии, определяемый по результатам программного замера по формуле (11) с учётом оценки отклонения (24):

$$V_{\text{прогр,корр}} = \frac{V_{\text{прогр}}}{1 + 0,01 \cdot (2,369V_{\text{прогр}} - 0,02194n_{\text{прогр}}d_{\text{ср}}^{\text{прогр}})} \quad (26)$$

Результаты расчёта по уравнению (25) сопоставлены с контрольными значениями на рисунке 7.

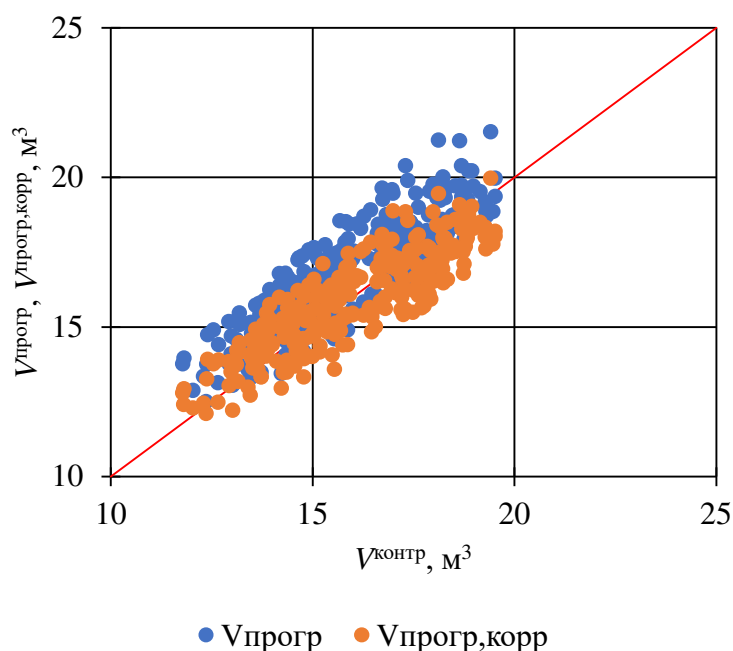


Рисунок 7. Сопоставление объёма партии, определённого с использованием программы Timbeter с корректировкой, с контрольным значением (ЛО-1)

Figure 7. Comparison of the batch volume determined using the Timbeter software with correction to the reference value (LO-1)

По графику отметим качественное приближение скорректированных значений объёмов партий, рассчитанных на основе результатов замеров $V_{\text{прогр}}$, $d_{\text{ср}}^{\text{прогр}}$, $n_{\text{прогр}}$ с использованием уравнения (25), к контрольным значениям.

Для количественной оценки улучшения приближения данных воспользуемся коэффициентом детерминации R^2 . Коэффициент детерминации для функции

$$V_{\text{контр}} = V_{\text{прогр,корр}}, \quad (27)$$

рассчитанный по формуле (3) при $V_i^{\text{прогр}} = V_i^{\text{прогр,корр}}$, составляет $R^2 = 0,7635$. Таким образом, доля вариации объёма партии лесоматериалов, объяснённая с учётом корректировки, повысилась на $\frac{0,7635-0,4996}{0,4996} \cdot 100\% \approx 53\%$.

Далее изучим результаты использования модели (26) при обработке данных в контрольных выборках.

Выполним проверку сходимости контрольных данных и результатов программной оценки объёма лесоматериалов с учётом корректировки (26).

В таблице 8 приведены основные статистические данные по контрольной выборке ЛК-1 (№ 2).

Таблица 8. Статистические данные по выборке ЛК-1

Table 8. Statistical data on the LC-1 sample

	$n^{\text{прогр}}$, шт.	$d_{\text{ср}}^{\text{прогр}}$, см	$V^{\text{прогр}}$, м ³	$n^{\text{контр}}$, шт.	$V^{\text{контр}}$, м ³	δ , %
N	331	331	331	331	331	331
M	57,396	26,192	16,509	57,347	15,663	5,759
S	9,337	1,861	1,971	9,357	2,025	7,235
A	-0,0785	0,4236	-0,0615	-0,0617	0,2052	-0,0072
E	-0,5179	-0,0024	-0,3065	-0,5091	-0,1208	-0,2216
min	32	21,9	11,05	32	10,78	-12,856
max	80	31,7	21,58	80	21,87	29,605
med	57	26	16,52	57	15,56	5,668

Взаимосвязи экспериментальных факторов проиллюстрированы на рисунках 8—10.

Коэффициенты линейной корреляции факторов приведены в таблице 9.

Объём партии, определённый с использованием программы Timbeter без корректировки, сопоставлен с контрольными значениями на рисунке 11 (выборка ЛК-1).

По формулам (2), (3) рассчитаем коэффициент детерминации $R^2 = 0,5126$. На рисунке 12 сопоставлены результаты расчёта скорректированных оценок объёмов партий лесоматериалов с контрольными значениями.

Как и в основной выборке, использование корректировки по формуле (26) повышает долю объяснённой вариации, $R^2 = 0,7454$. Следовательно, увеличение составляет $\frac{0,7454-0,5126}{0,5126} \cdot 100\% \approx 45\%$.

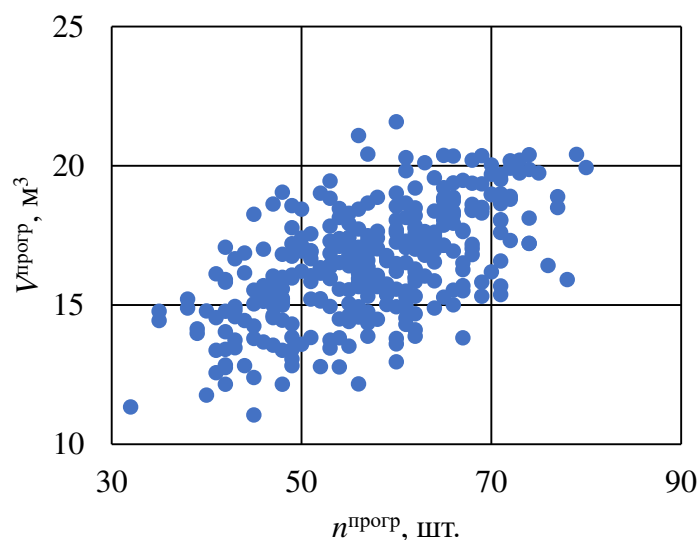


Рисунок 8. Сопоставление объёма партии и числа брёвен в партии (программа Timbeter) (ЛК-1)

Figure 8. Comparison of batch volume and number of logs in the batch (Timbeter program) (LC-1)

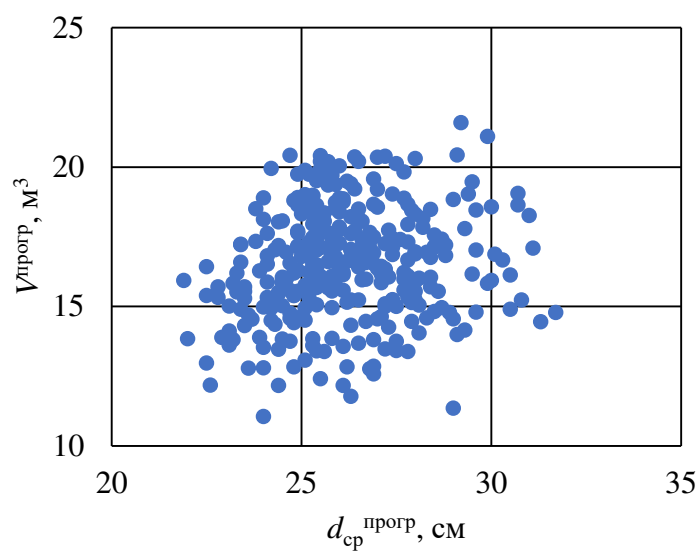


Рисунок 9. Сопоставление объёма партии и среднего диаметра брёвен в партии (программа Timbeter) (ЛК-1)

Figure 9. Comparison of batch volume and average diameter of logs in the batch (Timbeter program) (LC-1)

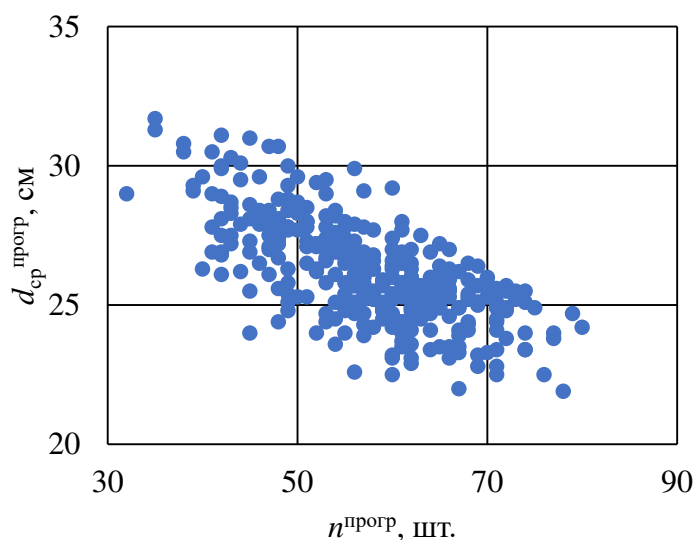


Рисунок 10. Сопоставление среднего диаметра брёвен в партии и числа брёвен в партии (программа Timbeter) (ЛК-1)

Figure 10. Comparison of the average diameter of logs in the batch and the number of logs in the batch (Timbeter program) (LC-1)

В таблице 10 приведены основные статистические данные по контрольной выборке ЛК-2 (№ 3).

Таблица 9. Результаты расчёта коэффициентов линейной корреляции факторов в выборке ЛК-1

Table 9. The results of calculating the linear correlation coefficients of the factors in the LC-1 sample

	$n^{\text{прогр}}$	$d_{\text{ср}}^{\text{прогр}}$	$V^{\text{прогр}}$
$n^{\text{прогр}}$	—	-0,6977	0,5883
$d_{\text{ср}}^{\text{прогр}}$	-0,6977	—	0,1559
$V^{\text{прогр}}$	0,5883	0,1559	—

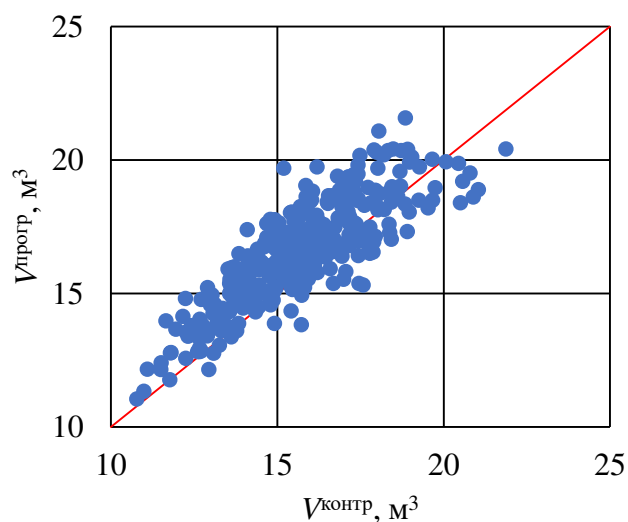


Рисунок 11. Сопоставление объёма партии, определённого с использованием программы Timbeter без корректировки, с контрольным значением (ЛК-1)

Figure 11. Comparison of the batch volume determined using the Timbeter program without correction with the control value (LC-1)

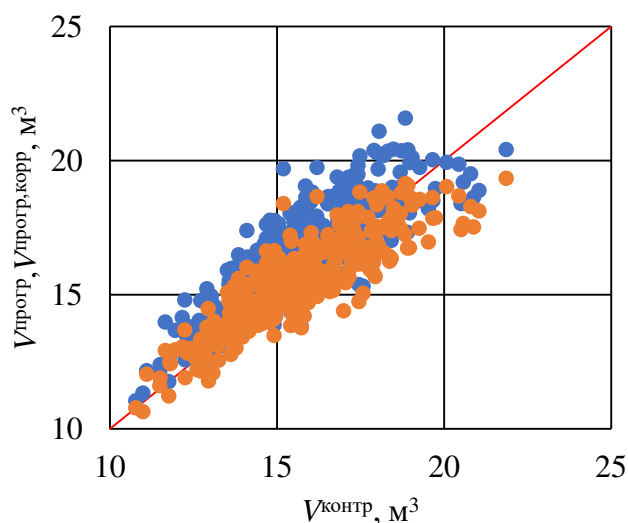


Рисунок 12. Сопоставление результатов оценки объёмов партий брёвен с контрольными значениями с учётом корректировки (ЛК-1)

Figure 12. Comparison of the results of estimation of log batch volumes with control values, taking into account the adjustment (LK-1)

Таблица 10. Статистические данные по выборке ЛК-2

Table 10. Statistical data on the LC-2 sample

Показатель	$n^{\text{прогр}}$, шт.	$d_{\text{ср}}^{\text{прогр}}$, см	$V^{\text{прогр}}$, м ³	$n^{\text{контр}}$, шт.	$V^{\text{контр}}$, м ³	δ , %
N	364	364	364	364	364	364
M	60,404	25,806	16,868	60,434	16,015	5,747
S	9,754	1,920	1,926	9,759	2,057	7,462
A	–0,0303	0,3319	0,0956	–0,0311	0,4765	0,2389
E	0,0803	0,0928	1,1195	0,1089	1,1730	0,2224
min	32	20,8	10,35	32	10,55	–16,480
max	88	32,2	24,73	88	25,46	33,383
med	60	25,7	16,90	60	15,93	5,160

Для наглядности проиллюстрируем взаимосвязи экспериментальных факторов на рисунках 13—15.

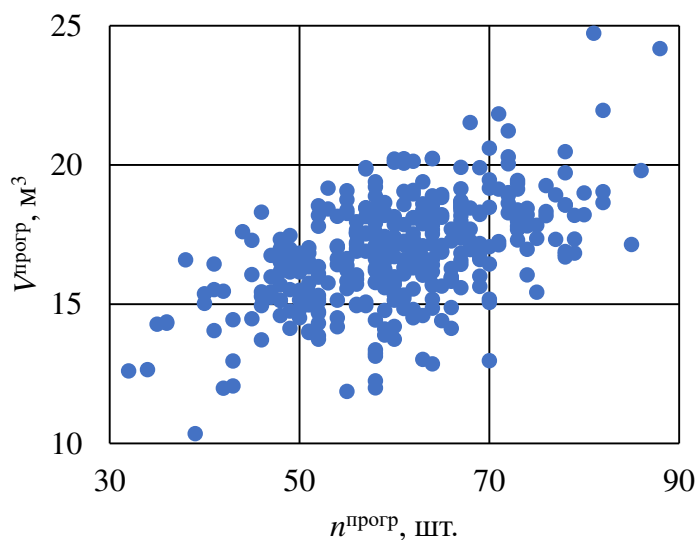


Рисунок 13. Сопоставление объёма партии и числа брёвен в партии (программа Timbeter) (ЛК-2)

Figure 13. Comparison of batch volume and number of logs in the batch (Timbeter program) (LC-2)

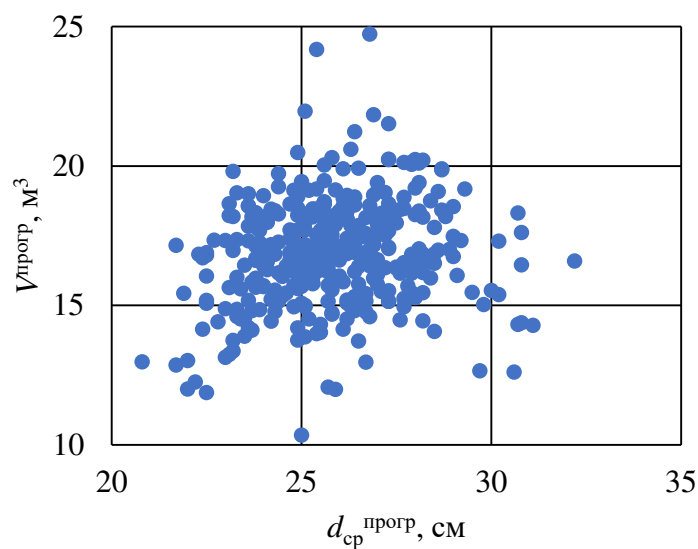


Рисунок 14. Сопоставление объёма партии и среднего диаметра брёвен в партии (программа Timbeter) (ЛК-2)

Figure 14. Comparison of batch volume and average diameter of logs in the batch (Timbeter program) (LC-2)

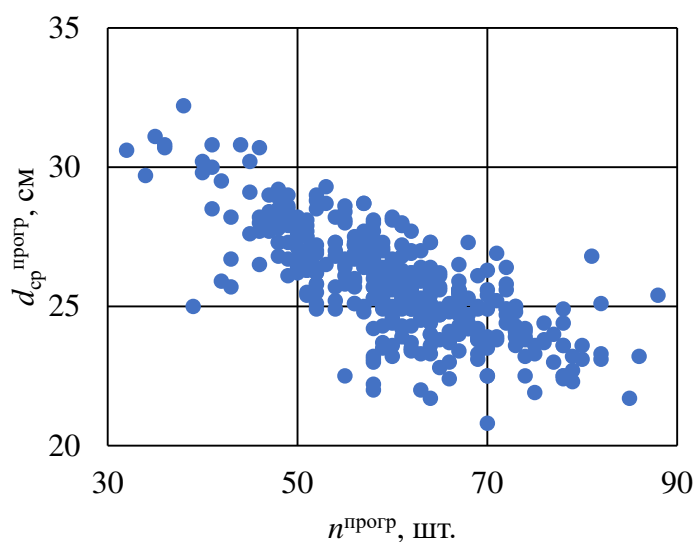


Рисунок 15. Сопоставление среднего диаметра брёвен в партии и числа брёвен в партии (программа Timbeter) (ЛК-2)

Figure 15. Comparison of the average diameter of logs in the batch and the number of logs in the batch (Timbeter program) (LC-2)

В таблице 11 приведены коэффициенты линейной корреляции экспериментальных факторов.

Таблица 11. Результаты расчёта коэффициентов линейной корреляции факторов в выборке ЛК-2

Table 11. The results of calculating the linear correlation coefficients of the factors in the LC-2 sample

	$n^{\text{прогр}}$	$d_{\text{ср}}^{\text{прогр}}$	$V^{\text{прогр}}$
$n^{\text{прогр}}$	—	-0,7328	0,5317
$d_{\text{ср}}^{\text{прогр}}$	-0,7328	—	0,1686
$V^{\text{прогр}}$	0,5317	0,1686	—

Объём партии, определённый с использованием программы Timbeter без корректировки, сопоставлен с контрольными значениями на рисунке 16 (выборка ЛК-2).

По формулам (2), (3) рассчитаем коэффициент детерминации: $R^2 = 0,5110$. На рисунке 17 сопоставлены результаты расчёта скорректированных оценок объёмов партий лесоматериалов с контрольными значениями.

Как и в основной выборке, использование корректировки по формуле (26) повышает долю объяснённой вариации, коэффициент детерминации $R^2 = 0,7156$. Тогда увеличение составляет $\frac{0,7156 - 0,5110}{0,5110} \cdot 100\% \approx 40\%$.

В таблице 12 приведены основные статистические данные по контрольной выборке ЛК-3 (№ 3).

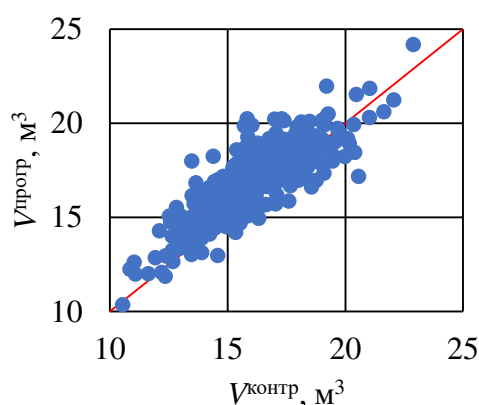


Рисунок 16. Сопоставление объёма партии, определённого с использованием программы Timbeter без корректировки, с контрольным значением (ЛК-2)

Figure 16. Comparison of the batch volume determined using the Timbeter program without correction with the control value (LC-2)

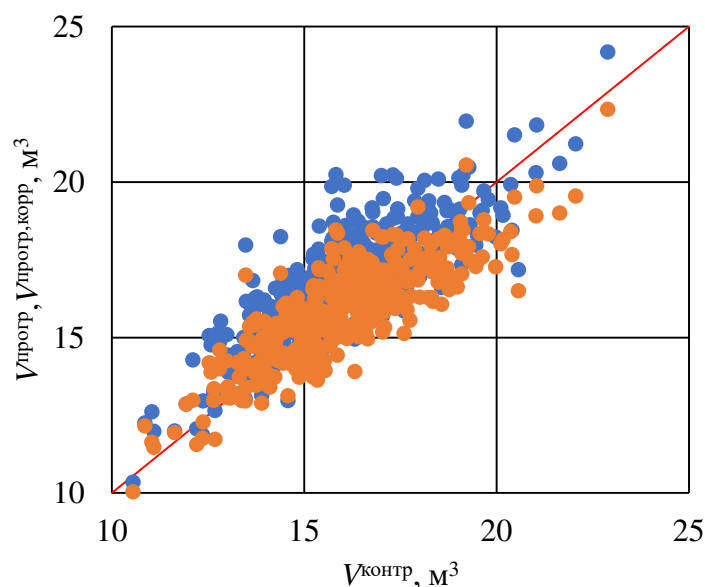


Рисунок 17. Сопоставление результатов оценки объёмов партий брёвен с контрольными значениями с учётом корректировки (ЛК-2)

Figure 17. Comparison of the results of estimation of log batch volumes with control values, taking into account the adjustment (LC-2)

Экспериментальные факторы сопоставлены на рисунках 18—20.

Таблица 12. Статистические данные по выборке ЛК-3

Table 12. Statistical data on the LC-3 sample

Показатель	$n^{\text{прогр}}$, шт.	$d_{\text{ср}}^{\text{прогр}}$, см	$V^{\text{прогр}}$, м ³	$n^{\text{контр}}$, шт.	$V^{\text{контр}}$, м ³	δ , %
N	48	48	48	48	48	48
M	58,667	25,813	16,290	58,729	15,310	6,720
S	12,374	2,199	2,170	12,330	2,135	6,826
A	−0,150	0,997	−0,544	−0,158	−0,581	−0,227
E	−0,037	2,261	0,937	−0,002	0,564	−0,763
min	24	21,9	9,27	24	8,51	−7,359
max	82	33,7	20,37	82	19,22	18,472
med	58	25,55	16,39	58	15,85	7,007

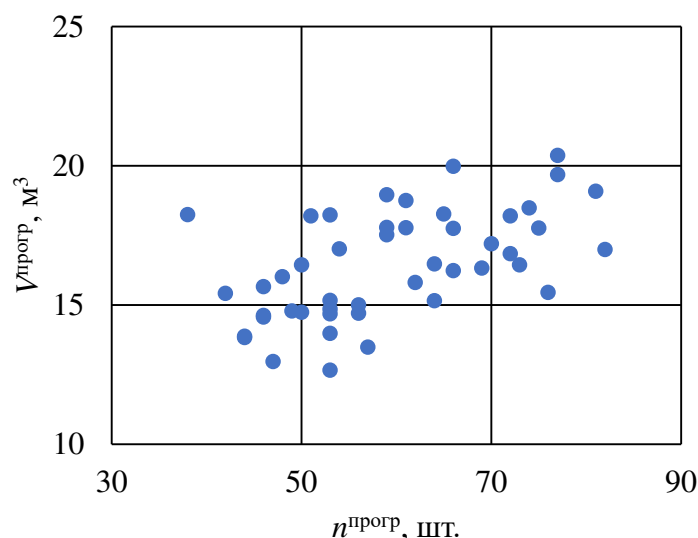


Рисунок 18. Сопоставление объёма партии и числа брёвен в партии (программа Timbeter) (ЛК-3)

Figure 18. Comparison of batch volume and number of logs in the batch (Timbeter program) (LK-3)

Результаты расчёта коэффициентов линейной корреляции факторов в выборке ЛК-3 приведены в таблице 13.

Объём партии, определённый с использованием программы Timbeter без корректировки, сопоставлен с контрольными значениями на рисунке 21 (выборка ЛК-3). По формулам (2), (3) рассчитаем коэффициент детерминации: $R^2 = 0,5661$.

На рисунке 22 сопоставлены результаты расчёта скорректированных оценок объёмов партий лесоматериалов с контрольными значениями.

Как и ранее, использование корректировки по формуле (26) повышает долю объяснённой вариации, $R^2 = 0,7938$. Следовательно, доля объяснённой вариации выходной величины повысилась на $\frac{0,7938 - 0,5661}{0,5661} \cdot 100 \% \approx 40 \%$.

3.2. Хвойные породы древесины

В таблице 14 приведены основные статистические данные по выборке ХО-1 (№ 5).

Взаимосвязи экспериментальных факторов проиллюстрированы на рисунках 23—25.

Объём партии, определённый с использованием программы Timbeter без корректировки, сопоставлен с контрольными значениями на рисунке 26 (выборка ХО-1).

Коэффициент детерминации при использовании зависимости (2) составляет: $R^2 = 0,6241$. Рассмотрим вопрос о корректировке результатов программного определения объёма партии лесоматериалов.

В таблице 15 приведены результаты расчёта коэффициентов линейной корреляции для экспериментальных факторов.

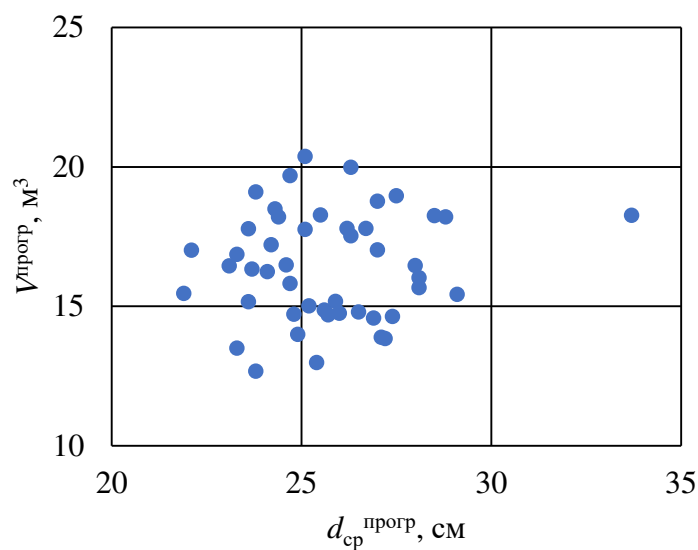


Рисунок 19. Сопоставление объёма партии и среднего диаметра брёвен в партии (программа Timbeter) (ЛК-3)

Figure 19. Comparison of batch volume and average log diameter in the batch (Timbeter program) (LK-3)

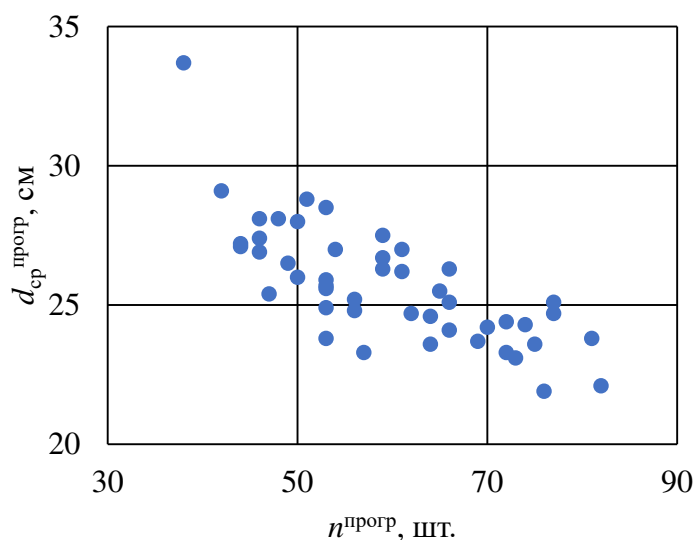


Рисунок 20. Сопоставление среднего диаметра брёвен в партии и числа брёвен в партии (программа Timbeter) (ЛК-3)

Figure 20. Comparison of the average diameter of logs in the batch and the number of logs in the batch (Timbeter program) (LK-3)

Таблица 13. Результаты расчёта коэффициентов линейной корреляции факторов в выборке ЛК-3

Table 13. The results of calculating the linear correlation coefficients of the factors in the LK-3 sample

	$n^{\text{прогр}}$	$d_{\text{ср}}^{\text{прогр}}$	$V^{\text{прогр}}$
$n^{\text{прогр}}$	—	-0,7764	0,6400
$d_{\text{ср}}^{\text{прогр}}$	-0,7764	—	-0,0501
$V^{\text{прогр}}$	0,6400	-0,0501	—

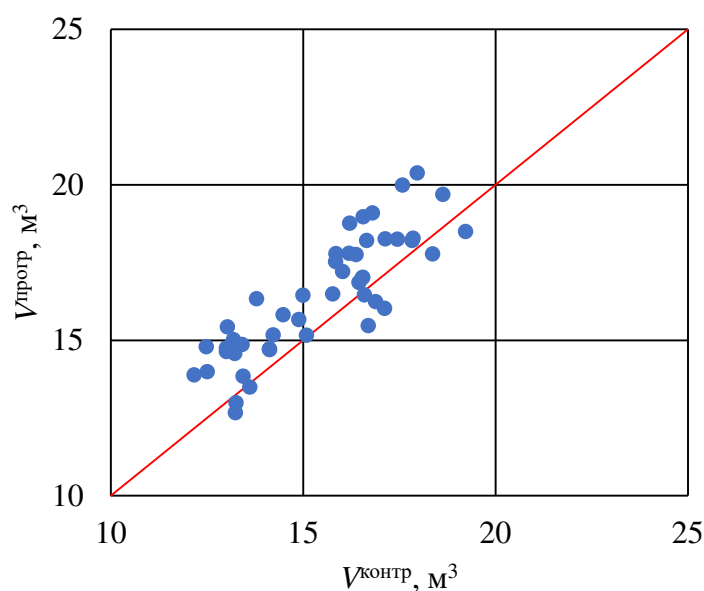


Рисунок 21. Сопоставление объёма партии, определённого с использованием программы Timbeter без корректировки, с контрольным значением (ЛК-3)

Figure 21. Comparison of the batch volume determined using the Timbeter program without correction with the control value (LK-3)

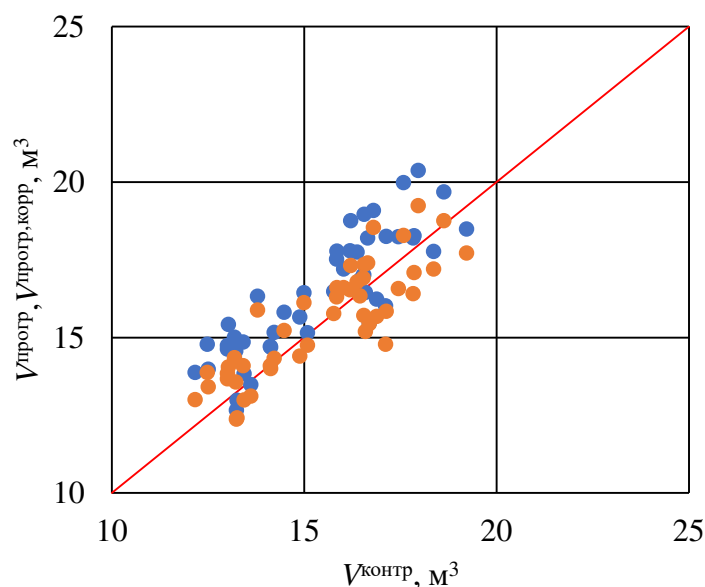


Рисунок 22. Сопоставление результатов оценки объёмов партий брёвен с контрольными значениями с учётом корректировки (ЛК-3)

Figure 22. Comparison of the results of estimation of log batch volumes with control values taking into account the adjustment (LK-3)

Таблица 14. Статистические данные по выборке ХО-1

Table 14. Statistical data on the XO-1 sample

Показатель	$n^{\text{прогр}}$, шт.	$d_{\text{ср}}^{\text{прогр}}$, см	$V^{\text{прогр}}$, м^3	$n^{\text{контр}}$, шт.	$V^{\text{контр}}$, м^3	δ , %
N	265	265	265	265	265	265
M	57,136	25,978	18,589	57,102	17,824	4,602
S	9,964	1,959	1,996	9,984	2,122	6,147
A	-0,1175	0,9686	-0,1226	-0,1081	0,1007	0,2920
E	0,2305	2,0742	0,2452	0,1837	0,2151	0,5695
min	27	21,8	12,09	27	11,09	-13,351
max	90	35,1	24,55	90	24,26	25,323
med	58	25,8	18,73	57	17,83	3,917

Как и в случае с листовными лесоматериалами, воспользуемся t-статистиками для снижения эффекта мультиколлинеарности в разрабатываемой регрессионной модели. В таблице 16 приведены оценки коэффициентов модели вида (14), полученные на начальном этапе анализа.

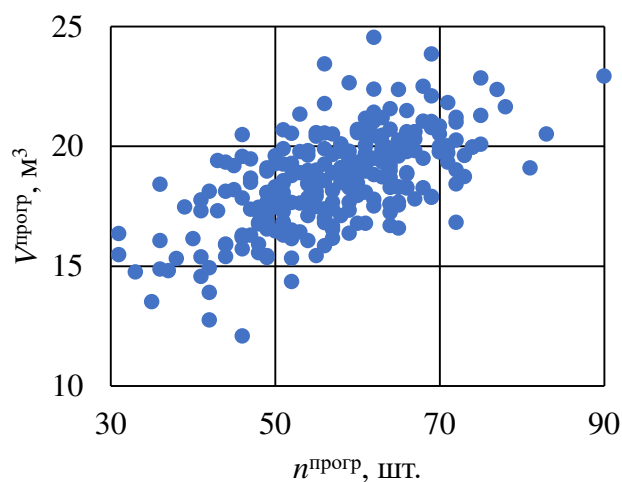


Рисунок 23. Сопоставление объёма партии и числа брёвен в партии (программа Timbeter) (ХО-1)

Figure 23. Comparison of batch volume and number of logs in the batch (Timbeter program) (ХО-1)

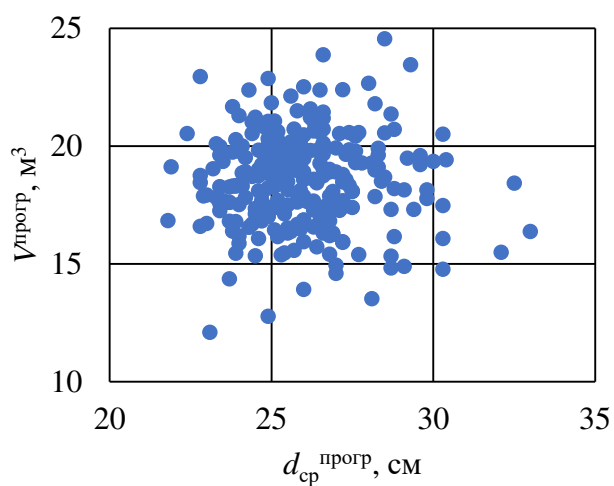


Рисунок 24. Сопоставление объёма партии и среднего диаметра брёвен в партии (программа Timbeter) (ХО-1)

Figure 24. Comparison of batch volume and average diameter of logs in the batch (Timbeter program) (ХО-1)

Тогда уравнение (14) примет следующий вид:

$$\delta_{\text{корр}} = 1,146V^{\text{прогр}} - 0,01123n^{\text{прогр}}d_{\text{ср}}^{\text{прогр}}. \quad (28)$$

На рисунке 27 сопоставлены результаты расчёта скорректированных оценок объёмов партий лесоматериалов с контрольными значениями.

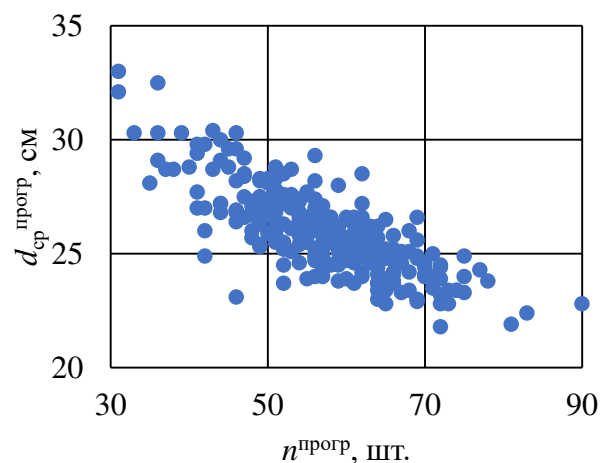


Рисунок 25. Сопоставление среднего диаметра брёвен в партии и числа брёвен в партии (программа Timbeter) (ХО-1)

Figure 25. Comparison of the average diameter of logs in the batch and the number of logs in the batch (Timbeter program) (ХО-1)

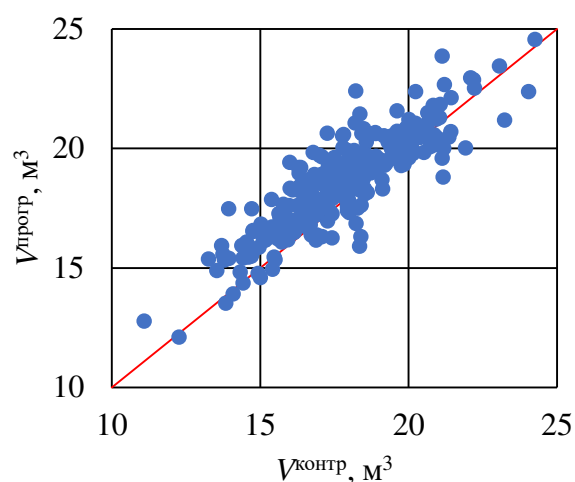


Рисунок 26. Относительное отклонение объёма партии, определённого с использованием программы Timbeter, от контрольного значения (ХО-1)

Figure 26. Relative deviation of the batch volume determined using Timbeter software from the control value (ХО-1)

Таблица 15. Результаты расчёта коэффициентов линейной корреляции факторов в выборке ХО-1

Table 15. Results of calculation of linear correlation coefficients of factors in the sample ХО-1

	$n^{\text{прогр}}$	$d_{\text{ср}}^{\text{прогр}}$	$V^{\text{прогр}}$
$n^{\text{прогр}}$	—	-0,7891	0,6207
$d_{\text{ср}}^{\text{прогр}}$	-0,7891	—	-0,0407
$V^{\text{прогр}}$	0,6207	-0,0407	—

Таблица 16. Результаты расчёта коэффициентов уравнения регрессии (14)

Table 16. Results of calculating the coefficients of the regression equation (14)

№	Коэффициент	Оценка	S_a	t_a
1	a_0	-25,58	74,73	-0,3423
2	a_1	8,583	14,56	0,5894
3	a_2	0,9779	1,682	0,5813
4	a_3	0,3494	2,267	0,1541
5	a_4	-0,01666	0,02216	-0,7519
6	a_5	-0,09256	0,2242	-0,4129
7	a_6	-0,08953	0,1790	-0,5003

Применим подход, аналогичный ранее изложенному. Результаты расчётов приведены в таблице 17.

Таблица 17. Результаты расчёта коэффициентов уравнения регрессии (14)

Table 17. Results of calculating the coefficients of the regression equation (14)

№	Коэффициент	Оценка	S_a	t_a
2	a_1	1,146	0,3120	3,6738
7	a_6	-0,01123	0,003938	-2,8506

Как и в предыдущих случаях, использование корректировки по формуле (28) повышает долю объяснённой вариации, $R^2 = 0,7608$. Доля объяснённой вариации выходной величины повышается на $\frac{0,7608-0,6241}{0,6241} \cdot 100 \% \approx 22 \%$.

Проверим результаты программного определения объёмов партий хвойных лесоматериалов с учётом модели (28). В таблице 18 приведены основные статистические данные по контрольной выборке ХК-1 (№ 6).

Взаимосвязи экспериментальных факторов проиллюстрированы на рисунках 28—30.

В таблице 19 приведены результаты расчёта коэффициентов линейной корреляции для экспериментальных факторов.

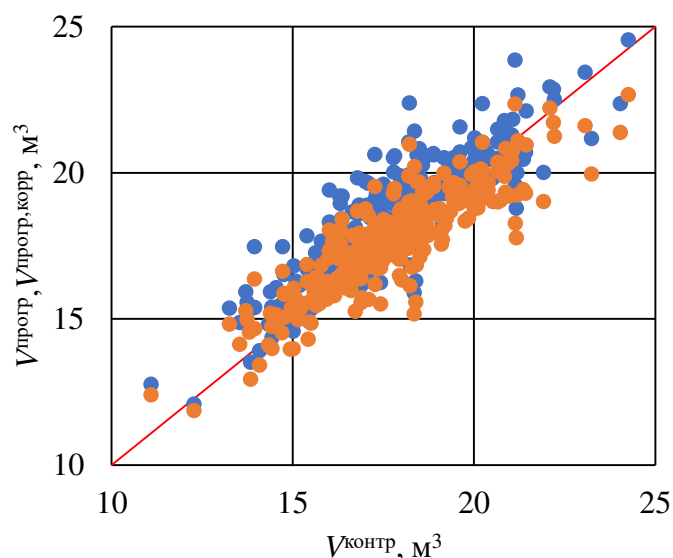


Рисунок 27. Сопоставление результатов оценки объёмов партий брёвен с контрольными значениями с учётом корректировки (ХО-1)

Figure 27. Comparison of the results of estimation of log lot volumes with control values, taking into account the adjustment (ХО-1)

Таблица 18. Статистические данные по выборке ХК-1

Table 18. Statistical data on the HC-1 sample

Показатель	$n^{\text{прогр}}$, шт.	$d_{\text{ср}}^{\text{прогр}}$, см	$V^{\text{прогр}}$, м ³	$n^{\text{контр}}$, шт.	$V^{\text{контр}}$, м ³	δ , %
N	322	322	322	322	322	322
M	57,475	25,975	18,659	57,469	17,944	4,293
S	10,237	2,048	1,872	10,250	2,044	5,939
A	0,1093	0,7856	−0,2840	0,1110	0,0417	0,0713
E	0,1000	1,4388	0,3136	0,1001	0,0839	−0,8532
min	27	20,9	11,95	27	11,29	−8,060
max	84	35	23,39	84	23,44	16,465
med	57	25,8	18,70	57	17,94	4,109

Объём партии, определённый с использованием программы Timbeter без корректировки, сопоставлен с контрольными значениями на рисунке 31 (выборка ХК-1).

По выражениям (2), (3) получим значение коэффициента детерминации: $R^2 = 0,6195$.

На рисунке 32 сопоставлены результаты расчёта скорректированных оценок объёмов партий лесоматериалов с контрольными значениями.

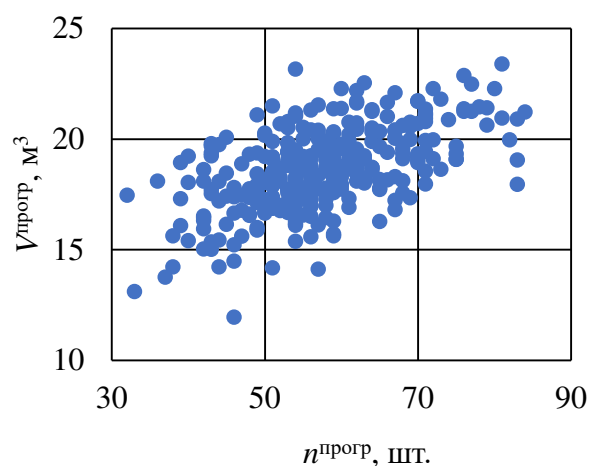


Рисунок 28. Сопоставление объёма партии и числа брёвен в партии (программа Timbeter) (ХК-1)

Figure 28. Comparison of batch volume and number of logs in the batch (Timbeter program) (HC-1)

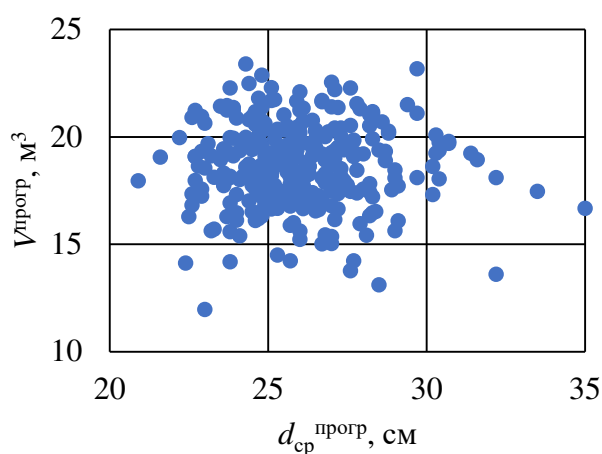


Рисунок 29. Сопоставление объёма партии и среднего диаметра брёвен в партии (программа Timbeter) (ХК-1)

Figure 29. Comparison of batch volume and average log diameter in the batch (Timbeter program) (HC-1)

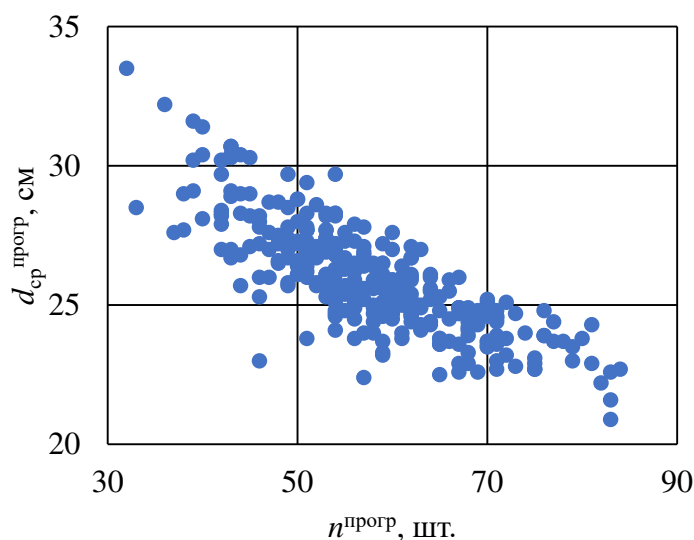


Рисунок 30. Сопоставление среднего диаметра брёвен в партии и числа брёвен в партии (программа Timbeter) (ХК-1)

Figure 30. Comparison of the average diameter of logs in the batch and the number of logs in the batch (Timbeter program) (HC-1)

Таблица 19. Результаты расчёта коэффициентов линейной корреляции факторов в выборке ХК-1

Table 19. The results of calculating the linear correlation coefficients of the factors in the sample HC-1

	$n^{\text{прогр}}$	$d_{\text{ср}}^{\text{прогр}}$	$V^{\text{прогр}}$
$n^{\text{прогр}}$	—	-0,8140	0,5682
$d_{\text{ср}}^{\text{прогр}}$	-0,8140	—	-0,0170
$V^{\text{прогр}}$	0,5682	-0,0170	—

Использование корректировки по формуле (28) повышает долю объяснённой вариации, поскольку $R^2 = 0,7395$. Увеличение составляет $\frac{0,7395 - 0,6195}{0,6195} \cdot 100 \% \approx 19 \%$.

В таблице 20 приведены основные статистические данные по контрольной выборке ХК-1 (№ 7).

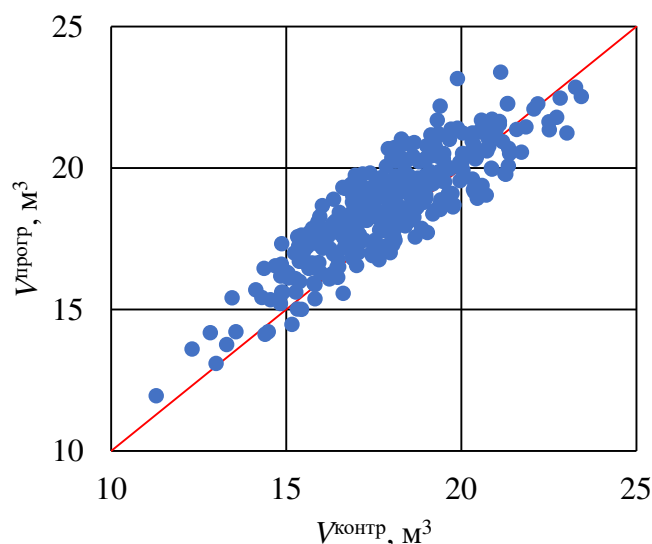


Рисунок 31. Относительное отклонение объёма партии, определённого с использованием программы Timbeter, от контрольного значения (ХК-1)

Figure 31. Relative deviation of the batch volume determined using Timbeter software from the reference value (HC-1)

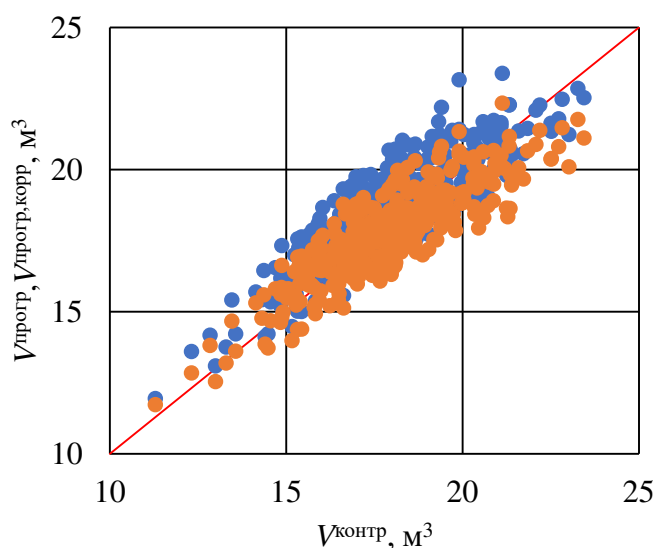


Рисунок 32. Сопоставление результатов оценки объёмов партий брёвен с контрольными значениями с учётом корректировки (ХК-1)

Figure 32. Comparison of the results of estimation of batch lot volumes with control values, taking into account the adjustment (HC-1)

В таблице 21 приведены результаты расчёта коэффициентов линейной корреляции для экспериментальных факторов.

Таблица 20. Статистические данные по выборке ХК-2

Table 20. Statistical data on the HC-2 sample

Показатель	$n^{\text{прогр}}$, шт.	$d_{\text{ср}}^{\text{прогр}}$, см	$V^{\text{прогр}}$, м ³	$n^{\text{контр}}$, шт.	$V^{\text{контр}}$, м ³	δ , %
N	302	302	302	302	302	302
M	56,444	26,014	18,370	56,477	17,545	5,031
S	10,371	2,068	1,938	10,374	2,090	6,015
A	0,0621	0,6548	-0,1849	0,0609	0,0403	-0,1214
E	-0,4190	1,0070	-0,1739	-0,4071	0,4311	-0,3589
min	27	21,7	12,69	27	11,73	-15,969
max	83	35,1	23,80	83	24,11	19,121
med	56	25,75	18,56	56	17,64	5,099

Взаимосвязи экспериментальных факторов проиллюстрированы на рисунках 33—35.

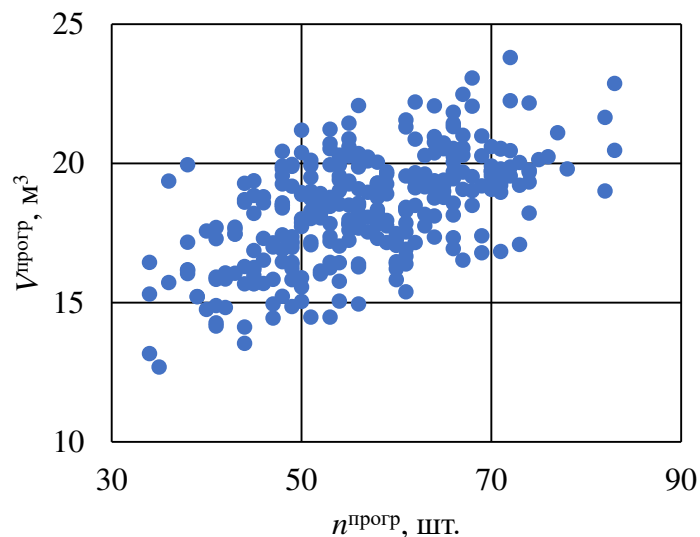


Рисунок 33. Сопоставление объёма партии и числа брёвен в партии (программа Timbeter) (ХК-2)

Figure 33. Comparison of batch volume and number of logs in the batch (Timbeter program) (HC-2)

Объём партии, определённый с использованием программы Timbeter без корректировки, сопоставлен с контрольными значениями на рисунке 31 (выборка ХК-2). Согласно результатам расчётов, коэффициент детерминации $R^2 = 0,5961$.

На рисунке 37 сопоставлены результаты расчёта скорректированных оценок объёмов партий лесоматериалов с контрольными значениями.

При использовании корректировки по формуле (28) получим: $R^2 = 0,7491$. Следовательно, доля объяснённой вариации повысится на $\frac{0,7491-0,5967}{0,5967} \cdot 100 \% \approx 26 \%$.

В таблице 22 приведены основные статистические данные по контрольной выборке ХК-3 (№ 8).

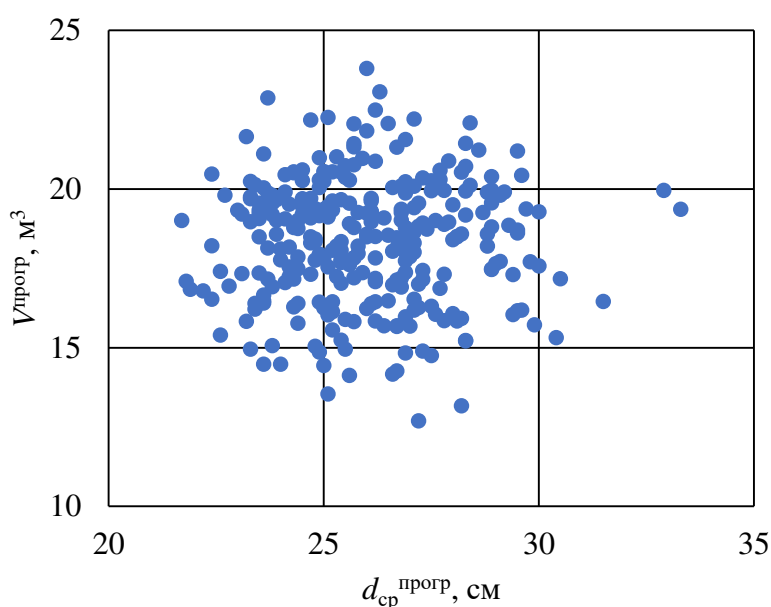


Рисунок 34. Сопоставление объёма партии и среднего диаметра брёвен в партии (программа Timbeter) (ХК-2)

Figure 34. Comparison of batch volume and average diameter of logs in the batch (Timbeter program) (HC-2)

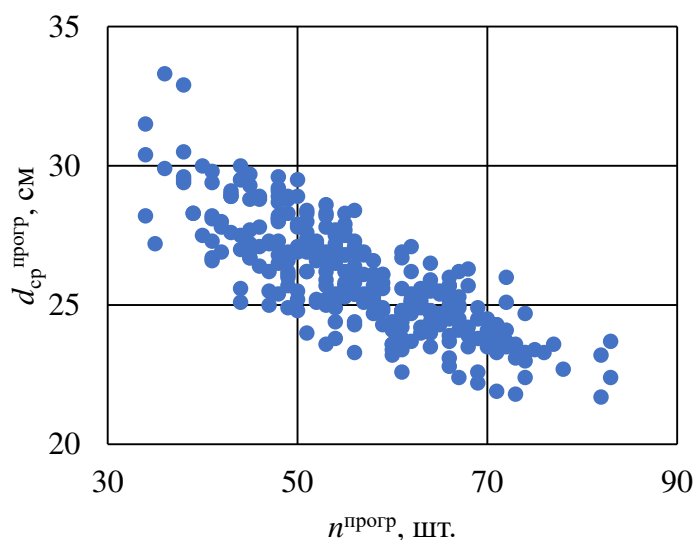


Рисунок 35. Сопоставление среднего диаметра брёвен в партии и числа брёвен в партии (программа Timbeter) (ХК-2)

Figure 35. Comparison of the average diameter of logs in the batch and the number of logs in the batch (Timbeter program) (HC-2)

Таблица 21. Результаты расчёта коэффициентов линейной корреляции факторов в выборке ХК-2

Table 21. The results of calculating the linear correlation coefficients of the factors in the sample HC-2

	$n^{\text{прогр}}$	$d_{\text{ср}}^{\text{прогр}}$	$V^{\text{прогр}}$
$n^{\text{прогр}}$	—	−0,8122	0,5825
$d_{\text{ср}}^{\text{прогр}}$	−0,8122	—	−0,0253
$V^{\text{прогр}}$	0,5825	−0,0253	—

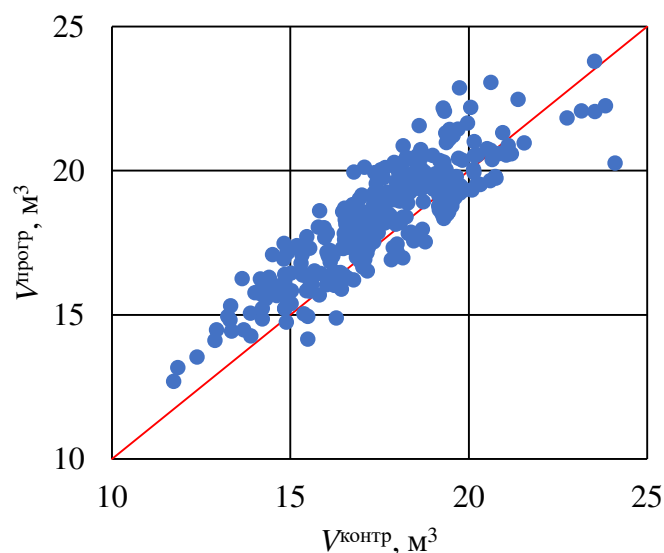


Рисунок 36. Относительное отклонение объёма партии, определённого с использованием программы Timbeter, от контрольного значения (ХК-2)

Figure 36. Relative deviation of the batch volume determined using Timbeter software from the reference value (HC-2)

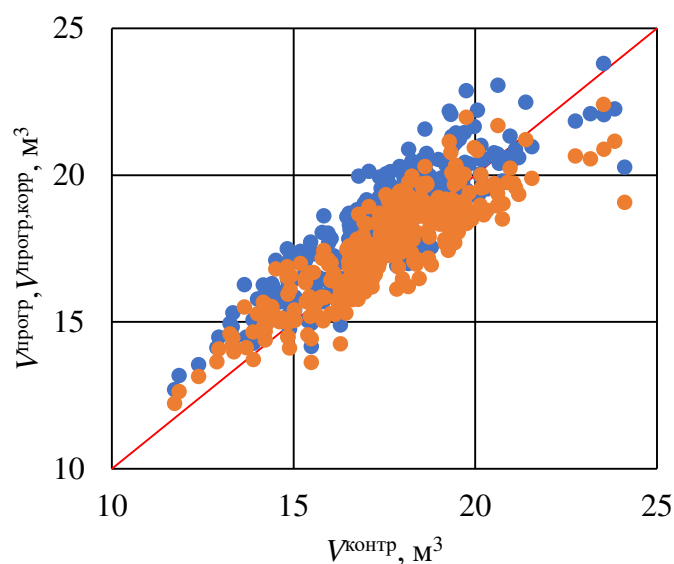


Рисунок 37. Сопоставление результатов оценки объёмов партий брёвен с контрольными значениями с учётом корректировки (ХК-2)

Figure 37. Comparison of the results of estimation of log batch volumes with control values, taking into account the adjustment (HC-2)

Таблица 22. Статистические данные по выборке ХК-3

Table 22. Statistical data on the HC-3 sample

Показатель	$n^{\text{прогр}}$, шт.	$d_{\text{ср}}^{\text{прогр}}$, см	$V^{\text{прогр}}$, м ³	$n^{\text{контр}}$, шт.	$V^{\text{контр}}$, м ³	δ , %
N	182	182	182	182	182	182
M	56,874	26,040	18,562	56,846	17,755	4,957
S	10,149	1,992	1,883	10,136	2,161	6,476
A	0,0747	0,6752	0,1265	0,0959	0,6151	-0,2054
E	-0,0333	0,9164	-0,1741	-0,0150	0,9374	-0,4588
min	32	22	13,34	32	12,87	-13,936
max	82	33,3	23,66	82	26,79	17,425
med	57	25,8	18,53	57	17,40	5,516

Взаимосвязи экспериментальных факторов проиллюстрированы на рисунках 38—40.

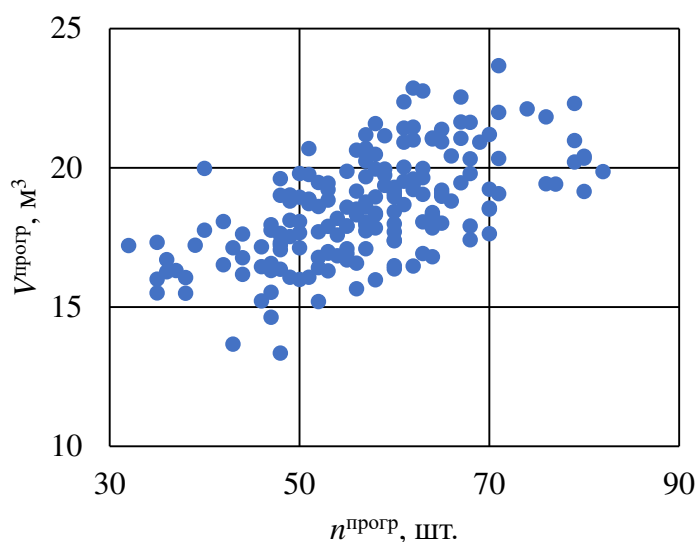


Рисунок 38. Сопоставление объёма партии и числа брёвен в партии (программа Timbeter) (ХК-3)

Figure 38. Comparison of batch volume and number of logs in the batch (Timbeter program) (HC-3)

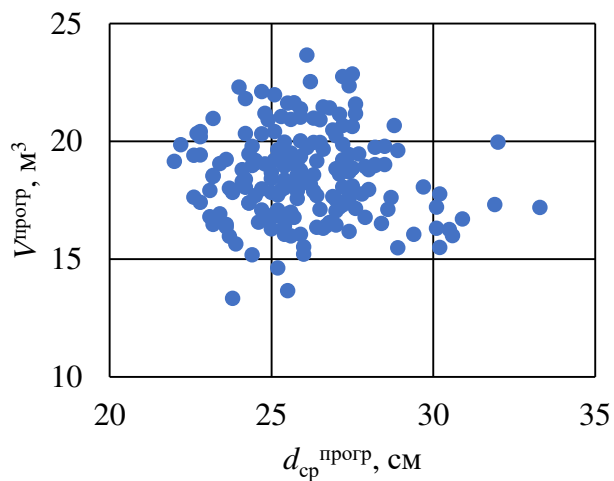


Рисунок 39. Сопоставление объёма партии и среднего диаметра брёвен в партии (программа Timbeter) (ХК-3)

Figure 39. Comparison of batch volume and average log diameter in the batch (Timbeter program) (НС-3)

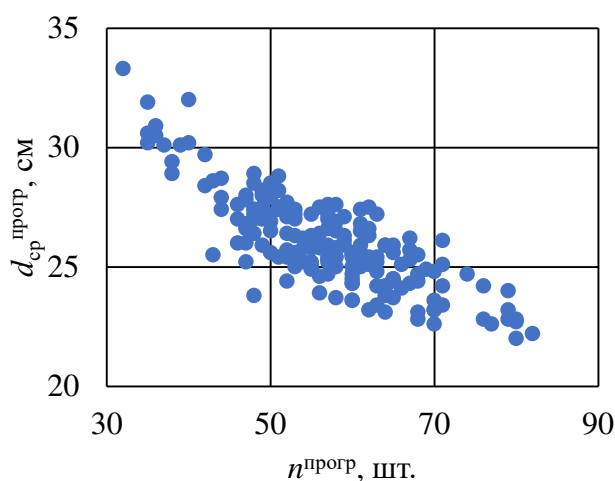


Рисунок 40. Сопоставление среднего диаметра брёвен в партии и числа брёвен в партии (программа Timbeter) (ХК-3)

Figure 40. Comparison of the average diameter of logs in the batch and the number of logs in the batch (Timbeter program) (НС-3)

В таблице 23 приведены результаты расчёта коэффициентов линейной корреляции для экспериментальных факторов.

Таблица 23. Результаты расчёта коэффициентов линейной корреляции факторов в выборке ХК-3

Table 23. The results of calculating the linear correlation coefficients of the factors in the sample HC-3

	$n^{\text{прогр}}$	$d_{\text{ср}}^{\text{прогр}}$	$V^{\text{прогр}}$
$n^{\text{прогр}}$	—	-0,8196	0,6072
$d_{\text{ср}}^{\text{прогр}}$	-0,8196	—	-0,0731
$V^{\text{прогр}}$	0,6072	-0,0731	—

Объём партии, определённый с использованием программы Timbeter без корректировки, сопоставлен с контрольными значениями на рисунке 41 (выборка ХК-3).

В результате расчётов по формулам (2), (3) получим коэффициент детерминации: $R^2 = 0,5806$.

На рисунке 42 сопоставлены результаты расчёта скорректированных оценок объёмов партий лесоматериалов с контрольными значениями.

При сопоставлении скорректированных значений объёмов партий с контрольными значениями получим: $R^2 = 0,7352$. Таким образом, в выборке ХК-3 использование корректировки по формуле (28) повышает долю объяснённой вариации на $\frac{0,7352-0,5806}{0,5806} \cdot 100 \% \approx 27 \%$.

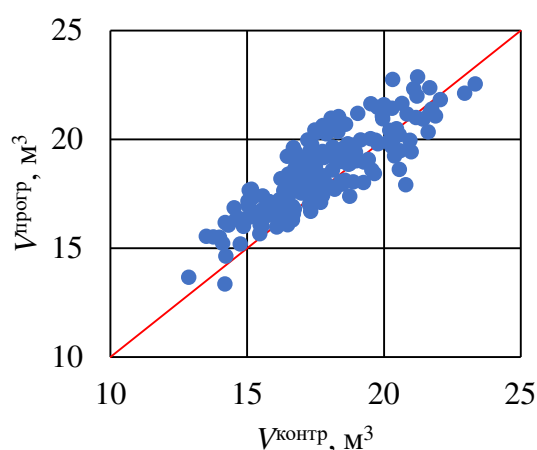


Рисунок 41. Относительное отклонение объёма партии, определённого с использованием программы Timbeter, от контрольного значения (ХК-3)

Figure 41. Relative deviation of the batch volume determined using Timbeter software from the reference value (HC-3)

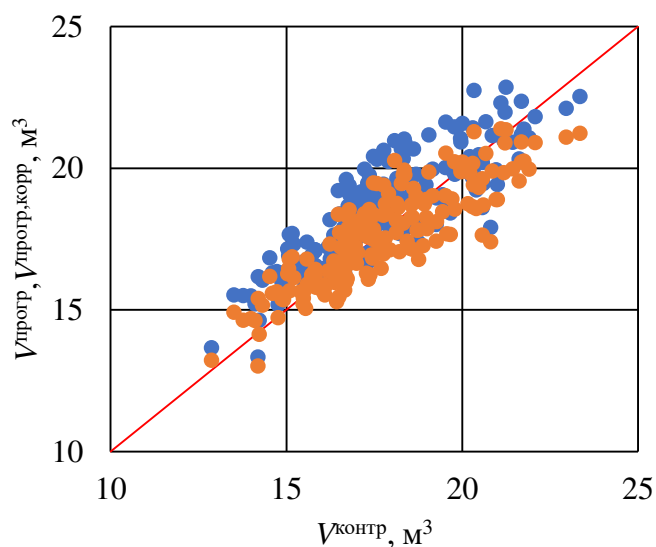


Рисунок 42. Сопоставление результатов оценки объёмов партий брёвен с контрольными значениями с учётом корректировки (ХК-3)

Figure 42. Comparison of the results of estimation of log batch volumes with control values, taking into account the adjustment (HC-3)

4. Обсуждение и заключение

1. Современные алгоритмы обработки данных и технические средства позволяют проводить оценку объёма партии лесоматериалов по снимку. Однако как показал анализ результатов, полученных с использованием программы Timbeter, методика программной оценки объёма партии требует дальнейшего совершенствования. Установлено, что при программном определении объёма лиственных лесоматериалов непосредственные оценки завышены по сравнению с контрольными значениями. Распределение относительных отклонений оценок от контрольных значений не подчиняется нормальному закону распределения. Отмеченное обстоятельство косвенно подтверждает выдвинутое предположение, что завышенные оценки обусловлены влиянием геометрических параметров лесоматериалов, главным образом сбега и закомлёванности.
2. В результате анализа выборки партий лиственных лесоматериалов получена регрессионная модель (26), предназначенная для корректировки программной оценки объёма партии с учётом объёма, среднего диаметра и числа брёвен. Использование модели (26) позволяет повысить точность программной оценки по сравнению с контролем, коэффициент детерминации модели $R^2 = 0,7635$. Доля вариации исследуемой величины (объёма партии), объяснённой с помощью моделей (26), (27),

повышается на 53 % по сравнению с нескорректированной моделью (2). Аналогичные результаты получены в контрольных выборках.

3. В результате анализа выборки партий хвойных лесоматериалов получена регрессионная модель (28), предназначенная для корректировки программной оценки объёма партии с учётом объёма, среднего диаметра и числа брёвен. Использование модели (28) позволяет повысить точность программной оценки по сравнению с контролем, коэффициент детерминации модели $R^2 = 0,7608$. Доля вариации исследуемой величины (объёма партии), объяснённой с помощью моделей (27), (28), повышается на 22 % по сравнению с нескорректированной моделью (2). Аналогичные результаты получены в контрольных выборках.

Список литературы

1. Григорьев И. В. Направления совершенствования харвестерных головок // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Шестой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2020. С. 45—47.
2. Григорьев И. В., Григорьева О. И., Никифорова А. И., Глуховский В. М. Перспективные направления развития технологических процессов лесосечных работ // Труды БГТУ. № 2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2016. № 2 (184). С. 109—116.
3. Рудов С. Е., Григорьев И. В. Пути повышения эффективности работы систем машин для сортиментной заготовки древесины // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Седьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2021. С. 168—169.
4. Тамби А. А., Григорьев И. В., Давтян А. Б., Помигуев А. В., Калита О. Н., Григорьев В. И. Технологическая интеграция лесопромышленных предприятий // Деревообрабатывающая промышленность. 2021. № 1. С. 26—37.
5. Швецова В. В. Эффективность геометрического учёта заготовленной древесины современными лесозаготовительными машинами // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Седьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2021. С. 203—204.
6. Швецова В. В. Автоматизация геометрического метода учёта круглых лесоматериалов // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Шестой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2020. С. 149—150.
7. Grigorev I., Shadrin A., Katkov S., Borisov V., Kaznacheeva N., Levushkin D., Druzyanova V., Gnatovskaya I., Diev R., Akinin D. Improving the quality of sorting wood chips by scanning and machine vision technology // Journal of Forest Science. 2021. Vol. 67, no 5. P. 212—218.
8. Николаев А. И., Стариков А. В., Батулин К. В. Особенности функционирования автоматизированной системы учёта заготовленной древесины и контроля её происхождения // Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6, № 3 (23). С. 109—117.
9. Стариков А. В., Батулин К. В. Методика и программно-технические средства автоматизированного учёта древесины при её заготовке и транспортировке // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2017. Т. 5, № 1 (27). С. 343—345.

10. Атаманова А. С., Чирышев Ю. В. Способ обнаружения лесоматериалов на цифровых изображениях с помощью методов машинного обучения // Актуальные проблемы развития технических наук: Сб. ст. участников XXII Областного конкурса научно-исследовательских работ «Научный Олимп» по направлению «Технические науки» / Департамент молодежной политики Свердловской области; ГАУ СО «Дом молодёжи», ФГАУ ВО Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. Екатеринбург, 2020. С. 55—63.
11. Стариков А. В., Батулин К. В. Исследование и анализ методов учёта заготовленной древесины в России и зарубежных странах // Лесотехнический журнал. 2015. № 4. С. 104—113.
12. Chiryshchev Y. V., Kruglov A. V., Atamanova A. S. Automatic detection of round timber in digital images using random decision forests algorithm // ACM International Conference Proceeding Series. Сер. «Proceedings of 2018 International Conference on Control and Computer Vision, ICCCV 2018». 2018. P. 39—44.
13. Гуров С. В., Герасин М. Л. Моделирование систем: Учеб. пособие. Сыктывкар: Лесной ин-т, 2002. 160 с.
14. Дрейнер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Вильямс, 2016. 912 с.
15. Liengme B. V. A Guide to Microsoft Excel 2013 for Scientists and Engineers. Chapter 4 — Using Functions / Editor(s) Bernard V. Liengme // Academic Press. 2016. P. 49—74.
16. Liengme B. V. A Guide to Microsoft Excel 2013 for Scientists and Engineers. Chapter 8 — Regression Analysis / Editor(s) Bernard V. Liengme // Academic Press. 2016. P. 157—179.
17. Liengme B. V. A Guide to Microsoft Excel 2013 for Scientists and Engineers. Chapter 16 — Statistics for Experimenters / Editor(s) Bernard V. Liengme // Academic Press. 2016. P. 321—345.
18. Григорьева О. И. Статистические характеристики сосновых насаждений, пройденных рубками ухода // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2005. № 10. С. 84—87.
19. Григорьева О. И., Григорьев М. Ф. Статистическая обработка результатов экспериментальных исследований рубок ухода в сосновых насаждениях // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2017. Т. 5, № 10 (36). С. 148—152.
20. Измайлова В. С., Григорьева О. И. Оценка успешности естественного возобновления ели после сплошных рубок в Лисинском лесничестве // Актуальные вопросы в лесном хозяйстве: Материалы молодёжной международной научно-практической конференции. 2017. С. 31—34.

References

1. Grigorev I. V. Directions for improving harvester heads. *Increasing the efficiency of the forestry complex. Materials of the Sixth All-Russian national scientific-practical conference with international participation*. Petrozavodsk, 2020, pp. 45—47. (In Russ).
2. Grigorev I. V., Grigoreva O. I., Nikiforova A. I., Glukhovskiy V. M. Prospective directions of development of technological processes of logging operations. *Proceedings of BSTU. No 2. Forestry and woodworking industry*, 2016, no 2 (184), pp. 109—116. (In Russ).
3. Rudov S. E., Grigorev I. V. Ways to increase the efficiency of machine systems for assortment timber harvesting. *Increasing the efficiency of the forestry complex. Materials of the Seventh All-Russian National Scientific and Practical Conference with International Participation*. Petrozavodsk, 2021, pp. 168—169. (In Russ).

4. Tambi A. A., Grigorev I. V., Davtyan A. B., Pomiguyev A. V., Kalita O. N., Grigorev V. I. Technological Integration of Timber Enterprises. *Woodworking Industry*, 2021, no 1, pp. 26—37. (In Russ).
5. Shvetsova V. V. Effectiveness of geometric accounting of harvested wood by modern logging machines. *Increasing the efficiency of the forest complex. Materials of the Seventh All-Russian National Scientific-Practical Conference with international participation*. Petrozavodsk, 2021, pp. 203—204. (In Russ).
6. Shvetsova V. V. Automation of geometric method of roundwood accounting. *Increasing the efficiency of forestry complex. materials of the Sixth All-Russian national scientific-practical conference with international participation*. Petrozavodsk, 2020, pp. 149—150. (In Russ).
7. Grigorev I., Shadrin A., Katkov S., Borisov V., Kaznacheeva N., Levushkin D., Druzyanova V., Gnatovskaya I., Diev R., Akinin D. Improving the quality of sorting wood chips by scanning and machine vision technology. *Journal of Forest Science*, 2021, vol. 67, no 5, pp. 212—218.
8. Nikolaev A. I., Starikov A. V., Baturin K. V. Features of functioning of the automated system for accounting of harvested timber and control of its origin. *Forest Engineering Journal*, 2016, vol. 6, no 3 (23), pp. 109—117. (In Russ).
9. Starikov A. V., Baturin K. V. Methodology and software and hardware of automated accounting of timber during its harvesting and transportation. *Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*, 2017, vol. 5, no 1 (27), pp. 343—345. (In Russ).
10. Atamanova A. S., Chiryshchev Yu. V. Method of timber detection in digital images using machine learning methods. *Actual problems of technical sciences development. Collection of articles of the participants of XXII Regional contest of research papers «Scientific Olympus» in the field of «Technical Sciences»*. Department of Youth Policy of Sverdlovsk region; GAU SO «Youth House»; FSAU VO Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin. Yekaterinburg, 2020, pp. 55—63. (In Russ).
11. Starikov A. V., Baturin K. V. Research and analysis of accounting methods of harvested wood in Russia and foreign countries. *Forest Engineering Journal*, 2015, no 4, pp. 104—113. (In Russ).
12. Chiryshchev Y. V., Kruglov A. V., Atamanova A. S. Automatic detection of round timber in digital images using random decision forests algorithm. *ACM International Conference Proceeding Series. Ser. «Proceedings of 2018 International Conference on Control and Computer Vision, ICCCV 2018»*, 2018, pp. 39—44.
13. Gurov S. V., Gerasin M. L. *Modeling systems, tutorial*. Syktyvkar, Forest Institute, 2002. 160 p. (In Russ).
14. Draper N., Smith G. *Applied regression analysis*. Williams, 2016. 912 p. (In Russ).
15. Liengme B. V. A Guide to Microsoft Excel 2013 for Scientists and Engineers, Chapter 4 — Using Functions. Editor(s): Bernard V. Liengme. *Academic Press*, 2016, pp. 49—74.
16. Liengme B. V. A Guide to Microsoft Excel 2013 for Scientists and Engineers, Chapter 8 — Regression Analysis. Editor(s): Bernard V. Liengme. *Academic Press*, 2016, pp. 157—179.
17. Liengme B. V. A Guide to Microsoft Excel 2013 for Scientists and Engineers, Chapter 16 — Statistics for Experimenters. Editor(s): Bernard V. Liengme. *Academic Press*, 2016, pp. 321—345.
18. Grigoreva O. I. Statistical characteristics of pine plantations passed by thinning. *Actual problems of forest complex*, 2005, no 10, pp. 84—87. (In Russ).
19. Grigoreva O. I., Grigorev M. F. Statistical processing of the results of experimental studies of thinning in pine plantations. *Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*, 2017, vol. 5, no 10 (36), pp. 148—152. (In Russ).

20. Izmailova V. S., Grigoreva O. I. Evaluation of the success of natural regeneration of spruce after clearcuts in Lisinsk forestry. *Actual issues in forestry. Materials of the youth international scientific and practical conference*, 2017, pp. 31—34. (In Russ).

© Куницкая О. А., Беляев Н. Л., Хитров Е. Г., 2022

Новые технические решения по снижению негативного воздействия лесопромышленных производств на лесную среду

Сюнёв Владимир Сергеевич

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

Графова Елена Олеговна

кандидат технических наук, доцент, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация), grafova.elena.karelia@gmail.com

Получена: 11 января 2022 / Принята: 28 февраля 2022 / Опубликовано: 11 марта 2022

Аннотация: Помимо наиболее часто рассматриваемых негативных факторов воздействия на природную среду при проведении лесозаготовок, рассматриваются новые аспекты, возникшие с усовершенствованием законодательства. Неполное использование древесных отходов приводит к появлению складов и свалок неиспользованных древесных отходов, в процессе лесозаготовок и в лесных посёлках образуются сопутствующие бытовые отходы, которые также накапливаются в виде свалок, выделяя токсичный фильтрат, газы, продукты распада отходов. Отсутствие контроля на лесных площадках приводит к авариям, утечкам нефтепродуктов при заправках и эксплуатации лесной техники, провоцируя многолетнее точечное воздействие на почву и воду в местах концентрации техники и складов ГСМ. Согласно природоохранному законодательству, лесопользователи несут ответственность за негативное воздействие на окружающую среду перед государством и должны устранять последствия своей деятельности или предотвращать потенциальные экологические риски. Многолетнее использование участка лесосеки приводит к интенсивной эксплуатации лесных дорог, способствуя загрязнению нефтепродуктами водоёмов, через водоохранные зоны. Соответствующие технологические регламенты по снижению выявленных негативных факторов воздействия на окружающую среду в процессе лесозаготовки не установлены. Предлагается использовать все образующиеся на лесозаготовительной площадке отходы для производства почвенного субстрата методом компостирования путём добавления в него органической составляющей, компенсирующей недостаток азота, — органические отходы, осадки сточных вод, азотсодержащие отходы сельского хозяйства. Согласно отчётности в Республике Карелия (2ТП-Отход) за

три года, 92 % отходов составляет кора древесная, щепа — 4 %, горбыль — 2 %, остальные отходы — менее 1 %. В целом установлено, что 32 % древесных отходов лесных предприятий не используется. При эффективном межведомственном взаимодействии данные виды отходов могут быть переработаны в полезный продукт, что снизит объёмы захораниваемых отходов на уровне региона. В местах утечек нефтепродуктов предлагается организовать сбор поверхностного стока, смывающего загрязнения с поверхности площадок, и его последующую очистку на локальных системах очистки, в которых в качестве очистного агента выступают комбинированные природные сорбционные материалы, сформированные из продуктов лесозаготовок. Основными факторами, влияющими на устройства систем очистки на лесных площадках и дорогах в условиях Северо-Запада РФ являются: наличие заболоченных и водонасыщенных лесных территорий, отсутствие электроснабжения, невозможность заглублять сооружения, необходимость установки пескоулавливающего устройства. Установлено, что в условиях Северо-Запада РФ производительность сооружений должна обеспечивать приём стоков с расходом 0,3—3,0 л/с.

Ключевые слова: экологическая безопасность, отходы лесозаготовок, компостирование, загрязнение нефтепродуктами, ликвидация накопленного вреда

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6103

Article

New technical solutions for reducing the negative impact of forest industries on the forest environment

Vladimir Syunev

D. Sc. in engineering, professor, Petrozavodsk State University (Russian Federation),

e-mail: siounev@petrsu.ru

Elena Grafova

PhD in engineering, associate professor, Petrozavodsk State University (Russian Federation),

e-mail: grafova.elena.karelia@gmail.com

Received: 11 January 2022 / Accepted: 28 February 2022 / Published: 11 March 2022

Abstract: In addition to the most frequently considered negative factors of logging impact on the natural environment, new aspects that have arisen with the improvement of legislation are considered. Incomplete use of wood waste leads to the formation of warehouses and dumps of unused wood waste. Also in forest settlements household waste is generated, which is accumulated on landfills, emitting toxic filtrate, gases, waste decay products. Lack of control on forest sites leads to accidents and leaks of oil products during refueling and operation of forestry equipment. This results in a long-term polluting effect on the soil and water in places where equipment, fuel and lubricants are concentrated. According to environmental legislation, forest users are responsible for the negative impact on the environment and must eliminate the consequences of their activities or prevent potential environmental risks. Long-term use of the harvesting area leads to intensive exploitation of forest roads, contributing to the pollution of water bodies with oil products. The corresponding technological regulations to reduce the negative environmental impact factors in the process of logging have not been established. The author proposes to use all waste generated at the logging site to produce soil substrate by the process of composting. During the process an organic component such as organic waste, sewage sludge, nitrogen-containing agricultural waste should be added to compensate for the lack of nitrogen. According to reports, wood bark amounted to 92% of waste, wood chips comprised 4%, slab wood - 2% in the Republic of Karelia during last three years. In general, it was found that 32% of wood waste from forest enterprises is not used. With effective interdepartmental interaction, these types of waste can be processed into a useful product, reducing the volume of landfill waste at the regional level. The author suggests collecting oil products spillage

by washing away the pollution substances. These substances will be processed on local treatment systems by using combined natural sorption materials formed from logging products as cleaning agents. The following features of the cleaning systems design on forest sites and roads have been identified: swampy and water-saturated forest areas as the most typical ones in the North-West of the Russian Federation, the lack of power supply, the inability to deepen structures due to a small difference in elevations between the roadbed and the adjacent terrain or water level. It is required to install a sand trap with a power reserve because of ground cover and sand removal necessity. The capacity of structures should be selected according to the amount of wastewater flow, designed for shorter drainage areas, providing wastewater intake with a flow rate of 0.3—3.0 l/s.

Keywords: environmental safety, logging waste, composting, oil pollution, elimination of accumulated harm

1. Постановка проблемы

Снижение негативного влияния техники и технологий лесозаготовительного и лесоперерабатывающего производств на лесную среду является одной из важнейших задач рационального неистощимого природопользования. В последние годы экологическому состоянию эксплуатируемых лесных территорий уделяется повышенное внимание. Очевидно, что сами процессы лесозаготовки, транспортировки древесины, первичной деревообработки изначально являются не дружественными к окружающей природной среде. Но при их правильной реализации все технологические процессы должны обеспечить минимальное отрицательное воздействие на лесные экосистемы: минимизировать повреждаемость почв, оставляемых древостоев, исключать загрязнение территории отходами производств, избегать проникновения горюче-смазочных материалов в воду и почву, способствовать сохранению чистоты воздуха. Особенно остро эти проблемы обозначены при освоении северных и арктических лесных территорий, поскольку они наиболее чувствительны к нарушениям и медленно восстанавливаются после негативных воздействий. Очевидно, что лесопользование на этих территориях должно вестись в строгом соответствии с принципами, изложенными в Лесном кодексе [28], а именно:

- 1) обеспечивать сохранение биологического разнообразия, средообразующих, водоохранных, защитных и иных полезных функций лесов;
- 2) учитывать длительность выращивания лесов, возможность их воспроизводства, улучшение их качества и продуктивности;
- 3) использование лесов должно осуществляться способами, не наносящими вреда окружающей среде и здоровью человека.

Основными негативными факторами воздействия на природную среду при проведении лесозаготовок, по мнению большинства авторов, являются повреждения древостоев лесозаготовительной техникой, нарушение естественных функций лесных почв и разрывы корневых систем растущих деревьев под воздействием колёсных и гусеничных лесных машин [15], [9], [37], загрязнение воздуха в процессе работы лесозаготовительной техники [27], образование складов неиспользованных древесных отходов [31]. Особенно негативное воздействие на лесную среду оказывает техника при проведении рубок ухода за лесом [14]. Виды воздействий на окружающую среду при выполнении лесных работ, последствия, технические и технологические решения по их минимизации проработаны многими авторами [16], [23], также разработаны практические рекомендации по проведению рубок промежуточного пользования на Северо-Западе России [39]. Весьма тщательно данные вопросы освещены с практической точки зрения при ведении лесного хозяйства Скандинавии [33] и не нуждаются в дальнейшем изучении.

Загрязнение воздуха при лесосечных работах происходит в результате выбросов продуктов сгорания топлива лесосечной техники; выхлопных газов автомобильного транспорта; испарений из ёмкости хранения горюче-смазочных материалов (ГСМ); выбросов продуктов сгорания через дымовые трубы при отоплении бытовок и пр. В начале 2000-х гг.

рядом зарубежных исследователей был поднят вопрос о необходимости изучения воздействия выброса выхлопных газов тракторов и автомобилей на лесную среду. Впервые проработка данной темы начата финским исследователем Тимо Карьялайненом. Однако она не получила дальнейшего развития в силу недостаточной актуальности. Анализ загрязнения атмосферного воздуха отечественными исследователями [29] показал, что вследствие рассеивания загрязняющие вещества формируются в приземных слоях атмосферы. В зависимости от применяемой технологии лесозаготовки и размещения техники уровень загрязнения разнится: максимальные приземные концентрации происходят при хлыстовой технологии заготовок, возникает выброс диоксида азота — краткосрочно его концентрация превышает в 10 раз. Воздействие остальных газов в лесной зоне незначительно: сажа, диоксид серы и угарный газ не представляют интереса для глубоких исследований.

Воздействие на окружающую среду начинается с организации лесосечных работ, включая подготовительные, основные и вспомогательные работы [40]. Особую нагрузку на лесные экосистемы оказывают лесные дороги и лесовозные автопоезда. При строительстве лесных дорог проводится первичная расчистка полосы отвода, организуется защита водоёмов путём создания устройств для гашения энергии водных потоков, устраиваются придорожные канавы с организацией стока воды, а также дренажные ямы [13]. Комплекс этих мер позволяет сохранить работоспособность дорог в течение их эксплуатации, но не позволяет полностью исключить загрязнение придорожной территории остатками топлива, масел и прочих нефтесодержащих веществ. Нефтепродукты могут попадать в почву и воду при техническом обслуживании машин, при проливах и утечках нефтесодержащих горючих и смазочных материалов при хранении на делянках, заправке техники, утечке жидкости из гидросистем, в результате аварий и низкой культуры эксплуатации лесных машин. Нередко при работе с лесной техникой из-за ошибок операторов происходит разрыв рукавов высокого давления и, как следствие, утечка гидравлической жидкости. Объём пролитого гидравлического масла при такой поломке зависит от вида машины. Так, объём масел на лесных машинах манипуляторного типа составляет 10—50 л, на харвестере, форвардере, трелёвочном тракторе и валочно-пакетирующей машине — 100—300 л [9]. Также нередко происходит смыв остатков горюче-смазочных материалов в случаях, если производится мойка лесной техники на рабочих площадках в необорудованных местах. Нередко остатки нефтепродуктов и горюче-смазочных материалов смываются дождями в тёплое время года (или аккумулируются в снегу и после таяния выносятся талыми водами) с лесной техники во время работы или стоянок на необорудованных крышей площадках и складах горюче-смазочных материалов. Сведения по техническим и технологическим решениям по этому вопросу в литературе крайне ограничены.

Значительным фактором, оказывающим негативное воздействие на лесную среду, является образование и накопление неиспользованных отходов первичной переработки древесины. При лесозаготовках и в лесном хозяйстве образуется 20—37 % отходов, таких как пни, корни, ветви, древесная зелень (хвоя, листва), низкокачественная, гнилая и горелая древесина. При первичной обработке в процессе лесопиления и при механической обработке

древесины образуется до 38—48 % отходов, таких как кора, опилки, рейка, горбыль, трещиноватая древесина, стружка, щепа, кусковые отходы, и около 7 % потерь. При достаточно высоком проценте образования отходов использование их в качестве сырья остаётся всё ещё на низком уровне. К перспективным направлениям использования отходов лесозаготовки относятся следующие:

1) выпуск различных видов биотоплива: древесные топливные гранулы (пеллеты), древесные топливные брикеты [1—10], биомазут, биодизель, биоуголь, древесноугольные топливные брикеты, активный древесный уголь, древесные активные угли, биогаз [26];

2) выпуск древесных композиционных плитных материалов: древесностружечные плиты (ДСП), ламинированная древесностружечная плита (ЛДСП), древесноволокнистая плита (ДВП), древесностружечная плита из плоской ориентированной стружки (ОСП или OSB), облегчённая ячеистая плита;

3) выпуск продукции на основе измельчённой древесины: древесная мука;

4) выпуск плитных материалов на основе неорганических связующих: арболит, гипсостружечная плита (ГСП), цементно-стружечная плита;

5) выпуск лесохимической продукции: биологически активные вещества [19].

В качестве альтернативного метода разработана методика учёта древесных отходов для применения в строительстве трелёвочных волоков [12]. В связи с тем, что деревообрабатывающие производства используют недостаточное количество отходов, чаще всего вблизи лесных предприятий возникают огромные территории, занятые складами этого опасного для природной среды сырья. В ряде лесных предприятий образовались несанкционированные многолетние свалки коры, опилок и прочих древесных отходов, загрязняющие леса вблизи посёлков, в связи с чем в последнее десятилетие значительно обострилась проблема ликвидации свалок накопленных отходов лесозаготовок. Длительное хранение необработанной коры в отвалах приводит к загрязнению территорий в местах расположения, нарушению санитарного состояния и биологического равновесия между отдельными звеньями биоценозов [48]. В состав коры входит 3—5,5 % минеральных веществ от общей массы, что выше их содержания в опилках. Содержание азота в коре увеличивается при его хранении (за 5 лет — почти в 2 раза), понижается кислотность, количество других полезных компонентов остаётся прежним [31]. Поэтому применение коры для получения почвогрунта и удобрений является более эффективным, чем применение опилок.

Также следует отметить ещё одну проблему, не связанную с выполнением технологических операций лесными предприятиями, но представляющую серьёзную опасность для окружающей среды — накопление бытовых отходов лесных посёлков с образованием значительного числа несанкционированных свалок. Многолетнее пребывание свалок на природных территориях оказывает на них негативное воздействие: происходит механическое нарушение почвенно-растительного покрова, вплоть до полного уничтожения, происходит загрязнение образующимися при разложении отходов фильтрационными водами («фильтрат») и биогазом («свалочный газ»), растительный покров деградирует, и аборигенные виды растительности замещаются синантропными видами,

большинство из которых — адвентивные. Состав фильтрационных вод насыщен химическими веществами, такими как NH_4^+ , $\text{P}_{\text{общ}}$, Mn^{2+} , Cu^{2+} , $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Pb^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Hg^{2+} , K^+ , Na^+ , $\text{Cr}_{\text{общ}}$, часто значительно превышающими нормативные концентрации содержания в почвах и водных объектах. При разложении органических веществ до низкомолекулярных кислот, углекислого газа и воды происходят процессы выщелачивания и вымывания соединений металлов из массы отходов. Возникает миграция органических токсичных веществ и тяжёлых металлов в почвы, грунтовые воды, происходит их впитывание растениями. По санитарно-микробиологическим показателям почвы в районах размещения свалок могут быть отнесены к категории «опасных» и «чрезвычайно опасных» из-за присутствия в них патогенных микроорганизмов, вирусов и гельминтофауны [22]. Образованные свалки стали «горячими» экологическими точками накопленного экологического ущерба и требуют создания новых методов и технологий для их ликвидации с рекультивацией повреждённых территорий.

Анализ научной литературы по воздействию всего комплекса работ по лесозаготовке, первичной переработке древесины и лесовосстановлению показывает, что практически, несмотря на детальное изучение и проработку многих вопросов по снижению негативного воздействия техники и технологий на лесную среду, ряд важных моментов остаются не исследованными или рассмотренными только фрагментарно. К таким вопросам относятся: исследование технологии загрязнения и очистки почв и водных объектов в зоне лесозаготовки нефтепродуктами, неполное использование отходов деревообработки и поиск новых продуктов из них, разработка способов снижения негативного воздействия на окружающую среду от накопленных свалок лесопромышленных и бытовых отходов, образующихся в процессе лесозаготовок.

2. Нормативное регулирование

Предприятия лесопромышленного комплекса, являющиеся юридическими лицами, осуществляющими свою производственную деятельность на определённой территории, оказывая негативное воздействие на компоненты лесной среды, несут за это ответственность перед государством. Основные положения о недопущении негативного воздействия в процессе лесозаготовок и иных производственных работ представлены в ст. 40, п. 3; ст. 49; п. 1, ст. 51, п. 2 Федерального закона № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [35], в ст. 60_12, п. 2; 60_14 Лесного кодекса Российской Федерации [28], ст. 50_7 СП 155.13130.2014 Склады нефти и нефтепродуктов. Участок для лесозаготовок может быть получен на аукционе по продаже права на заключение договора аренды на срок от 10 до 49 лет, что определяет время негативного воздействия на лесные участки [45]. Основными природоохранными нормативными актами [42] предусмотрен ряд мероприятий, закладываемых на стадии проектирования объектов лесозаготовки. В процессе лесозаготовки рабочий персонал базируется на мастерском участке, где для ремонта и обслуживания лесозаготовительных машин могут содержаться передвижные ремонтные мастерские, оборудование для заправки машин топливно-смазочными материалами, бытовки.

При размещении мастерского участка, как и при строительстве лесных дорог, руководствуясь законодательством [46], предусматривается следующее:

- 1) предотвращение загрязнения бассейнов поверхностных водных объектов и подземных вод жидкими и твёрдыми отходами, а также попадания в поверхностные и подземные воды загрязнённых стоков;
- 2) условия безопасного обращения с отходами по нормативам [42];
- 3) максимальную экономию земельных ресурсов, отводимых для размещения лесных дорог;
- 4) защиту атмосферного воздуха от выбросов загрязняющих веществ;
- 5) сохранение природных ландшафтов, территорий, для которых установлен режим особой охраны (особо охраняемые природные территории, заповедники, национальные парки и т. д.);
- 6) защиту растительного и животного мира [45].

На земельных участках, предоставленных во временное пользование, по окончании работ должны быть проведены мероприятия по рекультивации нарушенных земель. Если место стоянки и ремонта техники или лесная дорога находятся вблизи водного объекта и он имеет рыбопромысловое значение, то уже в проекте следует предусматривать мероприятия по защите водной фауны. Очевидно, что бремя обеспечения сохранности лесной среды должно лежать, в первую очередь, на лесных предприятиях. Для этого должны быть разработаны определённые технические и технологические решения, осуществление которых позволило бы предприятиям снизить негативное воздействие процессов лесозаготовки на окружающую среду, в т. ч. за счёт более полного использования отходов производства и минимизации образующихся загрязнений и их утечек в окружающую среду.

3. Загрязнение нефтепродуктами почвы и воды при лесозаготовках

Одним из видов негативного влияния лесозаготовок являются утечки нефтепродуктов от технологических процессов, приводящие к загрязнению почв и водных объектов. В то же время бывшие временные склады горюче-смазочных материалов на лесных участках после окончания работ вызывают загрязнение почв, имеющее негативное воздействие, соизмеримое или превышающее воздействие самих машин на почвенный покров и растительность. Загрязнение нефтепродуктами оказывает отрицательное воздействие на химические, физические и биологические свойства почв. Под влиянием нефтепродуктов изменяется численность микроорганизмов основных физиологических групп, ухудшаются агрофизические, агрохимические свойства почвы, снижаются активность окислительно-восстановительных и гидролитических ферментов, обеспеченность почвы подвижными формами азота и фосфора. Ароматические углеводороды токсичны для ферментативной активности микроорганизмов почвы. Наиболее чувствительными к загрязнению ароматическими углеводородами являются нитрифицирующие и целлюлозоразрушающие микроорганизмы, которые могут служить индикаторами загрязнения почв. Загрязнение компонентами нефтепродуктов существенно изменяет комплекс почвенных актиномицетов,

снижая их численность и обедняя видовой состав. Кроме того, в загрязнённой нефтью почве возрастает число фитопатогенных и фитотоксичных видов микроскопических грибов. Развитие фитотоксичных форм грибов может усилить отрицательное воздействие на почву нефтяного загрязнения [25]. Попадание нефтепродуктов в почву в интервале концентраций до 1 мл/кг не оказывает существенного влияния на почвенную микробиоту, а выступает как биологический стимулятор [2], [3], [6]. Более высокие дозы (зона стресса: 1—30 мл/кг) приводят к необратимым изменениям микробиологических свойств почвы, а в дальнейшем — к нарушению её водно-воздушного режима. Загрязнённые нефтепродуктами почвы становятся основным трофическим субстратом для углеводородокисляющих микроорганизмов, одновременно угнетая жизнедеятельность других гетеротрофных микроорганизмов, растений и животных. При ещё больших дозах нефтепродукты выступают как ингибиторы биологической активности почвы. Следует отметить, что в жаркое время года разливы нефтепродуктов могут быть причиной лесных пожаров. Изменяя почвенную среду, нефтепродукты способны проникать в грунтовые воды, смываться дождями или талыми водами и мигрировать в водные объекты.

Чаще всего в процессе лесозаготовок нефтепродукты попадают в водные объекты через почву. При единичных разливах нефтепродуктов на поверхности почвы образуется небольшой слой загрязнения значительной площади и далее происходит частичная инфильтрация через зону аэрации, при этом загрязнение не всегда достигает уровня грунтовых вод. Однако при систематическом длительном загрязнении зоны аэрации они достигают уровня грунтовых вод [38]. В случае попадания в поверхностные водные объекты лёгкие нефтепродукты частично растворяются в воде и образуют с водой эмульсии, а тяжёлые, такие как минеральные масла и смазки, попадают на дно водоёмов и накапливаются в донных осадках. Попадающие в природные воды из различных источников нефтяные загрязнения имеют тенденцию к рассеиванию и миграции на расстояния, зависящие от типа водного объекта. При этом в поверхностных водах состав нефтепродуктов под влиянием испарения и интенсивного протекания химического и биологического разложения претерпевает за короткий срок быстрые изменения, а в подземных водах, наоборот, процессы разрушения заторможены [20]. Выявляемые, губительные для окружающей среды эффекты подтверждают необходимость минимизации негативного воздействия утечек нефтепродуктов путём разработки технических и технологических решений, препятствующих проникновению загрязнений в природную среду, а также создания локальных устройств, удерживающих разливы нефтепродуктов, такие как локальные системы очистки.

4. Особенности устройства локальных систем очистки

Согласно российскому законодательству [45], [28], [35], [44], при проведении лесозаготовительной деятельности экологическую опасность могут представлять: часть дождевого и талого стока, выпадающего на участок склада ГСМ и заправочного пункта, часть дождевого и талого стока, поступающего с лесных дорог в водные объекты в пределах

их водоохранных зон, сток от мойки техники. Для этой цели предлагается организовывать создание и размещение локальных очистных сооружений (ЛОС) в местах предполагаемых сбросов загрязнений. В настоящее время на рынке природоохранного оборудования существует огромный спектр предложений: наземные системы очистки, заглубленные сооружения, комбинированные [18]. При разработке ЛОС следует учесть ряд особенностей лесозаготовительных площадок и лесных дорог:

1) на территориях отсутствует электроснабжение, в связи с этим исключены электрообогрев сооружений, их заглубление и необходимость использования насосной перекачки стока, механизированная откачка осадка, напорная промывка загрузки и необходимость применения сорбентов, возможно только самотечное движение стоков;

2) перепад отметок между полотном дороги и прилегающей местностью или уровнем воды в водоприёмнике дождевого стока колеблется от 0,5 до 1,0 м, тогда как выпуск очищенных стоков при подземном размещении (из условия не промерзания) ЛОС проходит ниже поверхности земли или воды в водоёме на 2,0—3,0 м;

3) условия заболоченных, водонасыщенных или скальных придорожных территорий, типичных на Северо-Западе РФ; необходимость проработки дополнительных мероприятий, препятствующих всплытию герметичных ёмкостей в водонасыщенных грунтах;

4) с учётом грунтового покрытия и выноса песка — необходимости пескоулавливающего устройства с запасом мощности;

5) производительность сооружений подбирается по величине расходов сточных вод, рассчитанных на более короткие водосборные участки, обеспечивающие приём стоков с расходом 0,3—3,0 л/с [8], [32], [11].

Существующие типовые решения не являются эффективными и применимыми для удалённых лесных территорий. Наиболее близким к описываемым условиям является сооружение, проверенное в работе на дорогах Карелии — локальное сооружение с многослойной сорбционной загрузкой [10]. Это локальное очистное сооружение, разработанное авторами, представлено на фото 1, а схема его действия на рисунке 1.



Фото 1. Локальное сооружение у лесной дороги (фото Елены Графовой)

Photo 1. Local structure near a forest road (photo of Elena Grafova)

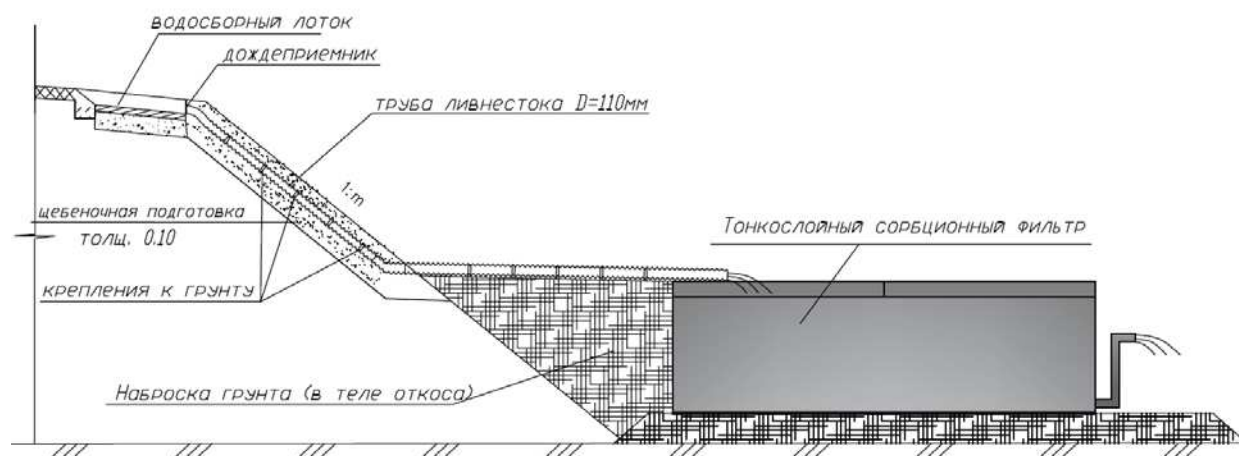


Рисунок 1. Схема размещения локального сооружения у лесной дороги перед сбросом [10]

Figure 1. Layout of a local structure near a forest road before discharge [10]

Очистка загрязнённого стока происходит следующим образом: сооружение устанавливается в пониженной точке водосборной площадки или дорожного откоса, организуется поступление загрязнённого нефтепродуктами и песком стока, который отводится на крышку сооружения, оснащённого бортами, образуя резервуар-пескоулавливатель; далее сток, загрязнённый нефтепродуктами, попадает внутрь сооружения через приёмное отверстие, далее происходит проникновение стока через слои сорбционного материала, при этом загрязнённые частицы задерживаются в нём; затем очищенный сток проникает в дренажное водосборное устройство и выводится из сооружения [10]. В условиях удалённого размещения и отсутствия электроэнергии эффективным является применение однопоточных сооружений, не требующих частого обслуживания. В качестве очищающего агента локального сооружения выступают сорбенты из различных материалов. В условиях необходимости минимизации загрязнений и поиска способов расширения применения отходов лесозаготовок необходимо разработать адаптированное эффективное сооружение локальной очистки, удовлетворяющее технологическим требованиям лесозаготовок, в качестве сорбционной загрузки которого будут применяться древесные отходы лесозаготовок.

В качестве сорбентов следует использовать материалы с развитой поверхностью, высокой сорбционной ёмкостью. Для удалённых лесных территорий целесообразнее применять в качестве очищающего агента природные сорбенты, например от торфа [10]. Опыт применения природных сорбентов, в т.ч. древесных материалов для сорбции нефтепродуктов, показан в работе [21] Кинетика сорбции для торфа имеет схожие показатели с эффективностью сорбции древесных опилок. Сорбция на различных типах древесных отходов исследована [47], при этом отмечается, что фильтрованные на древесно-

торфяной загрузке нефтепродукты повышают теплотворную способность отработанного сорбента при утилизации сжиганием. Сорбент торфоплита обладает меньшей ёмкостью, чем опилки, но в 1,3 раза лучшей кинетикой сорбции. На участке загрязнения — лесопромышленной площадке целесообразно применение комбинированных загрузок из продуктов лесопиления и известных нефтесорбентов, таких как торф. При этом материалы с отличающимися сорбционными характеристиками способствуют более эффективной очистке стоков от нефтепродуктов. Применение нескольких типов сорбентов из возобновляемых природных источников в лесопромышленном комплексе даст возможность снизить затраты предприятий на природоохранные мероприятия.

5. Оптимизация методов обработки отходов лесозаготовок

За годы интенсивной производственной деятельности большинства лесопромышленных предприятий имеющиеся «белые пятна» в природоохранном законодательстве и отсутствие контроля за передачей отходов на объекты размещения привели к тому, что на сегодняшний день существует большое количество объектов накопленного экологического вреда окружающей среде, а именно: несанкционированные свалки коммунальных отходов, свалки коро-древесных отходов, выгребные ёмкости и ямы с жидкими отходами и осадками сточных вод у населённых пунктов. Подобных объектов на лесных территориях насчитывается сотни и даже тысячи. В основном образуются отходы III и IV классов опасности, которые в обязательном порядке должны быть вывезены с территории лесозаготовок [34], [36]. Основные негативные эффекты от образования и накопления отходов рассмотрены ранее. Предприятия несут затраты на вывоз, переработку и утилизацию отходов, которые впоследствии включаются в стоимость конечной продукции [30]. Наиболее типичные, согласно бухгалтерской отчётности, отходы и методы из списания представлены в таблице 1. На практике лесосечные отходы не учитываются и редко используются.

По нашему мнению, неотъемлемой частью ресурсосберегающих лесозаготовок является конвергенция существующих методов обработки разных типов отходов. Одним из эффективных вариантов решения этой проблемы является применение метода компостирования древесных отходов лесозаготовок с внесением дефицитных добавок, компенсирующих недостаток азота. Известен способ переработки, при котором происходит биоконверсия древесных отходов при помощи микробных заквасок, включающих микроорганизмы-деструкторы [1], [4], [5], [43].

Одним из основополагающих ориентиров для формирования процесса компостирования является отношение C:N. Дефицит органики может быть компенсирован внесением удобрений, таких как суперфосфат, аммиачная селитра, фосфатная мука, хлористый калий [24]. С учётом того, что огромной проблемой в других областях производств, в особенности сельскохозяйственном, коммунальном, является утилизация органических отходов, в качестве источника азота могут выступать органические нечистоты, костная мука, навоз, жидкие коммунальные отходы, сырой активный ил, пищевые отходы, трава, сорняки, листья и прочие органические отходы.

Таблица 1. Перечень типичных отходов и мероприятия по обращению с ними

Table 1. List of typical waste and measures for their management

Вид отходов	Код по федеральному классификатору отходов	Вид мероприятий	Периодичность образования
Остатки дизельного топлива, утратившего потребительские свойства	4 06 910 0110 3	Передача на утилизацию в специализированные лицензированные организации	По мере накопления
Отходы коммунальные твёрдые	7 31 000 00 00 0	Передача по договору с региональным оператором региона	Постоянно в течение года
Отходы коммунальные жидкие неканализованных объектов водопотребления	7 32 101 01 30 4	Передача по договору в специализированные лицензированные организации	Постоянно в течение года
Отходы при лесозаготовках	1 52 000 00 00 0	Утилизация путём сжигания или захоронения в полосе отвода	Периодично в течение года
Отходы продукции из резины незагрязнённые	4 31 000 00 00 0	Передача на утилизацию в специализированные лицензированные организации	По мере накопления

Значения С : N для ряда субстратов, таких как навоз и сточные воды и их осадки, ниже рекомендованных, из-за этого могут происходить существенные потери аммонийного азота в процессе компостирования. Поэтому такие субстраты перед переработкой нуждаются в перемешивании с субстратами, для которых характерно высокое значение С : N, например, с древесными отходами. Таким образом, древесные отходы — наиболее эффективный и доступный для Северо-Запада углеродный компонент компостируемой массы. Так, на очистных сооружениях Петрозаводского городского округа в качестве наполнителя используется древесная кора [17]. Древесная кора является наиболее невостребованным во вторичном использовании сырьём, что приводит к её стремительному накоплению в виде неиспользуемых навалов. Применение коры для компостирования определяется наличием лигнина, извести и других веществ. Лубяной и прикамбиальный слой богаты питательными веществами, благоприятно влияют на активное развитие жизнедеятельности микроорганизмов. В процессе компостирования происходит биоразложение органических

веществ термофильными бактериями, в результате чего происходит изменение физико-химических показателей обрабатываемой смеси. Влажность просеянного компоста составляет 40—50 %, он содержит соединения азота, фосфора и калия. Получаемый компост проверяется на соответствие требованиям санитарно-гигиенических показателей, в т. ч. по содержанию предельно допустимых концентраций солей тяжёлых металлов. Полученный почвогрунт полезен для внесения в почву в качестве удобрения, может быть использован при производстве питательных брикетов для посадки лесных сеянцев [43].

Оценка соотношения количества образующихся в Карелии отходов демонстрирует превалирование отходов лесозаготовки — 7 % от общего весового количества отходов по сравнению с органическими отходами растениеводства, животноводства и охоты — 1 % и осадков сточных вод — 1 % (рисунок 2). Согласно отчётности Росприроднадзора по Республике Карелия (2ТП-Отход) за три года, 92 % отходов составляет кора древесная, щепа — 4 %, горбыль — 2 %, остальные отходы — менее 1 % (рисунок 3). В целом установлено (рисунок 4), что 32 % древесных отходов лесных предприятий не используется. При эффективном межведомственном взаимодействии данные виды отходов могут быть переработаны в полезный продукт, при этом снизятся объёмы захораниваемых отходов на уровне региона. Комплексный подход при накоплении и обработке отходов в период лесозаготовки позволит снизить объёмы накапливаемых отходов, что приведёт к уменьшению нагрузки на окружающую среду, снижению затрат на вывоз отходов, экологические платежи и минимизации или исключению возможных экологических штрафов.

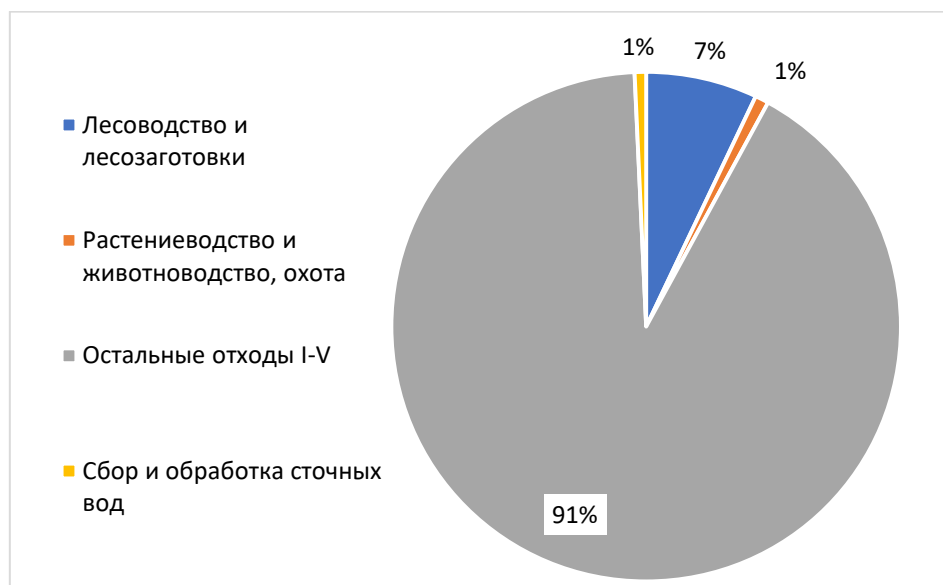


Рисунок 2. Соотношение количества образующихся отходов для комбинированного использования в лесопромышленном комплексе

Figure 2. The ratio of waste amount generated per year for combined use in the timber industry (developed by the author)



Рисунок 3. Распределение древесных отходов по фракциям

Figure 3. Annual distribution of wood waste by fractions (developed by the author)

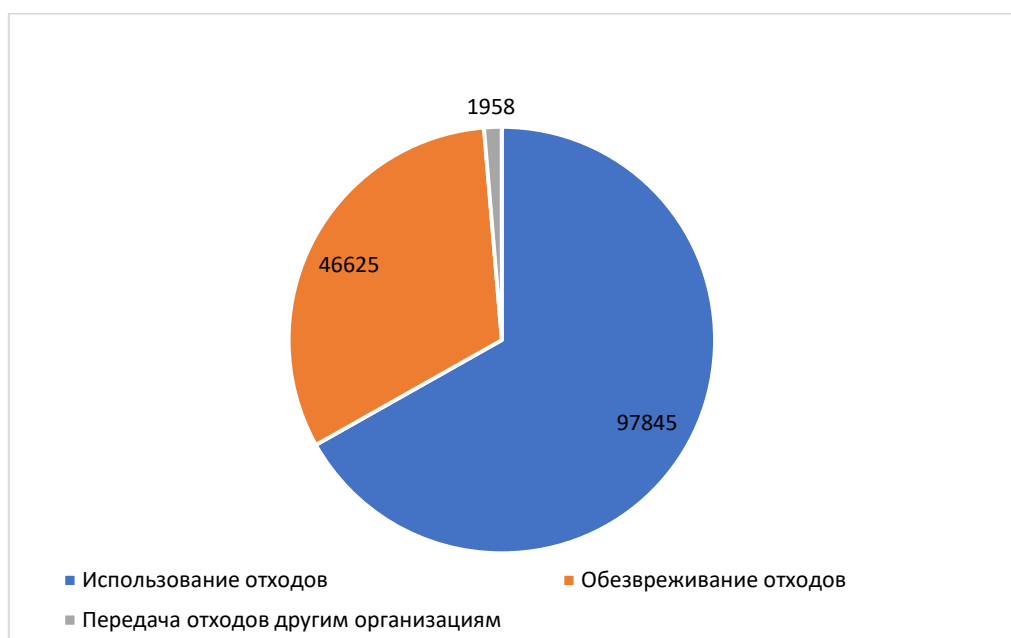


Рисунок 4. Распределение образующихся отходов

Figure 4. Annual distribution of generated waste by mass (developed by the author)

Таким образом, лесозаготовки представляют собой комплекс производственных процессов, на каждой стадии которых возникают угрозы негативного воздействия на окружающую среду. Предложенные новые технические решения позволят снизить нагрузку на окружающую среду, а именно: оптимизировать процессы обращения с отходами лесопиления и прочими сопутствующими отходами, образующимися в процессе лесозаготовок для снижения объёмов вывозимых и накапливаемых неучтённых отходов, получения почвогрунта для лесовосстановления с использованием метода компостирования; оборудовать дополнительно участки потенциального загрязнения нефтепродуктами, системами локальной очистки с использованием адаптированных загрузок из местного материала лесопиления, для получения экологических и экономических эффектов в лесозаготовительном производстве.

6. Обсуждение и заключение

Изучение наиболее часто рассматриваемых негативных факторов воздействия на природную среду при проведении лесозаготовок выявило область новых, редко рассматриваемых, но не менее значимых аспектов, возникших в результате усовершенствования законодательства. Неполное использование древесных отходов приводит к образованию складов и свалок неиспользованных древесных отходов. В процессе лесозаготовок и в лесных посёлках образуются бытовые отходы, сопутствующие основному технологическому процессу, которые также накапливаются в виде свалок, выделяя токсичный фильтрат, газы, продукты распада отходов. Отсутствие контроля на лесных площадках приводит к авариям, утечкам нефтепродуктов при заправках и эксплуатации лесной техники, провоцируя многолетнее точечное воздействие на почву и воду в местах концентрации техники и складов ГСМ. Согласно природоохранному законодательству, лесопользователи несут ответственность за негативное воздействие на окружающую среду перед государством и должны устранять последствия своей деятельности или предотвращать потенциальные экологические риски. Многолетнее использование участка лесосеки приводит к интенсивной эксплуатации лесных дорог, способствуя загрязнению нефтепродуктами водоёмов, через водоохранные зоны которых они проходят. Соответствующие технологические регламенты по снижению выявленных негативных факторов воздействия на окружающую среду в процессе лесозаготовки не установлены. Предлагается использовать все образующиеся на лесозаготовительной площадке отходы для производства почвенного субстрата методом компостирования путём добавления в него органической составляющей, компенсирующей недостаток азота — органические отходы, осадки сточных вод, азотсодержащие отходы сельского хозяйства. В целом установлено, что 32 % древесных отходов лесных предприятий не используется. При эффективном межведомственном взаимодействии такие виды отходов, как кора древесная, щепка, горбыль и др., могут быть переработаны в полезный продукт, снизив объёмы захораниваемых отходов на уровне региона. В местах утечек нефтепродуктов предлагается организовать сбор поверхностного стока, смывающего загрязнения с поверхности площадок, и его

последующую очистку на локальных системах очистки, в которых в качестве очистного агента выступают комбинированные природные сорбционные материалы, сформированные из продуктов лесозаготовок. Выявлены особенности устройства систем очистки на лесных площадках и дорогах: условия заболоченных и водонасыщенных лесных территорий, наиболее типичных на Северо-Западе РФ, отсутствие электроснабжения, невозможность заглублять сооружения из-за небольшого перепада отметок между полотном дороги и прилегающей местностью или уровнем воды с учётом грунтового покрытия и выноса песка — необходимости установки пескоулавливающего устройства с запасом мощности, производительность сооружений подбирается по величине расходов сточных вод, рассчитанных на более короткие водосборные участки, обеспечивающие приём стоков с расходом 0,3—3,0 л/с.

Список литературы

1. Bialobrzewski I., Miks-Krajnik M., Dach J., Markowski M., Czekala W., Gluchowska K. Model of the sewage sludge-straw composting process integrating different heat generation capacities of mesophilic and thermophilic microorganisms // *Waste Manage.* 2015. No 43. P. 72—83.
2. Chaillan F., Chaîneau C. H., Point V., Saliot A., Outdot J. Factors inhibiting bioremediation of soil contaminated with weathered oils and drill cuttings // *Environmental Pollution.* 2006. Vol. 144, no 1. P. 255—265.
3. Fan W., Yang Y. S., Du X. Q., Lu Y., Yang M. X. Finger-printing biodegradation of petroleum contamination in shallow groundwater and soil system using hydrobiogeochemical markers and modeling support // *Water, Air & Soil Pollution.* 2011. Vol. 220, no 1—4. P. 253—263.
4. Kulikowska D. Kinetics of organic matter removal and humification progress during sewage sludge composting // *Waste Manage.* 2016. No 49. P. 196—203.
5. Xiu-lan Z., Bi-qiong L., Jiu-pai N. I., De-ti X. I. E. Effect of four crop straws on transformation of organic matter during sewage sludge composting // *Integr. Agric.* 2016. No 15. P. 232—240.
6. Watson J. S., Jones D. M., Swannell R. P. J., Duin A. C. T., van. Formation of carboxylic acids during aerobic biodegradation of crude oil and evidence of microbial oxidation of hopanes // *Organic Geochemistry.* 2002. Vol. 33, no 10. P. 1153—1169.
7. Zhang H., Li C., Li G., Zang B., Yang Q. Effect of spent air reusing (SAR) on maturity and greenhouse gas emissions during municipal solid waste MSW composting with different pile height // *Procedia Environ. Sci.* 2012. No 16. P. 59—69.
8. Аюкаев Р. И., Графова Е. О. Инженерные решения экологической безопасности при реконструкции автодорог Северо-Запада в границах водоохранных зон // *Учёные записки Петрозаводского государственного университета.* 2010. № 6 (111). С. 49—54.
9. Бертенев И. М., Драпалюк М. В. Снижение вредного воздействия лесных тракторов и лесосечных машин на почву и насаждения // *Лесотехнический журнал.* 2012. № 1 (5). С. 61—66.
10. Веницианов Е. В., Графова Е. О., Аюкаев Р. И., Чуднова Т. А. Многослойные сорбционные фильтры на защите водоохранных зон автотрасс от загрязнения // *Вода: химия и экология.* 2012. № 12 (54). С. 32—41.
11. Винокуров К. И., Крестьянинова А. Ю. Локальные очистные сооружения поверхностного стока на автомобильных дорогах и мостовых переходах // *Экология и строительство.* 2019. № 4. С. 42—52. DOI: 10.35688/2413-8452-2019-04-005.

12. Галактионов О. Н., Пискунов М. А., Безлатный П. В. Оценка эффективности использования лесосечных отходов для строительства трелёвочных волоков // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2008. № 185. С. 86—93.
13. Герасимов Ю. Ю., Катаров В. К. Лесные дороги. Йоэнсуу: Изд-во НИИ леса Финляндии, 2009. 70 с.
14. Герасимов Ю. Ю., Сюнёв В. С. Лесосечные машины для рубок ухода: Компьютерная система принятия решений. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1998. 236 с.
15. Герасимов Ю. Ю., Сюнёв В. С. Экологическая оптимизация технологических процессов и машин для лесозаготовок. Йоэнсуу: Изд-во Университета Йоэнсуу, 1998. 178 с.
16. Герц Э. Ф. Оценка технологии лесопользования на лесосечных работах. Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. лесотехнич. ун-та, 2003. 219 с.
17. Графова Е. О., Паршин Н. В. Исследование методов обработки осадков сточных вод Петрозаводских очистных сооружений // Resources and Technology. 2019. Т. 16, № 4. С. 94—118. DOI: 10.15393/j2.art.2019.5042.
18. Григорьева Л. Д., Акименко Н. Ю. Применение локальных очистных сооружений поверхностного стока различных компаний // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. 2019. Т. 1, № 2. С. 306—309.
19. Дитрих В. И., Андрияс А. А., Пережилин А. И., Корначев В. П. Оценка объёмов и возможные пути использования отходов лесозаготовок на примере Красноярского края // Хвойные бореальные зоны. Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М. Ф. Решетнева. 2010. Т. 27, № 3-4. С. 346—351.
20. Другов Ю. С., Родин А. А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов: Практическое руководство. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2007. 270 с. (Серия: Методы в химии).
21. Евстигнеев В. Д., Графова Е. О. Перспективы применения древесных отходов для обеспечения экологической безопасности лесозаготовительных предприятий // Resources and Technology. 2016. Т. 13, № 3. С. 63—70. DOI: 10.15393/j2.art.2016.3341.
22. Замотаев И. В., Иванов И. В., Михеев П. В., Белобров В. П. Оценка состояния почв и растительности в районах размещения свалок и полигонов твёрдых бытовых отходов (обзор) // Почвоведение. 2018. № 7. С. 907—924. DOI: 10.1134/S0032180X18070109.
23. Катаров В. К. Обоснование применимости технологических процессов лесосечных работ по степени воздействия пути первичного транспорта леса: специальность 05.21.01 — Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Петрозаводск, 2009. 20 с.
24. Кислицына С. Н., Шитова И. Ю. Способы переработки отходов деревообрабатывающей промышленности: Учеб. пособие. Пенза: ПГУАС, 2016. 140 с.
25. Киреева Н. А., Галимзянова Н. Ф. Влияние загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами на численность и видовой состав микромицетов // Почвоведение. М.: Наука, 1995. № 2. 211 с.
26. Кольниченко Г. И., Тарлаков Я. В. Топливо из древесной биомассы в условиях распределённой энергетики // Новое в российской электроэнергетике. 2020. № 7. С. 29—37.
27. Курьянов В. К., Скрыпников А. В., Рябова О. В. Воздействие дорожно-строительной отрасли на окружающую природную среду в Воронежской области // Лесное хозяйство малолесной зоны России в условиях переходного периода к рынку: Материалы региональной научно-практич. конф., Воронеж, 15 мая 2000 г. Воронеж, 2000. С. 86—89.
28. Лесной кодекс Российской Федерации (с изм. на 2 июля 2021 года, ред., действующая с 1 сентября 2021 года) 200-ФЗ / Государственная Дума Федерального Собрания Российской Федерации. М., 2006. 102 с.

29. Майорова Л. П., Рябухин П. Б., Мелешко М. А. Оценка загрязнения атмосферного воздуха в процессе лесозаготовок // Вестник КрасГАУ. 2007. № 4. С. 86—91.
30. Морозова Е. В. Учёт воздействия лесозаготовки на окружающую среду // Экономика и эффективность организации производства. 2008. № 9. С. 185—190.
31. Мохирев А. П., Безруких Ю. А., Медведев С. О. Переработка древесных отходов предприятий лесопромышленного комплекса как фактор устойчивого природопользования // Инженерный вестник Дона — Северо-Кавказский научный центр высшей школы Южного федерального университета. 2015. № 2 (ч. 2). 2015. 13 с.
32. Назаров В. Д., Назаров М. В., Хакимова Г. Ф. Очистка поверхностного стока с автомобильных дорог // Наука и техника в дорожной отрасли. 2018. № 4 (86). С. 29—33.
33. Наставление по экологии лесного хозяйства / Лесная служба Финляндии. 2007. 42 с.
34. Об утверждении Порядка учёта в области обращения с отходами: Приказ Минприроды России (Министерства природных ресурсов и экологии РФ) № 1028. 2020.
35. Об охране окружающей среды (с изм. на 2 июля 2021 года) 7-ФЗ / Государственная Дума Федерального Собрания Российской Федерации. М., 2002. 89 с.
36. Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242 (ред. от 02.11.2018) «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов» (с изм. и доп., вступ. в силу с 04.10.2021) / Министерство природных ресурсов Российской Федерации. 2021.
37. Питухин А. В., Сюнёв В. С. Минимизация техногенного воздействия на лесную среду в процессе лесозаготовок // Фундаментальные исследования. 2005. № 9. С. 116—120.
38. Путилина В. С., Галицкая И. В., Юганова Т. И. Трансформация нефти и нефтепродуктов в почвах, горных породах, подземных водах. Загрязнение, инфильтрация, миграция, деградация. Метаболиты // Экология. Серия аналитических обзоров мировой литературы. 2019. № 108. С. 1—112.
39. Рекомендации по проведению рубок в защитных лесах Карелии. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2015. 29 с.
40. Родионов А. В. Рубка и восстановление леса на основе ресурсосберегающей технологии. М.: Наука, 2006. 276 с.
41. Санжаровская М. И. Обзор состояния и перспектив развития рынка топливных брикетов в России и за рубежом [Экономическая эффективность получения и применения топливных брикетов из растительных и древесных отходов, торфа при использовании установки для брикетирования УБО-2] // Инженерно-техническое обеспечение АПК: Реферативный журнал. 2008. № 4. С. 947.
42. СанПиН 2.1.3684-21 Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий / Главный государственный санитарный врач Российской Федерации. 2021. 13 с.
43. Свиридова О. В., Воробьев Н. И., Петров В. Б. Микробиологическая деструкция древесных отходов и вовлечение лигнинсодержащих компонентов в агроэкосистему // Постгеномная эра в биологии и проблемы биотехнологии: Материалы науч. конф. М.: МАКС Пресс, 2004. С. 11—15.
44. СП 155.13130.2014 Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности (с изм. № 1) / Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. М.: МЧС России, 2014. 41 с.
45. СП 318.1325800.2017 Дороги лесные. Правила эксплуатации / Минстрой России. М.: Стандартинформ, 2018. 45 с.

46. СП 288.1325800.2016 Дороги лесные. Правила проектирования и строительства / Минстрой России. М.: Стандартинформ, 2017. 61 с.
47. Филина Н. А. Исследование сорбционных свойств древесных отходов для сбора нефтепродуктов с последующей утилизацией их в виде топливных брикетов: специальность 03.02.08 — Экология (химия и нефтехимия): Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 2011. 23 с.
48. Царев Е. М., Рукомойников К. П., Анисимов С. Е., Капитонова Ю. А. Анализ вариантов и поиск альтернативных решений выработки окорённых сортиментов с повышением экологической эффективности утилизации отходов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2021. № 2. С. 64—72. DOI: 10.25686/2542-114X.2021.2.64.03.02.08.

References

1. Bialobrzewski I., Miks-Krajnik M., Dach J., Markowski M., Czekala W., Gluchowska K. Model of the sewage sludge-straw composting process integrating different heat generation capacities of mesophilic and thermophilic microorganisms. *Waste Manage*, 2015, no 43, pp. 72—83.
2. Chaillan F., Chaineau C. H., Point V., Saliot A., Outdot J. Factors inhibiting bioremediation of soil contaminated with weathered oils and drill cuttings. *Environmental Pollution*, 2006, vol. 144, no 1, pp. 255—265.
3. Fan W., Yang Y. S., Du X. Q., Lu Y., Yang M. X. Finger-printing biodegradation of petroleum contamination in shallow groundwater and soil system using hydrobiogeochemical markers and modeling support. *Water, Air & Soil Pollution*, 2011, vol. 220, no 1—4, pp. 253—263.
4. Kulikowska D. Kinetics of organic matter removal and humification progress during sewage sludge composting. *Waste Manage*, 2016, No 49, pp. 196—203.
5. Xiu-lan Z., Bi-qiong L., Jiu-pai N. I., De-ti X. I. E. Effect of four crop straws on transformation of organic matter during sewage sludge composting. *Integr. Agric*, 2016, no 15, pp. 232—240.
6. Watson J. S., Jones D. M., Swannell R. P. J., Duin A. C. T., van. Formation of carboxylic acids during aerobic biodegradation of crude oil and evidence of microbial oxidation of hopanes. *Organic Geochemistry*, 2002, vol. 33, no 10, pp. 1153—1169.
7. Zhang H., Li C., Li G., Zang B., Yang Q. Effect of spent air reusing (SAR) on maturity and greenhouse gas emissions during municipal solid waste MSW composting with different pile height // *Procedia Environ. Sci*, 2012, no 16, pp. 59—69.
8. Ayukaev R. I., Grafova E. O. Engineering solutions for environmental safety during the reconstruction of roads in the North-West within the boundaries of water protection zones. *Scientific Notes of Petrozavodsk State University*, 2010, no 6 (111), pp. 49—54. (In Russ.)
9. Bertenev I. M., Drapalyuk M. V. Reducing the harmful effects of forest tractors and logging machines on the soil and plantations. *Forestry journal*, 2012, no 1 (5), pp. 61—66. (In Russ.)
10. Venitsianov E. V., Grafova E. O., Ayukaev R. I., Chudnova T. A. Multilayer sorption filters to protect water protection zones of highways from pollution. *Water: chemistry and ecology*, 2012, no 12(54), pp. 32—41. (In Russ.)
11. Vinokurov K. I., Krestyaninova A. Yu. Local treatment facilities for surface runoff on highways and bridge crossings. *Ecology and construction*, 2019, no 4, pp. 42—52, doi: 10.35688/2413-8452-2019-04-005. (In Russ.)
12. Galaktionov O. N., Piskunov M. A., Bezlatny P. V. Evaluation of the efficiency of using logging waste for the construction of skidding trails. *Bulletin of the St. Petersburg Forestry Academy*, 2008, no 185, pp. 86—93. (In Russ.)
13. Gerasimov Y. Y., Katarov V. K. *Forest roads*. Joensuu, Publishing house of the Research Institute of Finnish Forests, 2009. 70 p. (In Russ.)

14. Gerasimov Y. Y., Syuney V. S. *Cutting machines for thinning: Computer decision-making system*. Petrozavodsk, Publishing house of PetrSU, 1998. 236 p. (In Russ.)
15. Gerasimov Y. Y., Syuney V. S. *Ecological optimization of technological processes and machines for logging*. Joensuu, Publishing House of the University of Joensuu, 1998. 178 p. (In Russ.)
16. Hertz E. F. *Assessment of the technology of forest use in logging operations*. Yekaterinburg, Ed. Ural state Forestry University, 2003. 219 p. (In Russ.)
17. Grafova E. O., Parshin N. V. Research of methods of treatment of sewage sludge from Petrozavodsk treatment facilities. *Resources and Technology*, 2019, vol. 16, no 4, pp. 94—118, doi: 10.15393/j2.art.2019.5042. (In Russ.)
18. Grigorieva L. D., Akimenko N. Yu. Application of local treatment facilities for surface runoff of various companies. *Far East: problems of development of the architectural and construction complex*, 2019, vol. 1, no 2, pp. 306—309. (In Russ.)
19. Dietrikh V. I., Andriyas A. A., Perezhilin A. I., Korpachev V. P. Assessment of volumes and possible ways of using logging wastes on the example of the Krasnoyarsk Territory. *Coniferous boreal zones. Siberian state University of Science and Technology. acad. M. F. Reshetnev*. 2010, vol. 27, no 3-4, pp. 346—351 (In Russ.)
20. Drugov Yu. S., Rodin A. A. *Ecological analyzes during oil and oil products spills: a practical guide*. 2nd ed., Rev. and add. Moscow, Binom. Lab. knowledge, 2007. 270 p. (Series: Methods in Chemistry). (In Russ.)
21. Evstigneev V. D., Grafova E. O. Prospects for the use of wood waste to ensure the environmental safety of logging enterprises. *Resources and Technology*, 2016, vol. 13, no 3, pp. 63—70, doi: 10.15393/j2.art.2016.3341. (In Russ.)
22. Zamotaev I. V., Ivanov I. V., Mikheev P. V., Belobrov V. P. Assessment of the state of soils and vegetation in the areas of landfills and solid waste landfills (review). *Soil Science*, 2018, no 7, pp. 907—924, doi: 10.1134/S0032180X18070109. (In Russ.)
23. Katarov V. K. *Justification of the applicability of technological processes of logging operations according to the degree of impact of the path of primary transport of timber: specialty 05.21.01 —Technology and machines for logging and forestry: Abstract of the thesis. Dissertation of Cand. of Engineering Scs*. Petrozavodsk, 2009. 20 p. (In Russ.)
24. Kislitsyn S. N., Shitova I. Yu. *Methods for processing waste woodworking industry: textbook. Allowance*. Penza, PGUAS, 2016. 140 p. (In Russ.)
25. Kireeva N. A., Galimzyanova N. F. *Influence of soil pollution by oil and oil products on the number and species composition of micromycetes*. *Soil science*. Moscow: Science, 1995, no 2. 211 p. (In Russ.)
26. Kolnichenko G. I., Tarlakov J. V. Fuel from woody biomass in distributed energy conditions. *New in the Russian electric power industry*, 2020, no 7, pp. 29—37. (In Russ.)
27. Kuryanov V. K., Skrypnikov A. V., Ryabova O. V. Impact of the road construction industry on the environment in the Voronezh region. *Forestry in the low-forest zone of Russia in the transition period to the market: materials of the regional scientific-practical conference, Voronezh, May 15, 2000*. Voronezh, 2000, pp. 86—89. (In Russ.)
28. Forest Code of the Russian Federation (as amended on July 2, 2021, as amended on September 1, 2021) 200-FZ. State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation, 2006. 102 p. (In Russ.)
29. Mayorova L. P., Ryabukhin P. B., Meleshko M. A. Assessment of atmospheric air pollution in the process of logging. *Bulletin of KrasGAU*, 2007, no 4, pp. 86—91. (In Russ.)
30. Morozova E. V. Accounting for the impact of logging on the environment. *Economics and efficiency of production organization*, 2008, no 9, pp. 185—190. (In Russ.)

31. Mokhirev A. P., Bezrukikh Yu. A., Medvedev S. O. Processing of wood waste from forestry enterprises as a factor of sustainable environmental management. *Engineering Bulletin of the Don — North Caucasian Scientific Center of the Higher School of the Southern Federal University*, 2015, no 2 (part 2), 13 p. (In Russ.)
32. Nazarov V. D., Nazarov M. V., Khakimova G. F. Purification of surface runoff from highways. *Science and technology in the road industry*, 2018, no 4 (86), pp. 29—33. (In Russ.)
33. Manual on the ecology of forestry. Finnish Forest Service. 2007. 42 p. (In Russ.)
34. On approval of the Accounting Procedure in the field of waste management. Order of the Ministry of Natural Resources of Russia (Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation), no 1028. 2020. (In Russ.)
35. On environmental protection (as amended on July 2, 2021) 7-FZ. State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation. 2002. 89 p. (In Russ.)
36. Order of Rosprirodnadzor dated 22.05.2017 no 242 (as amended on 02.11.2018) «On approval of the Federal classification catalog of waste» (as amended and supplemented, entered into force on 04.10.2021). Ministry of Natural Resources of the Russian Federation. 2021. (In Russ.)
37. Pitukhin A. V., Syuney V. S. Minimization of technogenic impact on the forest environment in the process of logging. *Fundamental research*, 2005, no 9, pp. 116—120. (In Russ.)
38. Putilina V. S., Galitskaya I. V., Yuganova T. I. Transformation of oil and oil products in soils, rocks, groundwater. Pollution, infiltration, migration, degradation. Metabolites. *Ecology. A series of analytical reviews of world literature*, 2019, no 108, pp. 1—112. (In Russ.)
39. Recommendations for felling in the protective forests of Karelia. Ed. KarRC RAS, 2015. 29 p. (In Russ.)
40. Rodionov A. V. Cutting and forest restoration based on resource-saving technology. Moscow, Science, 2006. 276 p. (In Russ.)
41. Sanzharovskaya M. I. Review of the state and development prospects of the market of fuel briquettes in Russia and abroad [Economic efficiency of obtaining and using fuel briquettes from plant and wood waste, peat when using the unit for briquetting UBO-2]. *Engineering and technical support of the agro-industrial complex. Abstract journal*, 2008, no 4, p. 947. (In Russ.)
42. SanPiN 2.1.3684-21 Sanitary and epidemiological requirements for the maintenance of the territories of urban and rural settlements, for water bodies, drinking water and drinking water supply, atmospheric air, soils, living quarters, the operation of industrial, public premises, the organization and implementation of sanitary and anti-epidemic (preventive) events. Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation. 2021. 13 p. (In Russ.)
43. Sviridova O. V., Vorobiev N. I., Petrov V. B. Microbiological destruction of wood waste and the involvement of lignin-containing components in the agroecosystem. *Post-genomic era in biology and problems of biotechnology: Proceedings of scientific. Conf.* Moscow, MAKSPress, 2004, pp. 11—15. (In Russ.)
44. SP 155.13130.2014 Warehouses of oil and oil products. Fire safety requirements (with Amendment no 1). Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters. Moscow, EMERCOM of Russia, 2014. 41 p. (In Russ.)
45. SP 318.1325800.2017 Forest roads. Operating rules. Ministry of Construction of Russia Moscow, Standartinform, 2018. 45 p. (In Russ.)
46. SP 288.1325800.2016 Forest roads. Design and construction rules. Ministry of Construction of Russia. Moscow, Standartinform, 2017. 61 p. (In Russ.)
47. Filina N. A. *Investigation of the sorption properties of wood waste for the collection of oil products with their subsequent disposal in the form of fuel briquettes: specialty 03.02.08 —*

Ecology (chemistry and petrochemistry): Author. for a job. uch. step. Cand. tech. Sciences. Penza, 2011. 23 p. (In Russ.)

48. Tsarev E. M., Rukomoinikov K. P., Anisimov S. E., Kapitonova Yu. A. Analysis of options and the search for alternative solutions for the development of debarked assortments with an increase in the environmental efficiency of waste disposal. *Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Materials. Constructions. Technologies*, 2021, no 2, pp. 64—72. doi: 10.25686/2542-114X.2021.2.64.03.02.08 (In Russ.)

© Сюнёв В. С., Графова Е. О., 2022

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6023

УДК 630*307

Статья

Математическая модель рабочих процессов бесчokerного трелёвочного захвата с энергосберегающим гидроприводом

Юдин Роман Викторович

кандидат технических наук, доцент, Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова (Российская Федерация), romanyudin1@yandex.ru

Попиков Пётр Иванович

доктор технических наук, профессор, Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова (Российская Федерация), porikovpetr@yandex.ru

Усков Владимир Игоревич

кандидат физико-математических наук, старший преподаватель, Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова (Российская Федерация), vum1@yandex.ru

Платонов Алексей Александрович

кандидат технических наук, доцент, Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова (Российская Федерация), raa7@rambler.ru

Попиков Виктор Петрович

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

Канищев Денис Александрович

инженер-конструктор 1-й категории, филиал АО «Верофарм» (группа Abbott) в г. Воронеже (Российская Федерация), deniskanischeff@yandex.ru

Получена: 15 ноября 2021 / Принята: 14 марта 2022 / Опубликовано: 19 марта 2022

Аннотация: При рубках ухода за лесом в лесостепной зоне России нередко применяются бесчokerные трелёвочные устройства в агрегате с колёсными сельскохозяйственными тракторами. При этом во время движения трактора с вышеозначенным агрегатом по неровностям рельефа на вырубках зачастую

возникают негативные колебания, которые вызывают скачки рабочей жидкости в гидросистеме, и общие высокие динамические нагрузки, снижающие, в свою очередь, надёжность как технологического оборудования, так и тягового агрегата. Одним из вариантов снижения динамических нагрузок и энергозатрат является применение энергосберегающего (рекуперативного) гидравлического привода с гидроаккумулятором. Целью исследования является разработка нового бесчокерного трелёвочного захвата и математической модели, учитывающей внешние и внутренние силы, действующие на трелюемую пачку древесины, а также параметров энергосберегающего гидропривода, позволяющего обеспечить снижение динамической нагруженности и энергоёмкости рабочих процессов. Авторами статьи предложена новая конструктивно-технологическая схема бесчокерного трелёвочного захвата с энергосберегающим гидроприводом, защищённая патентом Российской Федерации на изобретение. Представлена математическая модель, учитывающая не только внешние и внутренние силы, действующие на трелюемую пачку древесины, но также и параметры энергосберегающего гидравлического привода. Рассмотрены рабочие процессы захвата вместе с пачкой древесины при переходных режимах разгона и торможения, которые описаны уравнением движения поршня гидроцилиндра рекуперации и уравнением расхода рабочей жидкости гидроцилиндра рекуперации с учётом перетечек в гидроаккумулятор при давлении выше предварительной зарядки. Рассмотрена задача Коши для нелинейной системы дифференциальных уравнений движения трелёвочного захвата с энергосберегающим гидроприводом. Получены теоретические временные зависимости давления рабочей жидкости и хода штока гидроцилиндра рекуперации, адекватность которых подтверждены результатами экспериментальных исследований на действующем лабораторном стенде бесчокерного захвата с энергосберегающим гидроприводом, со следующими проектными параметрами: давление предварительной зарядки гидроаккумулятора 5 МПа; рабочий объём гидроаккумулятора $0,005 \text{ м}^3$; диаметр поршня гидроцилиндра 0,1 м; диаметр штока гидроцилиндра 0,04 м. Установлено, что система рекуперации энергии трелёвочного захвата снижает всплески давления рабочей жидкости при переходных процессах в 1,4—1,7 раза и позволяет запасать мощность в пределах 1,7—2,1 кВт.

Ключевые слова: математическая модель, энергосберегающий гидропривод, бесчокерный захват, трелёвка, рекуперация, гидроаккумулятор, пачка древесины

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6023

Article

Mathematical model of working processes of a chokerless hauling grip with an energy-saving hydraulic drive

Roman Yudin

Ph. D. in engineering, associate professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov (Russian Federation), romanyudin1@yandex.ru

Petr Popikov

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

Vladimir Uskov

Ph. D. in physics and mathematics, senior lecturer, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov (Russian Federation), vum1@yandex.ru

Alexey Platonov

Ph. D. in engineering, associate professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov (Russian Federation), paa7@rambler.ru

Victor Popikov

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

Denis Kanishchev

engineer, branch of JSC «Veropharm» (Abbott group) in Voronezh (Russian Federation), deniskanischeff@yandex.ru

Received: 15 November 2021 / Accepted: 14 March 2022 / Published: 19 March 2022

Abstract: Chokerless hauling devices are often used in combination with wheeled agricultural tractors for thinning operations in the forest-steppe zone of Russia. Negative fluctuations often occur during the movement of the tractor with the above-mentioned unit along uneven terrain in clearings. They cause jumps in the working fluid in the hydraulic system and general high dynamic loads, which in turn reduce the reliability of both technological equipment and the traction unit. One of the options for reducing dynamic loads and energy consumption is the use of an energy-saving (recuperative) hydraulic drive with a hydraulic accumulator. The aim of the study was to develop a

new chokerless hauling grip and a mathematical model that took into account external and internal forces acting on a skidded bundle of wood, as well as the parameters of an energy-saving hydraulic drive that allowed reducing the dynamic loading and energy intensity of work processes. The authors of the article proposed a new design and technological scheme for a chokerless hauling grip with an energy-saving hydraulic drive, protected by a patent of the Russian Federation for an invention. A mathematical model is presented that takes into account not only the external and internal forces acting on the skidding pack of wood, but also the parameters of an energy-saving hydraulic drive. The working processes of gripping together with a pack of wood during transient acceleration and deceleration modes are described by the equation of motion of the recuperation hydraulic cylinder piston and by the equation of the hydraulic fluid consumption of the recuperation hydraulic cylinder, taking into account leakages into the accumulator at a pressure higher than the pre-charge one. The Cauchy problem for a nonlinear system of differential equations of a hauling grip motion with an energy-saving hydraulic drive was considered. Theoretical time dependences of the working fluid pressure and the stroke of the recuperation hydraulic cylinder were obtained, their adequacy was confirmed by the results of experimental studies on an operating laboratory stand for a chokerless gripper with an energy-saving hydraulic drive with the following design parameters: hydraulic accumulator pre-charge pressure 5 MPa; hydraulic accumulator working volume 0.005 m³; hydraulic cylinder piston diameter 0.1 m; hydraulic cylinder rod diameter 0.04 m. It has been established that the energy recovery system of the hauling grip reduced bursts of the working fluid pressure during transient processes by 1.4...1.7 times and allowed reserving power in the range of 1.7 ... 2.1 kW.

Keywords: mathematical model, energy-saving hydraulic drive, chokerless gripper, hauling, recuperation, hydraulic accumulator, timber stack

1. Введение

В настоящее время в России и в большинстве зарубежных стран применяется сортиментная технология заготовки древесины с использованием форвардеров и харвестеров. В России в основном применяются дорогие форвардеры тяжёлой серии на сплошных рубках. Грузоподъёмность форвардеров этой группы составляет 16—21 т [1]. При рубках ухода за лесом в лесостепной зоне РФ применяются бесчokerные трелёвочные устройства типа ПТН-0,8 в агрегате с колёсными сельскохозяйственными тракторами. Во время трелёвки сортиментов по неровностям рельефа возникают большие динамические нагрузки, которые приводят к снижению надёжности гидропривода технологического оборудования и производительности агрегата [2].

Анализ многих исследований отечественных и зарубежных специалистов показывает, что в основе рационализации должен лежать оптимальный выбор технологий и применяемых лесных машин [3—7]. В настоящее время почти все лесные машины оснащены гидравлическим оборудованием, поэтому повышение эксплуатационных характеристик гидропривода в целом позволит повысить эффективность и производительность лесных машин. Одним из вариантов снижения динамических нагрузок и энергозатрат является применение энергосберегающего (рекуперативного) гидропривода с гидроаккумулятором [8]. В настоящее время рекуперативный гидропривод с аккумулятором применяется в машинах циклического действия, манипуляторах, автокранах, экскаваторах. В лесном хозяйстве проведены исследования рекуперации гидравлической энергии в тягово-сцепном устройстве лесовозного автомобиля с прицепом [9—11].

Известные на данный момент теоретические и экспериментальные исследования рабочих процессов лесных машин, использующих в своей конструкции энергосберегающий гидропривод технологического оборудования, недостаточно полно описывают динамику процессов, возникающих в гидросистеме при взаимодействии трелёвочных захватов с пачкой древесины. Поэтому необходимо проведение теоретических и экспериментальных исследований новых конструкций трелёвочных захватов с энергосберегающим гидроприводом, позволяющих повысить эффективность рабочих процессов.

Целью исследования является разработка нового бесчokerного трелёвочного захвата и математической модели, учитывающей внешние и внутренние силы, действующие на трелюемую пачку древесины, а также параметров энергосберегающего гидропривода, позволяющего обеспечить снижение динамической нагруженности и энергоёмкости рабочих процессов.

2. Материалы и методы

В качестве объекта исследования нами был выбран бесчokerный захват трелёвочный ПТН-0,8 в агрегате с трактором МТЗ-82, для усовершенствования которого разработана новая конструктивно-технологическая схема устройства для бесчokerной трелёвки леса

с энергосберегающим гидроприводом, защищённая патентом на изобретение [12]. На основе патента разработана расчётная схема бесчокерного захвата с энергосберегающим гидроприводом, который отделён от трактора вместе с пачкой по сферическому шарниру на подвижной раме 6 (рисунок 1). Во время трелёвки пачки брёвен 8 бесчокерным захватом 7 с энергосберегающим гидроприводом в агрегате с колёсным трактором при движении по неровностям рельефа 9 возникают колебания пачки брёвен и переходные процессы разгона и торможения в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Рабочая жидкость из полостей гидроцилиндра рекуперации 5 при колебаниях пачки брёвен 8 поочерёдно вытесняется в гидроаккумулятор 1 через напорные обратные клапаны 2, а через всасывающие обратные клапаны 3 рабочая жидкость из гидробака 4 поступает в полости гидроцилиндра, в которых создаётся разрежение.

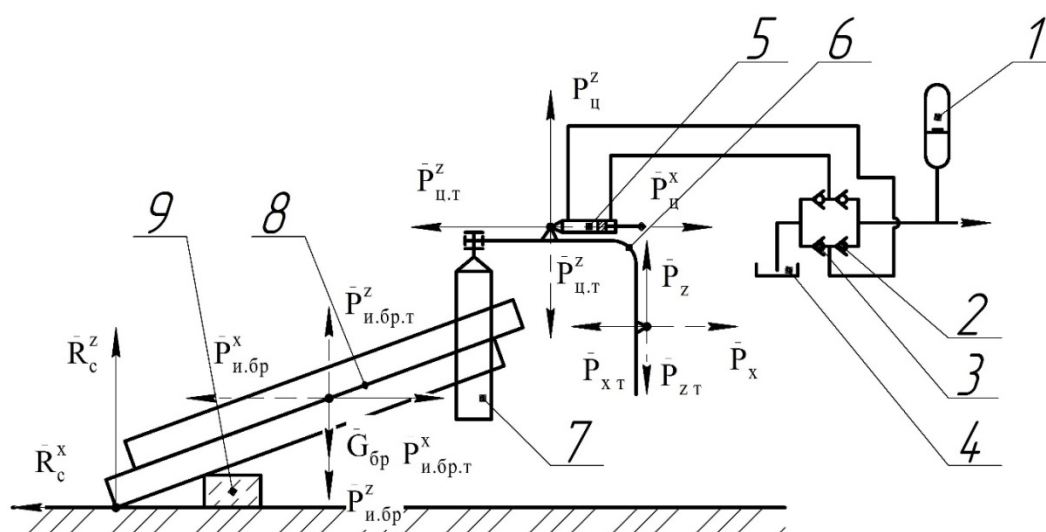


Рисунок 1. Расчётная схема бесчокерного захвата с энергосберегающим гидроприводом

Figure 1. Design diagram of a chokerless gripper with an energy-saving hydraulic drive

Рассмотрим рабочие процессы захвата вместе с пачкой при переходных режимах разгона и торможения, которые можно описать уравнением движения поршня гидроцилиндра рекуперации и уравнением расхода рабочей жидкости гидроцилиндра рекуперации с учётом перетечек в гидроаккумулятор при давлении выше предварительной зарядки. Поскольку система дифференциальных уравнений нелинейная, то решение может быть получено только в приближённом виде, в виде совокупности точек на заданном отрезке.

3. Результаты

Рассматривается задача Коши на $(0; t_{\max})$, где t_{\max} — конечная точка для нелинейной системы дифференциальных уравнений движения захвата с пачкой брёвен:

$$m_{\delta p} \frac{d^2 x}{dt^2} = pS + P_x - R_c^x, \quad (1)$$

$$S \frac{dx}{dt} = k\sqrt{|p - p_0|} + \frac{V_0}{E_{np}} \cdot \frac{dp}{dt}, \quad (2)$$

$$x(0) = x_0, \quad x'(0) = x_1, \quad p(0) = p_0, \quad (3)$$

где $m_{\delta p}$ — масса пачки брёвен в захвате, кг; S — рабочая площадь поршня гидроцилиндра рекуперации энергии, м²; p — давление жидкости в гидроприводе, Па; P_x — горизонтальная составляющая силы тяги, Н; R_c^x — горизонтальная составляющая силы сопротивления волочению пакета брёвен, Н; k — коэффициент дросселирования рабочей жидкости в гидролинии между гидроцилиндром рекуперации и гидроаккумулятором, м³·с·Па^{-1/2}; p_0 — давление предварительной зарядки гидроаккумулятора, Па; V_0 — рабочий объём гидроаккумулятора, м³; E_{np} — приведённый модуль упругости, Па.

В данной формуле введём обозначения.

В обозначениях $\alpha = S$, $\beta = \frac{V_0}{E_{np}}$, $F_c = P_x - R_c^x$ перепишем систему (1), (2):

$$m_{\delta p} \frac{d^2 x}{dt^2} = \alpha p - F_c, \quad (4)$$

$$\alpha \frac{dx}{dt} = k\sqrt{|p - p_0|} + \beta \frac{dp}{dt}. \quad (5)$$

Аппроксимируем производные их разностными аналогами. Для этого разобьём отрезок $(0; t_{max})$ точками t_i с шагом h : $t_{i+1} = t_i + h$, $i = 0, 1, \dots, n-1$, с $h = \frac{t_{max}-0}{n} = \frac{t_{max}}{n}$. Обозначив $x_i = x(t_i)$, $p_i = p(t_i)$, получим:

$$\frac{dx}{dt} \approx \frac{x_{i+1} - x_i}{h}; \quad \frac{d^2 x}{dt^2} \approx \frac{x_{i+2} - 2x_{i+1} + x_i}{h^2}; \quad \frac{dp}{dt} \approx \frac{p_{i+1} - p_i}{h}. \quad (6)$$

Замечание 1. Чем больше количество n точек разбиения отрезка, тем h ближе к 0, следовательно, аппроксимации производных точнее.

Подставим формулу (6) в систему:

$$m_{\delta p} \frac{x_{i+2} - 2x_{i+1} + x_i}{h^2} = \alpha p_i - F_c, \quad (7)$$

$$\alpha \frac{x_{i+1} - x_i}{h} = k\sqrt{|p_i - p_0|} + \beta \frac{p_{i+1} - p_i}{h}. \quad (8)$$

Преобразуем соотношение (7). Умножив его на h^2 и выделив старший член x_{i+2} , получим:

$$m_{\delta p} x_{i+2} = 2m_{\delta p} x_{i+1} - m_{\delta p} x_i + \alpha h^2 p_i - h^2 F_c. \quad (9)$$

Теперь преобразуем соотношение (8). Умножив его на h и перенеся слагаемое в левой части вправо, получим:

$$0 = -\alpha x_{i+1} + \beta p_{i+1} + \alpha x_i + kh\sqrt{|p_i - p_0|} - \beta p_i. \quad (10)$$

Дополнив соотношения (9), (10) недостающими слагаемыми с нулевыми коэффициентами, запишем эту систему в векторном виде:

$$Ay_{i+2} = By_{i+1} + F_i \quad (11)$$

с искомым вектором:

$$y_i = \begin{pmatrix} x_i \\ p_i \end{pmatrix}, \quad (12)$$

операторами:

$$A = \begin{pmatrix} m_{\delta p} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 2m_{\delta p} & 0 \\ -\alpha & \beta \end{pmatrix} \quad (13)$$

и вектором:

$$F_i = \begin{pmatrix} -m_{\delta p}x_i + \alpha h^2 p_i - h^2 R_c^x \\ \alpha x_i + kh\sqrt{|p_i - p_0|} - \beta p_i \end{pmatrix} \quad (14)$$

Дополнительно введём условие:

$$p'(0) = p_1. \quad (15)$$

Замечание 2. В постановке исходной задачи это условие не нужно: оно участвует в определении условия существования решения задачи для «восстановленной» системы (11).

Для соотношения (11) получим начальный вектор:

$$y_0 = \begin{pmatrix} x_0 \\ p_0 \end{pmatrix}, \quad y_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ p_1 \end{pmatrix} \quad (16)$$

3.1. Об операторе $A = \begin{pmatrix} m_{\delta p} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$

Теорема 1. Оператор A линейный фредгольмов с нулевым индексом.

Доказательство. Линейность оператора очевидна. Докажем, что он фредгольмов с нулевым индексом (далее — фредгольмов). В соответствии с публикацией [13]

$$\text{er } A = \left\{ \begin{pmatrix} 0 \\ v_2 \end{pmatrix} \right\}, \quad \text{Coim } A = \left\{ \begin{pmatrix} v_1 \\ 0 \end{pmatrix} \right\}, \quad \text{Im } A = \left\{ \begin{pmatrix} w_1 \\ 0 \end{pmatrix} \right\}, \quad \text{Coker } A = \left\{ \begin{pmatrix} 0 \\ w_2 \end{pmatrix} \right\}. \quad (17)$$

$$Q = P = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (18)$$

Вычислим элементы $e \in \text{Ker } A$, $\varphi \in \text{Ker } A$:

$$e = \varphi = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (19)$$

Нетрудно видеть, что $\dim \text{Ker } A = \dim \text{Coker } A = 1$. Из решения уравнений $V_1 = V_2$, $W_1 = W_2$ с элементами $V_1 \in \text{Ker } A$, $V_2 \in \text{Coim } A$, $W_1 \in \text{Im } A$, $W_2 \in \text{Coker } A$ вытекает, что $\text{Ker } A \cap \text{Coim } A = \{0\}$, $\text{Im } A \cap \text{Coker } A = \{0\}$.

Между $\text{Coim } A$ и $\text{Im } A$ существует взаимно однозначное соответствие, что следует из уравнения $AV_2 = W_1$ и

$$A^{-} = \begin{pmatrix} m_{\delta p}^{-1} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (20)$$

Всё это вместе и означает выполнение условий теоремы. Теорема доказана.

3.2. Регуляризация соотношения (11) при A, B, F_i — произвольные

Пусть A — линейный фредгольмов оператор, действующий из банахова пространства E_1 в банахово пространство E_2 . Рассматривается случай обладания им одномерным ядром. Скалярное произведение $\langle \cdot, \cdot \rangle$ в $\text{Сокер } A$ вводится так, чтобы

$$\langle \varphi, \varphi \rangle = 1. \quad (21)$$

Лемма 1. В соответствии с данными работы [14] линейное уравнение

$$Av = w, \quad v \in E_1 \cap \text{dom } A, \quad w \in E_2 \quad (22)$$

равносильно системе

$$\begin{cases} v = A^{-}w + c \cdot e & \text{для любых } c \in \mathbb{C} \\ \langle Qw, \varphi \rangle = 0 \end{cases}. \quad (23)$$

Для соотношения (11) используем метод декомпозиции, использованный в работе [8]. Это соотношение, как равенство вида, равносильно системе

$$y_{i+2} = A^{-}By_{i+1} + A^{-}F_i + c_i \cdot e \quad (24)$$

$$\langle QBy_{i+1}, \varphi \rangle + \langle QF_i, \varphi \rangle = 0, \quad (25)$$

где последовательность c_i надлежит вычислить.

Пусть выполнено следующее условие.

Условие 1. Выражение $\langle QF_i, \varphi \rangle$ определено при всех $i = 0, 1, \dots, n + 1$.

В равенстве (25) заменим i на $i + 1$:

$$\langle QBy_{i+2}, \varphi \rangle + \langle QF_{i+1}, \varphi \rangle = 0 \quad (26)$$

и вместо y_{i+2} подставим выражение (24):

$$\langle QBA^{-}By_{i+1}, \varphi \rangle + \langle QBA^{-}F_i, \varphi \rangle + c_i \langle QBe, \varphi \rangle + \langle QF_{i+1}, \varphi \rangle = 0. \quad (27)$$

Пусть выполнено следующее условие 2:

$$d \stackrel{\text{des}}{=} \langle QBe, \varphi \rangle \neq 0. \quad (28)$$

Тогда из выражения (27), выразив c_i и подставив в формулу (24), получим соотношение

$$y_{i+2} = Ky_{i+1} + \Phi_i \quad (29)$$

в обозначениях:

$$K(\cdot) = A^{-}B(\cdot) - d^{-1} \langle QBA^{-}B(\cdot), \varphi \rangle e, \quad (30)$$

$$\Phi_i = A^- F_i - d^{-1}(< QBA^- F_i, \varphi > + < QF_{i+1}, \varphi >)e. \quad (31)$$

Тем самым получено следующее утверждение.

Лемма 2. Пусть выполнены условия 1, 2. Тогда соотношение (11) равносильно выражению (29) и равенству (25).

Теперь рассмотрим задачу (11) с заданными начальными значениями y_0, y_1 .

Из леммы 2 вытекает следующий результат.

Теорема 2. Пусть выполнены условия 1, 2. Тогда начальная задача для соотношения (11) имеет решение при выполнении условия

$$< QBy_1, \varphi > + < QF_0, \varphi > = 0. \quad (32)$$

Это условие вытекает из выражения (25) при $i = 0$.

3.3. Решение задачи (1), (2), (3)

Для решения задачи воспользуемся полученными выше результатами. Вычисления показывают следующее. Условия 1, 2 выполнены:

$$d = < QBe, \varphi > = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ -\alpha & \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} > = \beta \neq 0, \quad (33)$$

т. к. $V_0 \neq 0$. Далее:

$$Ky_{i+1} = \begin{pmatrix} 2x_{i+1} \\ \frac{2\alpha}{\beta} x_{i+1} \end{pmatrix} \quad (34)$$

$$\Phi_i = \begin{pmatrix} -x_i + m_{\delta p}^{-1} \cdot \alpha \cdot h^2 \cdot p_i - m_{\delta p}^{-1} \cdot h^2 \cdot R_c^x \\ -\frac{\alpha \cdot x_i}{\beta} + \frac{m_{\delta p}^{-1} \cdot \alpha^2 \cdot h^2 \cdot p_i}{\beta} - \frac{\alpha \cdot m_{\delta p}^{-1} \cdot h^2 \cdot R_c^x}{\beta} - \frac{\alpha \cdot x_{i+1}}{\beta} - \frac{k \cdot h \cdot \sqrt{|p_{i+1} - p_0|}}{\beta} + p_{i+1} \end{pmatrix} \quad (35)$$

Таким образом, регуляризованная система для выражения (11) после перестановки слагаемых во втором соотношении имеет вид:

$$x_{i+2} = 2 \cdot x_{i+1} - x_i + \frac{\alpha}{m_{\delta p}} \cdot h^2 \cdot p_i - \frac{1}{m_{\delta p}} \cdot h^2 \cdot Fc. \quad (36)$$

$$p_{i+2} = p_{i+1} - \frac{k \cdot h \cdot \sqrt{|p_{i+1} - p_0|}}{\beta} + \frac{\alpha^2}{m_{\delta p} \cdot \beta} \cdot h^2 \cdot p_i + \frac{\alpha}{\beta} \cdot (x_{i+1} - x_i) - \frac{\alpha}{m_{\delta p} \cdot \beta} \cdot h^2 \cdot R_c^x, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n-2, \quad (37)$$

где $\alpha = S$, $\beta = \frac{V_0}{E_{np}}$.

Вычислим значение p_1 из равенства (32):

$$p_1 = \frac{\alpha}{\beta} \cdot (x_1 - x_0) + p_0. \quad (38)$$

Решим отдельно линейное рекуррентное соотношение (36) относительно x_i , для чего докажем следующее утверждение.

Лемма 3. Решение x_i линейного рекуррентного соотношения

$$x_{i+2} = 2 \cdot x_{i+1} - x_i + g_i, \quad i = 0, 1, \dots, \quad (39)$$

где g_i — заданная последовательность, равно:

$$x_i = x_0 + (x_1 - x_0) \cdot i + \sum_{j=0}^{i-2} (i - j - 1) \cdot g_j, \quad i = 2, 3, \dots, n. \quad (40)$$

Лемма доказывается непосредственной подстановкой. Таким образом, решение соотношения (36) равно:

$$x_i = x_0 + (x_1 - x_0) \cdot i + \frac{h^2}{m_{\delta p}} \cdot \sum_{j=0}^{i-2} (i - j - 1) \cdot (\alpha \cdot p_j - F_c), \quad (41)$$

где $i = 2, 3, \dots, n$.

Таким образом, решение задачи (1), (2), (3) записывается в виде совокупности значений $x_i = x(t_i)$, $p_i = p(t_i)$ на отрезке $(0; t_{max})$ в точках $t_i = 0 + i \cdot h$ с шагом $h = \frac{t_{max}-0}{n} = \frac{t_{max}}{n}$, где x_i определяются формулой (41), а p_i определяются из итерационного процесса (37), (38), где x_0 , x_1 , p_0 — начальные значения.

Для нахождения символьного вида данной системы можно воспользоваться программой wxMaxima. Предварительные теоретические графики зависимостей от времени давления рабочей жидкости и хода штока гидроцилиндра рекуперации энергии торможения представлены на рисунке 2. Приняты следующие исходные значения параметров энергосберегающего гидропривода p_0 — давление предварительной зарядки гидроаккумулятора, 5 МПа; V_0 — рабочий объём гидроаккумулятора, 0,005 м³; D — диаметр поршня гидроцилиндра, 0,1 м; $d_{шт}$ — диаметр штока гидроцилиндра, 0,04 м.

Решение системы уравнений позволяет получить зависимость положения поршня в гидроцилиндре рекуперации от времени $x(t)$, с учётом которой можно определить среднюю мощность рекуперации N_{Pcp} по формуле

$$N_{Pcp} = \frac{1}{t_{кэ}} \int_0^{t_{кэ}} N_P(t) dt = \frac{d_P}{t_{кэ}} \int_0^{t_{кэ}} \left(\frac{dx(t)}{dt} - v_a \right)^2 dt, \quad (42)$$

где $t_{кэ}$ — длительность компьютерного эксперимента, в течение которого усредняется рекуперированная мощность; $N_P(t)$ — мгновенная рекуперированная мощность; d_P — эффективный коэффициент демпфирования колебаний бесчокерного устройства.

Адекватность математической модели рабочих процессов энергосберегающего гидропривода подтверждена нами в процессе экспериментальных исследований на действующем лабораторном стенде бесчокерного захвата с подключением гидроаккумулятора [15]. В результате проведённых экспериментальных исследований получены осциллограммы зависимости давления рабочей жидкости от времени

и установлено, что система рекуперации энергии снижает всплески давления рабочей жидкости при переходных процессах в 1,4—1,7 раза и позволяет запастись мощностью в пределах 1,7—2,1 кВт.

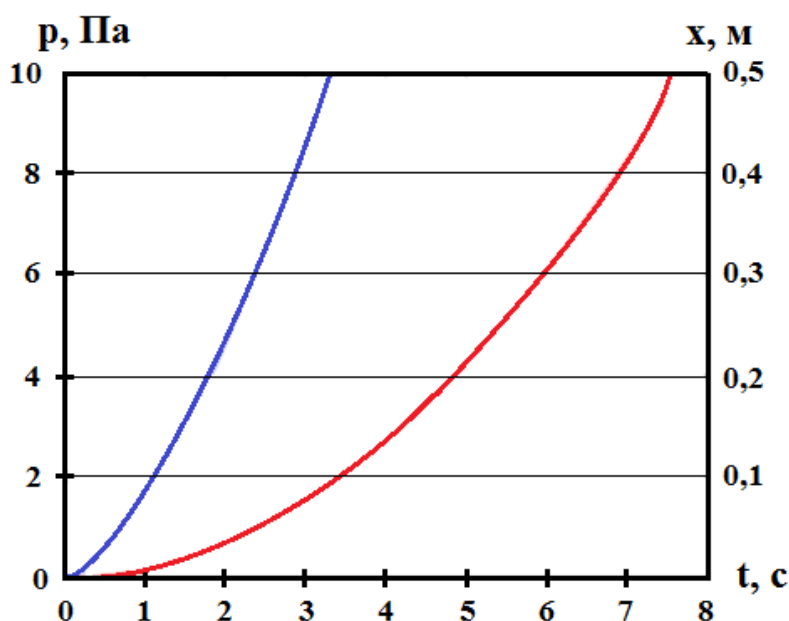


Рисунок 2. Теоретические графики зависимостей от времени давления рабочей жидкости ($p = f(t)$; синяя кривая) и хода штока гидроцилиндра рекуперации энергии торможения ($x = f(t)$; красная кривая)

Figure 2. Theoretical graphs of time dependences of the working fluid pressure (blue curve) and the stroke of the rod of the brake energy recovery hydraulic cylinder (red curve)

4. Обсуждение и заключение

1. Предложена новая конструктивно-технологическая схема бесчокерного трелёвочного захвата с энергосберегающим гидроприводом.

2. Разработана и решена математическая модель рабочих процессов бесчокерного трелёвочного захвата с энергосберегающим гидроприводом, рассмотрена задача Коши для нелинейной системы дифференциальных уравнений движения вышеуказанного захвата.

3. Получены теоретические временные зависимости давления рабочей жидкости и хода штока гидроцилиндра рекуперации, адекватность которых подтверждены результатами экспериментальных исследований на действующем лабораторном стенде бесчокерного захвата с энергосберегающим гидроприводом со следующими проектными параметрами: давление предварительной зарядки гидроаккумулятора 5 МПа; рабочий объём

гидроаккумулятора 0,005 м³; диаметр поршня гидроцилиндра 0,1 м; диаметр штока гидроцилиндра 0,04 м. Установлено, что система рекуперации энергии трелёвочного захвата снижает всплески давления рабочей жидкости при переходных процессах в 1,4—1,7 раза и позволяет запасать мощность в пределах 1,7—2,1 кВт.

Список литературы

1. Бухтояров Л. Д., Абрамов В. В., Просужих А. А., Рудов С. Е., Куницкая О. А., Григорьев И. В. Анализ конструкций и технологий работы форвардеров на лесозаготовках // *Resources and Technology*. 2020. Т. 17, № 3. С. 1—35. DOI: 10.15393/j2.art.2020.5283.
2. Попиков П. И., Посметьев В. И., Черных А. С., Канищев Д. А., Посметьев В. В. Обоснование выбора схемы и моделирование устройства для бесчokerной трелёвки леса с энергосберегающим гидроприводом // *Лесотехнический журнал*. 2016. Т. 6, № 4 (24). С. 216—224. DOI: 10.12737/23460.
3. Шегельман И. Р., Будник П. В., Баклагин В. Н. Оценка рейсовой нагрузки лесного трактора как важнейшего фактора проектирования и создания прогрессивных лесных машин // *Современные наукоёмкие технологии*. 2018. № 11. С. 78—83. DOI: 10.17513/snt.37241.
4. Янь Ш. Повышение эффективности деятельности лесопромышленных предприятий на территории Российской Федерации // *Системы. Методы. Технологии*. 2018. № 1 (37). С. 130—135. DOI: 10.18324/2077-5415-2018-1-130-135.
5. Шегельман И. Р., Будник П. В. Особенности оценки расчётной рейсовой нагрузки на antecedentной стадии проектирования бесчokerной трелёвочной системы на основе машинного эксперимента // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2019. № 3 (369). С. 82—96. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.82.
6. Orlovsky L. Time study analyses of skidding with cable-grapple skidder equus 175N // *Logging industry: problems and solutions: Материалы II Международной научно-технической конференции*. Минск, 2021. С. 137—142.
7. Platonov A. A. Modern state of technical means to remove uncontrolled vegetation // *Lesnoy Vestnik. Forestry Bulletin*. 2021. Vol. 25, No 1. P. 115—122. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-1-115-122.
8. Rybak A., Tsibriy I. Simulation of the pump-battery power supply control system based on the unloading machine // *E3S Web of Conferences. Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE-2019*. 2020. P. 01004. DOI: 10.1051/e3sconf/202016401004.
9. Посметьев В. И., Никонов В. О., Посметьев В. В. Компьютерное моделирование рекуперативного тягово-сцепного устройства лесовозного автомобиля с прицепом // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2019. № 4 (370). С. 108—123. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.4.108.
10. Никонов В. О., Посметьев В. И., Яковлев К. А. Рекуперация гидравлической энергии в тягово-сцепном устройстве лесовозного автомобиля с прицепом // *Лесотехнический журнал*. 2018. Т. 8, № 4 (32). С. 230—239. DOI: 10.12737/article_5c1a323b1d0433.96668845.
11. Никонов В. О., Посметьев В. И., Журавлев Р. В. Анализ конструктивных особенностей тягово-сцепных устройств грузовых автомобилей с прицепами // *Воронежский научно-технический вестник*. 2018. Т. 4, № 4 (26). С. 13—24.

12. Патент на изобретение RU 2579776 C1, 10.04.2016. Устройство для бесчокерной трелёвки леса / Посметьев В. И., Попиков П. И., Зеликов В. А., Канищев Д. А., Посметьев В. В. Заявка № 2014147430/13 от 25.11.2014.
13. Зубова С. П., Усков В. И. Асимптотическое решение задачи Коши для уравнения первого порядка с малым параметром в банаховом пространстве. Регулярный случай // Математические заметки. 2018. Т. 103, № 3. С. 392—403. DOI: 10.4213/mzm11199.
14. Баев А. Д., Зубова С. П., Усков В. И. Решение задач для дескрипторных уравнений методом декомпозиции // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Физика. Математика. 2013. № 2. С. 134—140.
15. Попиков П. И., Канищев Д. А., Сутолкин А. В. Результаты экспериментальных исследований рабочих процессов бесчокерного трелёвочного захвата с энергосберегающим гидроприводом // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2020. Т. 8, № 1 (48). С. 123—128. DOI: 10.34220/2308-8877-2020-8-1-123-128.

References

1. Bukhtoyarov L. D., Abramov V. V., Prosuzhikh A. A., Rudov S. E., Kunitskaya O. A., Grigoriev I. V. Analysis of structures and technologies of work of forwarders in logging. *Resources and Technology*, 2020, vol. 17, no 3, pp. 1—35. doi: 10.15393/j2.art.2020.5283. (In Russ.)
2. Popikov P. I., Posmetiev V. I., Chernykh A. S., Kanishchev D. A., Posmetiev V. V. Substantiation of the choice of scheme and modeling of a device for chokerless forest hauling with an energy-saving hydraulic drive. *Lesotechnical journal*, 2016, vol. 6, no 4 (24), pp. 216—224. doi: 10.12737/23460. (In Russ.)
3. Shegelman I. R., Budnik P. V., Baklagin V. N. Evaluation of the trip load of a forest tractor as the most important factor in the design and creation of progressive forest machines. *Modern science-intensive technologies*, 2018, no 11, pp. 78—83. doi: 10.17513/snt.37241. (In Russ.)
4. Yan Sh. Improving the efficiency of timber industry enterprises on the territory of the Russian Federation. *Systems. Methods. Technology*, 2018, no 1 (37), pp. 130—135. doi: 10.18324/2077-5415-2018-1-130-135. (In Russ.)
5. Shegelman I. R., Budnik P. V. Peculiarities of Estimating the Design Trip Load at the Antecedent Stage of Designing a Chokerless Skidding System Based on a Machine Experiment. *Forest journal*, 2019, no 3 (369), pp. 82—96. doi: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.82. (In Russ.)
6. Orlovsky L. Time study analyzes of skidding with cable-grapple skidder equus 175N. *In the collection: Logging industry: problems and solutions. materials of the II International Scientific and Technical Conference*. Minsk, 2021, pp. 137—142. (In Russ.)
7. Platonov A. A. Modern state of technical means to remove uncontrolled vegetation. *Lesnoy Vestnik. Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no 1, pp. 115—122. doi: 10.18698/2542-1468-2021-1-115-122.
8. Rybak A., Tsibriy I. Simulation of the pump-battery power supply control system based on the unloading machine. *In the collection: E3S Web of Conferences. Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE-2019*, 2020, p. 01004. doi: 10.1051/e3sconf/202016401004.
9. Posmet'ev V. I., Nikonov V. O., Posmet'ev V. V. Computer simulation of a recuperative towing device for a logging vehicle with a trailer. *Forest journal*, 2019, no 4 (370), pp. 108—123. doi: 10.17238/issn0536-1036.2019.4.108. (In Russ.)

10. Nikonov V. O., Posmetiev V. I., Yakovlev K. A. Recuperation of hydraulic energy in the towing device of a logging vehicle with a trailer. *Forestry journal*, 2018, vol. 8, no 4 (32), pp. 230—239. doi: 10.12737/article_5c1a323b1d0433.96668845. (In Russ.)
11. Nikonov V. O., Posmetiev V. I., Zhuravlev R. V. Analysis of design features of towing devices for trucks with trailers. *Voronezh Scientific and Technical Bulletin*, 2018, vol. 4, no 4 (26), pp. 13—24 (In Russ.)
12. Posmetiev V. I., Popikov P. I., Zelikov V. A., Kanishchev D. A., Posmetiev V. V. *Device for chokerless skidding of the forest*. Patent for invention RU 2579776 C1, 10.04.2016. Application no 2014147430/13 dated 11/25/2014. (In Russ.)
13. Zubova S. P., Uskov V. I. Asymptotic solution of the Cauchy problem for a first-order equation with a small parameter in a Banach space. Regular case. *Mathematical notes*, 2018, vol. 103, no 3, pp. 392-403. doi: 10.4213/mzm11199. (In Russ.)
14. Baev A. D., Zubova S. P., Uskov V. I. Problem solving for descriptor equations by the decomposition method. *Bulletin of the Voronezh State University. Series: Physics. Maths*, 2013, no 2, pp. 134—140. (In Russ.)
15. Popikov P. I., Kanishchev D. A., Sutolkin A. V. The results of experimental studies of the working processes of a chokerless skidder with an energy-saving hydraulic drive. *Actual directions of scientific research of the 21st century: theory and practice*, 2020, vol. 8, no 1 (48), pp. 123—128. doi: 10.34220/2308-8877-2020-8-1-123-128. (In Russ.)



DOI: 10.15393/j2.art.2022.6063

УДК 630*742

Статья

Мультифункциональное лесное хозяйство или заготовка древесины?

Тебенкова Дарья Николаевна

кандидат биологических наук, ФГБУН Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук (Российская Федерация), tebenkova.dn@gmail.com

Катаев Антон Дмитриевич

научный сотрудник, ФГБУН Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук (Российская Федерация), mcscientistface@gmail.com

Получена: 27 декабря 2021 / Принята: 17 марта 2022 / Опубликовано: 22 марта 2022

Аннотация: Для удовлетворения быстрорастущего спроса на многочисленные экосистемные услуги лесов (ЛЭУ) и для сохранения биоразнообразия необходимо сменить традиционный курс лесного хозяйства России, нацеленный (преимущественно) на заготовку древесины, на мультифункциональный подход, который учитывает критерии не только экономической, но и социальной и экологической устойчивости. Цель данного исследования — оценка важности лесов для людей, ответственности за их состояние и понимания концепции мультифункционального лесного хозяйства. В работе использовался метод количественного исследования с помощью социологического опроса 153 человек. Результаты показали, что наиболее значимыми для респондентов являются регулирующие и поддерживающие ЛЭУ, культурные услуги занимают промежуточную позицию, наименее ценные — обеспечивающие ЛЭУ. Респонденты считают, что оказывают незначительное влияние на леса, но вместе с тем чувствуют значительную ответственность за их состояние. Сочетание высокого уровня ответственности за леса и уверенности в незначительном индивидуальном влиянии на них может служить показателем дистанцирования от участия в решении экологических проблем. Происходит путаница между пониманием и реальным отображением закреплённого в лесном законодательстве России понятия многоцелевого лесопользования. В понятие многоцелевого лесопользования большинство вкладывает смысл мультифункционального лесного хозяйства, подразумевая получение выгод от обеспечивающих,

регулирующих, культурных и поддерживающих ЛЭУ. Обеспечение древесиной названо услугой, которая находится в конфликте с недревесными продуктами, рекреацией, депонированием углерода, обеспечением среды обитания биоты; в то же время эти услуги отрицательно влияют на заготовку древесины. Обеспечение древесиной также оказалось наиболее активной (влияющей на другие ЛЭУ) и в то же время наиболее пассивной (не испытывающей влияния других ЛЭУ) услугой. Наименее активной и вместе с тем менее пассивной ЛЭУ оказалось обеспечение недревесными продуктами. Подавляющее большинство опрошенных считают, что действующий Лесной кодекс РФ не обеспечивает баланс между ЛЭУ.

Ключевые слова: мультифункциональное лесное хозяйство, экосистемные услуги лесов, многоцелевое лесопользование, опрос, конфликты и синергия, Лесной кодекс РФ

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6063

Article

Multifunctional forestry or timber harvesting?

Daria Tebenkova

Ph.D. in biology, Center for Forest Ecology and Productivity of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation), tebenkova.dn@gmail.com

Anton Kataev

researcher, Center for Forest Ecology and Productivity of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation), mcscientistface@gmail.com

Received: 27 December 2021 / Accepted: 17 March 2022 / Published: 22 March 2022

Abstract: To meet the rapidly growing demand for numerous forest ecosystem services (FES) and to preserve biodiversity, the traditional forestry practices in Russia, aimed primarily at timber harvesting should be transformed into a multifunctional approach that takes into account the criteria of not only economic, but also social and environmental sustainability. The purpose of this study is to assess the importance of forests for people, people's responsibility for forest state and their understanding of the multifunctional forestry concept. The authors applied the method of quantitative research using a sociological survey of one hundred and fifty-three people. The results showed that most significant criteria for the respondents were regulating and supporting FES, cultural services occupied an intermediate position, and the least valuable criterion was the provisioning FES. The respondents expressed the belief that they had little impact on forests, but at the same time felt major responsibility for forest state. The combination of a high responsibility level and their confidence in insignificance of their individual impact on forest can serve as an indicator of people's distancing from participation in solving environmental problems. There also seems to be a discrepancy between the understanding and the practical implementation of the multipurpose forest use concept, expressed in the forest legislation of Russia. The concept of multipurpose forest use was understood by most respondents as having the same meaning as multifunctional forestry, implying some benefits from provisioning, regulating, cultural and supporting FES. Timber harvesting has been identified as a service that conflicts with non-timber products, recreation, carbon sequestration, providing a habitat for living organisms. At the same time all those services were perceived as affecting timber harvesting negatively. Wood supply also turned out to be the most active (influencing other FES) and at the same time the most passive (not being influenced by other FES)

service. The least active and at the same time the least passive FES was the provision of non-wood products. The overwhelming majority of respondents expressed their belief that the current Forest Code of the Russian Federation cannot ensure a balance between the FES.

Keywords: multifunctional forestry, forest ecosystem services, multipurpose forest use, survey, trade-offs and synergies, Russian Forest Code

1. Введение

Общепризнанно, что леса обеспечивают людей множеством экосистемных услуг (ЛЭУ), среди которых выделяют четыре категории: (1) обеспечивающие (древесина, ягоды, грибы и др.), (2) регулирующие (регулирование климата, водного режима, качества воздуха), (3) культурные (рекреация, удовлетворение духовных потребностей) и (4) поддерживающие (формирование естественного плодородия почв, поддержание местообитаний биоты) [1]. Регулирующие, поддерживающие и многие культурные ЛЭУ пока не имеют денежной оценки, хотя их выход на рынок очень важен для предотвращения дальнейшей деградации лесов и успешного развития биоэкономики [2], [3]. Стоит отметить, что бóльшая часть немонетарных ЛЭУ являются общественными благами, поэтому при использовании лесов возникает конфликт между тремя заинтересованными сторонами: лесопользователь, государство и общество. Разработка мер по согласованию интересов собственников / арендаторов лесов между собой и интересов общества является одним из главных вызовов правительств всех стран [4].

Многоцелевое лесное хозяйство способно концептуально объединить различные интересы и в то же время является достаточно гибким решением для того, чтобы использовать различные теоретические и практические наработки в соответствии с местными потребностями и условиями [5]. Многоцелевое лесное хозяйство направлено на гармонизацию обеспечения различными экосистемными товарами и услугами в контексте управления путём определения характеристик лесных экосистем и методов их регулирования для достижения множества целей на устойчивой основе [6], [7]. Концепция многоцелевого лесного хозяйства разработана во второй половине XX века (например, исследование [8]) и сейчас занимает центральные позиции в разработке стратегической политики природопользования в Европе и США [9]—[12]. В лесном хозяйстве Центральной Европы концепцию многоцелевого лесного хозяйства, как правило, называют «мультифункциональным лесным хозяйством». В некоторых европейских странах мультифункциональное лесное хозяйство рассматривается как часть устойчивого лесопользования (например, Ирландия [13]); в других странах оно считается полностью независимой концепцией (например, Нидерланды) или концепцией, взаимозаменяемой устойчивое лесопользование (например, Литва). В ряде европейских стран концепция мультифункционального лесного хозяйства включена в конкретные модели управления лесами (такие как шведская модель лесного хозяйства [14], немецкая модель комплексного многофункционального управления лесами [15] и комплексное управление лесами в Нидерландах [16]) и в социальные факторы, чтобы поддерживать и улучшать качество среды для удовлетворения текущих и будущих потребностей [17].

В России существует понятие многоцелевого использования лесов, которое не тождественно мультифункциональному лесному хозяйству. В соответствии со ст. 25 Лесного кодекса Российской Федерации [18] леса могут использоваться для одной или

нескольких целей. Однако в 16 видов лесопользования, предусмотренных Лесным кодексом, не входят регулирующие и поддерживающие ЛЭУ, имеющие социальную и экологическую значимость. Более того, некоторые виды использования лесов напрямую не относятся к ЛЭУ и связаны с использованием лесной территории с точки зрения земельного участка. Несмотря на то что Лесной кодекс не содержит запрета на предоставление лесных участков разным арендаторам, отечественная практика базируется, в основном, на использовании древесных и недревесных продуктов лесов. Доля договоров аренды, заключённых на один вид использования — заготовка древесины, составляет 96 %, на два вида использования лесов (большинство для размещения линейных объектов и для недропользования) — 4 %, на три вида — 0,1 % [19]. Разноцелевой характер использования лесов на фоне отсутствия разработанных механизмов разрешения конфликтов между различными заинтересованными сторонами формирует не только социальную напряжённость, но и значительные экономические потери. Важно отметить, что конфликт интересов может возникать между действующим арендатором лесного участка и потенциальными арендаторами при предоставлении этого же участка в аренду для других целей, а также между пользователями лесных участков и третьими лицами (социумом).

Федеральное лесное законодательство за последние 15 лет многократно менялось. С 2006 г. в Лесной кодекс Российской Федерации внесено 60 пакетов поправок, из них 58 — федеральными законами, 2 — постановлениями Конституционного Суда Российской Федерации [20]. Широкий круг заинтересованных сторон в лесном секторе призывает к принятию нового Лесного кодекса, нацеленного на сохранение и устойчивое использование лесов и развитие лесного сектора в целом [21], [22], [24], [52].

Найти компромисс возможно с помощью внедрения концепции мультифункционального лесного хозяйства на каждом этапе разработки и реализации лесной политики, включая систему развития лесного хозяйства, планирование управления лесами, оценку выгод от леса, оплату ЛЭУ и т. д. [25]. При этом мультифункциональное лесное хозяйство должно учитывать не только ценность лесов для каждой заинтересованной стороны, но и возникающие сложные взаимодействия между ЛЭУ, которые выражаются в компромиссах или синергии [2], т. к. для предотвращения деградации лесов необходимо достижение баланса между всеми ЛЭУ. Невозможно максимизировать все ЛЭУ одновременно. Например, некоторые виды заготовки древесины (сплошные рубки) ведут к увеличению поверхностного стока, т. е. снижают эффективность экосистемной функции регулирования водного режима лесного водосбора. Таким образом, мультифункциональное лесное хозяйство должно отвечать критериям не только экономической, но и социальной и экологической устойчивости. В соответствии с современными представлениями об устойчивом лесопользовании оно должно быть многоцелевым, как в пределах крупных территорий, так и применительно к конкретным участкам леса.

В настоящей статье акцентируется внимание на социальных аспектах концепции мультифункционального лесного хозяйства применительно к России, т. к. эффективность

реализации лесной политики государства и поставленных в её рамках первостепенных задач определяется в т. ч. типом сознания и уровнем экологической культуры общества. Исследование вносит вклад в создание механизмов, обеспечивающих постоянный конструктивный диалог между научным сообществом, органами государственной власти, ответственными за принятие решений, населением и деловыми кругами.

Цель исследования — оценка важности лесов, ответственности за их состояние и влияния на них, понимания концепции мультифункционального лесного хозяйства участниками проведённого социологического опроса.

2. Материалы и методы

В работе использовался метод количественного исследования с помощью социологического опроса. Анонимный интернет-опрос был создан в среде Google Forms. Призыв к участию в нём был выложен на страницах ЦЭПЛ РАН в социальных сетях. Участие в нём мог принимать любой желающий в течение двух месяцев (апрель — май 2021 г.). Анкета опроса состояла из двух блоков: тематического и информационного.

Тематический блок состоял из следующих разделов:

1. Важность лесов для респондентов. Раздел был предназначен для оценки приоритетности ЛЭУ. Респондентам предлагалось описать роль леса в их жизни и оценить степень важности различных ЛЭУ по четырёхбалльной шкале Лайкерта (от 1 — «совсем не важна» до 4 — «очень важна»). Опрос затрагивал следующие ЛЭУ (классификация ЛЭУ проведена по [1]):

- 1) Обеспечивающие (древесина, недревесные пищевые и непищевые продукты).
- 2) Культурные (рекреация, леса как часть национальной идентичности).
- 3) Регулирующие (лес как источник чистого воздуха и воды, регулирование климата и защита от неблагоприятных природных явлений).
- 4) Поддерживающие (среда обитания живых организмов).

2. Ответственность за состояние леса и влияние на лес. В этом разделе респондентам предлагалось оценить степень их ответственности за состояние лесов и насколько сильно они влияют на леса в рамках личной и профессиональной деятельности (в составе компании / учреждения, в случае если респондент работает). Для оценки использовалась пятибалльная шкала Лайкерта (от 1 — «крайне слабо», 5 — «очень сильно»).

3. Раздел мультифункционального лесного хозяйства. Раздел составлен с целью узнать, как респонденты понимают устоявшееся и законодательно принятое определение многоцелевого лесопользования и как работают механизмы компромиссов и синергии между различными ЛЭУ. В первом случае респондентам было предложено отметить из списка видов лесопользования все варианты, входящие, по их мнению, в состав понятия многоцелевого лесопользования. Список содержал:

- 1) несколько видов использования лесов, определённых Лесным кодексом РФ, включая виды, не относящиеся к ЛЭУ;

2) виды использования, представляющие регулирующие и поддерживающие ЛЭУ, не входящие в Лесной кодекс РФ.

Таким образом, предложенные варианты были представлены двумя обеспечивающими (получение древесины и сбор пищевых недревесных ресурсов), двумя культурными (лесной туризм и лесное образование), одной поддерживающей (сохранение биоразнообразия) и одной регулирующей (депонирование углерода) услугами, а также двумя видами использования лесов, упомянутыми в Лесном кодексе РФ, но не относящимися к ЛЭУ (строительство линейных объектов и добыча полезных ископаемых на лесных землях). Оценка респондентами компромиссов и синергии была получена из серии вопросов, предлагающих оценить как управление лесами, нацеленное на получение определённой ЛЭУ (древесина, недревесные продукты, рекреация, регулирование климата и обеспечение среды обитания живых организмов), так и влияние на предоставление лесами других ЛЭУ из этого списка. Шкала оценки предполагала следующие ответы: «сильно», «слабо отрицательно», «нейтрально», «сильно», «слабо положительно», что соответствовало шкале от -2 до 2 с шагом в один балл. Для анализа активности и пассивности ЛЭУ использовался структурный анализ [26]—[28].

4. Раздел лесной политики, состоящий из двух вопросов: «Способен ли, по мнению респондентов, существующий Лесной кодекс РФ обеспечить мультифункциональное лесное хозяйство в виде сбалансированного предоставления всех вышеперечисленных ЛЭУ?» и «Считают ли респонденты необходимым создание нового Лесного кодекса?». На первый вопрос можно было дать открытый ответ, на второй предполагались ответы «да» и «нет» с возможностью оставить комментарий.

Информационный блок был создан с целью определения соотношения социальных групп среди опрошенных: распределение по полу, возрастным категориям, уровню образования и связи профессии респондента с лесом.

В опросе приняли участие 153 человека в возрасте старше 18 лет. В возрастной структуре респондентов преобладали люди из категории в возрасте 30—55 лет, составляющие 62 % опрошенных. Ещё 33 % пришлось на долю людей в возрасте старше 55 лет, в то время как доля людей в возрасте младше 30 лет составила лишь 5 % респондентов. В опросе приняли участие 61 % мужчин и 39 % женщин. Уровень образования респондентов был распределён следующим образом: средняя школа — 3 %, высшее / среднее профессиональное и специальное образование — 38 %, аспирантура / магистратура — 35 %, кандидаты наук — 16 %, доктора наук — 8 %.

Принимая во внимание, что в опросе участвовало значительное количество людей, имеющих отношение к науке, было проведено разделение респондентов по уровню образования на две группы:

- 1) специалисты — люди со средним, средним профессиональным и высшим образованием (41 % респондентов);
- 2) учёные — аспиранты, кандидаты и доктора наук (59 % респондентов).

Разделение было проведено на основе предположения, что в первую группу входят люди, работающие после получения среднего или высшего образования, в то время как во вторую группу входят люди, принявшие решение продолжить образование и связать свою жизнь с научной деятельностью.

Статистическая обработка результатов проводилась с помощью пакета программ Statistica 11.0. Для выявления достоверности различий использовали непараметрический тест Манна — Уитни.

3. Результаты

3.1. Важность лесов для респондентов

Для респондентов, независимо от их принадлежности к рассматриваемым группам, высокой ценностью обладают немонетарные регулирующие и поддерживающие ЛЭУ, низкой — обеспечивающие (рисунок 1, таблица 1). Культурные ЛЭУ заняли промежуточную позицию. Анализ достоверности различий позволил составить рейтинг наиболее приоритетных ЛЭУ. В группу наиболее значимых вошли такие ЛЭУ, как регулирование качества воды и воздуха, климата, защита от неблагоприятных природных явлений, предоставление среды обитания живым организмам. К менее значимым относятся предоставление мест для отдыха; далее, третью и четвёртую позиции занимают лес как часть национальной идентичности и предоставление недревесных пищевых продуктов. Наименее ценными ЛЭУ оказались обеспечение древесиной и недревесными непищевыми ресурсами.

Для респондентов разного уровня образования были выявлены достоверные различия в оценке важности недревесных непищевых продуктов и в регулировании лесом качества воды и воздуха. В первом случае специалисты оценили услугу выше, чем учёные. Во втором случае, наоборот, учёные поставили более высокий балл важности регулирования лесом качества воды и воздуха, чем специалисты. Отмечена тенденция к уменьшению важности анализируемых регулирующих и поддерживающих ЛЭУ, а также обеспечению местом отдыха и недревесными пищевыми продуктами с увеличением возраста респондентов (рисунок 2). Опрошенные в возрасте 18—30 лет больше ценят вышеперечисленные ЛЭУ, чем более старшее поколение. Обратная тенденция характерна для двух обеспечивающих ЛЭУ: обеспечение древесиной и недревесными непищевыми ресурсами, и одной культурной ЛЭУ: часть национальной идентичности. Несмотря на то что связь ценности леса с возрастом не получила достоверных различий, выявленные тенденции требуют дополнительной проверки с привлечением к опросу большего количества участников.

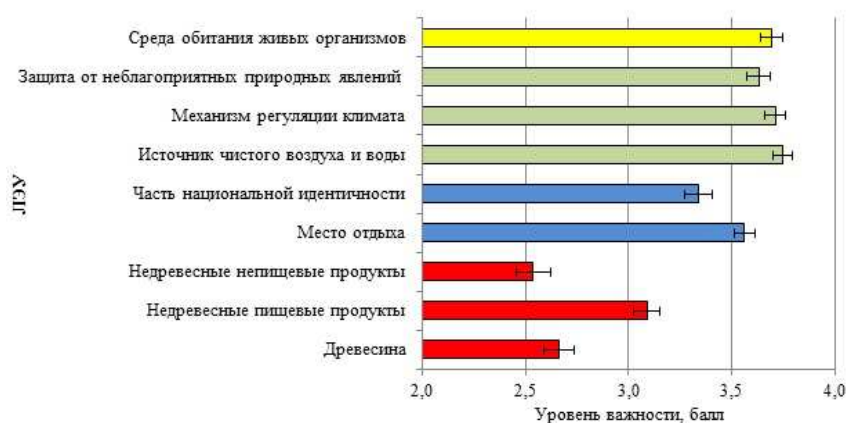


Рисунок 1. Важность ЛЭУ. Цвета графиков обозначают категорию ЛЭУ: жёлтый — поддерживающие, зелёный — регулирующие, синий — культурные, красный — обеспечивающие

Figure 1. FES' importance for the respondents. Colours mark different classes of FES: yellow for the supporting FES, green for the regulating FES, blue for the cultural FES and red for the provisioning FES

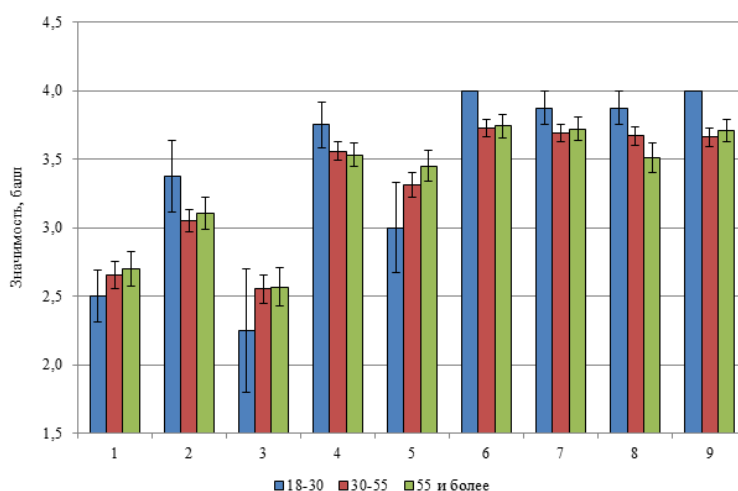


Рисунок 2. Важность ЛЭУ для разных возрастных групп респондентов. ЛЭУ: 1 — древесина, 2 — недревесные пищевые продукты, 3 — недревесные непищевые продукты, 4 — место отдыха, 5 — часть национальной идентичности, 6 — источник чистого воздуха и воды, 7 — механизм регулирования климата, 8 — защита от неблагоприятных природных явлений, 9 — среда обитания живых организмов

Figure 2. FES significance for different age groups (18—30, 30—55 and > 55) FES: 1 — timber, 2 — non-timber food products; 3 — other non-timber products, 4 — recreation; 5 — a part of national identity, 6 — fresh air and water, 7 — climate regulation, 8 — protection from natural catastrophes, 9 — a habitat for various living organisms

Таблица 1. Ценность ЛЭУ для граждан России

Table 1. Different FES values for the citizens of Russia

ЛЭУ	Ценность лесов, балл							
	Для всех респон- дентов (n = 153)	Образование		Пол		Возрастные группы, лет		
		специа- листы (n = 64)	учёные (n = 89)	мужчины (n = 93)	женщины (n = 60)	18—30 (n = 8)	30—55 (n = 95)	55 и бол (n = 50)
Древесина	2,66 ± 0,07	2,78 ± 0,12	2,58 ± 0,10	2,6 ± 0,10	2,77 ± 0,11	2,5 ± 0,19	2,66 ± 0,10	2,70 ± 0,10
Недревесные пищевые продукты	3,09 ± 0,06	3,19 ± 0,10	3,02 ± 0,09	3,1 ± 0,08	3,07 ± 0,10	3,38 ± 0,26	3,05 ± 0,08	3,10 ± 0,08
Недревесные непищевые продукты	2,54 ± 0,08	2,79 ± 0,13	2,39 ± 0,10	2,51 ± 0,11	2,58 ± 0,12	2,25 ± 0,45	2,55 ± 0,10	2,57 ± 0,10
Место отдыха	3,56 ± 0,05	3,52 ± 0,08	3,63 ± 0,06	3,53 ± 0,07	3,61 ± 0,06	3,75 ± 0,16	3,56 ± 0,06	3,53 ± 0,06
Часть национальной идентичности	3,34 ± 0,07	3,43 ± 0,10	3,32 ± 0,09	3,26 ± 0,09	3,47 ± 0,09	3,00 ± 0,33	3,31 ± 0,09	3,45 ± 0,09
Источник чистого воздуха и воды	3,75 ± 0,05	3,65 ± 0,08	3,82 ± 0,06	3,71 ± 0,06	3,8 ± 0,07	4,00 ± 0,00	3,73 ± 0,06	3,74 ± 0,06
Механизм регуляции климата	3,71 ± 0,05	3,67 ± 0,07	3,74 ± 0,07	3,66 ± 0,07	3,78 ± 0,07	3,88 ± 0,13	3,69 ± 0,07	3,72 ± 0,07
Защита от неблагоприятных природных явлений	3,63 ± 0,06	3,56 ± 0,10	3,67 ± 0,07	3,57 ± 0,08	3,73 ± 0,08	3,88 ± 0,13	3,67 ± 0,07	3,51 ± 0,07
Среда обитания живых организмов	3,69 ± 0,05	3,59 ± 0,09	3,76 ± 0,07	3,63 ± 0,07	3,8 ± 0,07	4,00 ± 0,00	3,66 ± 0,07	3,71 ± 0,07

3.2. Ответственность за состояние леса и влияние на лес

Средний показатель ответственности составил 4,2 балла из пяти. Уровень ответственности за состояние леса у женщин выше, чем у мужчин (рисунок 3). Также граждане в возрасте моложе 30 лет значительно меньше чувствуют ответственность, чем граждане старшего поколения, при этом наметился тренд увеличения ответственности с возрастом, хотя различия между группами не достоверны. Закономерно, что связь профессии с лесом также влияет на ответственность граждан за состояние леса. Таким образом, наиболее ответственные за состояние леса — это женщины в возрасте старше 30 лет, работа которых связана с лесом; наименее ответственные — молодые мужчины в возрасте до 30 лет, чья профессия не связана с лесным хозяйством. Уровень образования на ответственность не влияет.

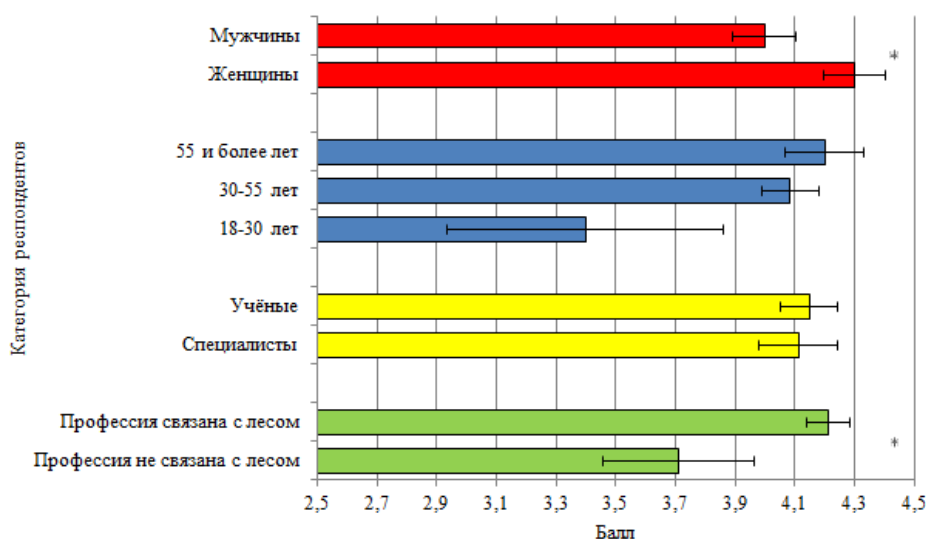


Рисунок 3. Степень ответственности респондентов за состояние леса [* различия между категориями достоверны ($p \leq 0,05$)]

Figure 3. Respondents' rate of responsibility for the state of forests (from top down, respectively: men/women; age groups of > 55, 30—55 and 18—30; scientists / practitioners; professionally connected/not connected to forests) [* significant difference between categories ($p \leq 0.05$)]

Уровень влияния на лес был оценён ниже, чем уровень ответственности. Средний балл влияния составил 2,5 из пяти возможных. Результаты исследования показывают, что респонденты считают, что их профессиональное влияние (2,9 балла) на лес больше, чем личное влияние (2,3 балла) (рисунок 3). Такая закономерность отсутствовала только для опрошенных, чей возраст находился в диапазоне от 18 до 30 лет, вероятно, ввиду того, что профессиональная деятельность граждан этой категории находится ещё в стадии становления. Достоверные различия между степенью профессионального и личного влияния

были обнаружены для мужчин, чей возраст составляет 30—55 лет, учёных и, как ожидалось, людей, чья профессиональная деятельность связана с лесом (рисунок 4).

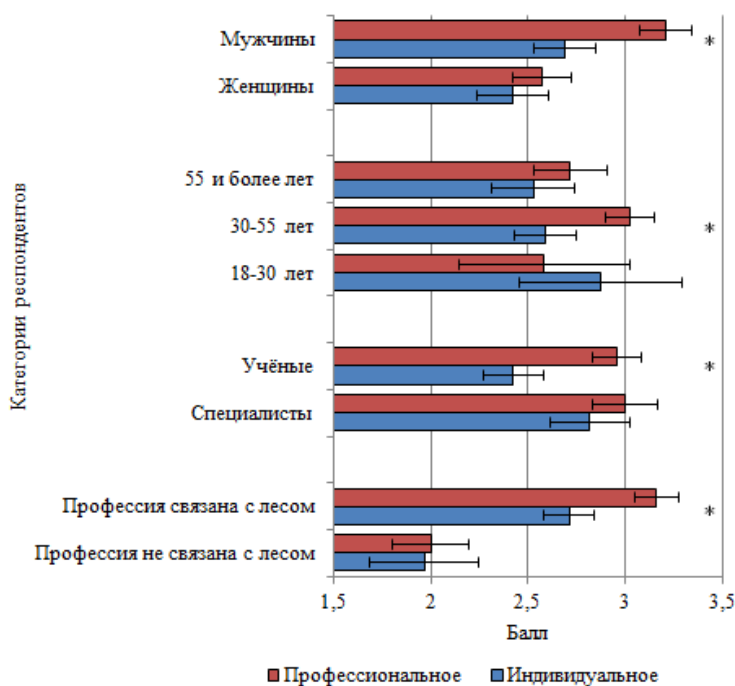


Рисунок 4. Профессиональное и индивидуальное влияние респондентов на лес
 [* различия между категориями достоверны ($p \leq 0,05$)]

Figure 4. Respondents' professional and personal impact on forests (from top down, respectively: men/women; age groups of > 55, 30—55 and 18—30; scientists / practitioners; professionally connected/not connected to forests) [* significant difference between categories ($p \leq 0.05$)]

Портрет человека, имеющего наибольшее профессиональное влияние на лес, — это мужчина средних лет (30—55 лет), чья профессия связана с лесом; наименьшее влияние на лес — молодая (18—30 лет) девушка, не работающая в лесной отрасли. Образование человека при этом не имеет значения. При составлении портрета человека, для оценки степени личного влияния важным оказался уровень образования респондента и факт связи профессии с лесом. Так, наибольшее персональное влияние оказывают люди, имеющие среднее или высшее образование, работающие с лесом; наименьшее — учёные, не изучающие лесные экосистемы.

Часть респондентов (38,3 %) в качестве вида воздействия на лес указали различные виды хозяйственной или рекреационной деятельности, такие как рубка деревьев, сбор ягод и грибов, вытаптывание почвенного покрова и разведение костров; 25 % опрошенных описали своё негативное воздействие на леса как побочный эффект своей профессиональной деятельности (преимущественно научной и лесозащитной): отбор образцов почвы,

древесины и растительности, езда по лесным дорогам; 10 % респондентов отметили косвенное негативное воздействие своей повседневной деятельности на леса, к примеру, использование предметов из бумаги и пластика, углеродный след; 3,3 % опрошенных отметили возможные негативные социальные последствия своей деятельности, затрудняющие доступ к экосистемным услугам лесов для населения. Значительная доля респондентов (23,3 %) указала не столько эффекты от их профессионального или личного воздействия, сколько отсутствие возможности проводить в жизнь положительные перемены с максимальной эффективностью. Были упомянуты низкое качество лесного образования, связанное с несовершенством образовательных программ, устарелое мировоззрение людей по отношению к лесам, несовершенство системы лесных отношений и неэффективность попыток защитить леса от застройки и рубки.

3.3. Мультифункциональное лесное хозяйство

Некоторые респонденты (6 %) считают, что в понятие многоцелевого лесопользования входят все предложенные варианты ответов: как ЛЭУ, так и предоставление лесного участка для строительства линейных объектов и для добычи полезных ископаемых; 30 % к понятию многоцелевого лесопользования относят ЛЭУ всех категорий по МЕА (2005). Из них сохранение биоразнообразия, депонирование углерода и заготовка древесины оказались наиболее популярными ответами, наименее популярный ответ — «создание лесных школ»; 1 % респондентов исключили виды использования лесов, не входящие в Лесной кодекс РФ. Результаты показали, что большинство опрошенных в понятие многоцелевого лесопользования вкладывают смысл мультифункционального лесного хозяйства.

Анализ активности ЛЭУ (как одна ЛЭУ влияет на предоставление других ЛЭУ) (таблица 2, строки) показал, что, по мнению опрошенных, управление лесами, нацеленное на заготовку древесины и предоставление рекреационных ЛЭУ, влияет на все анализируемые ЛЭУ негативно, уменьшая уровень их обеспечения. Наибольшее влияние эти ЛЭУ оказывают на обеспечение лесом среды обитания живых организмов. Лесопользование, нацеленное на получение недревесных ресурсов, имеет слабую положительную связь с рекреационными ЛЭУ и регулированием климата и отрицательно влияет на обеспечение древесиной. Получение выгод от регулирования лесом климата и предоставление мест обитания живым организмам усиливает обеспечение всех ЛЭУ, за исключением древесины.

Анализ пассивности ЛЭУ (как ЛЭУ подвержены влиянию других ЛЭУ) (таблица 2, столбцы) показал, что на обеспечение древесиной негативно влияет управление лесом, нацеленное на все остальные ЛЭУ. Наибольшее отрицательное влияние на заготовку древесины оказывает предоставление рекреационных услуг. В то же время только обеспечение древесиной отрицательно влияет на рекреационные ЛЭУ. Регулирование климата и обеспечение недревесными ресурсами подвержено отрицательному воздействию заготовки древесины и рекреации. Только лесопользование, нацеленное на обеспечение

депонирования углерода лесами, оказывает положительное влияние на обеспечение лесом среды обитания живым организмам.

Структурный анализ выявил, что наиболее активная и в то же время наиболее пассивная ЛЭУ — это обеспечение древесиной, которая больше, чем другие ЛЭУ, влияет на их предоставление и наименее подвержена влиянию этих услуг. Наименее активная и вместе с тем наименее пассивная ЛЭУ — обеспечение недревесными продуктами. Степень влияния самой активной ЛЭУ — обеспечение древесиной в девять раз сильнее, чем степень влияния наиболее пассивной ЛЭУ — обеспечение недревесными продуктами леса. Степень пассивности первой услуги в пять раз выше, чем степень пассивности второй услуги.

Таблица 2. Конфликты и синергия между ЛЭУ, балл

Table 2. Trade-offs and synergies between FES, points (red cells and negative values correspond to trade-offs, green and positive — to synergies)

ЛЭУ	Древесина	Недревесные продукты	Рекреация	Регуляция климата	Среда обитания живых организмов	Активность
Древесина	X	-0,80	-1,10	-0,99	-1,12	-4,02
Недревесные продукты	-0,24	X	0,02	0,08	-0,34	-0,47
Рекреация	-0,56	-0,41	X	-0,16	-0,72	-1,85
Регуляция климата	-0,09	0,30	0,45	X	0,74	1,40
Среда обитания живых организмов	-0,27	0,35	0,37	0,97	X	1,42
Пассивность	-1,17	0,24	0,84	0,90	-0,32	X

Примечание: отрицательные значения и розовый цвет ячеек обозначают конфликт между ЛЭУ, положительные значения и зелёный цвет ячеек — синергию.

Внутри анализируемых социальных групп мнения по поводу конфликтов и синергии между ЛЭУ не всегда совпадали. Так, мужчины и специалисты обозначили влияние обеспечения недревесными продуктами леса на рекреационные ЛЭУ и на депонирование углерода лесами как конфликт. Женщины и учёные считают, что связь между этими ЛЭУ синергетическая. В отличие от женщин мужчины считают, что хозяйственная деятельность, направленная на регулирование климата, отрицательно сказывается на обеспечении

древесиной. Мнение женщин совпало с мнением опрошенных в возрасте моложе 30 лет, мнение мужчин — с мнением опрошенных в возрасте старше 30 лет. Учёные связь между этими ЛЭУ определили как нейтральную, специалисты — как отрицательную. В отличие от остальных возрастных групп респонденты в возрасте до 30 лет считают, что обеспечение средой обитания живых организмов негативно влияет на рекреацию; люди в возрасте 30—55 лет считают, что лесоуправление, нацеленное на обеспечение недревесными продуктами, отрицательно влияет на рекреационные ЛЭУ; граждане в возрасте старше 55 лет считают, что влияние рекреационных ЛЭУ на регулирование климата положительно.

3.4. Оценка текущей лесной политики

Большинство участников опроса (87 %) проголосовало за создание нового Лесного кодекса РФ, 7 % — против и 6 % воздержалось от ответа. Преобладание утвердительного ответа не зависело от рассматриваемой социальной категории граждан. Больше утвердительных ответов дали респонденты, чья профессия связана с лесом (на 17 % больше, чем люди, чья профессия не связана с лесом), учёные (на 10 % больше, чем специалисты), мужчины (на 3 % больше, чем женщины) и люди в возрасте старше 55 лет (соответственно на 4 % и 8 % больше, чем люди в возрасте до 30 лет и 30—55 лет).

Большинство респондентов (90 %) считает, что настоящий Лесной кодекс РФ не способен обеспечить баланс между всеми ЛЭУ. К основным проблемам текущего кодекса отнесены: неэффективность в части охраны защиты и воспроизводства лесов (19 %), отсутствие некоторых ЛЭУ в Лесном кодексе РФ либо недостаточная их освещённость (17 %), наличие множества противоречий в структуре документа (9 %), несостоятельность института аренды (9 %), нацеленность Лесного кодекса РФ на реализацию интересов лесозаготовителей и лесопромышленников (8 %).

4. Обсуждение

Согласно проведённому опросу, респонденты больше ценят регулирующие и поддерживающие ЛЭУ, чем обеспечивающие и культурные. На фоне возрастающей значимости таких проблем, как загрязнение окружающей среды и изменение климата, обеспечение чистым воздухом, водой, депонирование углерода лесами, сохранение биоразнообразия приобретает особое значение как вопрос экологической безопасности граждан.

Ценность ЛЭУ во многом зависит от того, насколько благоприятной респонденты считают экологическую обстановку. Поэтому важны отношение людей к экологическим проблемам и оценка экологической ситуации в месте своего проживания и мире в целом. Ранее проведённые исследования выявили, что более половины опрошенных считали, что экологическая ситуация в России и мире за последние 2—3 года ухудшилась [31]. Наиболее опасной из угроз, с которыми человечество сталкивается в XXI в., опрошенные считают

загрязнение окружающей среды (48 % респондентов). Самой серьёзной из проблем окружающей среды для России опрошенные назвали загрязнение воздуха (26 %); доля озабоченных загрязнением воды составила 9 % [32], в то время как 10 лет назад самую большую опасность для окружающей среды в масштабе страны россияне видели в рубке лесов (44 % опрошенных) [33]. В десятку наиболее актуальных проблем на местах вошли незаконная рубка лесов, загрязнение почвы и воздуха промышленными предприятиями и недостаток зелёных насаждений [31]. В целом 94 % россиян называют проблему загрязнения окружающей среды острой [34].

Опубликованы данные, что глобальное потепление в рейтинге угроз XXI в. вошло в топ ответов (34 %) [32]. Абсолютное большинство (93 %) россиян считают, что в последние годы на планете происходят изменения климата. При этом 40 % взрослого населения полагают, что проблема глобального потепления надумана, раздута и спекулятивна [35], [36]. Высокий уровень озабоченностью изменениями климата сформирован благодаря активному широкому освещению этой проблемы в СМИ и социальных сетях. Так, в исследовании [31] показано, что основным источником информации о состоянии окружающей среды для россиян являются социальные сети (39 %), региональное и местное телевидение (32 %). Считается, что уровень доверия российского общества СМИ велик, поэтому оно формирует общественное сознание [38]. Проведённый в 2017 г. анализ упоминаемости «глобального потепления» в российских СМИ показал, что в период с 2012 по 2017 г. на эту тему было более 100 тыс. сообщений, общий тренд — рост упоминаемости. Основные пики сообщений приходятся на ноябрь 2015 г., когда вступило в силу Парижское соглашение по климату, а также на март и июнь 2017 г., когда эксперты Объединённого исследовательского центра Еврокомиссии сообщили, что к концу столетия в Европе произойдёт серия катастрофических наводнений, и когда Дональд Трамп официально объявил о выходе США из Парижского климатического соглашения [36].

Следует отметить большое значение рекреационной ЛЭУ для граждан России. В данном исследовании эта ЛЭУ заняла второе место по значимости. Высокий рейтинг рекреации мы связываем с высокими темпами урбанизации. Отдых в лесу воспринимается как желание эстетического наслаждения и тишины [37]. Например, опрос в г. Тольятти Самарской области показал, что шум тревожит более 95 % городского населения [39]. В среднем каждый житель нашей страны бывает в лесу примерно 52 ч/год [40]. Полученные путём опроса населения данные говорят о готовности населения оплатить потреблённую услугу, т. е. об увеличивающейся рекреационной роли лесов [41]. Для большинства опрошенных отдых на природе напрямую связан с собирательством [42].

Культурные ЛЭУ больше ценятся респондентами, чем обеспечивающие. Это связано с большей персонализацией культурных услуг, чем заготовка древесины. Это можно объяснить тем, что заготовка древесины происходит в интересах отдельного арендатора и государства, но не индивидуально в интересах каждого гражданина, поскольку в России нет частной собственности на леса.

Среди обеспечивающих ЛЭУ недревесные пищевые продукты заняли лидирующую позицию в данном опросе. Ранее было показано [43], что сбором грибов и ягод занимается почти половина россиян (48 %), россияне больше любят собирать грибы (39 %), чем ягоды (32 %), рыбалкой увлекается 23 % опрошенных, собирают травы 8 %, а охотятся 4 %. Также показано, что основными сборщиками являются самые незащищённые слои населения — пенсионеры и безработные, это более половины опрошенных: 56 % по городскому населению и 51 % по сельскому. Самая низкая доля — это фермеры (1 % и 2 %) и служащие (11 % и 12 %). Это позволяет сделать вывод, что сбор ведётся населением с более низким уровнем дохода и благосостояния. Полученные данные свидетельствуют о большей степени потребительского отношения к лесу как источнику «даровых благ», и главная цель посещения — это сбор недревесных лесных ресурсов. В нашей стране сложился устойчивый стереотип о «бесплатности и общедоступности» дикоросов. Особую роль недревесная продукция леса имеет для экономики сельской местности, это не только источник дополнительных доходов и обеспечение самозанятости населения, но и ресурсная база для возможного развития перерабатывающей промышленности в регионах [44].

Наш опрос показал, что респондентам присуща высокая степень ответственности за состояние леса. Результаты коррелируют с данными исследования проэкологического поведения граждан [34], которое показало, что 95 % испытуемых включают природу в список значимых ценностей. Высокая степень развития у 69 % опрошенных такого качества личности, как ответственность, подтверждает предположение, что проэкологическое поведение связано с чувством личной ответственности, а именно готовность брать на себя ответственность за разрешение проблем, в т. ч. экологических. В исследовании [34] у 80 % испытуемых был выявлен высокий уровень эмпатии, что подкрепляет гипотезу, в соответствии с которой в основе склонности к проэкологическому поведению лежит эмпатия: сопереживание людьми переносится на окружающий мир в целом. Наличие у 52 % участников исследования развитой саморефлексии свидетельствует о том, что они способны глубоко осознавать происходящие события и возникающие ситуации, включая экологическую обстановку, размышлять о судьбах природы и т. п. Однако существуют исследования с противоположными результатами. Опрос [46] показал, что каждый мысленно возлагает задачу охраны окружающей среды на кого-то другого, тем самым снимая ответственность с себя. Ответственность за состояние окружающей среды сегодня в большей степени возлагается на местные (29 % респондентов) и региональные (23 % опрошенных) власти [47].

Результаты нашего исследования показали, что респонденты считают, что они незначительно влияют на лес. У населения нет ощущения «невозобновляемости» природы, поэтому влияние на лес каждого человека «растворяется» или компенсируется силами природы. Россия — большая страна, в ней так много природных ресурсов, что кажется, что хватит ещё надолго. Результаты социологического исследования [45] также продемонстрировали доминирование потребительских установок по отношению к природе.

Уровень ответственности за состояние леса был оценен выше, чем уровень влияния как личного, так и профессионального. Такой факт может служить показателем дистанцирования от участия в решении экологических проблем. К тому же когда люди сами себя описывают, они склонны давать много социально одобряемых ответов [48]. Результаты похожего опроса [46] показали, что, с одной стороны, россияне обеспокоены проблемами окружающей среды, а с другой — большинство из них (около 80 %) не предпринимают никаких действий по её улучшению. Анализ экологической культуры студентов российских университетов показал противоречивые тенденции, характеризующие сознание отечественной молодёжи: высокая степень экологической озабоченности, с одной стороны, и не менее высокая экологическая пассивность — с другой [49]. Проведённое качественное исследование [45] позволило выявить, что преобладающим в данный момент является именно воспроизводящий тип экокультуры. Данный тип проявляется в приспособлении экологического поведения к современным условиям жизни без их значимой коррекции.

Выявлено, что под многоцелевым лесопользованием в большинстве случаев понимается мультифункциональное лесное хозяйство. Вероятно, путаница происходит из-за подмены понятий в документах планирования и реализации лесной политики России. Принципы мультифункционального лесного хозяйства отображены в основных стратегических документах лесного планирования. Провозглашена триединая цель государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов: экономическая (увеличение ВВП), экологическая (благоприятная окружающая среда для граждан и сохранение биосферной роли лесов России) и социальная (рост уровня жизни граждан, связанных с лесом, и устойчивое социально-экономическое развитие лесных территорий) [29]. Одним из двух направлений развития лесного хозяйства названо его ведение на принципах устойчивого управления лесами, сохранения экологической и социально-экономической роли лесов [30]. Однако в Лесном кодексе РФ уже обозначено многоцелевое лесопользование, которое предполагает передачу лесного участка в аренду для нескольких видов использования, определённых ст. 25 Лесного кодекса РФ. Научным советом РАН по лесу разработана концепция проекта Федерального закона «Лесной кодекс Российской Федерации», которая отображает основные принципы мультифункционального лесного хозяйства и предусматривает необходимость баланса как между экономическими, экологическими и социальными аспектами развития лесного хозяйства, так и между ЛЭУ лесов [22].

Обеспечение древесиной было названо ЛЭУ, которая находится в конфликте со всеми другими анализируемыми услугами. Вероятно, анализ взаимодействия между ЛЭУ может быть основан на их приоритетности для опрошенных. Так, обеспечение древесиной являлось одной из наименее значимых ЛЭУ, поэтому респонденты могли предположить, что лесопользование, нацеленное на заготовку древесины, будет негативно сказываться на других ЛЭУ, т. к. заготовка древесины для респондентов невыгодна. В опросе [50] показано, что большинство россиян интересуются проблемой рубки лесов вблизи места проживания (83 %)

с целью контроля, подавляющее большинство россиян убеждено в необходимости информирования населения о состоянии лесов (86 %).

Подавляющее большинство респондентов не одобряет существующий Лесной кодекс РФ и считает необходимым создание нового. Граждане обеспокоены состоянием лесов и неспособностью лесного сектора обеспечить контроль над рациональным использованием и восстановлением лесов. Аналитический обзор [51] показал, что большинство опрошенных (59 %) считают, что в их регионе имеются серьёзные проблемы, связанные с нелегальными рубками, браконьерством, захватом лесных земель или иными правонарушениями в лесном секторе. Деятельность региональных властей по борьбе с правонарушениями в лесном секторе оценивается россиянами, скорее, отрицательно (51 %). В интервью [52] представители крупных лесозаготовительных предприятий также высказались о необходимости принятия нового Лесного кодекса РФ, при этом изменение в законодательстве преследует цель стимулирования лесопереработки со стороны государства.

5. Выводы

Современная лесная политика Российской Федерации не предусматривает переход на мультифункциональное лесное хозяйство. Отечественная практика базируется, в основном, на использовании древесных и недревесных продуктов лесов. Наиболее значимыми для респондентов, участвующих в данном опросе, являются регулирующие и поддерживающие ЛЭУ. Вероятно, приоритетность ЛЭУ продиктована увеличивающимся информационным потоком, транслирующим вопросы и проблемы окружающей среды, что порождает экотревожность. Культурные ЛЭУ занимают промежуточную позицию в рейтинге важности ЛЭУ. Среди этих услуг ценность леса для отдыха очень велика. Это связано с усиливающимися процессами урбанизации в России. Обеспечивающие ЛЭУ оказались наименее ценными для респондентов. Заготовка недревесных пищевых ресурсов при этом имеет большую ценность, чем остальные обеспечивающие ЛЭУ. Для многих респондентов сбор грибов и ягод ассоциируется с рекреацией и в то же время является значительным источником дохода для населения лесных регионов.

Респонденты считают, что оказывают незначительное влияние на лес. Это связано с отсутствием ощущения ограниченности природных ресурсов и преобладанием потребительских установок. В то же время уровень их ответственности за состояние леса высок. Сочетание низкого уровня влияния на лес и высокой степени ответственности может служить показателем дистанцирования от участия в решении экологических проблем.

Большинство респондентов в понятие многоцелевого лесопользования вкладывают смысл понятия мультифункционального лесного хозяйства, подразумевая получение выгод от обеспечивающих, регулирующих, культурных и поддерживающих ЛЭУ, и исключают виды использования лесов, связанные с использованием земельного участка. Обеспечение древесиной названо услугой, которая находится в конфликте с недревесными продуктами,

рекреацией, депонированием углерода, сохранением среды обитания биоты, в то же время эти услуги также отрицательно влияют на заготовку древесины. Заготовка древесины также оказалась наиболее активной и в то же время наиболее пассивной ЛЭУ. Наименее активной и вместе с тем наименее пассивной ЛЭУ оказалось обеспечение недревесными продуктами. Вероятно, анализ взаимодействия между ЛЭУ может быть основан на их приоритетности для респондентов.

Опрос также выявил недовольство действующим Лесным кодексом РФ и понимание важности обеспечения баланса между ЛЭУ. Так, к основным проблемам Лесного кодекса РФ респонденты отнесли его неэффективность в части охраны защиты и воспроизводства лесов и отсутствие некоторых ЛЭУ в законодательстве.

Таким образом, проведённые исследования показывают необходимость внедрения концепции мультифункционального лесного хозяйства в принципы лесоправления в России, т. к. наблюдается диссонанс между потребностями общества в регулирующих услугах и направленностью текущего законодательства, нацеленного, в основном, на получение выгод от заготовки древесины. Для этого должна быть проведена большая работа по разработке и принятию основного документа, регулирующего деятельность в сфере лесного хозяйства, — нового Лесного кодекса РФ.

Список литературы

1. MEA Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being; Island Press: Washington, DC, USA, 2005. Vol. 5.
2. Tebenkova D. N., Lukina N. V., Chumachenko S. I., Danilova M. A., Kuznetsova A. I., Gornov A. V., Shevchenko N. E., Kataev A. D., Gagarin Y. N. Multifunctionality and biodiversity of forest ecosystems // Contemporary Problems of Ecology. 2020. Vol. 13, no 7. P. 709—719.
3. Лукина Н. В. Глобальные вызовы и лесные экосистемы // Вестник Российской академии наук. 2020. Т. 90, № 6. С. 528—532.
4. Amacher G. S., Ollikainen M., Uusivuori J. Forests and ecosystem services: outlines for new policy options // Forest Policy and Economics. 2014. Vol. 47. P. 1—3. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.forpol.2014.07.002>.
5. Hoogstra-Klein M. A., Brukas V., Wallin I. Multiple-use forestry as a boundary object: from a shared ideal to multiple realities // Land use policy. 2017. Vol. 69. P. 247—258. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.08.029>.
6. Başkent E. Z. A review of the development of the multiple use forest management planning concept // International Forestry Review. 2018. Vol. 20, no 3. P. 296—313. DOI: 10.1505/146554818824063023.
7. Guariguata M. R., Sist P., Nasi R. Reprint of: Multiple use management of tropical production forests: How can we move from concept to reality? // Forest ecology and management. 2012. Vol. 268. P. 1—5. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.12.047>.
8. Koch N. E., Skovsgaard J. P. Sustainable management of planted forests: some comparisons between Central Europe and the United States // New. For. 1999. Vol. 17 (1-3). P. 11—22. DOI: 10.1023/A:1006520809425.
9. Schmithüsen F., Herbst P., Le Master D. C. (Ed.) Forging a New Framework for Sustainable Forestry: Recent Developments in European Forest Law. IUFRO World Series. Vol. 10.

International Union of Forestry Research Organisations, IUFRO Secretariat Vienna; Chair of Forest Policy and Forest Economics. ETH, Zurich, 2000. 354 p.

10. *Kaljonen M., Primmer E., Blust G. De, Nijnik M., Kulvik M.* Multifunctionality and biodiversity conservation — institutional challenges T. Chmelievski (Ed.) // *Nature Conservation Management: From Idea to Practical Issues*. Helsinki; Aarhus, Lublin, Poland, 2007. P. 53—69.
11. *Probstl U.* Forests in balance? Forest under the spell of economic, ecological and recreational requirements—Considerations about the European Model // *Allgemeine Forst und Jagdzeitung*. 2007. Vol. 178, no 4. P. 68. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.08.029>.
12. *Winkel G., Aggestam F., Sotirov M., Weiss G.* Forest Policy in the European Union // *Pülzl H., Hogl K., Arts B., Kleinschmit D., Winkel G., Wydra D. (Eds.). European Forest Governance: Issues at Stake and the Way Forward*. EFI Series: What Science can tell us, 2013. P. 52—63.
13. *Bonsu N. O., Dhubháin Á. N., O'connor D.* Understanding forest resource conflicts in Ireland: A case study approach // *Land use policy*. 2019. Vol. 80. P. 287—297. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.11.009>.
14. *Lindahl K. B., Sténs A., Sandström C., Johansson J., Lidskog R., Ranius T., Roberge J. M.* The Swedish forestry model: More of everything? // *Forest Policy and Economics*. 2017. Vol. 77. P. 44—55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2015.10.012>.
15. *Borrass L., Kleinschmit D., Winkel G.* The «German model» of integrative multifunctional forest management — analysing the emergence and political evolution of a forest management concept // *Forest Policy and Economics*. 2017. Vol. 77. P. 16—23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2016.06.028>.
16. *Van der Jagt J. L.* Integrated forest management: practice, examples and backgrounds // *Rapport / Expertisecentrum LNV (Netherlands)*. 2000. Issue 5. 214 p.
17. *Thomas J. W.* Forest Service perspective on ecosystem management // *Ecological Applications*. 1996. Vol. 6, no 3. P. 703—705.
18. Лесной кодекс Российской Федерации (утв. Президентом Российской Федерации 04 декабря 2006 г. № 200-ФЗ).
19. *Валентик И. В.* Парламентские слушания по вопросам законодательного регулирования многоцелевого использования лесных ресурсов. 12 сентября 2018 г. (устное сообщение).
20. *Гагарин Ю. Н.* Научный комментарий к стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года // *Вопросы лесной науки*. 2021 (в печати).
21. *Соколова М.* Ответственность без радикальных мер: каким будет новый Лесной кодекс // *Парламентская газета*. 2019. 26 апреля. URL: <https://www.pnp.ru/economics/otvetstvennost-bez-radikalnykh-mer-kakim-budet-novyy-lesnoy-kodeks.html>. Текст: электронный.
22. *Гагарин Ю. Н.* Концепция проекта Федерального закона «Лесной кодекс Российской Федерации» // *Вопросы лесной науки*. 2020. Т. 3, № 3.
23. Концепция проекта Федерального закона «Лесной кодекс Российской Федерации». М., 2019.
24. *Leskinen P., Lindner M., Verkerk P. J., Nabuurs G. J., Van Brusselen J., Kulikova E., Hasegawa M. and Lerink B. (Eds.).* Russian forests and climate change. What Science Can Tell Us 11. European Forest Institute, 2020. DOI: <https://doi.org/10.36333/wscu11>.
25. *Wang Y., Wang J., Xu L., Feger K. H., Xiong W.* Multifunctional forestry on the Loess Plateau // *Multifunctional Land-Use Systems for Managing the Nexus of Environmental Resources*. Springer, Cham, 2017. P. 79—107.
26. *Wilms, Falko E. P. (ed.).* Szenariotechnik. Vom Umgang mit der Zukunft. Bern, Stuttgart, Wien: Haupt, 2006. 411 p.
27. *Glenn J. C., Gordon T. J. (eds.).* The Millennium Project: Futures Research Methodology, Version 3.0. The Millennium Project. 3.0 edition, 2009. 1300 p.

28. Kosow H., Gaßner R. Methods of future and scenario analysis: overview, assessment, and selection criteria // DEU. 2008. Vol. 39. P. 133.
29. Основы государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года (утв. Распоряжением Правительства РФ от 26 сентября 2013 г. № 1724-р).
30. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года (утв. Распоряжением Правительства РФ от 11 февраля 2021 года № 312-р).
31. Экологическая повестка: за десять месяцев до выборов в Госдуму // ВЦИОМ. Данные опросов. № 4384. 30.11.2020. URL: <https://old.wciom.ru/index.php?id=236&uid=10650> (дата обращения 14.12.2021). Текст: электронный.
32. Россияне назвали загрязнение природы угрозой страшнее терроризма // Левада-Центр. 23.01.2020. URL: <https://www.levada.ru/2020/01/23/rossiyane-nazvali-zagryaznenie-prirody-ugrozoj-strashnee-terrorizma/> (дата обращения 14.12.2021). Текст: электронный.
33. Кто должен заботиться о природе? // ВЦИОМ. Аналитический обзор. 03.08.2010. URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/kto-dolzhen-zabotitsya-o-prirode> (дата обращения 14.12.2021). Текст: электронный.
34. Российские учёные составили психологический портрет экологически ответственного человека // Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, ФГАНУ «Социоцентр». 20.01.2020. URL: <https://www.5top100.ru/news/116580/> (дата обращения 14.12.2021). Текст: электронный.
35. Изменение климата и как с ним бороться // ВЦИОМ. Аналитический обзор. 30.09.2020. URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/izmenenie-klimata-i-kak-s-nim-borotsya> (дата обращения 14.12.2021). Текст: электронный.
36. Климатические колебания: тепло ли, холодно ли? // ВЦИОМ. Аналитический обзор. 24.07.2017. URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/klimaticheskie-kolebaniya-teplo-li-kholodno-li> (дата обращения 14.12.2021). Текст: электронный.
37. Тихонова Т. В. Экосистемные услуги: роль в региональной экономике и подходы к оценке // Известия Коми НЦ УРО РАН. 2016. № 3 (27). С. 134—143.
38. Кандалов В. И., Сироткина Г. П. Современное состояние влияния СМИ на массовое сознание // Россия и мир: развитие цивилизаций. Трансформация политических ландшафтов за период 1999—2019 гг.: Материалы IX междунар. научно-практич. конф. М., 2019. С. 404—410.
39. Васильев А. В., Розенберг Г. С. Мониторинг акустического загрязнения селитебной территории г. Тольятти и оценка его влияния на здоровье населения // Безопасность в техносфере. 2007. № 3. С. 9—12.
40. Розенберг Г. С., Мозговой Д. П., Гелашивили Д. Б. Экология. Элементы теоретических конструкций современной экологии. Самара: Изд-во Самар. науч. центра РАН, 1999. 396 с.
41. Тихонова Т. В. Социально-экономические аспекты использования особо охраняемых природных территорий // Материалы XVI Геологического съезда Республики Коми «Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России» (15—17 апреля 2014 г.). Сыктывкар, 2014. Т. III. С. 237—238.
42. Богатова Е. Ю. Экономическая оценка лесной рекреации // Материалы Пятой научно-технической конференции-вебинара «Леса России: политика, промышленность, наука, образование». СПб.: СПбГЛТУ, 2020. С. 42—44.
43. По грибы да по ягоды // ВЦИОМ. Аналитический обзор. 13.08.2019. URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/po-griby-da-po-yagody> (дата обращения 14.12.2021). Текст: электронный.

44. Богатова Е. Ю. Региональные проблемы рационального использования недревесных лесных ресурсов // Материалы Третьей научно-технической конференции «Леса России: политика, промышленность, наука, образование». СПб.: СПбГЛТУ, 2018. Т. 2. С. 259—262.
45. Экологическая культура россиян // ВЦИОМ. Аналитический обзор. 20.01.2011. URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/ekologicheskaya-kultura-rossiyan> (дата обращения 14.12.2021). Текст: электронный.
46. Абрамов К. В. Россияне о состоянии окружающей среды // ВЦИОМ. Экспертный опрос. 2013. URL: https://wciom.ru/fileadmin/file/reports_conferences/2013/2013-06-17-ekologiya.pdf (дата обращения 14.12.2021). Текст: электронный.
47. Экологическая ситуация в России: мониторинг // ВЦИОМ. Аналитический обзор. 23.08.2018. URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/ekologicheskaya-situatsiya-v-rossii-monitoring-3> (дата обращения 14.12.2021). Текст: электронный.
48. Полканов В. Россияне усваивают «зелёные» привычки // Независимая газета. 2021. 23 июня. URL: https://www.ng.ru/economics/2021-06-23/100_192423062021.html (дата обращения 14.12.2021). Текст: электронный.
49. Ермолаева П. О. Концептуализация понятия «экологическая культура» в американской и российской традициях // Учёные записки Казанского университета. Серия: Гуманитарные науки. 2010. Т. 152, № 5. С. 80—88.
50. Контроль над вырубкой леса: население имеет право голоса! // ВЦИОМ. Аналитический обзор. 20.09.2010. URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/kontrol-nad-vyrubkoj-lesa-naselenie-imeet-pravo-golosa> (дата обращения 14.12.2021). Текст: электронный.
51. Россияне о положении в лесном секторе // ВЦИОМ. Аналитический обзор. 26.10.2005. URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/rossiyane-o-polozhenii-v-lesnom-sektore> (дата обращения 14.12.2021). Текст: электронный.
52. Рябинина О. Лесопромышленный комплекс ждёт перемен: новый Лесной кодекс // Продерево. 25.04.2019. URL: <https://proderevo.net/analytics/main-analytics/lesopromyshlennyj-kompleks-zhdet-peremen-novyj-lesnoj-kodeks.html> (дата обращения 14.12.2021). Текст: электронный.

References

1. MEA Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being; Island Press: Washington, DC, USA, 2005, vol. 5.
2. Tebenkova D. N., Lukina N. V., Chumachenko S. I., Danilova M. A., Kuznetsova A. I., Gornov A. V., Shevchenko N. E., Kataev A. D., Gagarin Y. N. Multifunctionality and biodiversity of forest ecosystems. *Contemporary Problems of Ecology*, 2020, vol. 13, no. 7, pp. 709—719.
3. Lukina N. V. Global challenges and forest ecosystems. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 2020, vol. 90, no. 6, pp. 528—532. (In Russ.)
4. Amacher G. S., Ollikainen M., Uusivuori J. Forests and ecosystem services: outlines for new policy options. *Forest Policy and Economics*, 2014, vol. 47, pp. 1—3. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.forpol.2014.07.002>.
5. Hoogstra-Klein M. A., Brukas V., Wallin I. Multiple-use forestry as a boundary object: from a shared ideal to multiple realities. *Land use policy*, 2017, vol. 69, pp. 247—258. doi: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.08.029>.

6. Başkent E. Z. A review of the development of the multiple use forest management planning concept. *International Forestry Review*, 2018, vol. 20, no. 3, pp. 296—313. doi: 10.1505/146554818824063023.
7. Guariguata M. R., Sist P., Nasi R. Reprint of: Multiple use management of tropical production forests: How can we move from concept to reality? *Forest ecology and management*, 2012, vol. 268, pp. 1—5. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.12.047>.
8. Koch N. E., Skovsgaard J. P. Sustainable management of planted forests: some comparisons between Central Europe and the United States. *New. For.*, 1999, vol. 17 (1-3), pp. 11—22. doi: 10.1023/A:1006520809425.
9. Schmithüsen F., Herbst P., Le Master D. C. (Ed.) *Forging a New Framework for Sustainable Forestry: Recent Developments in European Forest Law. IUFRO World Series, vol. 10.* International Union of Forestry Research Organisations, IUFRO Secretariat Vienna; Chair of Forest Policy and Forest Economics. ETH, Zurich, 2000. 354 p.
10. Kaljonen M., Primmer E., Blust G. De, Nijnik M., Kulvik M. Multifunctionality and biodiversity conservation — institutional challenges T. Chmelievski (Ed.). *Nature Conservation Management: From Idea to Practical Issues*. Helsinki; Aarhus, Lublin, Poland, 2007, pp. 53—69.
11. Probstl U. Forests in balance? Forest under the spell of economic, ecological and recreational requirements-Considerations about the European Model. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung*, 2007, vol. 178, no. 4, p. 68. doi: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.08.029>.
12. Winkel G., Aggestam F., Sotirov M., Weiss G. Forest Policy in the European Union. *Pülzl H., Hogl K., Arts B., Kleinschmit D., Winkel G., Wydra D. (Eds.). European Forest Governance: Issues at Stake and the Way Forward. EFI Series: What Science can tell us*, 2013, pp. 52—63.
13. Bonsu N. O., Dhubbáin Á. N., O'connor D. Understanding forest resource conflicts in Ireland: A case study approach. *Land use policy*, 2019, vol. 80, pp. 287—297. doi: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.11.009>.
14. Lindahl K. B., Sténs A., Sandström C., Johansson J., Lidskog R., Ranius T., Roberge J. M. The Swedish forestry model: More of everything? *Forest Policy and Economics*, 2017, vol. 77, pp. 44—55. doi: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2015.10.012>.
15. Borrass L., Kleinschmit D., Winkel G. The «German model» of integrative multifunctional forest management — analysing the emergence and political evolution of a forest management concept. *Forest Policy and Economics*, 2017, vol. 77, pp. 16—23. doi: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2016.06.028>.
16. Van der Jagt J. L. Integrated forest management: practice, examples and backgrounds. *Rapport / Expertisecentrum LNV (Netherlands)*, 2000, issue 5. 214 p.
17. Thomas J. W. Forest Service perspective on ecosystem management. *Ecological Applications*, 1996, vol. 6, no. 3, pp. 703—705.
18. The Forest Code of the Russian Federation (approved by the President of the Russian Federation on December 04, 2006 no. 200-FZ). (In Russ.)
19. Valentik I. V. *Parliamentary hearings on legislative regulation of multipurpose use of forest resources. September 12, 2018* (oral presentation). (In Russ.)
20. Gagarin Yu. N. Scientific commentary on the development strategy of the forest complex of the Russian Federation until 2030. *Questions of forest science*, 2021 (in print). (In Russ.)
21. Sokolova M. Responsibility without radical measures: what will be the new Forest Code. *Parliamentary newspaper*, 2019, April 26. URL: <https://www.pnp.ru/economics/otvetstvennost-bez-radikalnykh-mer-kakim-budet-novyy-lesnoy-kodeks.html>. Text. Image: electronic. (In Russ.)

22. Gagarin Yu. N. Concept of the draft Federal law «Forest Code of the Russian Federation». *Questions of forest science*, 2020, vol. 3, no. 3. (In Russ.)
23. The concept of the draft Federal Law «Forest Code of the Russian Federation». Moscow, 2019. (In Russ.)
24. Leskinen P., Lindner M., Verkerk P. J., Nabuurs G. J., Van Brusselen J., Kulikova E., Hassegawa M., Lerink B. (Eds.). *Russian forests and climate change. What Science Can Tell Us 11*. European Forest Institute, 2020. doi: <https://doi.org/10.36333/wsctu11>.
25. Wang Y., Wang J., Xu L., Feger K. H., Xiong W. Multifunctional forestry on the Loess Plateau. *Multifunctional Land-Use Systems for Managing the Nexus of Environmental Resources*. Springer, Cham, 2017, pp. 79—107.
26. Wilms, Falko E. P. (ed.). *Szenariotechnik. Vom Umgang mit der Zukunft*. Bern, Stuttgart, Wien, Haupt, 2006. 411 p.
27. Glenn J. C., Gordon T. J. (Eds.). *The Millennium Project: Futures Research Methodology, Version 3.0. The Millennium Project. 3.0 edition*, 2009. 1300 p.
28. Kosow H., Gaßner R. Methods of future and scenario analysis: overview, assessment, and selection criteria. *DEU*, 2008, vol. 39, p. 133.
29. Fundamentals of state policy in the field of use, protection, protection and reproduction of forests in the Russian Federation for the period up to 2030 (approved by the Decree of the Government of the Russian Federation no. 1724-r dated September 26, 2013). (In Russ.)
30. The strategy for the development of the forest complex of the Russian Federation until 2030 (approved by the Decree of the Government of the Russian Federation no. 312-r dated February 11, 2021). (In Russ.)
31. Environmental agenda: ten months before the elections to the State Duma. VTSIOM. Survey data, no. 4384, 30.11.2020. URL: <https://old.wciom.ru/index.php?id=236&uid=10650> (accessed 14.12.2021). Text. Image: electronic. (In Russ.)
32. Russians called the pollution of nature a threat worse than terrorism. Levada-Center, 23.01.2020. URL: <https://www.levada.ru/2020/01/23/rossiyane-nazvali-zagryaznenie-prirody-ugrozoj-strashnee-terrorizma/> (accessed 14.12.2021). Text. Image: electronic. (In Russ.)
33. Who should take care of nature? VTSIOM. Analytical review, 03.08.2010. URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/kto-dolzhen-zabotitsya-o-prirode> (accessed 14.12.2021). Text. Image: electronic. (In Russ.)
34. Russian scientists have compiled a psychological portrait of an environmentally responsible person. Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, FGANU «Sociocenter», 20.01.2020. URL: <https://www.5top100.ru/news/116580/> (accessed 14.12.2021). Text. Image: electronic. (In Russ.)
35. Climate change and how to fight it. VTSIOM. Analytical review, 30.09.2020. URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/izmenenie-klimata-i-kak-s-nim-borotsya> (accessed 14.12.2021). Text. Image: electronic. (In Russ.)
36. Climatic fluctuations: is it warm, is it cold? VTSIOM. Analytical review, 24.07.2017. URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/klimaticheskie-kolebaniya-teplo-li-kholodno-li> (accessed 14.12.2021). Text. Image: electronic. (In Russ.)
37. Tikhonova T. V. Ecosystem services: role in regional economy and approaches to assessment. *Izvestiya Komi NC URO RAS*, 2016, no. 3 (27), pp. 134—143. (In Russ.)
38. Kandalov V. I., Sirotkina G. P. The current state of media influence on mass consciousness. *Russia and the world: the development of civilizations. Transformation of political landscapes for the period 1999—2019: Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference*. Moscow, 2019, pp. 404—410. (In Russ.)

39. Vasiliev A. V., Rosenberg G. S. Monitoring of acoustic pollution of residential territory of the city of Togliatti and assessment of its impact on public health. *Security in the technosphere*, 2007, no. 3, pp. 9—12. (In Russ.)
40. Rosenberg G. S., Mozgovoy D. P., Gelashvili D. B. *Ecology. Elements of theoretical constructions of modern ecology*. Samara, Publishing House of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 1999. 396 p. (In Russ.)
41. Tikhonova T. V. Socio-economic aspects of the use of specially protected natural territories. *Materials of the XVI Geological Congress of the Komi Republic «Geology and mineral resources of the European Northeast of Russia» (April 15—17, 2014)*. Syktyvkar, 2014, vol. III, pp. 237—238. (In Russ.)
42. Bogatova E. Yu. Economic assessment of forest recreation. *Materials of the Fifth scientific and technical conference-webinar «Forests of Russia: politics, industry, science, education»*. Saint Petersburg, SPbGLTU, 2020, pp. 42—44. (In Russ.)
43. On mushrooms and berries. VTSIOM. Analytical review, 13.08.2019. URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/po-griby-da-po-yagody> (accessed 14.12.2021). Text. Image: electronic. (In Russ.)
44. Bogatova E. Y. Regional problems of rational use of non-wood forest resources. *Materials of the Third scientific and technical conference «Forests of Russia: politics, industry, science, education»*. Saint Petersburg, SPbGLTU, 2018, vol. 2, pp. 259—262. (In Russ.)
45. Ecological culture of Russians. VTSIOM. Analytical review, 20.01.2011. URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/ekologicheskaya-kultura-rossiyan> (accessed 14.12.2021). Text. Image: electronic. (In Russ.)
46. Abramov K. V. Russians on the state of the environment. VTSIOM. Expert survey, 2013. URL: https://wciom.ru/fileadmin/file/reports_conferences/2013/2013-06-17-ekologiya.pdf (accessed 14.12.2021). Text. Image: electronic. (In Russ.)
47. Environmental situation in Russia: monitoring. VTSIOM. Analytical review, 23.08.2018. URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/ekologicheskaya-situacziya-v-rossii-monitoring-3> (accessed 14.12.2021). Text. Image: electronic. (In Russ.)
48. Polkanov V. Russians assimilate «green» habits. *Independent Newspaper*. 2021. 23 июня. URL: https://www.ng.ru/economics/2021-06-23/100_192423062021.html (accessed 14.12.2021). Text. Image: electronic. (In Russ.)
49. Ermolaeva P. O. Conceptualization of the concept of «ecological culture» in the American and Russian traditions. *Scientific notes of Kazan University. Series: Humanities*, 2010, vol. 152, no. 5, pp. 80—88. (In Russ.)
50. Control over deforestation: the population has the right to vote! VTSIOM. Analytical review, 20.09.2010. URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/kontrol-nad-vyrubkoj-lesa-naselenie-imeet-pravo-golosa> (accessed 14.12.2021). Text. Image: electronic. (In Russ.)
51. Russians about the situation in the forest sector. VTSIOM. Analytical review, 26.10.2005. URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/rossiyane-o-polozhenii-v-lesnom-sektore> (accessed 14.12.2021). Text. Image: electronic. (In Russ.)
52. Ryabinina O. The timber industry complex is waiting for changes: the new Forest Code. *Proderevo*. 25.04.2019. URL: <https://proderevo.net/analytics/main-analytics/lesopromyshlennyj-kompleks-zhdet-peremen-novyj-lesnoj-kodeks.html> (accessed 14.12.2021). Text. Image: electronic. (In Russ.)

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6083

УДК 004.942 (632.125)

Статья

Нечёткое моделирование процесса естественной рекультивации нарушенных земель

Побединский Владимир Викторович

*доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой интеллектуальных систем
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»
(Российская Федерация), e-mail: pobed@el.ru,*

Анянова Евгения Васильевна

*кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»
(Российская Федерация), e-mail: anyanova@t.usfeu.ru*

Ковалев Рудольф Николаевич

*доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»
(Российская Федерация), e-mail: kovalevrn@t.usfeu.ru,*

Иовлев Григорий Александрович

*кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой сервиса транспортных
и технологических машин АПК ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный
университет» (Российская Федерация), e-mail: gri-iovlev@yandex.ru*

Получена: 6 января 2022 / Принята: 22 марта 2022 / Опубликовано: 29 марта 2022

Аннотация: В данной статье рассмотрена проблема рекультивации нарушенных земель. Поскольку на сегодняшний день не выработан подход даже на методологическом уровне, то должна решаться первоначальная задача — как определить тот период времени, который необходим для естественного восстановления земель. Только после решения этой задачи появится возможность оценить эффективность вообще каких-либо агротехнических мероприятий по восстановлению в сравнении с естественным процессом. Объект настоящих исследований — фонд нарушенных земель по Свердловской области, которые попали под техногенные воздействия от горнодобывающей промышленности. Все параметры такого объекта характеризуются условиями неопределённости данных, поэтому главная идея работы заключалась в использовании нечёткой

логики, вначале для описания основных параметров, влияющих на процесс восстановления, а затем получения функциональной зависимости выходного параметра — периода времени восстановления от этих исходных параметров. Таким образом, была определена цель исследований — разработка нечёткой модели процесса естественной рекультивации нарушенных земель. В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи: 1) выполнение экспериментальных исследований состояния нарушенных земель конкретного региона; 2) разработка постановки задачи в содержательном виде; 3) обоснование нечётких функций принадлежности задачи; 4) разработка базы правил нечёткой продукции; 5) нечёткий вывод и получение результирующей функции; 6) программная реализация задачи. Результатами исследований явилась программно-реализованная в среде Scilab функциональная зависимость периода времени восстановления нарушенных земель от типа почвы, её параметров и типа растительности. Результаты предназначены для проектирования агротехнических, нормативных и других мероприятий по восстановлению нарушенных земель.

Ключевые слова: рекультивация нарушенных земель, оценка времени восстановления нарушенных земель, нечёткое моделирование

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6083

Article

Fuzzy modeling of disturbed lands natural revegetation

Vladimir Pobedinskiy

*D. Sc. in engineering, professor, head of the Department of Intelligent Systems,
FSBEE HE «Ural State Forest Engineering University» (Russian Federation),
e-mail: pobed@el.ru*

Evgeniya Anyanova

*Ph. D. in agriculture, associate professor, Department of Intelligent Systems,
FSBEE HE «Ural State Forestry University» (Russian Federation),
e-mail: anyanovagv@m.usfeu.ru*

Rudolf Kovalev

*D. Sc. in engineering, professor, Department of Intelligent Systems,
FSBEE HE «Ural State Forest Engineering University» (Russian Federation),
e-mail: kovalevrn@m.usfeu.ru*

Grigory Iovlev

*Ph. D. in economics, associate professor, Head of the Department of Service of Transport and
Technological Machines of the Agroindustrial Complex, FSBEE HE «Ural State Agrarian
University» (Russian Federation), e-mail: gri-iovlev@yandex.ru*

Received: 6 January 2022 / Accepted: 22 March 2022 / Published: 29 March 2022

Abstract: The problem of disturbed lands recultivation is considered. Since no methodological approach has been developed, the primary task to be solved is to determine the desired period of time for lands natural revegetation. Agrotechnical revegetation measures effectiveness could be compared with the one of natural revegetation only if this task has been solved. The object of this research was the fund of mined disturbed lands in the Sverdlovsk region. All parameters of this object were characterized by data uncertainty conditions, therefore the main idea of the work was to use fuzzy logic, first to describe the main parameters affecting the revegetation process, and then to obtain a functional dependence of the output parameter, i.e. the recovery time period from these initial parameters. Thus, the goal of the research was to develop a fuzzy model of the process of natural revegetation of disturbed lands. The authors studied experimentally the disturbed lands state in a particular region; developed the

problem statement; justified fuzzy membership functions of the problem; developed a base of rules for fuzzy products; obtained fuzzy inference and the resulting function; and developed software implementation of the task. The research results were software-implemented in the Scilab environment functional dependence of disturbed lands revegetation period on the type of soil, its parameters and the type of vegetation. The results might be applied to design agrotechnical, regulatory and other measures for disturbed lands revegetation.

Keywords: reclamation of disturbed lands, estimation of the time of recultivation of disturbed lands, fuzzy modeling

1. Введение

В настоящее время экологические проблемы обостряются. Особенно губительные процессы для земель любых категорий происходили с России с 1990-х гг., а негативные последствия от этих процессов только усиливаются. В этой связи нашим правительством принималось и принимается много нормативных актов, направленных на поддержание экологических мер, однако решить проблему на сегодняшний день не удаётся. Проблема обостряется, главным образом, ещё и по объективным причинам: рост численности населения Земли, увеличение производства и потребления природных ресурсов любую экологическую проблему постепенно превращают в глобальную.

Примером является и ситуация с нарушенными землями, фонд которых также растёт.

Таким образом была определена цель настоящей работы, которая заключалась в исследовании закономерностей восстановления и разработке модели оценки времени естественной рекультивации нарушенных земель.

Задачи настоящих исследований включали:

- 1) выполнение экспериментальных исследований состояния нарушенных земель конкретного региона;
- 2) разработку постановки задачи в содержательном виде;
- 3) обоснование нечётких функций принадлежности задачи;
- 4) разработку базы правил нечёткой продукции;
- 5) программную реализацию задачи;
- 6) нечёткий вывод и получение результирующей функции.

2. Материалы и методы

В работе использованы методы определения параметров почвогрунтов, методы определения таксационных характеристик, математической статистики для обработки экспериментальных данных, функционального моделирования, теории нечётких множеств и её практического приложения нечёткого моделирования. Реализация модели оценки времени рекультивации выполнена в среде Scilab.

3. Результаты

3.1. Краткий анализ исследований по проблеме

В горнодобывающей отрасли широко распространена угледобыча закрытым способом, при котором близлежащие земли засыпаются отвалами низкопродуктивных горных пород. Это вызывает серьёзные нарушения экологии, т. к. наблюдается снижение уровня плодородия почв и создаются крайне неблагоприятные условия для естественного зарастания земель.

В рамках различных научных исследований делаются попытки улучшить экологическую ситуацию, а именно: воздействовать для создания антропогенной растительности. С этой целью делаются закладки пробных площадей, изучаются таксационные характеристики древесно-кустарниковой растительности, живого напочвенного покрова, берутся пробы почвы отвалов на агрохимию, осуществляются разработка методических рекомендаций рекультивации земель и другие мероприятия.

Наиболее многочисленная группа исследований посвящена вопросам естественного восстановления почвенного и растительного покровов на техногенно нарушенных землях. Так, на Украине можно отметить такие исследования (Бондарь, 1971, 1974; Бондарь, Додатко, 1973, 1974; Денисик, 1984); в Донбассе (Рева и др., 1974; Рева, Хархарота, Дмитриенко, 1978); в Подмосковье (Акулов, Макаров, 1980; Васильева, 1981; Моторина, Ижевская, 1967, 1980; Васильева, 1981); в Кузбассе (Баранник, 1973; Щербатенко, Кондрашин, 1977; Щербатенко, Шушуева, 1974; Трофимов, Овчинников, 1970). Такие работы также проводились на Урале (Колесников и др., 1976; Кулагин, 1982; Левит, 1978; Лукьянец, 1974, 1978; Маковский, Новак, 1974; Махонина, Чибрик, 1974; Махонина и др., 1976; Накаряков, Назаренко, 1980; Пасынкова, 1984, 1992; Прокопьев и др., 1974; Тарчевский, 1964, 1968; Тарчевский, Чибрик, 1969, 1970; Хамидулина, 1970; Чибрик, 1979; Шилова, 1970, 1974; Штина и др., 1971).

Общую характеристику этих исследований отметили Т. С. Чибрик и Ю. А. Елькина (1989). По их мнению, исследования сформировались вокруг двух основных направлений. Первое направление посвящено флористическому анализу вне связи с растительностью окружающих территорий, т. е. подчёркивается только своеобразие растительности. Второе направление — выявление в самом общем закономерностей растительных сообществ на нарушенных промышленностью землях. Исследователями практически не выявлены закономерности агрохимического анализа почвогрунтов, их плодородия с естественным зарастанием, позволяющие подойти к решению проблем комплексного анализа рекультивации земель.

Настоящая работа базируется на последних исследованиях (Анянова, 2006, 2017, 2018, 2019) [1], и делается попытка прогнозирования процесса рекультивации земель.

Таким образом, краткий анализ обзора публикаций и литературы позволяет заключить, что актуальность исследования возрастает, и в рассматриваемом направлении они ведутся, но проблема от решения в полной мере ещё далека.

3.2. Результаты экспериментальных исследований состояния нарушенных земель Свердловской области

Исследования проводились для условий Свердловской области и фонда земель, нарушенных под воздействием горнодобывающей промышленности. Добываемые закрытым способом пустые породы вывозятся в специально отведённые для этих целей территории. Произрастание различных видов растений, особенно в первые годы, на этих почвогрунтах

невозможно, поэтому проходит несколько лет, и смены видов растительности, пока произойдут изменения, достаточные для полноценного восстановления земель.

Исследования проводились с использованием функционального моделирования процесса восстановления, статистической обработки и построения различных диаграмм, которые позволяют просматривать последовательность этапов исследования и картину состояния земель и растительности [1].

Методологическая схема процесса исследований и дальнейшего моделирования приведена на рисунке 1.

Некоторые результаты исследований почвогрунтов приведены в таблице 1 [1].

Таблица 1. Средние агрохимические показатели почвогрунтов отвалов Буланашского угольного месторождения

Table 1. Average agrochemical indicators of soils of the dumps of the Bulanash coal deposit

Характеристика отвала	pH	P ₂ O ₅ , мг/100 г	K ₂ O, мг/100 г	Hr, ммоль/ 100 г	Ca + Mg, ммоль/100 г	Гумус, %
Отвал с пятилетним окончанием отсыпки (подножие)	7,7	3,34	18,37	—	—	11,8
Отвал с пятилетним окончанием отсыпки (средняя и верхняя части)	8,1	40,76	8,88	0,45	5,38	14,0
Отвал с пятилетним окончанием отсыпки (подножие)	8,1	52,04	21,71	—	—	10,0
Отвал с тридцатилетним окончанием отсыпки (верхняя и средняя части)	7,3	19,72	20,97	1,15	6,5	11,4
Отвал с тридцатилетним окончанием отсыпки (подножие)	6,9	10,94	16,42	—	—	10,3
Отвал с тридцатилетним окончанием отсыпки (верхняя и средняя части)	7,1	30,45	26,58	1,10	6,13	12,2
Отвал с тридцатилетним окончанием отсыпки (подножие)	6,9	28,66	25,23	—	—	10,6

Проведённый агрохимический анализ проб почвы позволил установить картину содержания в них химических и биологических элементов в зависимости от времени существования отвалов, их ориентирования относительно солнечного света, местоположения по склону отвалов. Так, образующиеся после длительного нахождения в отвалах грунтосмеси алевролиты и аргиллиты с песчаником (серого цвета) уже вполне пригодны по своим свойствам для произрастания многих видов растительности.

Почвогрунты в среднем содержат подвижного фосфора P₂O₅ от 3 до 52 мг на 100 г грунта. Со временем выдержки в отвалах содержание фосфора несколько снижается.

Почвы отвалов первых лет отсыпки имеют низкое содержание подвижного калия, K₂O не более 16 мг на 100 г почвы, которое повышается с увеличением времени отсыпки и к 30 годам достигает 26 мг.

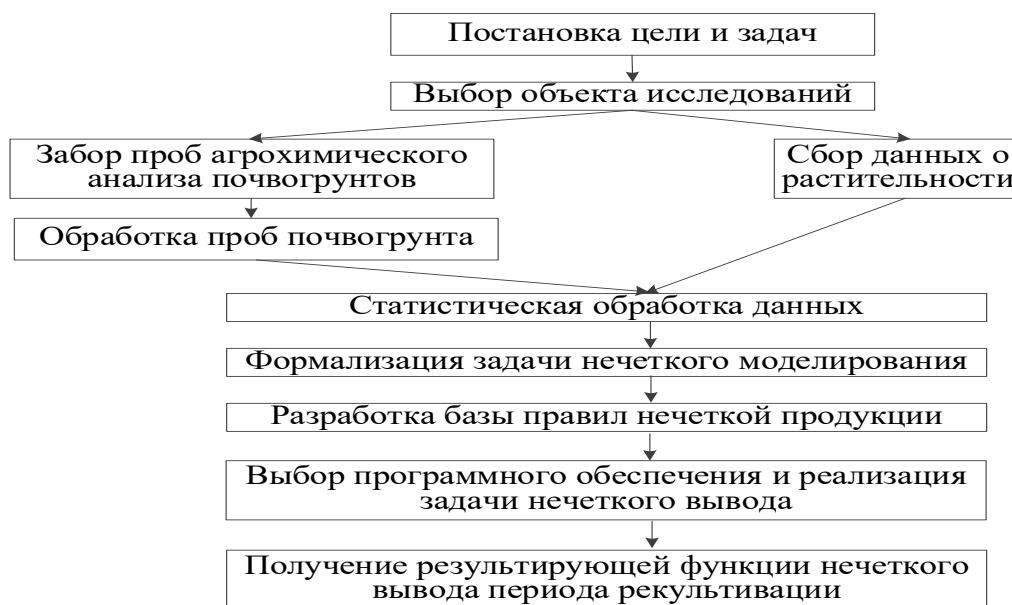


Рисунок 1. Методологическая схема процесса исследований

Figure 1. Methodological scheme of the research process

В целом субстраты почвы проявляют щелочную реакцию за счёт оснований Са и Mg, содержащихся в известняке и карбонатах. Эти элементы оказывают благоприятное влияние, т. к. в ходе почвообразования способствуют накоплению гумуса. Но его содержание достигает существенного количества более 14 % к тридцатилетнему периоду.

Следует отметить, что отвалы из отходов угледобычи содержат больше органических веществ, т. к. их изначально больше в угле. Наилучший состав почвогрунта формируется у подножий отвалов и ближе к тридцатилетнему сроку отсыпки. Здесь наблюдается наибольшая (до 80 %) насыщенность основаниями, что создаёт более благоприятные условия для зарастания растительностью.

Исследование растительности проведено для всех типов экспозиции склона и сроков окончания отсыпки отвалов и для всех встречаемых видов растений. Отдельный фрагмент сводных результатов приведён в таблице 2 [1].

3.3. Постановка задачи моделирования процесса естественной рекультивации нарушенных земель в содержательном виде

Постановка задачи в содержательном виде предусматривает словесное описание состояния объекта исследований для выявления его особенностей, специфики поведения и последовательности действий при работе, входные и выходные параметры и другие свойства. В данном случае следовало определить основные требования к модели и решаемые задачи.

Таблица 2. Характеристика древесно-кустарниковой растительности на пробных площадях, заложенных на отвалах Буланашского угольного месторождения

Table 2. Characteristics of tree and shrub vegetation on the test areas lay out on the dumps of the Bulanash coal deposit

Экспозиция склона	Вид растительности	Количество экземпляров по группам высот, шт./га				Средняя высота, м	Встречае- мость, %
		до 0,5 м	0,6— 1,5 м	выше 1,6 м	Всего		
Отвал с тридцатилетним окончанием отсыпки							
15, восточная	Клён ясенелистный	0	0	25	25	3,0	33
	Черёмуха обыкновенная	0	0	25	25	2,5	33
	Облепиха крушиновидная	0	7	6	13	1,5	33
	Рябина обыкновенная	0	6	0	6	2,0	33
Всего		69					
16, северное подножие	Черёмуха обыкновенная	0	0	188	188	5,0	25
	Берёза повислая	0	66	22	88	1,0	42
	Клён ясенелистный	11	0	0	11	0,5	8
	Яблоня лесная	0	0	11	11	5,0	8
	Тополь чёрный	0	0	22	22	13,0	8
	Ива остролистная	0	0	66	66	2,4	50
	Рябина обыкновенная	0	11	0	11	1,0	8
Всего		397					

По типу модель относится к экспертным система. Основной её задачей является установление связи между такими характеристиками, как тип почвогрунта, тип растительности и время периода рекультивации. Информативным параметром может являться величина типа растительности, которая указывает на плодородие почвы. Если использовать качественные зависимости, то можно сформулировать процесс зарастания территории начиная с травянистых растений (мхи, лишайники, семейство сложноцветных, а именно: мать-и-мачеха обыкновенная, полынь горькая, осот полевой, из семейства бобовых представлены донник белый, горошек мышиный, клевер луговой, из семейства злаковых лидируют лисохвост луговой, вейник наземный, мятлик луговой и др.) и постепенным

увеличением видового разнообразия. При этом с развитием растительности происходит обогащение почвы необходимыми для растительности химическими и биологическими элементами, в первую очередь гумусом.

Математически зависимость периода времени от развития растительности и увеличения плодородия почвы является прямо пропорциональной.

Здесь самым информативным в нормативном плане показателем является период времени рекультивации, т. к. с его учётом планируются экологические мероприятия

3.4. Разработка модели прогнозирования процесса рекультивации в виде нечёткой системы

Определение переменных задачи

Как было определено при постановке задачи в содержательном виде, основными исходными показателями для оценки периода рекультивации названы следующие:

- тип растительности;
- тип грунта.

Выходной переменной принимаем длительность периода восстановления.

Она может быть задана [3—6] традиционно по пятибалльной шкале, исходя из подразделения растительности по таксационным характеристикам. По мере зарастания и биологического развития происходит смена почвопокровной растительности, мелких кустарников, крупных или древесных кустарников, мелких деревьев, крупных деревьев. При этом под крупными в данном случае понимаются деревья в возрасте 30 лет и высотой до 12 м.

Растительность может подразделяться на следующие категории:

- 1) почвопокровные, травянистые растения;
- 2) мелкий кустарник;
- 3) крупный древесный кустарник;
- 4) мелкая древесная растительность;
- 5) крупная древесная растительность.

Наиболее встречаемые виды растений представлены в результатах исследований [1] и частично в таблице 2.

Аналогично грунты по разновидности [2] или в данном случае, условно говоря, степени плодородия можно подразделить на следующие категории.

1. Скальный или полускальный грунт, низкой прочности (в данном случае сцементированные отвалы) [2], т. е. грунт, в котором преобладают структурные связи химической природы. Также можно отнести эту категорию согласно ГОСТ 23740 по относительному содержанию органического вещества к категории минеральных.

2. Грунт с примесью органического вещества, включениями растительных остатков.

3. Грунт со средним содержанием органического вещества или, по аналогии, среднезаторфованные.

4. С высоким содержанием органического вещества или органоминеральный грунт, т. е. грунт, масса органического вещества в котором составляет от 10 до 50 % от массы сухого грунта.

5. Органический грунт (в данном случае антропогенный грунт), т. е. грунт, масса органического вещества в котором составляет не менее 50 % (в настоящих экспериментах выявлялось до 80 %).

Следует отметить, что строгих границы между категориями нет, как в ГОСТе, так и в природных условиях. В отвалах будет наблюдаться смешение категорий, следовательно, имеет место неопределённость в данных. А для формализации и решения такого класса задач используется теория нечётких множеств [3].

Согласно положениям теории нечётких множеств, все переменные задачи могут быть формализованы в виде лингвистических переменных с соответствующими терм множествами функций принадлежности: Мин — минимальное; М — малое, Ср — среднее, Б — большое, Макс — максимальное. Соответственно, определим входные и выходную переменные следующим образом:

Входные переменные

1. «Тип растительности, TP »; от 1 до 5 — TP {Мин, Мал, Ср, Б, Макс}.
2. «Тип почвы, $ТП$ »; от 1 до 5 — $ТП$ {Мин, Мал, Ср, Б, Макс}.

Выходная переменная

1. «Период, T »; лет от 1 до 30.

Переменные задачи в графическом виде изображены на рисунке 2.

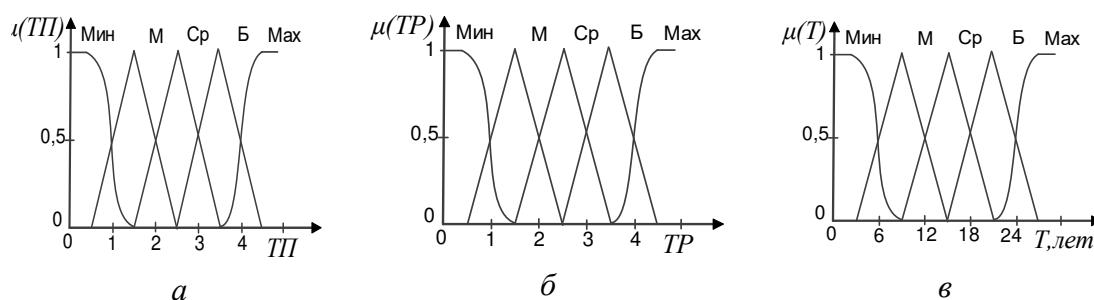


Рисунок 2. Лингвистические переменные задачи: *a* — «Тип почвы, $ТП$ », *б* — «Тип растительности, TP », *в* — «Период, T »

Figure 2. Linguistic variables of the task: *a* — «Type of vegetation, TR », *b* — «Type of soil, TP », *c* — «Period, T »

Разработка базы правил нечёткой продукции

В данном случае для нечёткого вывода используется метод Мамдани [6], следовательно, необходимо разработать базу правил нечёткой продукции [7—9]. Она приведена в таблице 3.

Таблица 3. База правил для нечёткого вывода

Table 3. Rule base for fuzzy inference

Значения переменной «Тип растительности, TP »	Значения переменной «Период, T » в зависимости от значений переменной «Тип почвы, $ТП$ »				
	Мин	М	Ср	Б	Мах
Мин	Б	Ср	Ср	М	Мин
М	Мах	Б	Ср	Ср	М
Ср	Мах	Мах	Б	Б	Ср
Б	Мах	Мах	Мах	Мах	Б
Мах	Мах	Мах	Мах	Мах	Мах

На основе предложенных лингвистических переменных задачи и разработанной базы правил выполняется реализация нечёткой системы в компьютерной программе.

Программная реализация нечёткой системы

Для реализации нечёткой системы в программной среде использована система Scilab [10]. Формализация нечётких функций принадлежности изображена на рисунке 3, где входные функции «Тип растительности, TP » и «Тип почвы, $ТП$ » определены в пользовательских формах программы, а выходная функция «Период, T » задана графически.



Рисунок 3. Задание входных и выходной функций в Scilab: a — «Тип растительности, TP », b — «Тип почвы, $ТП$ », c — «Период, T »

Figure 3. Setting the input and output functions in Scilab: a — «Type of vegetation, TP », b — «Type of soil, $ТП$ », c — «Period, T »

Созданная база правил (таблица 2) задана в программе (рисунок 4), а на основе результатов нечёткого вывода графически построена результирующая функции $T = f(TP, ТП)$ (рисунок 5).

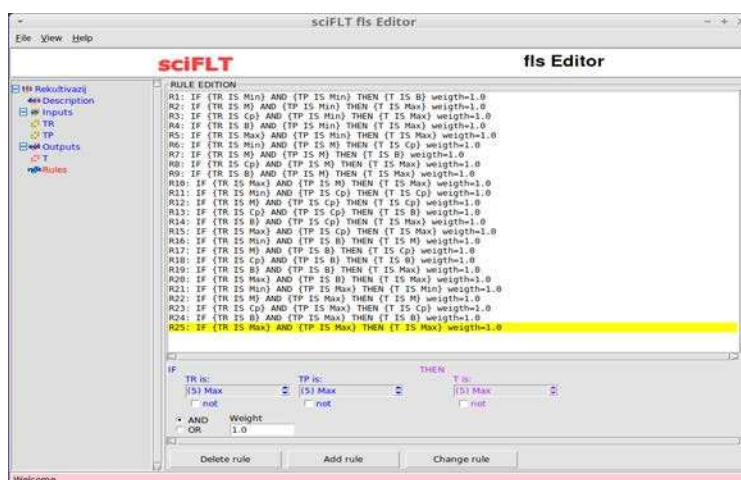


Рисунок 4. Задание базы правил

Figure 4. Setting the Rule Base

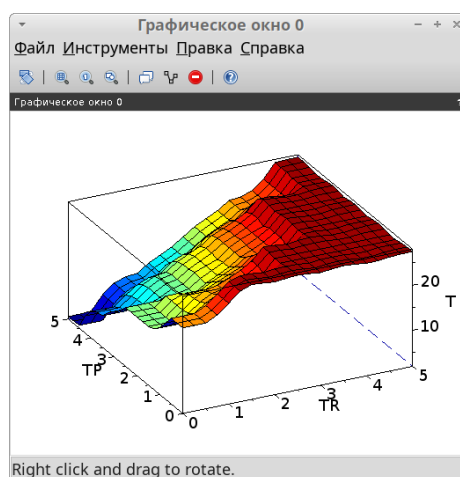


Рисунок 5. График результирующей функции $T = f(TP, TP)$

Figure 5. The graph of the resulting function $T = f(TP, TP)$

Таким образом, на рисунке 5 графически приведён прогноз времени периода рекультивации во всём диапазоне изменения входных переменных.

4. Заключение

Полученные результаты позволяют заключить следующее:

1. В экологическом отношении проблема нарушенных земель только обостряется, т. к. их площади стабильно растут. Из предлагаемых мероприятий восстановления земель достаточно эффективных, во многом по объективным причинам, пока не создано. Многообразие природных, техногенных условий не позволяет выработать даже

методологический подход, т. к. в этих условиях почти все данные о типах растительности, почвогрунтов, климатических воздействий и других факторов характеризуются неопределённостью. Следовательно, для описания процесса восстановления земель следует использовать те методы, которые могут формализовать неопределённости данных, т. е. теорию нечётких множеств и нечёткое моделирование.

2. Проведённые экспериментальные исследования показывают определённые закономерности и описание состояния земель, растительности, процесса произрастания на этих землях, что позволяет использовать их для прогнозирования процесса естественной рекультивации современными методами моделирования.

3. Предложенная модель прогнозирования процесса естественной рекультивации в виде нечёткой системы позволяет учитывать неопределённости данных задачи, поэтому является достаточно корректной математически и адекватной реальным условиям.

4. Для практического использования разработанная модель в дальнейшем позволяет назначать эффективные мероприятия по восстановлению земель на основе прогнозирования и в сравнении с периодом естественной рекультивации.

Список литературы

1. Анянова Е. В. Применение метода системного анализа обработки информации для принятия решения при восстановлении нарушенных земель // Современные наукоёмкие технологии. 2019. № 10-2. С. 233—238.
2. ГОСТ 25100-2020. МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ. ГРУНТЫ. Классификация. Дата введения 2021-01-01.
3. Piegat A. Fuzzy Modeling and Control: with 96 tables. Heidelberg: New York, Physic-Verl, 2001. 760 p.
4. Побединский В. В., Гороховский А. Г., Шишкина Е. Е., Побединский Е. В. Моделирование процесса сушки пиломатериалов // Лесной журнал. 2020. № 1. С. 154—166. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-1-154-166.
5. Побединский В. В., Газизов А. М., Санников С. П., Побединский А. А. Диэлектрическая проницаемость лесного фонда в зависимости от параметров среды при радиочастотном мониторинге // Вестник Мордовского университета. 2018. Т. 28, № 2. С. 148—163. DOI: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201802.148-163>.
6. Mamdani E. H. Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis // IEEE Transactions on Computers. 1977. Vol. 26, no. 12. P. 1182—1191.
7. Hongyun Y., Junmin Li, Jiarong S., Yang W. Adaptive Fuzzy Tracking Control for Stochastic Nonlinear Systems with Time-Varying Input Delays Using the Quad-ratic Functions // International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems. 2018. Vol. 26, no. 01. P. 109—142.
8. Gour A., Pardasani K. R. Statistical and Soft Fuzzy Set Based Analysis of Amino Acid Association Patterns in Peptide Sequence of Swine Influenza Virus // Advanced Science, Engineering and Medicine. 2018. Vol. 10, no. 2. P. 137—144.
9. Ntaganda J. M., Hagggar M. S. D., Mampassi B. Fuzzy Logic Strategy for Solving an Optimal Control Problem of Therapeutic Hepatitis C Virus Dynamics // Open Journal of Applied Sciences. 2015. Vol. 5. P. 527—541.
10. ESI Group — 2021. URL: <http://scilab.io/company>. Text. Image: electronic.

References

1. Anyanova E. V. Application of the method of system analysis of information processing for decision-making in the recultivation of disturbed lands. *Modern science-intensive technologies*, 2019, no. 10-2, pp. 233—238. (In Russ.)
2. GOST 25100-2020. INTERSTATE STANDARD. SOILS. Classification. The date of introduction is 2021-01-01. (In Russ.)
3. Piegat A. *Fuzzy Modeling and Control: with 96 tables*. Heidelberg: New York, Physic-Verl, 2001. 760 p.
4. Gorokhovskiy A. G., Pobedinskiy V. V., Shishkina E. E., Pobedinskiy E. V. Modeling the Process of Sawn Timber Drying. *Lesnoy Zhurnal [Russian Forestry Journal]*, 2020, no. 1, pp. 154—166. doi: 10.37482/0536-1036-2020-1-154-166. (In Russ.)
5. Pobedinskiy V. V., Gazizov A. M., Sannikov S. P., Pobedinskiy A. A. Dielectric Permeability of Forestry Depending on Environmental Parameters in Radio Frequency Monitoring. *Vestnik Mordovskogo universiteta = Mordovia University Bulletin*, 2018, vol. 28, no. 2, pp. 148—163. doi: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201802.148-163>. (In Russ.)
6. Mamdani E. H. Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis. *IEEE Transactions on Computers*, 1977, vol. 26, no. 12, pp. 1182—1191.
7. Hongyun Y., Junmin Li, Jiarong S., Yang W. Adaptive Fuzzy Tracking Control for Stochastic Nonlinear Systems with Time-Varying Input Delays Using the Quad-ratic Functions. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 2018, vol. 26, no. 01, pp. 109—142.
8. Gour A., Pardasani K. R. Statistical and Soft Fuzzy Set Based Analysis of Amino Acid Association Patterns in Peptide Sequence of Swine Influenza Virus. *Advanced Science, Engineering and Medicine*, 2018, vol. 10, no. 2, pp. 137—144.
9. Ntaganda J. M., Hagggar M. S. D., Mampassi B. Fuzzy Logic Strategy for Solving an Optimal Control Problem of Therapeutic Hepatitis C Virus Dynamics. *Open Journal of Applied Sciences*, 2015, vol. 5, pp. 527—541.
10. ESI Group — 2021. URL: <http://scilab.io/company>. Text. Image: electronic.

УДК 674.81

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6143

Статья

Исследование устойчивости массива оттаивающего почвогрунта при его динамическом взаимодействии с колёсной лесной машиной на склонах

Каляшов Виталий Анатольевич

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

Шапиро Владимир Яковлевич

доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова (Российская Федерация), shapiro54vlad@mail.ru

Григорьев Игорь Владиславович

доктор технических наук, профессор, Арктический государственный агротехнологический университет (Российская Федерация), silver73@inbox.ru

Куницкая Ольга Анатольевна

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

Григорьева Ольга Ивановна

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

Получена: 26 января 2022 / Принята: 31 марта 2022 / Опубликовано: 4 апреля 2022

Аннотация: В Российской Федерации значительная часть территории лесного фонда расположена на вечной мерзлоте. К таким территориям относятся: Республика Саха (Якутия), Республика Коми, Магаданская область, Ямало-Ненецкий автономный округ, Чукотский автономный округ, Мурманская область, значительные территории Сибири и Дальнего Востока. Многие перечисленные регионы обладают большими запасами спелых и перестойных эксплуатационных лесов, причём значительная часть этих запасов расположена в труднодоступных местах, не только по отношению к развитости дорожной сети, но и рельефу

местности. В настоящее время подавляющий объём заготовок древесины в России производится при помощи современных машинных комплексов, в основном включающих колёсные лесные машины различной компоновки и назначения (харвестеры, форвардеры, скиддеры и т. д.). При помощи специальных технических решений, таких как интегрированные в трансмиссию лебедки, или самоходные лебедки (T-winch, ROB), эти машины с успехом могут эксплуатироваться и на достаточно крутых склонах. При этом проблема негативного воздействия колёсных лесных машин и трелёвочных систем на их базе не просто остаётся актуальной, а приобретает ещё большую остроту, поскольку экосистемы горных лесов, лесов на склонах сопков и т. д. относятся к наиболее ранимым, подверженным водной и ветровой эрозии. В статье представлена разработанная математическая модель динамического взаимодействия колёсной лесной машины (трелёвочной системы) с почвогрунтом на склонах, которая позволяет на стадии проектных (подготовительных) работ, при наличии достоверных данных о гидрогеологии массива оттаивающего почвогрунта адекватно оценивать устойчивость и работоспособность волока. Работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» Арктического государственного агротехнологического университета. Исследование выполнено на средства гранта Российского научного фонда № 22-26-00009, <https://rscf.ru/project/22-26-00009/>.

Ключевые слова: леса на склонах, лесосечные работы, трелёвка, почвогрунты, леса на вечной мерзлоте

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6143

Article

Assessment of the efficiency of the skidding portage on the slope of the thawing soil mass under cyclic static loads

Vitalij Kalyashov

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

Vladimir Shapiro

D. Sc. in engineering, professor, St. Petersburg State Forest Engineering University named after S. M. Kirov (Russian Federation), shapiro54vlad@mail.ru

Igor Grigorev

D. Sc. in engineering, professor, Arctic State Agrotechnological University (Russian Federation), silver73@inbox.ru

Ol'ga Kunickaya

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

Olga Grigoreva

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

Received: 26 January 2022 / Accepted: 31 March 2022 / Published: 4 April 2022

Abstract: In the Russian Federation, a significant part of the forest fund is located on permafrost. Such areas include: Republic of Sakha (Yakutia), Komi Republic, Magadan Oblast, Yamalo-Nenets Autonomous Okrug, Chukotka Autonomous Okrug, Murmansk Oblast, and significant areas of Siberia and the Far East. Many of these regions have large reserves of mature and overmature forests, and a significant portion of these reserves is located in places that are inaccessible due to road network and topography challenges. Currently, a vast majority of timber harvesting in Russia is performed by using modern machinery complexes mainly composed of wheeled forest machines of various configurations and purposes (harvesters, forwarders and skidders). These machines can successfully operate even on fairly steep slopes due to special technical solutions, such as winches integrated into the transmission, or self-propelled winches (T-winch, ROB). However, the problem of negative effect of wheeled forest machines

and skidding systems based on them not only remains topical, but becomes even more acute, since the ecosystems of mountain forests and forests on the slopes of hills are among the most vulnerable ones, exposed to water and wind erosion. The article presents the developed mathematical model of dynamic interaction of a wheeled forest machine (a skidding system) with soil on slopes. The model allows adequate assessment of stability and working capacity of the skidding trail at the stage of design (preparatory) works given reliable data on hydrogeology of thawing soil massif. The work was performed within the framework of the scientific school «Innovative developments in the field of logging industry and forestry» of the Arctic State Agrotechnological University. The research was supported by the grant of the Russian Science Foundation № 22-26-00009, <https://rscf.ru/project/22-26-00009/>.

Keywords: forests on slopes, logging operations, skidding, soils, forests on permafrost

1. Введение

Вопросы повышения эффективности проведения лесосечных работ на склонах гор и сопок, с соблюдением баланса экономического эффекта и сохранения экосистемы этих лесов, обеспечения оптимальных условий для последующего восстановления, являются очень актуальными в настоящее время, особенно для регионов Сибири и Дальнего Востока [1—7]. В этих регионах значительная часть запасов спелых и перестойных эксплуатационных лесов произрастает на вечной мерзлоте, что вносит свою существенную специфику в процесс лесосечных работ, транспорта леса и лесовосстановления [8—10].

При лесосечных работах на склонах различной конфигурации — крутых, протяжённых или длинных, с гребнями и раздробленных, при углах наклона α их поверхности к условной линии горизонта от 15° и более — возникают особые геотехнические условия взаимодействия колёсной лесной машины, или трелёвочной системы на её базе, с краевой частью массива почвогрунта.

Математическая модель статического взаимодействия рассмотрена в работе [11], в которой установлены закономерности развития процесса разрушения в пределах заданной трассы движения и получены основные соотношения для определения глубины колеи.

Эти же процессы, но при циклических (многократных) нагрузках на почвогрунт при проходе колёсной лесной машины по одну и тому же участку волока изучены в ходе исследований [12], [13].

Однократные и циклические процессы взаимодействия при лесосечных работах на мёрзлых и оттаивающих грунтах подробно рассмотрены в публикациях [14], [15]. Динамические процессы взаимодействия на равнинных участках исследованы в работе [16].

Вопросу статического взаимодействия колёсной лесной машины (трелёвочной системы) с краевой частью массива почвогрунта на склонах посвящена работа [17].

Отметим основные положения, развитые в публикации [16], где разработанная и реализованная динамическая модель позволила выявить особенности колебательных процессов движения колёсной лесной машины (трелёвочной системы) с тремя степенями свободы: вертикальными перемещениями, продольно-угловыми и поперечно-угловыми перемещениями кузова. В итоге определены факторы и критерии усиления воздействия колёсной лесной машины (трелёвочной системы) на почвогрунт.

2. Материалы и методы

Основываясь на полученных результатах, рассмотрим задачу динамического взаимодействия колёсной лесной машины (трелёвочной системы) с почвогрунтом на склонах.

На рисунке 1 представлена схема колёсной лесной машины (трелёвочной системы), которая оказывает динамическое воздействие на массив оттаивающего грунта на склоне.

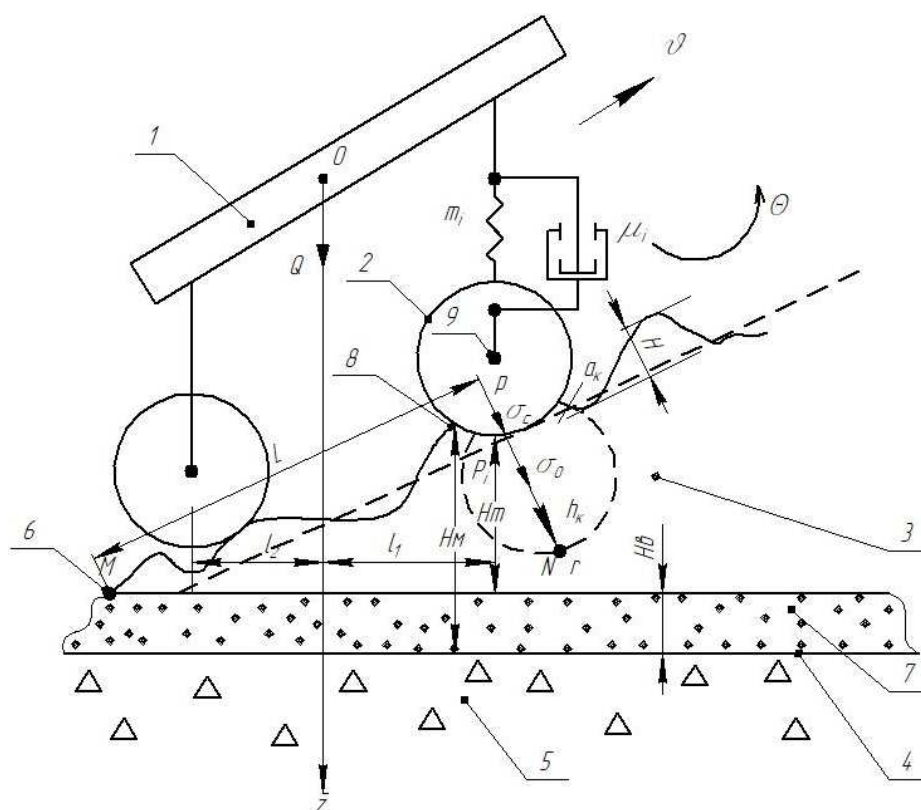


Рисунок. 1. Схема динамической двухосной колёсной лесной машины (трелёвочной системы) при оценке устойчивости краевой части массива почвогрунта

Figure 1. Diagram of a dynamic two-axle wheeled forest machine (skidder system) in assessing the stability of the soil mass edge

Вес системы 1 (сила Q) приложен к её центру тяжести в точке O и направлен вдоль оси z , воздействуя динамической нагрузкой σ_0 через шины 2 в точке P на массив оттаивающего почвогрунта 3 , мощность слоя которого равна H_T . Место P приложения нагрузки отстоит от границы 4 с мёрзлым почвогрунтом 5 на расстоянии H_m , а от подошвы 6 склона в точке M — на расстоянии L . Поскольку мёрзлый почвогрунт 5 является водонепроницаемым, в непосредственной близости от его границы 4 формируется слой воды 7 мощностью H_b .

Колёсную лесную машину (трелёвочную систему) будем рассматривать с симметричной подвеской, причём все жёсткости и вязкости имеют линейные характеристики с коэффициентами жёсткости m_i и коэффициентами сопротивления шин μ_i , где индекс $i = 1, 2$.

При наезде на микронеровность профиля поверхности движения 8 колёса 2 переместятся на величины p_i , а центр тяжести — на величину z . Перемещения во времени t , равные $p_i = f(t - \tau_i)$, являются случайными функциями воздействия от профиля поверхности движения к колёсной паре, причём время запаздывания τ_i определяется как:

$$\tau_i = \frac{l_1 - l_i}{v}, \quad (1)$$

где l_1 — расстояние (параметр базы системы) от линии центра тяжести O до линии оси 9 передней пары колёс 2; l_i — то же расстояние до оси в общем случае i -го колеса; v — скорость движения.

При рассмотрении задач взаимодействия и оценки уплотнения почвогрунта под действием динамических нагрузок необходимо определить частотные характеристики колебательного процесса, а именно скорости колебаний $\dot{z}(t)$, поскольку с квадратом этой величины связаны как кинетическая энергия динамического воздействия, так и возникающие напряжения от динамического удара колёсной пары по почвогрунту.

Изображение скорости линейных вертикальных колебаний представляет собой произведение передаточной функции скорости $W(s)$ на изображение $F(s)$ функции воздействия $f(t)$. Для симметричной поддресоренной системы передаточная функция равна:

$$W_z(s) = \frac{c}{m_p} \frac{\sum_{i=1}^{2n} (\mu_i s + m_i)}{s^2 + a_1 s + a_2}, \quad (2)$$

где $c = \sum_{i=1}^{2n} e^{-\tau_i s}$; m_p — поддресоренная масса системы, которая в расчётах принята равной весу Q ; $a_1 = \frac{1}{m_p} \sum_{i=1}^{2n} \mu_i$; $a_2 = \frac{1}{m_p} \sum_{i=1}^{2n} m_i$.

Пусть профиль поверхности движения представляет собой внешнее синусоидальное воздействие в виде:

$$f(t) = H \sin \omega_1 t, \quad (3)$$

где H — максимальная амплитуда отклонения профиля поверхности движения от условной горизонтальной плоскости, проведённой через самую низкую точку профиля, ω_1 — частота внешнего воздействия (вынужденных колебаний) профиля поверхности движения.

Тогда изображения этого воздействия определим как:

$$F(s) = H \frac{\omega_1}{s^2 + \omega_1^2}. \quad (4)$$

В конечном итоге, с учётом выражений (1)—(4), получено соотношение для определения скорости колебаний $\dot{z}(s)$:

$$\dot{z}(s) = \frac{cH}{m_p} \frac{\omega_1}{s^2 + \omega_1^2} \frac{\sum_{i=1}^{2n} (\mu_i s + m_i)}{s^2 + a_1 s + a_2}. \quad (5)$$

Для перехода от передаточной функции к частотной характеристике достаточно принять $s = i\omega$. Вещественная часть комплексного выражения (5) будет являться действительной амплитудно-частотной характеристикой скорости вертикальных колебаний, которую обозначим как $A_z(i\omega)$:

$$A_z(i\omega) = \frac{H\omega_1}{m_p} \sqrt{\frac{K_\omega^2 + C_\omega^2}{M_\omega^2 + N_\omega^2}}, \quad (6)$$

где K_ω , C_ω , M_ω и N_ω — коэффициенты, определяемые из следующих соотношений:

$$\begin{aligned} K_\omega &= \sum_{i=1}^{2n} [\omega m_i \sin(\tau_i \omega) - \mu_i \omega^2 \cos(\tau_i \omega)] \\ C_\omega &= \sum_{i=1}^{2n} [\omega m_i \cos(\tau_i \omega) - \mu_i \omega^2 \sin(\tau_i \omega)] \\ M_\omega &= (\omega_1^2 - \omega^2)(a_2 - \omega^2) \\ N_\omega &= (\omega_1^2 - \omega^2)a_1 \omega. \end{aligned} \quad (7)$$

Отнесение величины $A_z(i\omega)$ к H приводит к введению безразмерного параметра \bar{A}_z , который в статистической динамике сельскохозяйственных машин именуют коэффициентом демпфирования.

Введённый коэффициент демпфирования обуславливает оптимальный подбор собственных колебаний колёсной лесной машины (трелёвочной системы) по отношению к вынужденным колебаниям и позволяет кратно уменьшить амплитуду их скорости, что приводит к снижению силового динамического воздействия на почвогрунт.

На этом основании величину $K_\omega = (1 + \bar{A}_z \cdot \cos \alpha)^2$ обоснованно можно считать коэффициентом динамического усиления скорости амплитудных колебаний колёсной лесной машины (трелёвочной системы).

Расчёты с применением соотношений (1)—(7) показывают, что при значениях безразмерного параметра отношения частот $\frac{\omega}{\omega_1} \leq 0,8$ коэффициент K_ω близок к значениям 1—1,05, т. е. динамическим усилением можно пренебречь.

Однако при $\frac{\omega}{\omega_1} > 0,8$, и особенно в предельном состоянии $\frac{\omega}{\omega_1} \rightarrow 1$, динамическое усиление весьма значительное, причём его рост подчиняется экспоненциальному закону, а коэффициент динамического усиления возрастает кратно в 2—3 раза и более.

Эти выводы сделаны при следующих исходных (базовых) данных системы взаимодействия:

$$\begin{aligned} v &= 10 \text{ км/ч} = 2,78 \text{ м/с}; l_1 = 1,85 \text{ м}; l_2 = -l_1 = -1,85 \text{ м}; \omega_1 = \pi = 3,14; m_1 = m_2 = \\ &= 100 \cdot 10^{-3} \text{ кН/м}; \mu_1 = \mu_2 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ кНс/м}; Q = 20670 \text{ кг}, H = 0,2 \text{ м}, \alpha = 5^\circ. \end{aligned} \quad (8)$$

Отметим, что показатель жёсткости рессоры для применяемых колёсных лесных машин (трелёвочных систем) изменяется в диапазоне от 100 до $400 \cdot 10^{-3}$ кН/м, а коэффициент сопротивления шин μ — от 1 до $5 \cdot 10^{-2}$ кНс/м.

Вес колёсной лесной машины (трелёвочной системы) будем при расчётах варьировать в диапазоне от 10 до 22 т, параметр H амплитуды профиля поверхности движения составляет от 0,05 до 0,3 м.

Динамические нагрузки, передаваемые от шин к почвогрунту, должны учитывать соотношение акустических жёсткостей λ_i материалов взаимодействия, равных произведению их плотностей на скорости продольных волн.

Из этого следует, что величину K_ω необходимо умножить на коэффициент акустического преломления $K_\lambda = \frac{2}{1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2}}$, где λ_1 — акустическая жёсткость материала шины, равная,

в частности: $\lambda_1 = 1,2 \cdot 1800 = 2160 \text{ т/м}^2 \cdot \text{с}$; λ_2 — акустическая жёсткость почвогрунта, равная для примера: $\lambda_2 = 1,5 \cdot 1100 = 1650 \text{ т/м}^2 \cdot \text{с}$.

В этом случае имеем $K_\lambda = 0,87$, т. е. динамические усилия, передаваемые от шин почвогрунту, снижаются на 15—20 %, когда коэффициент $K_\lambda < 1$. По мере роста несущей способности почвогрунта и его акустической жёсткости параметр K_λ растёт, достигая 1, а для крепких почвогрунтов и превышая это значение. Как следствие, имеет место усиление динамического воздействия колёсной лесной машины (трелёвочной системы) на почвогрунт.

Объединяя оба критерия, введём интегральный коэффициент динамичности системы $K_d = K_\omega K_\lambda$, который учитывает как колебательный процесс, так и эффект акустического преломления.

Зафиксируем акустическую жёсткость шин на уровне $\lambda_1 = 2160 \text{ т/м}^2 \cdot \text{с}$ и исследуем влияние акустической жёсткости почвогрунта на изменение критерия K_d .

3. Результаты

На рисунке 2 при $\frac{\omega}{\omega_1} = 0,83$ и базовых данных (8) представлена зависимость коэффициента динамичности K_d (ось ординат) от параметра $\lambda_2 \cdot 10^{-3} \text{ Т/М}^2 \cdot \text{с}$.

Анализ полученных данных показывает, что установленная зависимость с высокой достоверностью подчиняется логарифмическому закону, т. е. имеет место асимптотическое ограничение K_d по мере роста показателя λ_2 .

Рассмотрим вопрос о влиянии угла α наклона поверхности склона на величину K_d (рисунок 3).

Для этого в базовых условиях (8) α принимаем переменной в диапазоне от 5 до 35° при фиксированных значениях $\frac{\omega}{\omega_1} = 0,83$ и $K_\lambda = 1,29$.

На рисунке 3 представлена полученная зависимость, где по оси ординат отложены значения коэффициента K_d , а по оси абсцисс — угла α° .

Видно, что эффект динамического воздействия колёсной лесной машины (трелёвочной системы) на почвогрунт в направлении, перпендикулярном плоскости склона, линейно снижается с ростом угла наклона последнего.

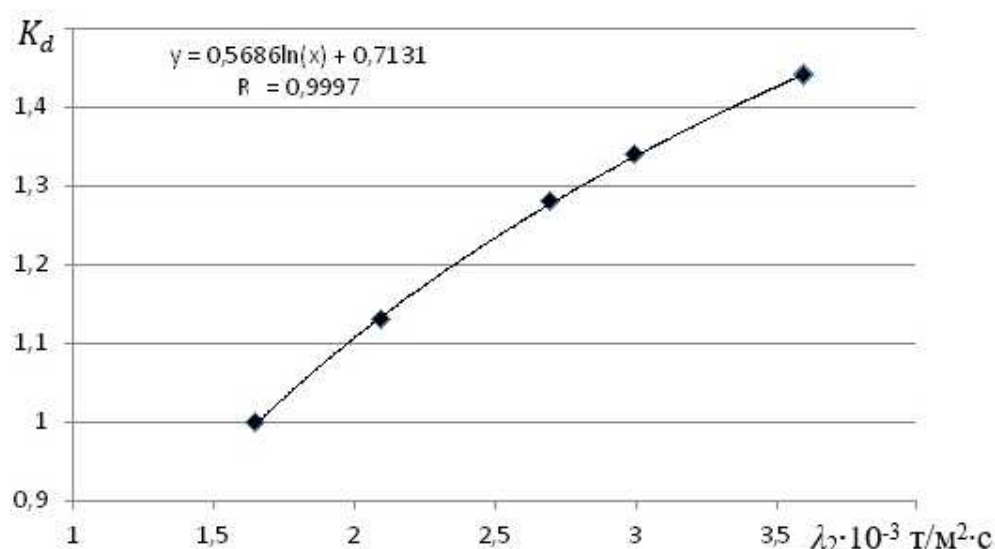


Рисунок 2. Влияние акустической жёсткости почвогрунта на коэффициент динамичности

Figure 2. Influence of soil acoustic impedance on the coefficient of dynamics

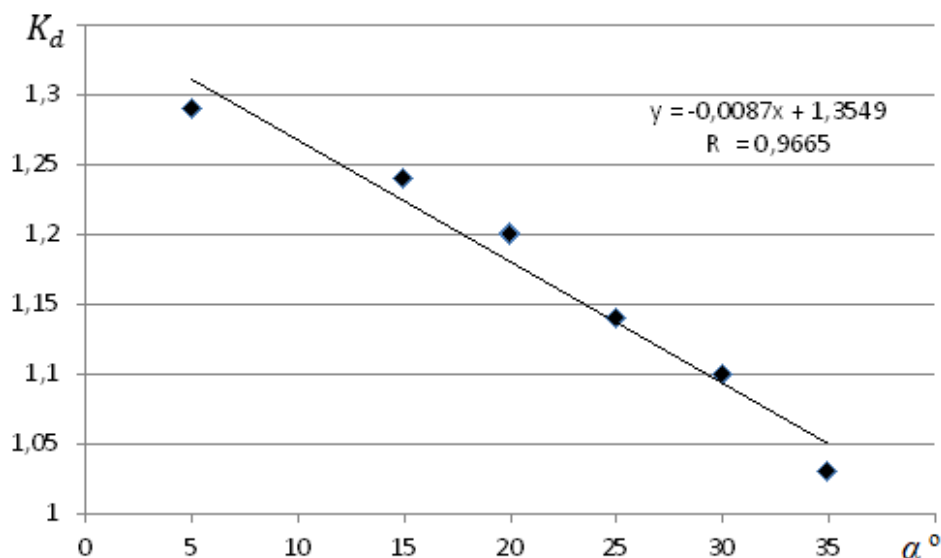


Рисунок 3. Зависимость коэффициента динамичности от угла наклона поверхности склона

Figure 3. Dependence of the coefficient of dynamics on the slop angle of gradient

Оценим устойчивость участка профиля поверхности движения колёсной лесной машины (трелёвочной системы) на склоне при динамической нагрузке на массив оттаивающего почвогрунта.

Модель статического взаимодействия подробно рассмотрена в работе [18], в которой показано влияние влажности почвогрунта W вблизи с водонепроницаемой границей с зоной мерзлоты на характеристики прочности массива: величину сцепления C и угол внутреннего трения φ .

Исследования [19] показали, что минимальная влажность почвогрунта (на верхних участках склона) после оттока влаги будет стремиться к нижнему пределу пластичности или величине на границе раскатывания (W_p), тогда как максимальная влажность на нижних участках склона будет стремиться к верхнему пределу пластичности или величине на границе текучести (W_t).

В этой связи, следуя исследованию [18], введём коэффициент относительной влажности $K_W = \frac{W}{W_T}$ для более объективной оценки состояния параметров сцепления C и угла внутреннего трения φ , которые являются основными характеристиками паспорта прочности при построении кругов Мора.

В таблице представлены опытные данные параметров C и φ , полученные для оттаивающего суглинка в работе [19] при изменении его влажности W в широком диапазоне — от 22 до 41 %.

Таблица. Зависимость параметров прочности почвогрунта от величины его относительной влажности

Table. Dependence of soil strength parameters on the value of its relative humidity

K_w	C , кПа	φ , °
0,5	45	32
0,6	30	24
0,7	19	18
0,8	11	13
0,9	6	10

Обработка данных таблицы проиллюстрирована рисунком 4, где линия 1 — сцепление C , кПа, линия 2 — угол φ , по оси абсцисс — K_w .

Как следует из анализа полученных данных, кратное снижение показателей прочности имеет место уже по достижении K_w значений 0,7 и более, что при величине предела текучести почвогрунта $W_t = 45$ % соответствует влажности W более 31—32 %.

Точка P приложения динамической нагрузки σ_0 в направлении, перпендикулярном к поверхности склона, при её удалении от точки M — подошвы склона — на расстояние L соответствует тому, что ось передней пары колёс будет отстоять от зоны мерзлоты на $H_m = H_t + H_b = L \cdot \sin \alpha + H_b$.

Если принять во внимание механизм фильтрации воды вследствие линейного рассеивания порового давления и допустить, что на вершине склона влажность близка к значениям 0,9 W_t , а в зоне подошвы 0,5 W_t , то для оценки величины K_w можно использовать линейное соотношение

$$K_w = 0,9 - 0,4 \frac{L \sin \alpha}{H_t}. \quad (9)$$

Основываясь на полученных регрессионных зависимостях (рисунок 4) и соотношении (9) для текущего местоположения колёсной пары на склоне, представляется возможным определить прочностные характеристики почвогрунта, которые используются при оценке критерия устойчивости K_y участка профиля поверхности движения [9]:

$$K_y = \frac{\tan \varphi}{\tan \alpha} (1 - f) + \frac{c}{\sigma_n \tan \alpha}, \quad (10)$$

где $f = \frac{\rho_w}{\rho} (1 + \frac{H_b}{H_t})$, ρ_w и ρ — плотности соответственно воды и грунта, σ_0 — динамическая нагрузка колёсной лесной машины (трелёвочной системы), передаваемая от шины почвогрунту.

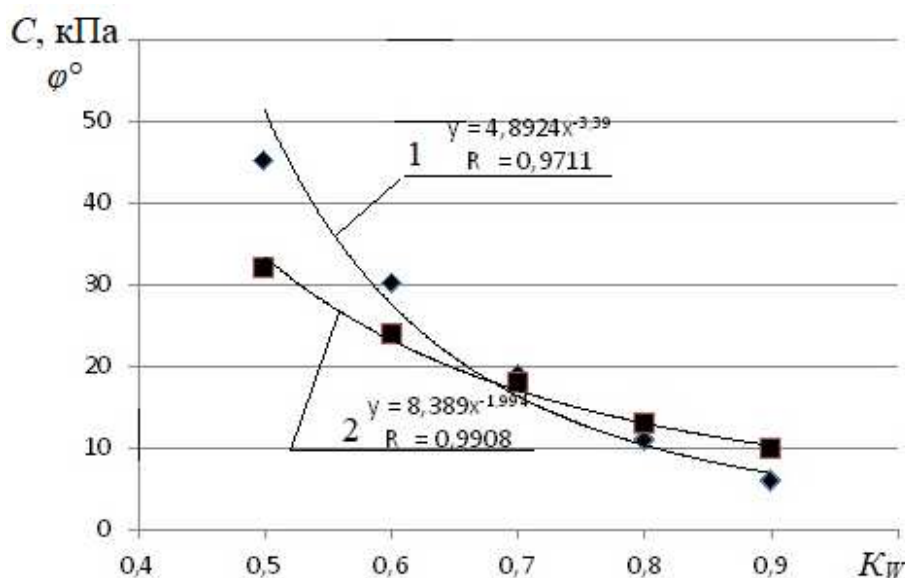


Рисунок 4. Зависимость параметров прочности почвогрунта от его относительной влажности

Figure 4. Dependence of soil strength parameters on its relative humidity

Величину σ_c определяют в результате умножения статического давления в шинах σ_c на коэффициент динамичности системы K_d .

Величина σ_c для различных колёсных лесных машин (трелёвочных систем) изменяется от 27 до 80 кПа, а при использовании шин со сверхнизким давлением σ_c может снижаться до 10—12 кПа.

При значениях критерия $K_y > 1$ участок почвогрунта в пределах профиля дороги считается устойчивым, в противном случае созданы условия для потери устойчивости и сползания грунта в направлении подошвы склона.

Исследуем влияние параметров динамической системы на показатель устойчивости K_y при базовых условиях (8), которые дополним данными о следующих параметрах: $\lambda_1 = 2160 \text{ т/м}^2 \cdot \text{с}$, $\lambda_2 = 2700 \text{ т/м}^2 \cdot \text{с}$, принимаем переменными угол $\alpha = 5-35^\circ$ и величину статического давления в шинах $\sigma_c = 35-80 \text{ кПа}$ при постоянных $L = 5 \text{ м}$ и $H_T = 10 \text{ м}$.

На рисунке 5а представлен график функции $K_y\left(\frac{\omega}{\omega_1}\right)$ при $\sigma_c = 35 \text{ кПа}$ (линия 1) и $\sigma_c = 56 \text{ кПа}$ (линия 2), $\alpha = 15^\circ$.

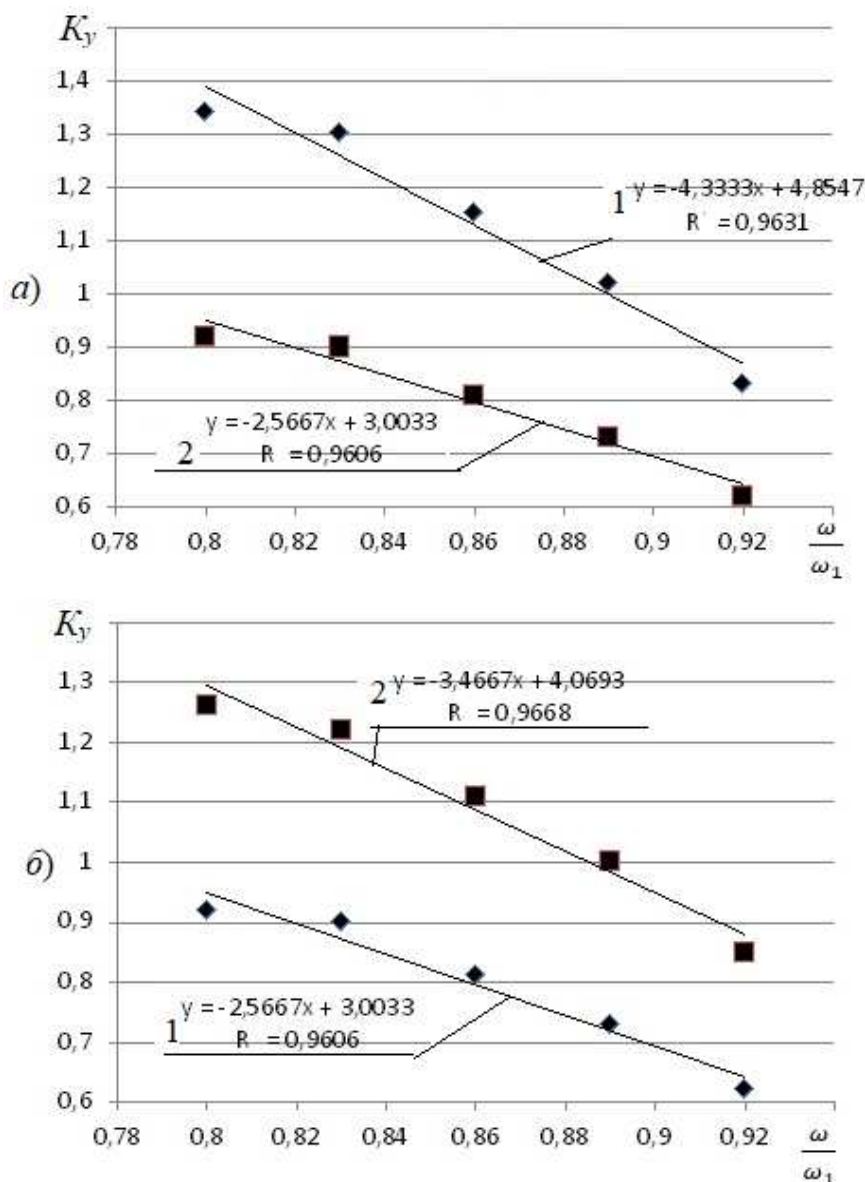


Рисунок 5. Графики функции $K_y(\frac{\omega}{\omega_1})$: 1 — $\sigma_c = 35$ кПа, 2 — $\sigma_c = 56$ кПа

Figure 5. Function graphs $K_y(\frac{\omega}{\omega_1})$: 1 — $\sigma_c = 35$ кПа, 2 — $\sigma_c = 56$ кПа

Установленные функциональные зависимости являются линейными и строго убывающими, при этом использование шин с более низким давлением (линия 1) обеспечивает устойчивость участка волокна ($K_y > 1$) даже при приближении показателя $\frac{\omega}{\omega_1}$ к уровню 0,9, т. е. в область резонанса.

Применение шин с более высоким давлением (линия 2) во всём диапазоне изменения показателя отношения частот $\frac{\omega}{\omega_1}$ приводит к неустойчивому состоянию почвогрунта с показателем $K_y < 1$.

Основываясь на полученных результатах, можно сделать вывод о том, что при работах на участках склона, характеризующихся повышенной влажностью и низкой несущей способностью почвогрунта, снижение давления в шинах или применение шин сверхнизкого давления является существенным фактором обеспечения эффективности использования колёсных лесных машин (трелёвочных систем).

Зафиксируем величину $\sigma_c = 56$ кПа и сравним (рисунок 5б) состояние устойчивости по мере перемещения колёсной лесной машины (трелёвочной системы) к вершине склона по его поверхности от положения с $L = 5$ м (линия 1) до положения с $L = 15$ м (линия 2).

Сравнительный анализ графических данных (линии 1 на рисунке 5а и линии 2 на рисунке 5б) свидетельствует о том, что с позиций оценки устойчивости почвогрунта в границах волока перемещение колёсной лесной машины (трелёвочной системы) в направлении вершины склона, т. е. на более сухие участки, равносильно снижению величины давления в шинах.

Этот вывод подчёркивает важность гидрогеологических работ и осуществления районирования оттаивающих почвогрунтов по показателю влажности при подготовке к проведению лесосечных работ, особенно в межсезонные периоды.

Рассмотрим влияние амплитуды H неровностей профиля поверхности движения на показатель устойчивости.

На рисунке 6 при $\sigma_c = 40$ кПа приведены графики зависимости функции K_y от H (ось абсцисс, м) для двух местоположений системы на склоне: $L = 10$ м (линия 1) и $L = 5$ м (линия 2).

При работе на более низком участке склона, даже при невысоком давлении в шинах, обеспечить устойчивость почвогрунта не представляется возможным. В этом случае необходимо либо снижать давление в шинах, либо существенно (в 1,5—2 раза) снизить вес колёсной лесной машины (трелёвочной системы) Q , что негативно скажется на их производительности и эффективности эксплуатации.

Перемещение колёсной лесной машины (трелёвочной системы) на более сухие участки приводит к тому, что их устойчивость достигается уже при амплитуде профиля $H > 0,15$ м.

Анализ данных рисунков 5 и 6 показывает, что при планировании лесосечных работ на склонах необходимо детально исследовать гидрогеологию массива оттаивающего почвогрунта для того, чтобы прокладываемые волокна и технологические коридоры, а также технические параметры колёсной лесной машины (трелёвочной системы) в максимальной степени обеспечивали их проектную производительность.

В этом контексте актуальным вопросом является районирование и классификация почвогрунтов на участках трассы по критерию устойчивости с учётом вышерассмотренных факторов.

Как видим, микронеровности профиля поверхности движения и характеристики волновых колебаний колёсной лесной машины (трелёвочной системы) определяют процессы их динамического взаимодействия с почвогрунтом.

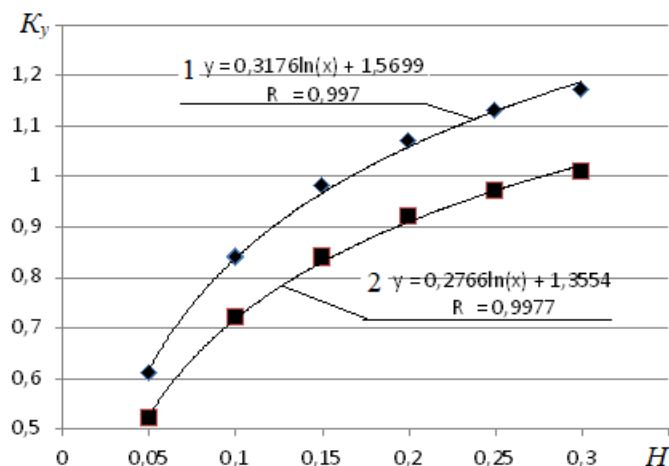


Рисунок 6. Графики функции $K_y(H)$: 1 — $L = 10$ м, 2 — $L = 5$ м

Figure 6. Function graphs $K_y(H)$: 1 — $L = 10$ м, 2 — $L = 5$ м

На рисунке 7 отражено совместное влияние параметров профиля поверхности движения $\frac{\omega}{\omega_1}$ (ось абсцисс) и амплитуды H (ось ординат, м) на показатель устойчивости K_y , отложенный по оси аппликат.

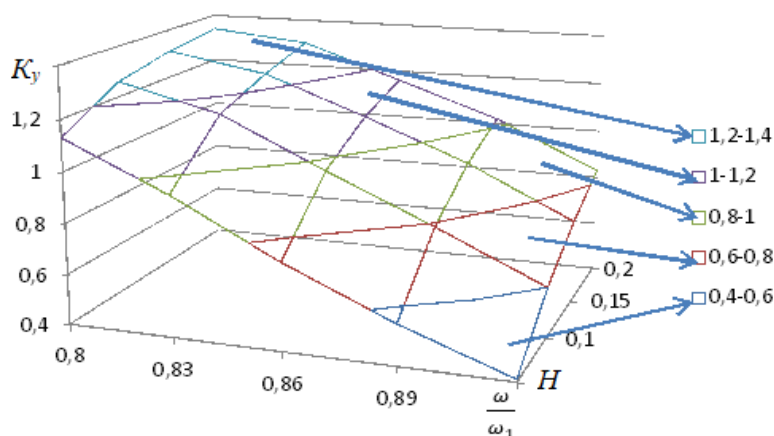


Рисунок 7. Влияние параметров профиля поверхности движения на устойчивость почвогрунта

Figure 7. Influence of sliding surface profile parameters on soil stability

Можно заключить, на основе данных рисунка 7, что в 35—40 % случаях возможных сочетаний параметров $\frac{\omega}{\omega_1}$ и H достигается устойчивость почвогрунта в пределах участка волока. Вместе с тем в 60—65 % случаев имеет место потеря устойчивости, что значительно ухудшает общее состояние волока при последующих циклах прохода колёсной лесной машины (трелёвочной системы) на этом участке.

Необходимо отметить, что в процессе моделирования не учитывалось влияние на устойчивость почвогрунта следующих технических параметров лесной машины: наличие цепей, съемных гусениц и количество активных осей, что является предметом отдельного исследования.

Установленные закономерности отражают состояние устойчивости почвогрунта при его однократном взаимодействии с колесной парой и полученные результаты составляют научную основу изучения особенностей, обусловленных циклическими проходами лесной машины или трелевочной системы по одному и тому же участку волока.

4. Обсуждение и заключение

Таким образом, разработанная математическая модель динамического взаимодействия колёсной лесной машины (трелёвочной системы) с почвогрунтом на склонах позволяет на стадии проектных (подготовительных) работ при наличии достоверных данных о гидрогеологии массива оттаивающего почвогрунта адекватно оценивать устойчивость и работоспособность волока.

Список литературы

1. Рябухин П. Б., Абузов А. В. Горным лесоразработкам — средосберегающее технологическое оборудование // Лесное хозяйство. 2008. № 6. С. 36—37.
2. Рябухин П. Б., Ковалев А. П., Казаков Н. В., Луценко Е. В. Лесозаготовки на Дальнем Востоке — состояние и перспективы. Хабаровск: Изд-во ДальНИИЛХ, 2010. 283 с.
3. Рябухин П. Б., Луценко Е. В., Кравец А. Д. Анализ систем лесозаготовительных машин для освоения горных лесов по критериям производительности и экономической эффективности // Вестник КрасГАУ. 2010. № 10. С. 148—155.
4. Рябухин П. Б., Луценко Е. В., Кравец А. Д. Эффективные объёмы лесозаготовительного производства в условиях горных лесных массивов Дальнего Востока // Актуальные проблемы лесного комплекса: Сб. науч. тр. по итогам междунар. научно-техн. конф. Брянск: БГИТА, 2010. Вып. 25. С. 160—163.
5. Абузов А. В., Рябухин П. Б. Аэростатный транспорт для горных лесозаготовок в условиях Дальнего Востока. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2013. 199 с.
6. Рябухин П. Б., Рыжаков М. Р. Эффективность систем лесозаготовительных машин в лесорастительных и производственных условиях Дальнего Востока // Философия современного природопользования в бассейне реки Амур: Сб. докл. междунар. экол. семинара (Хабаровск, 6—8 мая 2015 г.) / Под ред. проф. П. Б. Рябухина. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2015. С. 74—78.
7. Рябухин П. Б. Оценка эффективности лесозаготовительных машин в природно-производственных условиях лесопромышленных предприятий Дальневосточного федерального округа: [Монография]. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2018. 176 с.
8. Лышко А. С., Мохирев А. П., Медведев С. О. Перспективы транспортной инфраструктуры Арктики и Крайнего Севера // Современные машины, оборудование и IT-решения лесопромышленного комплекса: теория и практика: Материалы Всерос. научно-практич. конф. Воронеж, 2021. С. 235—239.

9. Мохирев А. П., Брагина Н. А., Рукомойников К. П. Обработка статистических данных о климатических условиях северных лесопромышленных регионов // Лесной и химический комплексы — проблемы и решения: Сб. материалов по итогам Всерос. научно-практич. конф. / Под общ. ред. Ю. Ю. Логинова. Красноярск, 2021. С. 37—41.
10. Лышко А. С., Медведев С. О., Мохирев А. П. Обоснование транспортно-логистических маршрутов на территории Арктики и Крайнего Севера Красноярского края // Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции и перспективы развития: Сб. материалов Всерос. научно-практич. конф. Красноярск, 2021. С. 79—82.
11. Григорьев И. В., Макуев В. А., Шапиро В. Я., Рудов М. Е., Никифорова А. И. Расчёт показателей процесса уплотнения почвогрунта при трелёвке пачки хлыстов // Вестник Московского государственного университета леса — Лесной вестник. 2013. № 2. С. 112—118.
12. Шапиро В. Я., Григорьев И. В., Жукова А. И. Влияние сдвиговых деформаций на процесс циклического уплотнения почвы // Естественные и технические науки. 2006. № 1 (21). С. 174—180.
13. Шапиро В. Я., Григорьев И. В. Деформация и циклическое уплотнение почвогрунта между грунтозацепами крупногабаритных лесных шин // Техника и технология. 2006. № 2 (14). С. 94—100.
14. Рудов С. Е., Шапиро В. Я., Григорьев И. В., Куницкая О. А., Григорьева О. И. Особенности взаимодействия трелёвочной системы с оттаивающим почвогрунтом // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2019. Т. 23, № 1. С. 52—61.
15. Рудов С. Е., Шапиро В. Я., Григорьев И. В., Куницкая О. А., Григорьева О. И. Оценка несущей способности мёрзлого и оттаявшего грунта при неполной информации о состоянии его взаимодействия с трелёвочной системой // Системы. Методы. Технологии. 2019. № 2 (42). С. 80—86.
16. Шапиро В. Я., Григорьев И. В., Жукова А. И., Иванов В. А. Исследование механических процессов циклического уплотнения почвогрунта при динамических нагрузках // Вестник КрасГАУ. 2008. № 1. С. 163—175.
17. Рудов С. Е., Шапиро В. Я., Григорьев И. В., Куницкая О. А., Григорьева О. И. Моделирование взаимодействия лесных машин с почвогрунтом при работе на склонах // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2021. № 6 (384). С. 121—134.
18. Каляшов В. А., Шапиро В. Я., Григорьев И. В., Куницкая О. А., Григорьева О. И. Оценка работоспособности трелёвочного волокна на склоне массива оттаивающего почвогрунта при циклических статических нагрузках // Resources and Technology. 2021. Т. 18, № 2. С. 79—95.
19. Царанов М. Н. Формирование прочностных характеристик грунтов в процессе оттаивания // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2007. № 6. С. 31—34.

References

1. Ryabukhin P. B., Abuzov A. V. To the mountain logging — medium-saving technological equipment. *Forestry*, 2008, no. 6, pp. 36—37. (In Russ.)
2. Ryabukhin P. B., Kovalev A. P., Kazakov N. V., Lutsenko E. V. *Logging in the Far East — status and prospects*. Khabarovsk, Publishing house of the Dal'nii IILKh, 2010. 283 p. (In Russ.)

3. Ryabukhin P. B., Lutsenko E. V., Kravets A. D. Analysis of logging machinery systems for the development of mountain forests on the criteria of performance and economic efficiency. *Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University*, 2010, no. 10, pp. 148—155. (In Russ.)
4. Ryabukhin P. B., Lutsenko E. V., Kravets A. D. Effective volumes of logging production in the mountain forests of the Far East. *Actual problems of forestry complex. Collection of scientific papers on the results of international scientific and technical conference*. Bryansk, BGITA, 2010, issue 25, pp. 160—163. (In Russ.)
5. Abuzov A. V., Ryabukhin P. B. *Aerostat transport for mountain logging in conditions of the Far East*. Khabarovsk, Publishing house of the Pacific State University, 2013. 199 p. (In Russ.)
6. Ryabukhin P. B., Ryzhakov M. R. Efficiency of logging machine systems in forest and production conditions of the Far East. Philosophy of modern nature management in the Amur River basin: *Proceedings of an international ecological seminar (Khabarovsk, May 6—8, 2015)*, edited by prof. P. B. Ryabukhin. Khabarovsk, Publishing house of the Pacific State University, 2015, pp. 74—78. (In Russ.)
7. Ryabukhin P. B. *Assessment of the effectiveness of logging machines in the natural-production conditions of timber enterprises of the Far Eastern Federal District*, monograph. Khabarovsk, Publishing house of the Pacific State University, 2018. 176 p. (In Russ.)
8. Lyshko A. S., Mokhirev A. P., Medvedev S. O. Prospects for transport infrastructure in the Arctic and the Far North. *Modern machinery, equipment and IT-solutions of the timber industry: theory and practice. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference*. Voronezh, 2021, pp. 235—239. (In Russ.)
9. Mokhirev A. P., Bragina N. A., Rukomoynikov K. P. Processing of statistical data on climatic conditions of northern timber regions. *Forest and Chemical Complexes — problems and solutions. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference*, edited by Yu. Logins. Krasnoyarsk, 2021, pp. 37—41. (In Russ.)
10. Lyshko A. S., Medvedev S. O., Mokhirev A. P. Justification of transport-logistic routes in the Arctic and the Far North of Krasnoyarsk Krai. *Innovations in chemical and forestry complex: trends and prospects for development. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference*. Krasnoyarsk, 2021, pp. 79—82. (In Russ.)
11. Grigorev I. V., Makuyev V. A., Shapiro V. Y., Rudov M. E., Nikiforova A. I. Calculation of indicators of soil compaction process at skidding a pack of logs. *Bulletin of the Moscow State Forest University — Forest Bulletin*, 2013, no. 2, pp. 112—118. (In Russ.)
12. Shapiro V. Y., Grigorev I. V., Zhukova A. I. Influence of shear deformations on process of cyclic compaction of soil. *Natural and technical sciences*, 2006, no. 1 (21), pp. 174—180. (In Russ.)
13. Shapiro V. Y., Grigorev I. V. Deformation and cyclic compaction of soil between grousers of large-sized forest tires. *Technique and technology*, 2006, no. 2 (14), pp. 94—100. (In Russ.)
14. Rudov S. E., Shapiro V. Y., Grigorev I. V., Kunitskaya O. A., Grigoreva O. I. Peculiarities of interaction of the skidding system with thawing ground. *Forestry Bulletin. Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 1, pp. 52—61. (In Russ.)
15. Rudov S. E., Shapiro V. Y., Grigorev I. V., Kunitskaya O. A., Grigoreva O. I. Assessment of bearing capacity of frozen and thawed soil with incomplete information about the state of its interaction with skidding system. *Systems. Methods. Technology*, 2019, no. 2 (42), pp. 80—86. (In Russ.)
16. Shapiro V. Y., Grigorev I. V., Zhukova A. I., Ivanov V. A. Research of mechanical processes of cyclic compaction of soil under dynamic loads. *Bulletin of KarsGAU*, 2008, no. 1, pp. 163—175. (In Russ.)

17. Rudov S. E., Shapiro V. Y., Grigorev I. V., Kunitskaya O. A., Grigoreva O. I. Modeling of interaction of forest machines with the soil when working on slopes. *Izvestiya vysshee uchebnykh obrazovaniyakh. Forest Journal*, 2021, no. 6 (384), pp. 121—134. (In Russ.)
18. Kalyashov V. A., Shapiro V. Y., Grigorev I. V., Kunitskaya O. A., Grigoreva O. I. Estimation of skidder performance on the slope of the thawing soil mass at cyclic static loads. *Resources and Technology*, 2021, vol. 18, no. 2, pp. 79—95. (In Russ.)
19. Tsarapov M. N. Formation of Strength Characteristics of Soils during Thawing. *Bulletin of Moscow University. Series 4: Geology*, 2007, no. 6, pp. 31—34. (In Russ.)

© Каляшов В. А., Шапиро В. Я., Григорьев И. В., Куницкая О. А., Григорьева О. И., 2022