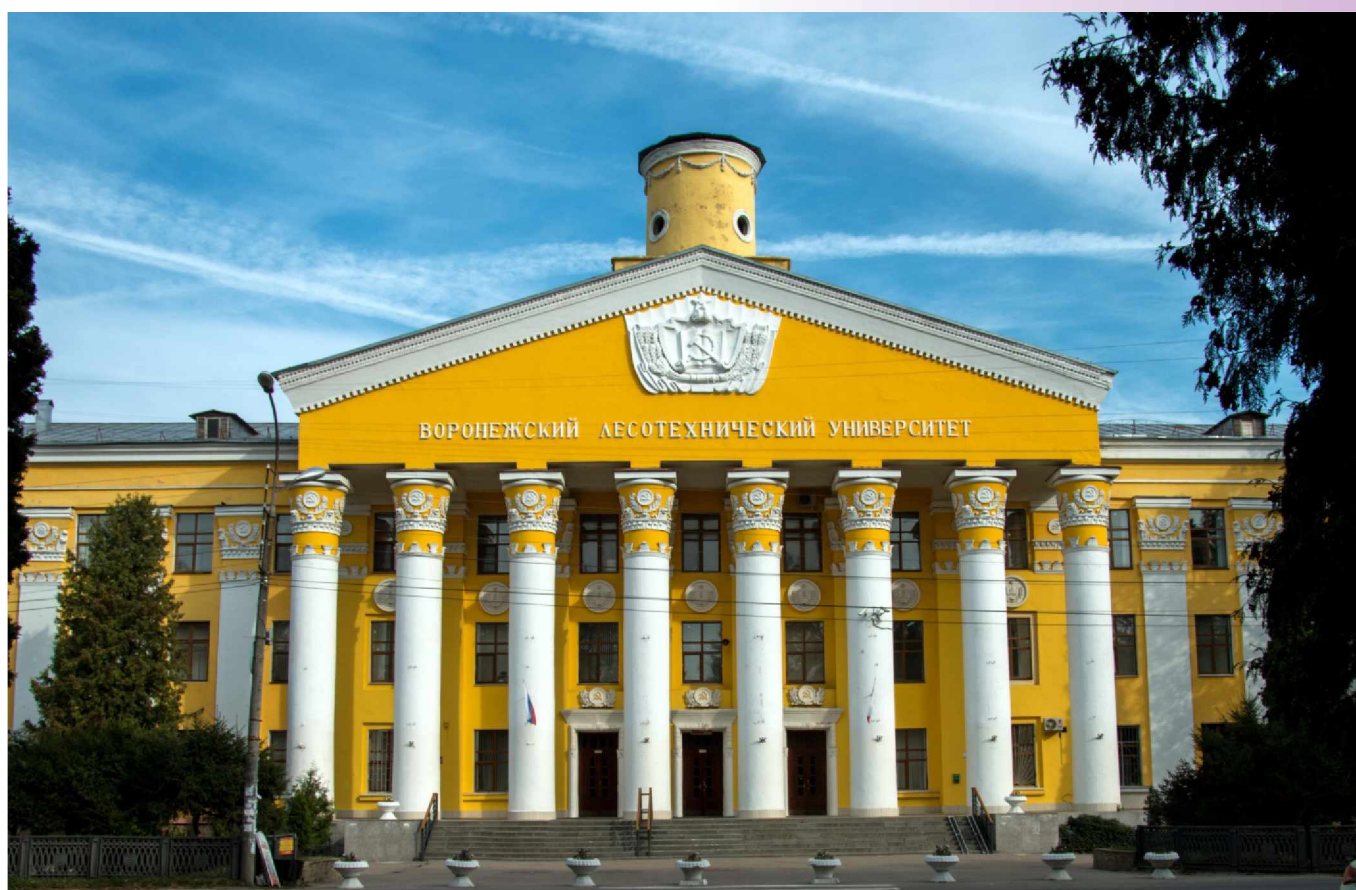


ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2019 Том 9 № 3 (35)

- *Новый тип энтомогенной сукцессии в тихтовых лесах Сибири*
- *Разработка методики для оценки успешности лесовосстановления дистанционными методами*
- *Подходы и предложения к определению и выполнению расчетной лесосеки в Российской Федерации*
- *Эффективность применения стимуляторов роста при выращивании семян сосны обыкновенной*
- *Факторы, влияющие на пропускную способность лесовозных дорог*



ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Научный журнал
2019 г. Том 9 № 3 (35)

Учредитель – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» (ВГЛТУ)

Председатель редакционной коллегии
д.т.н., проф. М.В. Драпалюк

Главный редактор
д.т.н., проф. И.М. Бартенев

Состав редакционной коллегии
д.б.н., проф. А.А. Сирин (Россия)
д.т.н., проф. Д.Н. Афоничев (Россия)
д.т.н., проф. Л.И. Бельчинская (Россия)
д.ф.-м.н., проф. Н.Н. Матвеев (Россия)
д.б.н., проф. С.М. Матвеев (Россия)
д.б.н., доц. А.А. Гусев (Россия)
д.э.н., проф. С.С. Морковина (Россия)
д-р философии И. Ремеш (Чехия)
д.т.н., проф. А.М. Цыпук (Россия)
д.с.-х.н., проф. А.И. Чернодубов (Россия)
д.т.н., проф. О.Н. Бурмистрова (Россия)
д.т.н., проф. И.В. Григорьев (Россия)
д.с.-х.н., проф. К.Н. Кулик (Россия)
д.с.-х.н., проф. А.С. Манаенков (Россия)
д.с.-х.н., проф. А.А. Мартынюк (Россия)
д.б.н., проф. Рубцов В.В. (Россия)
д.т.н., проф. В.С. Сюнев (Россия)
д.б.н., проф. Н.Н. Харченко (Россия)
д.т.н., проф. П.А. Бехта (Украина)
проф. Чжоу Динго (Китай)
д.х.н., проф. А. Маркомини (Италия)
к.т.н., проф. В. Подразски (Чехия)
д-р наук, проф. Ф. Ресснер (Германия)
д.т.н., проф. Я. Седлячик (Словакия)
д-р химии Е.А. Чиркова (Латвия)

Ответственный секретарь
к.э.н., доц. С.В. Харин
Редактор
Е.А. Богданова
Компьютерная верстка
к.э.н., доц. С.В. Харин

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-66384 от 14.07.2016 г.

Материалы настоящего журнала могут быть воспроизведены только с письменного разрешения редакционной коллегии

РИО ФГБОУ ВО «ВГЛТУ»
394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8,
телефон (473) 253-72-90,
факс (473) 253-76-51,
e-mail: lesteh@vglta.vrn.ru

© ФГБОУ ВО «ВГЛТУ», 2019

LESOTEKHNICHESKII ZHURNAL

Scientific Journal

2019 Vol. 9 № 3 (35)

Founder – Federal State Budget Educational Institution of High Education
«Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov» (VSUFT)

Editorial Board Head

Dr., prof. M.V. Drapalyuk

Chief Editor

Dr., prof. I.M. Bartenev

Members of editorial board

Dr., prof. A.A. Sirin (Russia)
Dr., prof. D.N. Afonichev (Russia)
Dr., prof. L.I. Belchinskaya (Russia)
Dr., prof. N.N. Matveev (Russia)
Dr., prof. S.M. Matveev (Russia)
Dr., Assoc. Prof. A.A. Gusev (Russia)
Dr., prof. S.S. Morkovina (Russia)
Dr. Philosophy J. Remes (Czech Republic)
Dr., prof. A.M. Tsypuk (Russia)
Dr., prof. A.I. Chernodubov (Russia)
Dr., prof. O.N. Burmistrova (Russia)
Dr., prof. I.V. Grigoriev (Russia)
Dr., prof. K.N. Kulik (Russia)
Dr., prof. A.S. Manaenkov (Russia)
Dr., prof. A.A. Martynyuk (Russia)
Dr., prof. Rubtsov V.V. (Russia)
Dr., prof. V.S. Syunev (Russia)
Dr., prof. N.N. Kharchenko (Russia)
Dr., prof. P.A. Bekhta (Ukraine)
prof. Zhou Dingguo (China)
Dr., prof. A. Marcomini (Italy)
CSc., prof. V. Podrazsky (Czech Republic)
Dr., prof. F. Roessner (Germany)
Ph.D., prof. J. Sedliacik (Slovakia)
Dr. Chemistry J.A. Chirkova (Latvia)

Executive secretary

PhD in Economics S.V. Kharin

Editor

E.A. Bogdanova

Typesetting

PhD in Economics S.V. Kharin

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Communications

Registration certificate

PI № FS77-66384 of 14.07.2016

Materials of this journal may be reproduced only with written permission of the editorial board

PS FSBEI HE «VSUFT»

394087, Voronezh, Timiryazeva str, 8,
telephone (473) 253-72-90,
fax (473) 253-76-51,
e-mail: lesteh@vglta.vrn.ru

© FSBEI HE «VSUFT», 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

- Дебков Н.М.** Новый тип энтомогенной сукцессии в пихтовых лесах Сибири.....5
- Кабанова С.А., Борцов В.А., Данченко М.А.** Результаты опыта по предпосевной обработке семян и выращиванию сеянцев березы повислой в закрытом грунте.....16
- Карпов А.А., Пирцхалава-Карпова Н.Р., Алешко Р.А., Богданов А.П., Гудина А.Г.** Разработка методики для оценки успешности лесовосстановления дистанционными методами.....25
- Карташова Н.П., Попова С.В.** Архитектурно-планировочное решение сельских парков.....35
- Карташова Н.П., Хазова Е.П.** Благоустройство и озеленение промышленных территорий (на примере производственной базы ООО «НПК «Нива», г. Краснодар).....45
- Кружилин С.Н., Барышникова Е.В., Мишенина М.П.** Методика статистической обработки результатов лесокультурных исследований с использованием ППП MathCAD.....56
- Матвеев С.М., Водолажский А.Н., Мироненко А.В.** Подходы и предложения к определению и выполнению расчетной лесосеки в Российской Федерации.....68
- Скозарева И.А., Чернодубов А.И.** Эффективность применения стимуляторов роста при выращивании сеянцев сосны обыкновенной.....87

ЛЕСОИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

- Савенкова Н.В.** Учет физико-механических свойств материала дорожной одежды при приведении лесовозных автотранспортных средств к расчетной нагрузке.....96
- Мохирев А.П., Медведев С.О., Смолина О.Н.** Факторы, влияющие на пропускную способность лесовозных дорог.....103
- Троянов И.Н., Абрамов В.В., Бухтояров Л.Д., Афоничев Д.Н., Черных А.С., Максименков А.И.** Исследование технологических вариантов выполнения обрабатывающих операций лесосечных работ бензопилами.....114

CONTENTS

NATURE MANAGEMENT

- Debkov N.M.** A new type of entomogenic succession in the fir forests of Siberia..... 5
- Kabanova S.A., Bortsov V.A., Danchenko M.A.** Test results on preseeding treatment of seeds and growing of european birch seedlings under cover..... 16
- Karpov A.A., Pirtskhalava-Karpova N.R., Aleshko R.A., Bogdanov A.P., Gudina A.G.** Development of a method for evaluating the success of forest recovery by remote methods..... 25
- Kartashova N.P., Popova S.V.** Architectural and planning concept for rural parks..... 35
- Kartashova N.P., Khazova E.P.** General improvement and landscaping of industrial areas on the example of NPK Niva LLC production centre, Krasnodar..... 45
- Kruzhilin S.N., Baryshnikova E.V., Mishenina M.P.** Methodology for statistical processing of the silvicultural research results using MathCAD application package..... 56
- Matveev S.M., Vodolazhsky A.N., Mironenko A.V.** Approaches and suggestions for the definition and implementation of the calculated felling rate in the Russian Federation..... 68
- Skozareva I.A., Chernodubov A.I.** Efficiency of growth stimulant application growing seeds of scots pine..... 87

FORESTRY ENGINEERING

- Savenkova N.V.** Description of physical and mechanical properties of pavement material when reducing forestry motor vehicles to calculated load..... 96
- Mokhirev A.P., Medvedev S.O., Smolina O.N.** Factors influencing the accessibility of timber transport roads..... 103
- Troyanov I.N., Abramov V.V., Bukhtoyarov L.D., Afonichev D.N., Chernykh A.S., Maksimenkov A.I.** Research of technology options for the performance of logging processing operations using chainsaws..... 114

**ДЕРЕВОПЕРЕРАБОТКА. ХИМИЧЕСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Морозов В.И., Петрушева Н.А. Технологический процесс заготовки и переработки древесной зелени хвойных пород.....131

**ТЕХНОЛОГИИ. МАШИНЫ
И ОБОРУДОВАНИЕ**

Борин К.В., Петрушева Н.А. Мобильная установка для измельчения древесной зелени в условиях лесосеки.....140

Казаков И.В. Влияние параметров и режимов работы сеялки для крупноплодных семян на агротехнические показатели желудей.....149

Казаков И.В. Результаты моделирования процесса заделки посевной бороздки почвой.....157

Малоков С.В., Ступников Д.С., Шаров А.В., Ступников А.С. Многофакторная оптимизация параметров фрезерного рабочего органа лесопожарной грунтометательной машины.....172

Посметьев В.И., Никонов В.О., Посметьев В.В. Перспективная конструкция рекуперативного седельно-сцепного устройства лесовозного тягача с полуприцепом.....180

Посметьев В.И., Никонов В.О., Зеликов В.А., Сизьмин И.В. Перспективная конструкция рекуперативного седельно-сцепного устройства лесовозного тягача с полуприцепом.....193

Прядкин В.И., Гудков В.В., Сокол П.А. Анализ подходов по исследованию явления циркуляции мощности в трансмиссии полноприводного автомобиля.....205

**WOOD-PROCESSING.
ENGINEERING CHEMISTRY**

Morozov V.I., Petrusheva N.A. Technology of coniferous foliage harvesting and processing..... 131

**TECHNOLOGIES. MACHINERY
AND EQUIPMENT**

Borin K.V., Petrusheva N.A. Mobile plant for foliage milling under the condition of cutting area production..... 140

Kazakov I.V. The influence of parameters and modes of operation of the seeder for large seeds on the agronomic performance of crops of acorns..... 149

Kazakov I.V. Simulation results of the process of embedding seed drills with soil..... 157

Malyukov S.V., Stupnikov D.S., Sharov A.V., Stupnikov A.S. Multi-factor optimization of parameters of the milling working body of a forest-fire camera machine..... 172

Posmetyev V.I., Nikonov V.O., Posmetyev V.V. Perspective design of recoverable fifth-wheel coupling for a hauling truck with a semi-trailer..... 180

Posmetyev V.I., Nikonov V.O., Zelikov V.A., Sizmin I.V. Results of imitation modeling of modular multi-verse torsion suspension of a forestry car..... 193

Pryadkin V.I., Gudkov V.V., Sokol P.A. Analysis of approaches to research the phenomenon of power circulation in a transmission of all-wheel-drive vehicle..... 205

НОВЫЙ ТИП ЭНТОМОГЕННОЙ СУКЦЕССИИ В ПИХТОВЫХ ЛЕСАХ СИБИРИ

кандидат сельскохозяйственных наук **Н.М. Дебков**

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Российская Федерация

Инвазии ксилофильной энтомофауны представляют серьезную угрозу биологическому разнообразию лесных экосистем. В статье обобщается воздействие инвазионного короеда – уссурийского полиграфа *Polygraphus proximus* Blandf. на пихту сибирскую *Abies sibirica* Ledeb. на территории южной тайги Западной Сибири в пределах Томской области. Исследования проводились в 2016–2018 гг. на 38 пробных площадях. Оценивалось состояние древесного яруса и естественного возобновления по апробированным методикам. По степени доминантности пихты в верхнем ярусе выделены следующие типы древостоев по составу: монодоминантные (9-10 единиц), умеренно смешанные (6-8 единиц), мультипородные (2-5 единиц). Встречаемость монодоминантных и умеренно смешанных лесов составляет по 36% и полидоминантных – 28%. В результате исследования установлено, что пихтовые леса представлены 3 основными типами леса: осочковый (45%), разнотравный (28%) и мелкотравный (27%). Выявлено, что на 45% площади пихтовых лесов произошла смена на низко- и среднеполнотные ельники и кедровники. Пихта восстановит ценотическое значение в течение 1 поколения. На 27% площади насаждения пихты деградируют до состояния редин, на которых прогнозируется смена на березово-осиновые насаждения с частичным участием пихты на 20-50% площади. И еще на 27% площади доминирование переходит к ели, кедру, березе, но восстановление пихты прогнозируется только на 20-30% площади, на остальной территории будет протекать возобновление лиственных пород.

Ключевые слова: уссурийский полиграф *Polygraphus proximus* Blandf., пихта сибирская *Abies sibirica* Ledeb., лесообразовательный процесс, типы леса, инвазии насекомых, южная тайга, Западная Сибирь

A NEW TYPE OF ENTOMOGENIC SUCCESSION IN THE FIR FORESTS OF SIBERIA

PhD (Agriculture) **N.M. Debkov**

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IMCES SB RAS)

Abstract

Xylophilic entomofauna invasions pose a serious threat to the biological diversity of forest ecosystems. The article summarizes the impact of an invasive bark beetle – *Polygraphus proximus* Blandf. on Siberian fir *Abies sibirica* Ledeb. in the southern taiga of Western Siberia within the Tomsk region. The studies were conducted in 2016–2018 on 38 trial plots. The state of the tree layer and natural regeneration was assessed using the approved methods. According to the degree of fir dominance in the upper tier, the following types of stands were distinguished by the composition: monodominant (9-10 units), moderately mixed (6-8 units), multi-species (2-5 units). The occurrence of monodominant and moderately mixed forests is 36%, and polydominant – 28%. As a result of the study, it was found that fir forests are represented by 3 main types of forests: sedge (45%), forbs (28%) and shallow (27%) one. It was revealed that there was a change to low- and medium-thick spruce forests and cedar forests on 45% of the area of fir forests. Fir will restore coenotic value within 1 generation. They degrade to the state of open stands on 27% of the area of fir plantations, on which a change to birch-aspen plantations with partial participation of fir is predicted to be 20-50% of the area. And another 27% of the area is dominated by spruce, cedar, and birch, but fir recovery is projected to be only 20-30% of the area. Hardwoods will be renewed in the rest of the area.

Keywords: *Polygraphus proximus* Blandf., Siberian fir *Abies sibirica* Ledeb., forest formation process, forest types, insect infestations, southern taiga, Western Siberia

Введение

Проблема биологических инвазий является широко распространенной по всему миру [12]. Серьезную угрозу она представляет и для лесных экосистем [10]. Только на территории России можно привести три ярких примера негативного воздействия инвазивных насекомых: ясеневая изумрудная узкотелая златка *Agrius planipennis* Fairmaire [13], которая наносит урон видам рода ясень *Fraxinus spp.* на территории европейской части страны, самшитовая огневка *Cydalima perspectalis* Walker [1], которая почти уничтожила реликтовые леса из самшита колхидского *Buxus colchica* Rojark. на Кавказе, и уссурийский полиграф *Polygraphus proximus* Blandf. [2], формирующий очаги массового размножения на громадной площади в Западной и Центральной Сибири в лесах с доминированием и участием пихты сибирской *Abies sibirica* Ledeb.

На фоне происходящих климатических и погодных флуктуаций воздействие инвазивных организмов приводит к сопряженной трансформации биологического разнообразия лесов на всех уровнях [11]. Отмечено, что в начале текущего столетия активизировались процессы деградации хвойных вечнозеленых лесов в бореальной зоне по всей планете [8]. Долгосрочное моделирование прогнозирует увеличение числа инвазий [9]. В связи с этим приходится констатировать, что инвазионные процессы в будущем будут продолжаться, и поэтому возникает необходимость изучения их воздействия на коренную биоту.

Целью исследования являлась разработка схемы сукцессионной динамики пихтовых лесов в зоне инвазии уссурийского полиграфа.

Материалы и методы

Исследования проводились в 2016–2018 гг. на территории Томской области – одного из регионов-реципиентов инвазии уссурийского полиграфа. Исследования проведены на 38 пробных площадях (ПП), насаждения которых относились к приспевающей или спелой группам возраста и характеризовались на момент исследования разной степенью нарушенности.

На каждой ПП площадью 0,25 га с количеством деревьев верхнего яруса не менее 100 экземп-

ляров измерялись традиционные параметры (диаметр у всех деревьев, высота и возраст у 20–30 деревьев) с оценкой санитарного состояния по шкале, доработанной под уссурийского полиграфа [3].

Изучение естественного возобновления проводилось по специализированным методическим указаниям [5], модифицированным в соответствии с поставленными задачами. В зависимости от характеристики исследуемых сообществ (площади участка и количественных параметров возобновления) пересчет производился на непрерывных трансектах квадратными учетными площадками по 4 м² в количестве 25 штук или прерывистых трансектах на 30 круговых площадках размером 10 м².

При пересчете возобновления учитывались его породный состав, высота, диаметр, возраст, численность, протяженность и проекция кроны, линейные приросты осевого побега и бокового побега I порядка. Также отбирались модельные экземпляры подроста в количестве 3 штук на группу высот для уточнения морфологических характеристик и возраста.

Характер размещения естественного возобновления по площади оценивался с вычислением встречаемости (отношение числа учетных площадок с хотя бы 1 экземпляром подроста к общему числу учетных площадок). С целью изучения пространственного размещения подроста рассчитывался индекс рассеяния, предложенный Р.А. Фишером [6].

Основными параметрами, принятыми в работе и характеризующими жизнеспособный подрост [7], являются соотношение текущего линейного прироста осевого побега и бокового побега I порядка, так называемый экологический коэффициент кроны (более 0,5 для мелкого подроста, 0,7 для среднего и 1 для крупного), протяженность кроны по стволу (более 61%), отношение длины кроны к ширине (более 0,9). Принятые в данной работе значения экологического коэффициента кроны отличны от общепринятых в лесоведении, в связи с особенностями онтогенеза пихты сибирской [4]. В раннем и позднем иматурном состоянии, которые применимы к мелкой и средней категории высоты пихтового подроста соответственно, характерно превышение прироста боковых ветвей над осевым

побегом. При комплексной оценке жизненного состояния благонадежным считалось возобновление, у которого наблюдалось превышение пороговых значений по двум из трех вышеприведенных параметров.

Для оценки топической приуроченности подростка изучалась структурная организация микроместообитаний в лесных сообществах, в соответствии с которой были выделены такие микроместообитания (микросайты), как подкروновые участки живых и мертвых генеративных деревьев (по каждой породе), а также межкroновые участки.

В работе по степени доминантности пихты в верхнем ярусе выделены следующие типы древостоев по составу: монодоминантные (9-10 единиц), умеренно смешанные (6-8 единиц), мультипородные (2-5 единиц).

Обработка собранного материала производилась в программе STATISTICA 10. Помимо стандартных описательных статистик, использовались непараметрические критерии Манна-Уитни и Краскела-Уоллиса с целью установления достоверности различий показателей.

Результаты и обсуждение

На исследуемой территории (южная тайга Западной Сибири) преобладают 3 основных типа пихтовых лесов: осочковый (45%), разнотравный (28%) и мелкотравный (27%). Встречаемость монодоминантных и умеренно смешанных лесов составляет по 36%, и мультипородных – 28%.

Высотная структура естественного возобновления по типам леса

Динамика возобновления в основном определяется типом леса, но существенные коррективы вносит и видовой состав верхнего яруса насаждений (табл. 1).

В осочковом типе леса в составе возобновления преобладает пихта (72П18Е3К7Ос), но значима доля ели. Средняя высота равна 47,2±2,7 см. По отдельным лесообразующим видам она колеблется. Наиболее высокий подрост пихты отмечен в межкroновых участках (87,2±10,2 см), несколько ниже под живыми пихтами (66,4±7,8 см) и елями (60,0±37,7 см). Наиболее низкий подрост под пологом березы (37,2±15,1 см) и сухостоя пихты (48,1±8,0 см). Диапазон высот подростка под всеми

типами микроместообитаний различается. Но отмечено, что минимальная высота колеблется от 4 до 15 см, т.е. возобновление идет везде. Верхний предел имеет очень широкую амплитуду, от 130 до 230 см. Наиболее крупные пихты располагаются в межкroновых участках (230 см), а подпологовые местообитания достаточно однородны (от 130 до 180 см).

Кедр не отмечен. Ель встречается под кронами пихт и в межкroновых участках, изредка под кронами сухостоя пихты. Ее высотная структура более однородна во всех типах микроместообитаний и варьируется от 76,7±28,5 см до 108,3±15,3 см с лимитами от 20 до 170 см. Подрост осины встречается в основном в межкroновых участках (122,5±19,3 см). Единично под материнскими деревьями и сухостоем пихты. Варьирование высот от 70 до 160 см.

В разнотравном типе леса в составе возобновления также доминирует пихта, где ее доля даже выше (80П12Е2К6Ос). Средняя высота ниже и равна 33,2±1,7 см. Наиболее высокий пихтовый подрост отмечен под кронами кедров (51,2±5,1 см). Несколько ниже под живыми (36,0±2,4 см) и погибшими (40,4±2,5 см) пихтами, березами (34,9±3,4 см), а также в межкroновых участках (38,9±2,5 см). Наиболее низкий подрост пихты под пологом ели – 15,9±2,1 см. Нижний диапазон высот пихтового подростка колеблется от 4 до 10 см, т.е. процессы пополнения возобновления протекают успешно (за исключением участков под кронами кедра, где минимальная высота пихты равна 40 см). Верхний предел имеет очень широкую амплитуду, от 30 до 220 см. Наиболее крупные пихты располагаются под кронами живых (105 см) и погибших (135 см) пихт, а также в межкroновых участках (220 см). Под пологом берез (85 см), кедров (60 см) и елей (30 см) пихта не достигает до высоты в 1 м.

Кедр распространен в основном под пихтами (погибшими 67,2±10,7 см и живыми 40,0±30,0 см), изредка по межкroновым участкам (90±10 см). Т.е. почти под всеми типами микроместообитаний, за исключением материнских деревьев. Его высотная структура более однородна, и лимиты высот от 10 до 110 см. Ель имеет схожую приуроченность, как у кедра, и в среднем ее высота под кронами сухо-

Природопользование

стоя пихты равна $83,0 \pm 31,1$ см (лимиты 10-160 см), а в межкروновых участках – $109,2 \pm 21,2$ см. Изредка встречается под кронами живых пихт. Подрост осины встречается в основном в межкроновых участках ($157,5 \pm 15,3$ см), изредка под елями. Варьирование высот от 130 до 195 см.

В мелкотравном типе леса пихта абсолютно доминирует в составе возобновления (90П4К2Е4Ос).

Средняя высота имеет показатель, аналогичный разнотравному типу ($33,2 \pm 1,3$ см). Наиболее высокий подрост отмечен под кронами осин ($44,0 \pm 5,2$ см) и берез ($34,7 \pm 5,0$ см). Несколько ниже под живыми ($30,1 \pm 3,0$ см) и погибшими ($25,4 \pm 2,0$ см) пихтами, а также в межкроновых участках ($28,5 \pm 2,4$ см). Наиболее низкий подрост под пологом ели – $17,6 \pm 1,5$ см. Установлено, что минимальная высота колеблется от 3 до 7 см, т. е. возобновление пихты идет везде успешно. Верхний предел имеет очень широкую амплитуду, от 100 до 360 см.

Наиболее крупные пихты располагаются под кронами берез (230 см), живых (170 см) и погибших (210 см) пихт, а также в межкроновых участках (360 см). Под пологом осин и елей не дорастает до высоты в 1 м.

Кедр распространен под всеми типами микросайтов, за исключением материнских деревьев. Его высотная структура однородна под всеми типами микроместообитаний и варьируется от $13,0 \pm 6,0$ до $18,7 \pm 3,9$ см с лимитами от 5 до 55 см. Ель встречается крайне редко, и трудно достоверно выявить ее предпочтения, но в среднем ее высота равна $51,7 \pm 12,0$ см (лимиты 30-110 см). Подрост осины встречается только под кронами живых ($95,0 \pm 7,4$ см) и погибших ($85,7 \pm 17,2$ см) пихт, а также наиболее крупный в межкроновых участках ($145,0 \pm 19,4$ см). Единично под елями. Варьирование высот от 40 до 200 см, причем наиболее крупные приурочены к межкроновым участкам.

Таблица 1

Высотная структура естественного возобновления в пихтовых лесах, поврежденных уссурийским полиграфом, в связи с типами сообществ

Тип сообщества	Вид под-роста	Микроместообитание						
		Под осиной	Под березой	Под елью	Под кедром	Под живой пихтой	Под погибшей пихтой	Межкроновые
МПФМТ	Пихта	$44,0 \pm 5,2$	$34,7 \pm 5,0$	$17,6 \pm 1,5$	–	$22,2 \pm 2,4$	$20,5 \pm 1,3$	$25,4 \pm 2,4$
	Кедр	$18,7 \pm 3,9$	$18,2 \pm 3,6$	$14,6 \pm 5,8$	–	$17,0 \pm 5,7$	$13,0 \pm 6,0$	$18,4 \pm 2,0$
	Осина	–	–	–	–	–	$87,5 \pm 31,5$	$120,0 \pm 10,0$
МДФМТ	Пихта	–	–	–	–	$43,8 \pm 6,5$	$60,7 \pm 11,2$	$43,9 \pm 7,4$
	Осина	–	–	–	–	$95,0 \pm 7,4$	$83,3 \pm 8,8$	–
УСФРТ	Пихта	–	$34,9 \pm 3,5$	$16,3 \pm 2,2$	–	$14,4 \pm 2,9$	$40,2 \pm 3,1$	$35,1 \pm 3,0$
	Кедр	–	–	–	–	–	$75,0 \pm 13,2$	–
МДФРТ	Пихта	–	–	–	$51,2 \pm 5,2$	$39,0 \pm 2,6$	$40,9 \pm 4,5$	$42,9 \pm 4,1$
	Кедр	–	–	–	–	$40,0 \pm 30,0$	$51,7 \pm 18,3$	–
	Ель	–	–	–	–	$37,5 \pm 12,5$	$91,2 \pm 38,7$	$127,0 \pm 14,0$
	Осина	–	–	–	–	–	–	$157,5 \pm 15,3$
МПФОС	Пихта	–	$37,2 \pm 15,1$	$60,0 \pm 37,7$	–	$60,6 \pm 13,8$	$66,4 \pm 7,8$	$70,2 \pm 11,1$
УСФОС	Пихта	–	–	–	–	$36,6 \pm 6,2$	–	$120,3 \pm 18,9$
	Ель	–	–	–	–	–	–	$108,3 \pm 15,3$
	Осина	–	–	–	–	–	–	$116,7 \pm 26,0$
МДФОС	Пихта	–	–	–	–	$14,9 \pm 1,7$	$31,8 \pm 6,8$	$14,5 \pm 1,0$
	Кедр	–	–	–	–	–	$99,2 \pm 33,2$	–

Примечание: МПФМТ – мультипородные фитоценозы мелкотравного типа леса; МДФМТ – монодоминантные фитоценозы мелкотравного типа леса; УСФРТ – умеренно смешанные фитоценозы разнотравного типа леса; МДФРТ – монодоминантные фитоценозы разнотравного типа леса; МПФОС – мультипородные фитоценозы осочкового типа леса; УСФОС – умеренно смешанные фитоценозы осочкового типа леса; МДФОС – монодоминантные фитоценозы осочкового типа леса.

Численность естественного возобновления по типам леса

В осочковом типе леса численность возобновления равна $1,13 \pm 0,30$ тыс. шт./га. Наиболее густой подрост пихты отмечен под кронами материнских деревьев ($1,83 \pm 0,38$ тыс. шт./га) и в межкрупных участках ($1,72 \pm 0,37$ тыс. шт./га). Менее обеспечены микросайты под сухостоем пихты ($1,41 \pm 0,24$ тыс. шт./га), под пологом березы ($0,84 \pm 0,22$ тыс. шт./га), ели ($1,00 \pm 0,41$ тыс. шт./га) и кедра ($0,22 \pm 0,22$ тыс. шт./га).

Кедр, ель и осина (встречаются в подкрупном пространстве пихты и ее сухостоя, межкрупных участках) редки, и их густота равномерна по типам местообитаний (до $0,05-0,15$ тыс. шт./га).

В разнотравном типе леса численность возобновления равна $2,74 \pm 1,14$ тыс. шт./га. Наиболее густой подрост пихты отмечен под кронами берез ($11,00 \pm 5,00$ тыс. шт./га). Остальные микростообитания также хорошо и равномерно по густоте обеспечены: под елью ($3,25 \pm 2,29$ тыс. шт./га), под живыми ($3,37 \pm 0,42$ тыс. шт./га) и погибшими ($2,21 \pm 0,36$ тыс. шт./га) пихтами, в межкрупных участках ($2,10 \pm 0,36$ тыс. шт./га).

Кедр и ель редки (встречаются в подкрупном пространстве пихты и ее сухостоя, межкрупных микросайтах), и их густота равномерна по типам местообитаний ($0,11 \pm 0,06$, $0,17 \pm 0,06$, $0,03 \pm 0,02$ тыс. шт./га по кедровому подросту и $0,07 \pm 0,05$, $0,11 \pm 0,06$, $0,10 \pm 0,04$ тыс. шт./га по еловому подросту соответственно). Осина отмечена редко под кронами ели ($0,25 \pm 0,25$ тыс. шт./га) и в межкрупных участках ($0,03 \pm 0,02$ тыс. шт./га).

В мелкотравном типе леса численность возобновления составляет $5,05 \pm 1,84$ тыс. шт./га. Наиболее густой подрост пихты отмечен под кронами ели ($8,42 \pm 1,59$ тыс. шт./га). Менее густой подрост под пологом березы ($4,69 \pm 1,06$ тыс. шт./га), живых ($3,44 \pm 0,64$ тыс. шт./га) и погибших ($4,83 \pm 0,92$ тыс. шт./га) пихт и в межкрупных участках ($5,07 \pm 0,62$ тыс. шт./га). Менее всего пихты локализовано под осиной ($2,20 \pm 0,36$ тыс. шт./га) и кедром ($0,67 \pm 0,33$ тыс. шт./га).

Кедр встречается во всех микростообитаниях (кроме материнских деревьев), причем можно выделить более обеспеченные им межкрупные

участки ($0,42 \pm 0,17$ тыс. шт./га), под елью ($0,67 \pm 0,31$ тыс. шт./га), березой ($0,31 \pm 0,17$ тыс. шт./га) и осиной ($0,50 \pm 0,22$ тыс. шт./га). Под живыми ($0,09 \pm 0,07$ тыс. шт./га) и погибшими ($0,08 \pm 0,05$ тыс. шт./га) пихтами его немного. Осина встречается под кронами живых ($0,19 \pm 0,08$ тыс. шт./га) и погибших ($0,20 \pm 0,09$ тыс. шт./га) пихт, в межкрупных микростообитаниях ($0,09 \pm 0,09$ тыс. шт./га). Ель также отмечена под кронами живых ($0,06 \pm 0,04$ тыс. шт./га) и погибших ($0,03 \pm 0,03$ тыс. шт./га) пихт, в межкрупных микростообитаниях ($0,04 \pm 0,03$ тыс. шт./га) и под осиной ($0,10 \pm 0,10$ тыс. шт./га).

В целом типологические особенности насаждений определяют численность подроста, но для прогнозирования сукцессионной динамики важно знать особенности протекания возобновительных процессов на уровне микросайтовой структуры сообществ (табл. 2).

Особенности пространственного размещения естественного возобновления по типам леса

В осочковом типе леса встречаемость возобновления самая низкая – $59 \pm 11\%$. У пихты самый высокий показатель отмечен под елями (75%). Далее следует встречаемость под березами (56%), живыми (53%) и погибшими пихтами (61%). Меньше всего обеспечены межкрупные участки (49%) и под кронами кедров (11%). Кедр редко встречается (1-5%) под кронами живых и погибших пихт, а также в межкрупных участках. Ель также имеет очень низкую встречаемость (от 2 до 11%) под кронами живых, погибших пихт и в межкрупных участках. Аналогичные показатели отмечены у осины, которая встречается в межкрупных участках и под погибшими пихтами (2-4%). Показатель сгруппированности возобновления свидетельствует о групповом размещении ($2,2 \pm 0,9$). Но пихта имеет групповое размещение только под материнским пологом (3,4) и в межкрупных участках (6,5). В остальных микросайтах она распространена равномерно ($0,2-0,9$). Остальные породы имеют равномерное размещение ($0,1-0,3$).

В разнотравном типе леса встречаемость возобновления выше ($71 \pm 20\%$). Пихта имеет высокую встречаемость в половине микростообитаний: под кедром, березой, пихтой (от 89 до 100%). Несколько ниже под елью – 75%, и меньше всего

под погибшими пихтами (60 %) и в межкروновых участках (55 %). Кедр чаще всего встречается под погибшими (15 %) и живыми пихтами (11 %) и очень редко в межкроновых участках (3 %). Ель по-прежнему характеризуется очень низкой встречаемостью (от 7 до 8 %) под кронами живых и погибших пихт и в межкроновых участках. Осина преимущественно встречается (25 %) под кронами елей и очень редко в межкроновых участках (3 %). Сгруппированность возобновления имеет показатель, аналогичный осочковому типу леса ($2,1 \pm 0,6$). Пихта имеет выраженное групповое размещение также практически под всеми типами микросайтов (от 1,7 до 5,6), за исключением материнских деревьев (1,0). Причем повышенная сгруппированность отмечена под елью (5,6). Остальные породы имеют равномерное размещение (0,1-0,2).

В мелкотравном типе леса встречаемость возобновления самая высокая (94 ± 2 %). Пихта имеет высокую встречаемость практически под всеми типами микроместообитаний (от 88 до 100 %), за исключением подкroновых участков кедра (67 %). Кедр чаще всего встречается под осиной (40 %) и елью (33 %), ниже встречаемость под пологом березы (23 %) и в межкroновых участках (20 %). Низкая встречаемость отмечается под живыми (6 %) и погибшими (9 %) пихтами. Ель имеет очень низкую встречаемость (от 3 до 10 %). Осина отмечена (от 31 до 44 %) под кронами живых и погибших пихт, а также в межкroновых участках. Сгруппированность возобновления составляет $2,2 \pm 1,1$, т. е. имеет групповой характер. При этом пихта имеет выраженное групповое размещение практически под всеми типами микроместообитаний (от 3,1 до 5,5), за исключением подкroновых пространств осины (0,3). Наиболее высокая сгруппированность отмечена в межкroновых участках (4,0) и под погибшими пихтами (5,5). Кедр имеет групповое размещение только в межкroновых участках (1,3). В остальных микросайтах его размещение равномерное (0,2-0,3). Аналогичные показатели имеют ель и осина. Опираясь на полученные результаты по анализу высотной структуры, динамике численности, встречаемости и сгруппированности естественного возобновления по типам леса и

микроместообитаниям, можно дать оценку дальнейшей сукцессионной динамики пихтовых лесов в зоне инвазии уссурийского полиграфа. Разработанная нами схема лесообразовательного процесса пихтовых насаждений (рис. 1) содержит 7 линий динамики из 9 потенциально возможных. Остается открытым вопрос о протекании сукцессионной динамики в умеренно-смешанных фитоценозах мелкотравного типа леса и мультипородных фитоценозах разнотравного типа леса.

Выявлено, что основными типами сообществ являются УСФОС (27 %), МПФМТ (18 %), МДФРТ (18 %). Остальные 4 типа равными долями распространены на 36 % площади пихтовых лесов. Сукцессионная динамика в МПФМТ при сильном повреждении пихтового элемента леса уссурийским полиграфом в зависимости от соотношения пород в исходном составе будет идти в направлении преобладания в верхнем ярусе ели или кедра. Снижение сомкнутости крон приведет к активизации ростовых процессов у естественного возобновления, которое представлено преимущественно пихтой густотой 5-7 тыс. шт./га (при встречаемости 90-100 %) высотой 0,2-0,25 м и имеет ярко выраженное групповое размещение. Динамика будет происходить в межкroновых микроместообитаниях и под погибшими пихтами.

Присутствующий на 7-10 % площади данных микроместообитаний равномерно размещенный более мелкий (до 0,2 м) кедровый подрост будет подавлен пихтой (особенно учитывая, что его густота до 0,15 тыс. шт./га) и не составит ей конкуренции. Осина же, которая имеет несколько большую встречаемость (7-14 %), несмотря на свое равномерное размещение и невысокую густоту (до 0,15 тыс. шт./га), сможет войти в верхний ярус, поскольку ее стартовая высота значительно выше (0,9-1,2 м), чем у подростка пихты.

Сукцессионная динамика в МДФМТ приводит к практически полной деградации верхнего яруса (формируется редина). Ввиду того, что естественное возобновление представлено преимущественно пихтой густотой 1,5-2,5 тыс. шт./га (при встречаемости 80-100 %) высотой 0,4-0,6 м, то она и войдет в основу будущего молодняка.

Численность естественного возобновления в пихтовых лесах, поврежденных уссурийским полиграфом, в связи с типами сообществ

Тип сообщества	Вид подростка	Микроместообитание						
		Под осиной	Под березой	Под елью	Под кедром	Под живой пихтой	Под погибшей пихтой	Межкрупные
МПФМТ	Пихта	2,54±0,41	4,69±1,06	8,33±1,51	–	5,00±1,26	6,90±1,35	6,52±0,83
	Кедр	0,45±0,21	–	–	–	0,14±0,14	0,09±0,06	0,07±0,05
	Ель	0,09±0,09	–	–	–	–	–	–
	Осина	–	–	–	–	–	0,19±0,11	0,07±0,05
МДФМТ	Пихта	–	–	–	0,67±0,33	2,22±0,36	1,67±0,14	2,29±0,14
	Ель	–	–	–	–	0,06±0,06	0,17±0,11	0,12±0,08
	Осина	–	–	–	–	0,22±0,13	0,25±0,18	0,12±0,08
УСФРТ	Пихта	–	11,00±5,00	3,25±2,29	–	3,40±1,03	3,13±0,63	4,19±0,87
	Кедр	–	–	–	–	–	0,26±0,11	0,12±0,09
	Ель	–	–	–	–	–	0,09±0,06	0,06±0,25
МДФРТ	Пихта	–	–	–	–	3,63±0,46	1,30±0,33	1,37±0,33
	Кедр	–	–	–	–	0,14±0,07	0,06±0,04	–
	Ель	–	–	–	–	0,09±0,06	0,13±0,09	0,11±0,06
	Осина	–	–	–	–	–	–	0,09±0,04
МПФОС	Пихта	–	0,75±0,33	0,75±0,49	–	2,33±1,20	3,00±0,54	1,82±0,40
УСФОС	Пихта	–	1,00±0,23	–	–	0,32±0,09	0,59±0,18	0,57±0,12
	Кедр	–	0,11±0,11	–	–	0,03±0,03	0,07±0,05	0,03±0,02
	Ель	–	–	–	–	0,09±0,05	0,07±0,05	0,19±0,06
	Осина	0,50±0,50	–	–	–	–	0,04±0,04	0,04±0,02
МДФОС	Пихта	–	–	–	–	3,74±0,78	1,14±0,40	7,07±1,90
	Кедр	–	–	–	–	0,04±0,04	0,86±0,55	0,07±0,07

Присутствующий на 6-17 % площади микро-сайтов равномерно размещенный с идентичной высотой (0,5 м) еловый подрост частично будет подавлен пихтой (особенно учитывая, что его густота до 0,05-0,15 тыс. шт./га), но частично примет участие в формировании нового древостоя. Осина же, которая имеет несколько большую встречаемость (12-22 %), несмотря на свое равномерное размещение и невысокую густоту (0,12-0,25 тыс. шт./га), сможет войти в верхний ярус, поскольку ее стартовая высота значительно выше (0,8-0,9 м), чем у подростка пихты.

Сукцессионная динамика в УСФРТ приводит к сильному изреживанию древостоя (примерно в 2 раза относительно доинвазионного состояния). Вследствие этого наблюдается усиление роста в высоту у подростка, в котором доминирует пихта густотой 3-4 тыс. шт./га (при встречаемости 74-88 %) высотой 0,3-0,4 м. Присутствующий на 13-22 % площади микроместообитаний равномерно

размещенный более крупный (0,7-0,9 м) кедровый подрост примет участие в формировании нового поколения в качестве примеси ввиду невысокой густоты (0,12-0,26 тыс. шт./га). Аналогичная ситуация складывается и по еловому подросту (встречаемость 6-9 %, высота 0,8-1,1 м, густота 0,06-0,09 тыс. шт./га).

Сукцессионная динамика в МДФРТ приводит к практически полному усыханию древостоя (остаются единичные деревья). Имеющийся подрост в основном состоит из пихты, но недостаточной густоты 1,0-1,5 тыс. шт./га (при встречаемости 43-50 %) высотой 0,4-0,45 м. Участие в формировании нового древостоя примет кедровый (высота 0,5 м, густота 0,06 тыс. шт./га, встречаемость 10 %), еловый (высота 0,9-1,2 м, встречаемость 7-9 %, густота 0,11-0,13 тыс. шт./га) и осиновый подрост (высота 1,6 м, встречаемость 9 %, густота 0,09 тыс. шт./га).

Сукцессионная динамика в МПФОС приводит к преобладанию в древостое других лесобразователей (чаще всего ели или кедра). Под погибшими пихтами имеется удовлетворительное количество пихтового подроста (1,8-3,0 тыс. шт./га, встречаемость 88-100%, высота 0,65-0,70 м).

Сукцессионная динамика в МДФОС характеризуется практически полной деградацией древесного яруса с единичными деревьями. Вариабельность естественного возобновления высокая, но доминирует пихта густотой 1,1-7,1 тыс. шт./га (при встречаемости 39-71 %) высотой 0,15-0,30 м. Присутствующий на 7-29 % площади микросайтов равномерно размещенный более крупный (1 м) кедровый подрост густотой 0,86 тыс. шт./га примет участие в формировании нового древостоя.

Сукцессионная динамика в УСФОС приводит к формированию редкостойных древостоев, на 60-70 % площади которых отсутствует естественное возобновление, на остальной имеется смешанный подрост пихты (высота 1,2 м, густота 0,57-0,59, встречаемость 33-37 %), ели (высота 1,1 м, густота 0,07-0,19, встречаемость 7-16 %) и осины (высота 1,2 м, густота 0,04, встречаемость 4 %).

Период исследований совпал с пандемией сибирского шелкопряда, которая началась с 2015 года. На некоторых объектах была проведена оценка влияния шелкопряда на поврежденные уссурийским полиграфом насаждения. Например, в самом распространенном типе УСФОС наибольший урон нанесен именно пихтовому подросту (поврежденность 95% со степенью объедания $90,3 \pm 3,4$ %). Поврежденность кедрового подроста несколько меньше (85 %), но степень объедания выше – $96,0 \pm 1,9$ %. Еловый подрост пострадал несколько меньше (80%), но его объедание не носило катастрофического характера ($22,5 \pm 4,8$ %). Таким образом, учитывая, что сибирский шелкопряд воздействует на всю экосистему, включая подрост, можно с уверенностью сказать, что он представляет собой более мощный энтомогенный фактор. В связи с этим приведенная схема сукцессионной динамики применима до момента пандемии сибирского шелкопряда, равно как и в случае воздействия пирогенного фактора.

Выводы

С момента официального признания инвазии уссурийского полиграфа – дальневосточного короеда (2008 год) в леса Сибири прошло более 10 лет. За прошедшее время проведены исследования энтомологической и лесоводственной направленности, которые показали, что инвайдер более агрессивен по сравнению с коренными ксилофагами пихты сибирской. Закономерным результатом этого стало включение 9-13 марта 2014 года в г. Вена на заседании группы экспертов Европейской и Средиземноморской организации по карантину и защите растений (ЕОКЗР) в перечень карантинных организмов уссурийского полиграфа *Polygraphus proximus*. В результате проведенных исследований на примере Томской области установлено, что на 45% площади пихтовых лесов произошла смена пихты на ель и кедр, что можно квалифицировать как положительное явление. Однако ввиду того, что под пологом этих насаждений присутствует в достаточном количестве и качестве подрост с абсолютным преобладанием пихты, данная смена носит временный характер, и прогнозируется восстановление доминирующей роли пихты в течение 1 поколения. На 27 % площади насаждения пихты деградируют до состояния редины, где восстановление пихты будет частичным (20-50 %), и основное направление лесобразовательного процесса будет идти в сторону формирования длительно-производных разреженных вторичных молодняков с преобладанием березы и осины. И еще на 27 % площади доминирование временно переходит к ели, кедру, березе, но восстановление пихты прогнозируется только на 20-30 % площади, на остальной будет протекать возобновление пионерных пород и их постепенное вращание в верхний полог, т.е. будут формироваться смешанные хвойно-лиственные древостои с участием пихты.

Предложенная схема сукцессионной динамики пихтовых лесов в инвазионном (вторичном) ареале уссурийского полиграфа позволяет зонировать лесной фонд регионов-реципиентов и на типологической основе планировать и проводить лесохозяйственные мероприятия, направленные на минимизацию ущерба от воздействия инвазивного короеда.

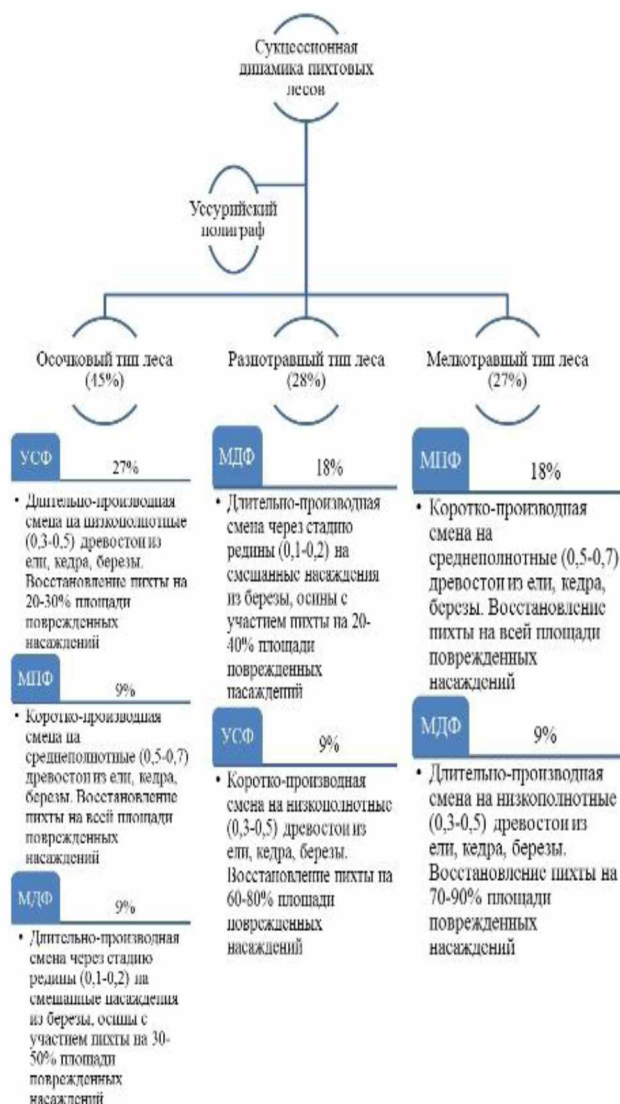


Рис. 1. Влияние уссурийского полиграфа на лесообразовательный процесс пихтовых лесов

Библиографический список

1. Гниненко, Ю. И. Самшитовая огневка – новый инвазивный организм в лесах российского Кавказа / Ю. И. Гниненко, Н. В. Ширяева, В. И. Щуров // Карантин растений. Наука и практика. – 2014. – № 1(7). – С. 32–36.
2. Трансформация таёжных экосистем в очаге инвазии полиграфа уссурийского *Polygraphus proximus* Blandford (*Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae*) в Западной Сибири / С. А. Кривец, Э. М. Бисирова, И. А. Керчев [и др.] // Российский журнал биологических инвазий. – 2015. – № 1. – С. 41–63.
3. Уссурийский полиграф в лесах Сибири: распространение, биология, экология, выявление и обследование поврежденных насаждений / С. А. Кривец, И. А. Керчев, Э. М. Бисирова [и др.]. – Томск-Красноярск, 2015. – 48 с.
4. Махатков, И. Д. Пространственная структура ценопопуляций пихты сибирской в черневых пихтовых лесах Салаира : специальность 03.00.05 «Ботаника» : дис. ... канд. биол. наук : защищена 27.10.98 / Махатков Игорь Дмитриевич. – Новосибирск, 1998. – 125 с.

5. Побединский, А. В. Изучение лесовосстановительных процессов / А. В. Побединский. – Москва, 1966. – 64 с.
6. Свалов, С. Н. Применение статистических методов в лесоводстве / С. Н. Свалов // Лесоведение и лесоводство. – 1985. – Т. 4. – С. 1–164.
7. Успенский, Е. И. Лесовозобновительный процесс под пологом мелколиственных лесов Среднего Поволжья / Е. И. Успенский // Лесной журнал. – 1987. – № 3. – С. 116–118.
8. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests / C. D. Allen, A. K. Macalady, H. Chenchouni [et al.] // *Forest Ecology and Management*. – 2010. – Vol. 259. – No. 4. – P. 660–684.
9. Responses of insect pests, pathogens, and invasive plant species to climate change in the forests of northeastern North America: What can we predict? / J. S. Dukes, J. Pontius, D. Orwig [et al.] // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2010. – Vol. 39. – No. 2. – P. 231–248.
10. Will threat of biological invasions unite the European Union? / P. E. Hulme, P. Pysek, W. Nentwig, M. Vila // *Science*. – 2009. – Vol. 324. – P. 40–41.
11. Ecological effects of invasive alien insects / M. Kenis, M.-A. Auger-Rozenberg, A. Roques [et al.] // *Biological Invasions*. – Vol. 11. – No. 1. – P. 21–45.
12. Poland, T. M. Emerald ash borer: invasion of the urban forest and the threat to North America's ash resource / T. M. Poland, D. G. McCullough // *Journal of Forestry*. – 2006. – Vol. 104. – No. 3. – P. 118–124.
13. Distribution, impact and rate of spread of emerald ash borer *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae) in the Moscow region of Russia / N. A. Straw, D. T. Williams, O. Kulinich, Y. I. Gninenko // *Forestry*. – 2013. – Vol. 86. – No. 5. – P. 515–522.

References

1. Gninenko Yu. I., Shiryayeva N. V., Shchurov V. I. *Samshitovaya ognevka – novyy invazivnyy organizm v lesah rossijskogo Kavkaza* [Box tree moth – a new invasive organism in the forests of the Russian Caucasus]. *Karantin rastenij. Nauka i praktika* [Plant Health. Research and Practice], 2014, no. 1(7), pp. 32–36 (in Russian).
2. Krivec S. A., Kerchev I. A., Bisirova E. M. et al. *Ussurijskij poligraf v lesah Sibiri: rasprostranenie, biologiya, ekologiya, vyavlenie i obsledovanie povrezhdennyh nasazhdenij* [Four-eyed fir bark beetle in Siberian forests (distribution, biology, ecology, detection and survey of damaged stands)]. Tomsk – Krasnoyarsk, 2015. 48 p. (in Russian).
3. Krivets S. A., Bisirova E. M., Kerchev I. A. et al. Transformation of taiga ecosystems in the Western Siberian invasion focus of four-eyed fir bark beetle *Polygraphus proximus* Blandf. (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae). *Rossijskij zhurnal biologicheskikh invazij* [Russian Journal of Biological Invasions], 2015, Vol. 6, no. 2, pp. 94–108 (in Russian).
4. Mahatkov I. D. *Prostranstvennaja struktura cenopopuljacij pihty sibirskoj v chernevyh pihovyh lesah Salaira*. Dis. kand. biol. nauk [The spatial structure of populations of Siberian fir in the dark fir forests of the Salair. PhD biol. sci. diss]. Novosibirsk, 1998. 125 p. (in Russian).
5. Pobedinskij A. V. *Izuchenie lesovosstanovitel'nyh processov* [The study of forest regeneration processes]. Moscow: Nauka, 1966. 64 p. (in Russian).
6. Svalov S. N. *Primenenie statisticheskikh metodov v lesovodstve* [The application of statistical methods in forestry]. *Lesovedenie i lesovodstvo* [Forestry and silviculture], 1985, Vol. 4, pp. 1–164 (in Russian).
7. Uspenskij E. I. *Lesovozobnovitel'nyj process pod pologom melkolistvennyh lesov Srednego Povolzh'ja* [Forest forming process under canopy small-leaved forest of middle Volga region]. *Lesnoj zhurnal* [Forest journal], 1987, no. 3, pp. 116–118 (in Russian).

8. Allen C. D., Macalady A. K., Chenchouni H. et al. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 2010, Vol. 259, no. 4, pp. 660-684.

9. Dukes J. S., Dukes J. S., Pontius J. et al. Responses of insect pests, pathogens, and invasive plant species to climate change in the forests of northeastern North America: What can we predict? *Canadian Journal of Forest Research*, 2010, Vol. 39, no. 2, pp. 231-248.

10. Hulme P. E., Pysek P., Nentwig W., Vila M. Will threat of biological invasions unite the European Union? *Science*, 2009, Vol. 324, pp. 40-41.

11. Kenis M., Auger-Rozenberg M.-A., Roques A. et al. Ecological effects of invasive alien insects. *Biological Invasions*, Vol. 11, no. 1, pp. 21-45.

12. Poland T. M., McCullough D. G. Emerald ash borer: invasion of the urban forest and the threat to North America's ash resource. *Journal of Forestry*, 2006, Vol. 104, no. 3, pp. 118-124.

13. Straw N. A., Williams D. T., Kulinich O., Gninenko Y. I. Distribution, impact and rate of spread of emerald ash borer *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae) in the Moscow region of Russia. *Forestry*, 2013, Vol. 86, no. 5, pp. 515-522.

Сведения об авторе

Дебков Никита Михайлович – кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории мониторинга лесных экосистем, Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Российская Федерация; e-mail: nikitadebkov@yandex.ru.

Information about the author

Debkov Nikita Mihailovich – PhD (Agriculture), researcher of the laboratory of monitoring of forest ecosystems, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russian Federation; e-mail: nikitadebkov@yandex.ru.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТА ПО ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКЕ СЕМЯН И ВЫРАЩИВАНИЮ СЕЯНЦЕВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ В ЗАКРЫТОМ ГРУНТЕ

кандидат биологических наук **С.А. Кабанова**¹

В.А. Борцов¹

кандидат географических наук, доцент **М.А. Данченко**²

1 – Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации, г. Щучинск,
Республика Казахстан

2 – ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», г. Томск,
Российская Федерация

Из-за низкого качества семян, трудностей их сбора и хранения в лесных учреждениях Северного Казахстана наблюдается нехватка посадочного материала березы повислой. Объектом исследований являлись однолетние сеянцы березы повислой, выращенные в лесных питомниках Акмолинской и Северо-Казахстанской областей в условиях закрытого грунта. Предпосевную обработку семян проводили с использованием стимуляторов, в почву были внесены различные ростовые вещества. Сеянцы березы в питомнике Северо-Казахстанской области показали быстрый рост при предпосевной обработке семян Гуматом+7 микроэлементов в течение 6 часов и Цирконом (3 часа). Остальные варианты отставали от контрольных сеянцев, высота которых составила 14,6 см. При совместном использовании стимуляторов и фунгицида Триходермы наибольшая высота сеянцев наблюдалась у варианта с замачиванием семян в Байкале+Триходерма (1+2 часа). Все варианты опыта превышали высоту контрольных сеянцев. Внесение азота и фосфора в почву благоприятно повлияло на высоту сеянцев, которая составила соответственно 24,3 и 21,7 см. Средняя высота сеянцев в опыте с замачиванием семян в Гумате+7 микроэлементов и поливом почвы различными веществами составила 22,4 см. Сеянцы в лесном питомнике Акмолинской области значительно отставали по росту – средняя высота составила 2,6 см во всех опытах. Выделялись варианты с замачиванием семян в Байкале (1 и 1,5 часа) и Гуматофосфате, сеянцы которых имели высоту более 3 см. В результате исследований выявлено, что на рост сеянцев березы повислой положительно повлиял полив почвы ростовыми веществами после посева семян, также можно отметить замачивание их в стимуляторах. Из испытанных стимуляторов можно рекомендовать Байкал, т. к. при предпосевной обработке данным ростовым веществом сеянцы имели хороший рост и большое число всходов.

Ключевые слова: береза повислая, сеянцы, стимуляторы, посев, семена, фунгицид

TEST RESULTS ON PRESEEDING TREATMENT OF SEEDS AND GROWING OF EUROPEAN BIRCH SEEDLINGS UNDER COVER

PhD (Biology) **S.A. Kabanova**¹

V.A. Bortsov¹

PhD (Geography), Associate Professor **M.A. Danchenko**²

1 – Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, Almaty, st. Schuchinsk, Republic of Kazakhstan

2 – FSAEI HE "Tomsk State University", Tomsk, Russian Federation

Abstract

There is a shortage of planting material of European birch in the forest institutions of Northern Kazakhstan due to the low quality of seeds, difficulties in their collection and storage. The object of research was yearling European birch seedlings grown in the forest nurseries of Akmola and North Kazakhstan regions in nursery conditions. Presowing treatment of seeds was carried out using stimulants. Various growth substances were introduced into the soil. Birch seedlings in the nursery of the North Kazakhstan region showed rapid growth during the pre-sowing treatment of seeds with Humate + 7 microelements for 6 hours and Zircon (3 hours). The remaining options lagged behind the control

seedlings, whose height was 14.6 cm. With the combined use of stimulants and Trichoderma fungicide, the highest seedling height was observed in the variant with seed soaking in Baikal + Trichoderma (1 + 2 hours). All the experimental options have exceeded the height of the control seedlings. The introduction of nitrogen and phosphorus into the soil has favorably affected the height of the seedlings, which amounted to 24.3 and 21.7 cm, respectively. The average height of seedlings in the experiment with soaking seeds in Gumat + 7 microelements and watering the soil with various substances was 22.4 cm. Seedlings in the forest nursery of Akmola region were significantly slower in growth. The average height was 2.6 cm in all the experiments. Variants with seed soaking in Baikal (1 and 1.5 hours) and Humate Phosphate are worth to be noted. The seedlings had a height of more than 3 cm. As a result of the studies, it was revealed that the growth of European birch seedlings was positively affected by watering the soil with growth substances after sowing the seeds and soaking them in stimulants. Baikal stimulant can be recommended, because the seedlings had good growth and a large number of sprouts during pre-sowing treatment with this growth substance.

Keywords: European birch, seedlings, stimulants, sowing, seeds, fungicide

Введение

Из-за низкого качества, некоторых трудностей сбора и хранения семян в лесных учреждениях неохотно занимаются выращиванием сеянцев березы. Поэтому в Северном Казахстане к настоящему времени возникла проблема острой нехватки посадочного материала березы повислой для целей лесовосстановления и лесоразведения. В научной литературе ближнего и дальнего зарубежья широко освещены результаты исследований по получению посадочного материала сосны и ели с использованием ростовых веществ, причем применяются самые разнообразные виды стимуляторов – Гумат, «Биоплант Флора» [8], Экстрасол [5], Эмистим-С [10], ПАБК [1] и многие другие. Все авторы указывают на увеличение лабораторной и грунтовой всхожести семян с указанной предпосевной обработкой и ускорение роста по высоте сеянцев хвойных растений. Кроме того, разработаны способы интенсификации агротехники получения посадочного материала путем подкормки сеянцев минеральными удобрениями в фазах интенсивного роста корневой системы и формирования боковых почек [4] и уточнены нормы высева семян, которые для условий Западного Урала составляют 0,5-0,8 г/пог. м [2]. Но имеется небольшое число статей по результатам усовершенствования выращивания сеянцев березы в лесных питомниках. Указывается на влияние погодных условий при завязывании семян и появлении всходов [14]. Для минимизации неблагоприятных климатических факторов предлагается использовать укрывной материал Лутрасил [7], Спандбонд [11] и Агротекс [6], а также предварительно

замачивать семена в растворах Крезацина и Силипланта [7], ССС [12]. Различаются сроки посева семян, так, Якимовым и др. [11] предлагается ранний посев семян сразу после сбора, в летний период, это повышает грунтовую всхожесть на 40-50 %, что для березы является важным фактором. Результаты подобных работ используются при создании лесных культур, в процессе лесовосстановления и лесовозобновления, а также для разработки моделей прогнозирования роста и развития древостоев [14, 15]. В настоящее время Казахским НИИ лесного хозяйства и агролесомелиорации начаты исследования по повышению качества семян березы с применением стимуляторов и удобрений и ускорению роста сеянцев в условиях Северного Казахстана.

Объекты и методы

Исследование роста однолетних сеянцев березы повислой, выращенных в закрытом грунте, проводилось в лесных питомниках Акмолинской (КГУ «УЛХ «Букпа») и Северо-Казахстанской областей (КГУ «УЛХ Есильское»). Почвенно-климатические условия районов расположения питомников практически идентичные – климат резкоконтинентальный, почвы черноземные. В лесном питомнике Северо-Казахстанской области кислотность почвы составила 7,3, в Акмолинской области – 6,32, что для роста посадочного материала березы повислой является оптимальными показателями.

Изучение влияния ростовых веществ на всхожесть семян и высоту сеянцев проводилось по 4 опытам: предпосевная обработка семян стимуляторами; предпосевная обработка семян стимулято-

рами и полив почвы фунгицидом Триходермой; внесение сухих ростовых веществ в почву до посева семян; полив почвы ростовыми веществами и посев предварительно замоченных семян в Гумате+7 микроэлементов. Семена замачивались в различных стимуляторах на срок до 6 часов. Сухие вещества вносились в почву до посева семян и заделывались небольшим слоем почвы, жидкие вещества вносились путем полива почвы после посева. Кроме общеизвестных, испытывались ростовые вещества, изобретенные в Казахстане, – KZ Грунт, KZ Грунт (NPK), KZ Культуры и Гуматофосфат. Контролем служили семена, высеянные без предпосевной обработки.

Посев производился 20 мая в питомнике Северо-Казахстанской области и 29 мая – в питомнике Акмолинской области. В Северо-Казахстанской области для посева были подготовлены деревянные коробки высотой 20 см и шириной 1,3 м, в которых неочищенные семена разбрасывались по поверхности почвы и укрывались нетканым полотном Агротексом. В питомнике Акмолинской области коробки не изготавливались, вдоль посевных лент были уложены жерди, на которые натягивался Агротекс. На 1 м² площади высевалось по 45 г неочищенных семян березы повислой 3 класса качества. Посевы не мульчировались и не отенялись. Полив осуществлялся тракторным поливным устройством поверх Агротекса. Осенью проведены наблюдения за высотой однолетних сеянцев, в питомнике Северо-Казахстанской области изучена протяженность и масса корней и стволиков растений по методике Н.А. Смирнова [9]. В питомнике Акмолинской области длина и масса надземной и подземной частей не определялась. Результаты наблюдений обрабатывались с помощью статистического анализа [3].

Результаты исследований

В лесном питомнике Северо-Казахстанской области (табл. 1) лучше всего взошли семена в опыте с использованием стимуляторов – в среднем 341,4 шт. на 1 м², в опыте со стимуляторами и Триходермой – 286,6 шт./1 м², с внесением сухих веществ в почву – 258,5 шт./1 м², с замачиванием в Гумате+7 микроэлементов и поливе почвы – 207,5 шт./1 м². На контроле число всходов было значительно ниже – 207 шт./1 м². В питомнике Ак-

молинской области наибольшее количество всходов наблюдалось на опыте с замачиванием семян в стимуляторах – в среднем по всем вариантам опыта 401,2 шт./м², наименьшее число – в опыте с замачиванием семян в стимуляторах и Триходерме – 137,0 шт./м². В целом лучшая всхожесть семян по двум регионам была в опыте по предпосевной обработке семян стимуляторами, причем выделялся вариант с применением Байкала.

В лесном питомнике Северо-Казахстанской области в опыте со стимуляторами быстрым ростом отличались варианты с использованием Гумата+7 микроэлементов (6 часов) и Циркона (3 часа) – высота сеянцев составила 16,8 см. Рост растений на остальных вариантах отставал от контрольных сеянцев, высота которых была 14,6 см. При совместном использовании стимуляторов и Триходермы наибольшая высота была у сеянцев на варианте с замачиванием семян в Байкале+Триходерма (1+2 часа). Все варианты опыта превышали рост контрольных сеянцев. Внесение азота и фосфора благоприятно повлияло на рост сеянцев березы повислой, высота которых значительно превышала аналогичный показатель контрольных сеянцев и других вариантов опыта. Опыт с замачиванием семян в Гумате+7 микроэлементов и поливом почвы различными веществами имел наибольшую среднюю высоту, особенно выделялись варианты с применением Гуматофосфата (23,1 см) и KZ Культуры (23,5 см). Изменчивость высоты сеянцев березы повислой варьировалась на очень высоком уровне – 18,1-76,3 %, что говорит о большом разнообразии признака.

Средняя высота березы повислой в Акмолинской области была небольшой и изменялась от 2,1 до 2,6 см во всех опытах. Выделялись варианты с замачиванием семян в Байкале (1 и 1,5 часа) и поливом почвы Гуматофосфатом, сеянцы которых имели среднюю высоту более 3 см. На рис. 1 наглядно видно, что из всех изученных опытов по средней высоте выделялся опыт с предпосевной обработкой семян стимулятором Гумат+7 микроэлементов и поливом почвы ростовыми веществами в питомниках обеих областей. Протяженность корней и стволиков однолетних сеянцев березы повислой в питомнике Северо-Казахстанской области

Природопользование

имела очень различающиеся показатели – коэффициент вариации длины корней изменялся от среднего (13,2 %) до очень высокого уровня (60,4 %), вариабельность длины стволика колебалась на повышенном – очень высоком уровне (27,4-64,4 %) (табл. 2). Длина корней опытных растений в 1,5-1,6 раз превышала длину стволика, следовательно, сеянцы развивались пропорционально. Максимальными суммарными показателями отличался опыт по применению стимуляторов совместно с Триходермой, незначительно отставал опыт

с внесением сухих веществ и поливом почвы. Высокие показатели протяженности частей растений имел также контроль (рис. 2). В результате определения массы корней и стволиков растений выявлено, что безусловным лидером по данным признакам являлся опыт по поливу почвы ростовыми веществами (рис. 3). Также на суммарную массу растений положительно повлияло внесение сухих удобрений. Значения показателей опытных сеянцев и контрольных растений достоверно различаются ($p < 0,05$).

Таблица 1

Высота однолетних сеянцев березы повислой

Наименование стимулятора	Время замачивания, ч	Доза внесения	Средняя высота сеянцев, см		Среднее число шт. на 1 м ²	
			область			
			Акмолинская	Северо-Казахстанская	Акмолинская	Северо-Казахстанская
Замачивание семян в стимуляторах						
Байкал	1	2мл/2л	3,1±0,17	10,0±0,9	525	264
Байкал	1,5	2мл/2л	3,7±0,26	13,2±1,0	558	406
Циркон	3	0,5мл/2л	1,8±0,12	16,8±0,6	363	234
Гумат+7	2	0,5гр/1л	2,1±1,10	12,9±0,8	267	443
Гумат+7	6	0,5гр/1л	2,2±0,11	16,8±0,7	293	360
Контроль			2,3±0,39	14,6±0,6	208	207
Замачивание семян в стимуляторах и Триходерме						
Байкал+Триходерма	1 +полив	2мл/2л	2,6±0,15	21,3±0,9	78	337
Байкал+Триходерма	1,5+полив	2мл/2л	2,7±0,18	19,5±0,8	126	304
Циркон+Триходерма	3+полив	0,5мл/2л	2,4±0,25	12,2±0,5	59	310
Гумат+7+Триходерма	2+полив	0,5гр/1л	1,3±0,09	16,9±0,8	60	252
Гумат+7+Триходерма	6+полив	0,5гр/1л	1,4±0,14	16,5±0,6	19	230
Контроль+Триходерма	2+полив	0,6гр/1л	1,5±0,16	11,8±0,5	21	226
Внесение сухих веществ в почву до посева семян						
КЗ Грунт		0,5 л/2м ²	1,8±0,09	12,0±0,7	45	195
КЗ Грунт (NPK)		0,5 л/2м ²	2,9±0,21	15,3±0,9	263	142
Азот		30кг/га	1,7±0,08	24,3±0,9	230	335
Фосфор		20 кг/га	2,3±0,25	21,7±1,1	343	362
Замачивание в Гумате +7 (6 часов), затем полив высаженных семян						
КЗ Культуры		100мл	1,9±0,10	22,1±0,7	265	209
КЗ Культуры		50мл	2,4±0,15	23,5±0,7	171	266
Гуматофосфат		100мл	3,2±0,18	23,1±0,6	51	196
ЭридГроу		100мл	2,4±0,14	20,8±0,9	61	159

Природопользование



Рис. 1. Средняя высота (см) однолетних сеянцев березы повислой в опытах по областям

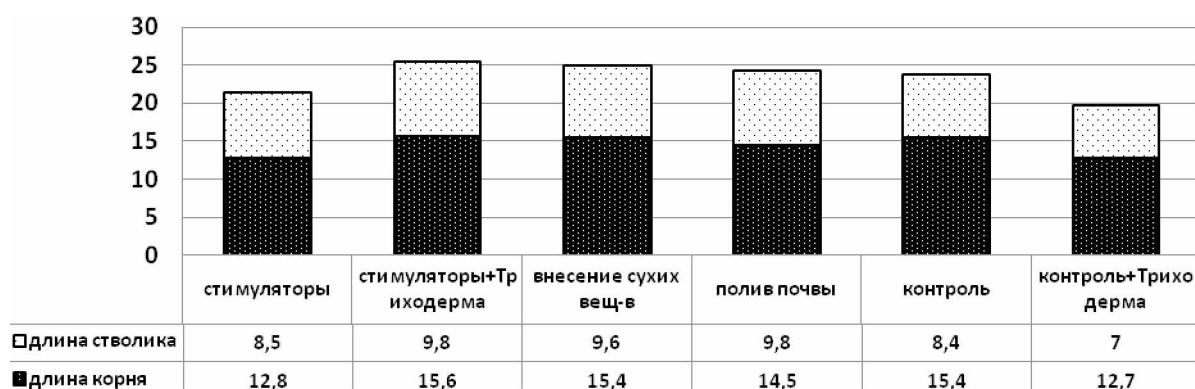


Рис. 2. Длина (см) корней и стволиков однолетних сеянцев березы повислой в лесном питомнике Северо-Казакстанской области

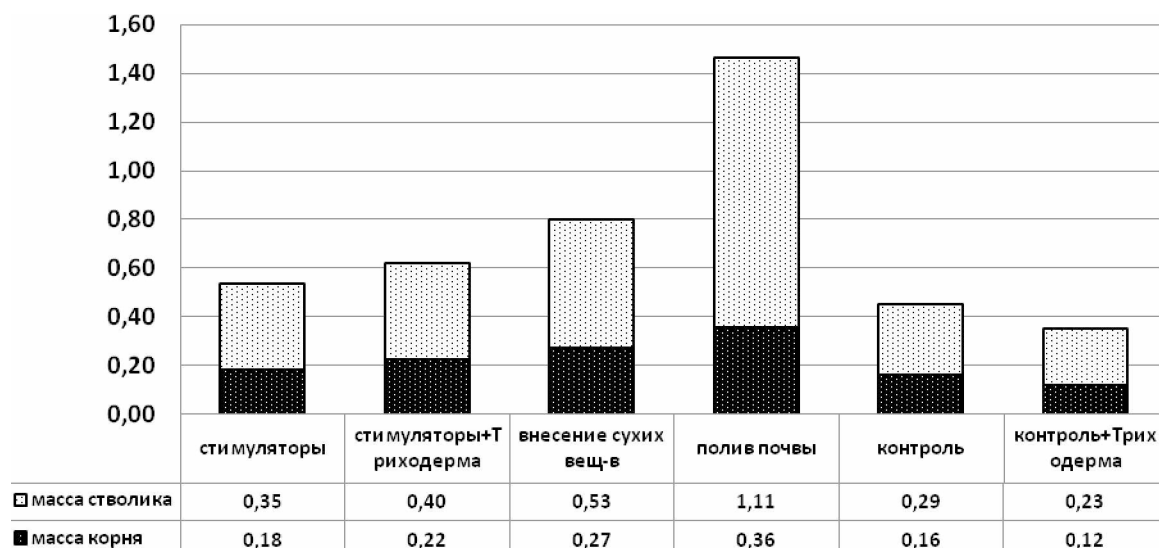


Рис. 3. Масса (г) корней и стволиков однолетних сеянцев березы повислой в лесном питомнике Северо-Казакстанской области

Биометрические и весовые показатели сеянцев березы повислой в лесном питомнике Северо-Казахстанской области

Стимулятор	Время замачивания, (ч)	Доза внесения	Длина, (см)				Масса, (г)	
			корень		стволок		корень	стволок
			X±m	V, %	X±m	V, %		
Замачивание семян в стимуляторах								
Байкал	1,5	2мл/2л	15,4±4,1	60,4	8,4±2,4	64,4	0,18±0,05	0,32±0,09
Байкал	1	2мл/2л	11,7±1,1	36,4	5,9±1,5	96,0	0,11±0,03	0,21±0,06
Гумат+7	6	0,5г/1л	11,3±1,6	50,5	8,1±0,8	34,6	0,18±0,06	0,35±0,08
Гумат+7	2	0,5г/1л	12,6±0,8	24,0	8,8±0,7	30,5	0,17±0,03	0,34±0,05
Циркон	3	0,5мл/2л	13,0±1,7	44,2	11,1±1,4	41,7	0,28±0,06	0,55±0,12
Контроль			15,4±0,8	18,3	8,4±0,9	40,5	0,16±0,04	0,29±0,10
Байкал+Триходерма	1,5	2мл/2л	15,2±1,2	20,2	8,7±1,0	29,1	0,15±0,05	0,30±0,08
Байкал+Триходерма	1	2мл/2л	18,5±1,0	13,2	12,3±1,9	35,7	0,32±0,10	0,51±0,14
Гумат+7 + Триходерма	6	0,5г/1л	14,1±0,8	15,6	9,8±1,1	31,8	0,20±0,05	0,35±0,08
Гумат+7 + Триходерма	2	0,5г/1л	12,0±1,1	26,2	7,5±1,5	55,6	0,11±0,05	0,26±0,12
Циркон+ Триходерма	3	0,5мл/2л	18,2±1,7	22,9	10,6±2,0	46,8	0,33±0,10	0,58±0,16
Внесение сухих веществ в почву до посева семян								
KZ Грунт		0,5л/2м ²	15,6±2,6	41,6	8,8±1,8	50,3	0,27±0,10	0,57±0,21
KZ Грунт (NPK)		0,5л/2м ²	15,0±1,0	20,5	9,2±1,0	31,5	0,27±0,05	0,55±0,13
Агроперлит		8л/2м ²	15,8±1,4	22,2	10,8±1,8	41,6	0,33±0,10	0,61±0,21
Азот (N)		30кг/га	16,8±2,4	32,1	9,3±2,1	51,1	0,30±0,12	0,48±0,18
Фосфор (P)		20кг/га	13,9±1,3	24,4	9,8±1,3	33,9	0,19±0,04	0,43±0,12
Замачивание семян в Гумат+7 микроэлементов (6ч) + полив								
KZ Культуры		100мл/10л	14,9±1,1	18,8	9,3±2,0	53,2	0,37±0,13	0,54±0,19
KZ Культуры		50мл/10л	14,3±0,8	15,3	9,0±0,9	27,4	0,24±0,08	0,34±0,16
Гумагофосфат		100мл/10л	14,4±2,0	31,8	9,8±1,8	41,4	0,34±0,14	0,54±0,18
ЭридГроу		100мл/10л	14,6±1,6	27,1	11,4±2,2	48,6	0,47±0,20	3,01±2,36

Заключение

Число всходов и высота однолетних сеянцев березы повислой значительно отличались в различных областях Казахстана. Так, средняя высота растений в питомнике Акмолинской области составила 2,3 см, в питомнике Северо-Казахстанской области – 17,9 см, а число всходов соответственно 206,7 и 273,5 шт/кв. м. Возможно, на такое различие повлияло отсутствие уходов, микроклимат и особенности закрытого грунта в питомнике Акмолинской

области. По наблюдениям, близкое расположение укрывного материала к почве при поливах и осадках негативно сказывалось на состоянии сеянцев, т.к. скапливающаяся вода на Агротекс в середине посевной ленты придавливала растения, угнетая их рост. В питомнике Северо-Казахстанской области стенки коробов были выше и поэтому поливная вода на укрывном материале не мешала росту сеянцев.

В результате проведенных исследований выявлено, что использование стимуляторов для предпосевной обработки семян позволяет повысить число всходов березы, но в дальнейшем не влияет на быстроту роста сеянцев. Из испытанных стимуляторов можно рекомендовать Байкал, т. к. при предпосевной обработке данным ростовым веществом сеянцы имели хороший рост и большое число всходов, причем для Северо-Казахстанской области применение его совместно с Триходермой показало

наилучшие результаты по длине надземной и подземной частей и их весовым показателям.

Для производства посадочного материала можно рекомендовать замачивание семян в Гумате+7 микроэлементов или Байкале и полив почвы после посева семян жидкими удобрениями – KZ Культурой и Гуматофосфатом казахстанского производства. Также нужно отметить увеличение роста сеянцев при внесении азота в почву перед посевом семян из расчета 30 кг д. в. на 1 га.

Библиографический список

1. Алиев, Э. В. Влияние предпосевной обработки семян на всхожесть и рост сеянцев сосны обыкновенной ростовыми веществами / Э. В. Алиев, А. И. Сиволапов // Современные проблемы науки и образования, 2013. – № 4. – С. 369.
2. Балков, В. В. Совершенствование агротехники выращивания сеянцев хвойных пород с применением удобрений в лесных питомниках Пермской области / В. В. Балков // Лесохозяйственная информация. – 2002. – № 5. – С. 10–20.
3. Данченко, А. М. Математические методы в лесоводстве / А. М. Данченко. – Томск : ТГУ, 1996. – 99 с.
4. Заре, А. Применение удобрений при выращивании сеянцев хвойных пород с учетом морфогенеза : специальность 06.03.01 «Лесные культуры, селекция, семеноводство» : дис. ... канд. с.-х. наук : защищена 30.05.2007 / Заре Алиреза. – Москва, 2007. – 144 с.
5. Результаты предпосевной обработки стимуляторами семян сосны обыкновенной в Северном Казахстане / С. А. Кабанова, М. А. Данченко, О. Н. Мироненко, А. Н. Кабанов // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2016. – № 3 (44). – С. 99–106.
6. Кабанова, С. А. Результаты опыта по применению стимуляторов и укрывного материала для выращивания сеянцев березы повислой / С. А. Кабанова, М. А. Данченко // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 4. – С. 67–71.
7. Пентелькина, Н. В. Выращивание сеянцев березы повислой с использованием стимуляторов роста / Н. В. Пентелькина, Г. И. Иванюшева // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2012. – № 31. – С. 193–197.
8. Сафина, А. Р. Эффективность предпосевной обработки семян и внесения азотных удобрений при выращивании сеянцев ели европейской и сосны обыкновенной в условиях Предкамья Республики Татарстан : специальность 06.01.04 «Агрохимия», 06.03.01 «Лесные культуры, селекция, семеноводство» : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Сафина Айгуль Рамилевна. – Казань, 2012. – 12 с.
9. Смирнов, Н. А. Методическое руководство проведения опытных работ по выращиванию сеянцев в питомниках и лесных культур на вырубках : Пособие для проведения полевых опытных работ / Н. А. Смирнов. – Пушкино : ВНИИЛМ, 2000. – 42 с.
10. Эффективность предпосевной обработки семян сосны и ели препаратом Эмистим-С / В. В. Носников, А. П. Волкович, А. В. Юрени, В. А. Ярмолович // Труды БГТУ. – 2014. – № 1 (165). – С. 150–153.
11. Якимов, Н. И. Особенности агротехники выращивания сеянцев березы повислой в лесных питомниках / Н. И. Якимов, Н. К. Крук, А. В. Юрени // Труды БГТУ. – 2013. – № 1. – С. 196–199.
12. Aphalo, P. J. Effect of CCC on the morphology and growth potential of containerised silver birch seedlings / P. J. Aphalo, R. Rikala, R. A. Sanchez // New Forests. – 1997. – Vol. 14. – № 3. – P. 167–177.

13. Materechera, S. A. Influence of pre-sowing seed treatments on the germination of moringa (*Moringa oleifera* Lam.) / S. A. Materechera // Acta Horticulturae. – 2017. – № 1158. – P. 149–158.

14. The effects of soil and air temperature on CO₂ exchange and net biomass accumulation in norway spruce, scots pine and silver birch seedlings / J. Pumpanen, J. Heinonsalo, T. Rasilo [et al.] // Tree Physiology. – 2012. – Vol. 32. – № 6. – P. 724–736.

15. Weih, M. Delayed growth response of mountain birch seedlings to a decrease in fertilization and temperature / M. Weih // Functional Ecology. – 2000. – Vol. 14. – № 5. – P. 566–572.

References

1. Aliev E. V., Sivolapov A. I. *Vliyanie predposevnoj obrabotki semyan na vsxozhesti rost seyancev sosny obyknovЕННОj rostovymi veshhestvami* [Influence of pre-sowing seed treatment on the germination and growth of pine seedlings by growth substances]. *Sovremennye problem nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2013. № 4. P. 369-372 (in Russian).

2. Balkov V. V. *Sovershenstvovanie agrotexniki vyrashhivaniya seyancev xvojnyx porod s primeneniem udobrenij v lesnyx pitomnikax Permskoj oblasti* [Improvement of agricultural technology of growing coniferous seedlings with the use of fertilizers in forest nurseries of the Perm region]. *Lesoxozyajstvennaya informaciya* [Forest information], 2002. № 5. P. 10-20 (in Russian).

3. Danchenko A. M. *Matematicheskie metody v lesovodstve* [Mathematical methods in forestry]. Tomsk: TGU [Tomsk: Tomsk state University], 1996. – 99 p. (in Russian).

4. Zare A. *Primenenie udobrenij pri vyrashhivanii seyancev xvojnyx porod s uchetom morfogeneza* [The use of fertilizers in the cultivation of coniferous seedlings, taking into account morphogenesis] : *dissertaciya na soisk. stepeni kand. s-x.n.* [PhD dissertation]. – M., [Moscow], 2007. – 144 p. (in Russian).

5. Kabanova S. A., Danchenko M. A., Mironenko O. N., Kabanov A. N. *Rezultaty predposevnoj obrabotki stimulyatorami semyan sosny obyknovЕННОj v Severnom Kazaxstane* (Results of pre-sowing treatment with stimulators of Scots pine seeds in Northern Kazakhstan). *Vestnik Buryatskoj gosudarstvennoj selskoxozyajstvennoj akademii. V.R. Filippova* [Bulletin of the Buryat state Academy of agriculture V.R. Filippova], 2016. № 3 (44). P. 99-106 (in Russian).

6. Kabanova S. A., Danchenko M. A. *Rezultaty opyta po primeneniyu stimulyatorov I ukryvnogo materiala dlya vyrashhivaniya seyancev berezy povisloj* [Results of the experiment on the use of stimulants and covering material for the cultivation of birch seedlings]. *Uspexi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of modern natural science], 2018. № 4. P. 67-71 (in Russian).

7. Pentelkina N. V., Ivanyusheva G. I. *Vyrashhivanie seyancev breezy povisloj s ispolzovaniem stimulyatorov rosta* [Growing of birch seedlings with the use of growth stimulants]. *Aktualnye problem lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2012. № 31. P. 193-197 (in Russian).

8. Safina A. R. *Effektivnost predposevnoj obrabotki semyan i vneseniya azotnyx udobrenij pri vyrashhivanii seyancev eli evropejskoj i sosny obyknovЕННОj v usloviyax Predkamya Respubliki Tatarstan* [Efficiency of pre-sowing treatment of seeds and nitrogen fertilizers in the cultivation of seedlings of European spruce and Scots pine in the conditions of the ancestral Republic of Tatarstan]: *avtoreferat diss. na soiskanie stepeni kand. s-h. nauk* [PhD dissertation in Agriculture]. – Kazan: Kazanskij GAU [Kazan: Kazan state agricultural university], 2012. – 12 p. (in Russian).

9. Smirnov N. A. *Metodicheskoe rukovodstvo provedeniya opytnyx rabot po vyrashhivaniyu seyancev v pitomnikax i lesnyx kultur na vyrubkax : Posobie dlya provedeniya polevyx opytnyx rabot* [Methodical management of carrying out experimental works on cultivation of seedlings in nurseries and forest cultures on felling : The manual for carrying out field experimental works]. *Pushkino: VNIILM* [Pushkino: VNIILM], 2000. 42 p. (in Russian).

10. Nosnikov V. V., Volkovich A. P., Yurenya A. V., Yarmolovich V. A. *Effektivnost predposevnoj obrabotki semyan sosny i eli preparatom Emistim-S* [Efficiency of pre-sowing treatment of pine and spruce seeds with Emistim-S]. *Trudy BGTU* [Works of BSTU], 2014. № 1 (165). P. 150-153 (in Russian).
11. Yakimov N. I., Kruk N. K., Yurenya A. V. *Osobennosti agrotexniki vyrashhivaniya seyancev breezy povisloj v lesnyx pitomnikax* [Features of agricultural cultivation of birch seedlings hanging in forest nurseries]. *Trudy BGTU* [Works of BSTU], 2013. № 1. P. 196-199 (in Russian).
12. Aphalo P. J., Rikala R., Sanchez R. A. Effect of CCC on the morphology and growth potential of containerised silver birch seedlings. *New Forests*. 1997. Vol. 14. № 3. P. 167-177.
13. Materechera, S. A. Influence of pre-sowing seed treatments on the germination of moringa (*Moringa oleifera* Lam.). *Acta Horticulturae*, 2017. № 1158. P. 149-158.
14. Pumpanen J., Heinonsalo J., Rasilo T. et al. The effects of soil and air temperature on CO₂ exchange and net biomass accumulation in norway spruce, scots pine and silver birch seedlings. *Tree Physiology*. 2012. Vol. 32. № 6. P. 724-736.
15. Weih M. Delayed growth response of mountain birch seedlings to a decrease in fertilization and temperature. *Functional Ecology*. 2000. Vol. 14. № 5. P. 566-572.

Сведения об авторах

Кабанова Светлана Анатольевна – кандидат биологических наук, заведующая отделом воспроизводства лесов и лесоразведения, Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации, г. Щучинск, Акмолинская область, Республика Казахстан; e-mail: Kabanova.05@mail.ru.

Борцов Валерий Анатольевич – младший научный сотрудник отдела воспроизводства лесов и лесоразведения, Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации, г. Щучинск, Акмолинская область, Республика Казахстан;

Данченко Матвей Анатольевич – кандидат географических наук, доцент кафедры лесного хозяйства и ландшафтного строительства, Биологический институт ФГБОУ ВО «Томский государственный университет», г. Томск, Российская Федерация; e-mail: mtd2005@sibmail.com.

Information about authors

Kabanova Svetlana Anatolyevna – PhD (Biology), head of the Department of reforestation and afforestation Kazakh Forestry Research Institute, Shchuchinsk, Akmola Region, The Republic of Kazakhstan; e-mail: kabanova.05@mail.ru.

Bortsov Valeriy Anatolyevich – research fellow of the Department of reforestation and afforestation Kazakh Forestry Research Institute, Shchuchinsk, Akmola Region, The Republic of Kazakhstan.

Danchenko Matvey Anatolyevich – PhD (Geography), Associate Professor of the Department of forestry and landscape construction, FSAEI HE "Tomsk State University", Tomsk, Russian Federation; e-mail: mtd2005@sibmail.com.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСПЕШНОСТИ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

аспирант **А.А. Карпов**¹

аспирант **Н.Р. Пирцхалава-Карпова**¹

канд. техн. наук, доц. **Р.А. Алешко**¹

с. н. с., канд. с.-х. наук **А.П. Богданов**²

аспирант **А.Г. Гудина**¹

1 – ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»,
г. Архангельск, Российская Федерация

2 – ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства»,
г. Архангельск, Российская Федерация

Оценка успешности лесовосстановления на вырубках и гарях является важной задачей для анализа восстановления хвойными и лиственными породами и прогнозирования в будущем лесных запасов. Проведение работ по государственному мониторингу лесовосстановления лесов требует значительных трудовых ресурсов, поэтому использование данных дистанционного зондирования является актуальной задачей. Данное исследование рассматривает восстановление древесной растительности на территории Арктической сухопутной зоны Архангельской области. В ходе выполнения исследовательской работы была разработана предварительная методика для перевода участков, подверженных лесным пожарам, рубкам, в лесопокрытую площадь. Разработанная методика основывается на снимках сверхвысокого разрешения, сделанных с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и спутниковых снимков среднего разрешения Sentinel-2 и Landsat 8. Методика включает в себя следующие шаги: выявление уменьшения лесного покрова; сбор полевых данных с помощью беспилотного летательного аппарата для создания обучающей выборки; классификации снимка среднего разрешения по двум классам «восстановилось» и «не восстановилось». Инструментом для выявления уменьшения лесного покрова и анализа лесовосстановления в методике используется метод трансформации многоканального спутникового изображения Tasseled Cap. В качестве методики для классификации спутникового изображения используется метод k-ближайших соседей. Результатами выполненной работы стали пространственные слои, содержащие данные об уменьшении лесного покрова за 2016 год и восстановлении древостоя в границах уменьшения лесопокрытой площади за период с 2001 по 2016 год. Для проведения классификации была создана обучающая выборка с использованием БПЛА в количестве 3037 объектов. Результатом проведения классификации стал слой лесовосстановления с двумя классами «восстановилось» и «не восстановилось». Восстановившиеся объекты составляют 73 %, не восстановившиеся – 27 %. Исследовательская работа показала возможность совместного использования снимков сверхвысокого и среднего разрешения.

Ключевые слова: лесовосстановление, перевод земель, занятых лесными насаждениями, рубки, динамика лесовосстановления, Landsat, Sentinel, ДЗЗ, БПЛА

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR EVALUATING THE SUCCESS OF FOREST RECOVERY BY REMOTE METHODS

Post-graduate student **A.A. Karpov**¹

Post-graduate student **N.R. Pirtskhalava-Karpova**¹

PhD (Engineering), Associate Professor **R.A. Aleshko**¹

PhD (Agriculture), Senior Researcher **A.P. Bogdanov**²

Post-graduate student **A.G. Gudina**¹

1 – FSAEI HE "Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov", Arkhangelsk,
Russian Federation

2 – FBI "NORTHERN RESEARCH INSTITUTE OF FORESTRY" (NRIF), Arkhangelsk,
Russian Federation

Abstract

Assessing the success of reforestation at felling and burning areas is an important task for analyzing the restoration of coniferous and deciduous species, and forecasting future forest reserves. Carrying out state monitoring of reforestation requires significant labor resources, so the use of remote sensing data is an urgent task. This study examines the restoration of woody vegetation in the Arctic land area of the Arkhangelsk region. In the course of the research work, a preliminary methodology has been developed for the transfer of areas susceptible to forest fires, deforestation, in a forested area. The developed methodology is based on ultra-high resolution images taken from Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and medium-resolution satellite images Sentinel-2 and Landsat 8. The methodology includes the following steps: detecting a decrease in forest cover; field data collection using an unmanned aerial vehicle to create a training sample; classification of mid-resolution images in two classes "recovered" and "not recovered". The tool for detecting forest cover reduction and reforestation analysis in the technique uses the Tasseled Cap multi-channel satellite image transformation method. The method of k -nearest neighbors is used as a technique for classifying satellite images. The results of this work were spatial layers containing data on a decrease in forest cover for 2016 and restoration of a stand within the boundaries of a decrease in forest cover for the period from 2001 to 2016. For the classification, a training sample was created using UAVs in the amount of 3037 objects. The classification resulted in a reforestation layer with two classes of "recovered" and "not recovered". The restored objects make 73 %, not restored – 27 %. Research work has shown the possibility of sharing images of ultra-high and medium resolution.

Keywords: reforestation, transfer of land occupied by forest stands, deforestation, dynamics of reforestation, Landsat, Sentinel, remote sensing, UAV

Введение

Мониторинг лесовосстановления бореальных лесов в условиях интенсивной заготовки древесины является актуальной задачей. В условиях глобального изменения климата оценка лесовосстановления под влиянием изменяющихся климатических факторов является важной частью устойчивого лесопользования. Для Арктической зоны характерна низкая транспортная доступность, что ведет к лимитированию регулярного и полноценного наблюдения за лесовосстановлением в Арктической зоне. Так, для Онежского и Мезенского лесничеств протяженность всех видов дорог на 1000 га общей площади составляет 1,5 и 2,3 км соответ-

ственно. По степени развития дорожной сети в лесном фонде эти лесничества относятся к категории с крайне слабым развитием дорожной сети.

Внедрение дистанционного мониторинга воспроизводства лесов позволит вести наблюдение на труднодоступной территории, а также получать своевременную и актуальную информацию.

Вопрос оценки успешности лесовосстановления дистанционными методами малоизучен. В литературе встречаются примеры использования разновременных снимков, полученных со спутниковых аппаратов Landsat для мониторинга восстановления лесных территорий (Ghuffar, 2016; Воробьев, 2016; Богданов, 2018). Применение данных снимков с использованием спектральных яркостей

или производных от них индексных характеристик говорит о возможности получения информации о процессах лесовосстановления на нарушенных территориях (Maltese, 2005; Богданов, 2018). Применение спектральных индексов на основе красного и ближнего инфракрасного диапазона (например, нормализованный относительный индекс растительности) имеет свойства высокой чувствительности к содержанию хлорофилла в листьях, что обуславливает короткий период мониторинга с использованием данного индекса из-за быстрого «пресыщения» индекса (Franks, 2013). С высокой точностью оценить успешность восстановления древесных растений при помощи спектральных характеристик возможно ближе к 15-летнему возрасту насаждений, такой вывод был сделан при изучении процессов восстановления насаждений псевдотсуги на территории западных гор в штате Орегон на территории США (Fiorella, 2009).

Лесовосстановление на землях, не занятых лесной растительностью, также можно оценить, используя метод Tasseled Cap. Оценка лесовосстановления территории после пожара на севере Канады показала положительный пример использования данного метода (Frazier, 2015). В этом исследовании было установлено, что преобразованные каналы спутниковых снимков в показатели brightness (яркость), greenness (зеленость), wetness (влажность) при успешном лесовосстановлении имеют тенденцию роста показателей влажности и зелености и снижения показателя яркости. Период анализа лесовосстановления был равен 29 годам, в дальнейшем значения каналов соответствовали значениям спелого леса.

Перспективным направлением в лесном хозяйстве на сегодняшний день является использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Высокодетальная съемка БПЛА имеет множество преимуществ в сравнении с традиционной спутниковой съемкой:

- снимки, полученные с БПЛА, могут обладать разрешением до 1 см и более, такое разрешение недоступно для спутниковой съемки;

- возможность проводить съемку в условиях облачности, так как БПЛА могут снимать с высоты 50 метров;

- возможность получения трехмерной модели леса при выполнении съемки участка леса под несколькими углами;

- мобильность и оперативность в использовании БПЛА.

Опыт зарубежных стран показывает хорошие результаты в использовании БПЛА для различных целей, например, для картографирования древесной растительности и классификации растительности по породам (Gu, 2017). Таксационные характеристики могут быть определены при помощи высокодетальных снимков, сделанных с БПЛА, что делает данный инструмент крайне ценным и эффективным в лесной сфере [Prandi, 2016; Salim, 2018; White, 2016; Sperlich, 2014]. Сегодня БПЛА имеют легкую настройку и просты в эксплуатации, что делает их доступными для использования. На данный момент существуют различные модели БПЛА: от любительских до профессиональных, которые способны осуществлять съемку, необходимую для решения лесных задач, в том числе задач мониторинга лесных земель для оценки успешности лесовозобновления (Денисов, 2016).

Оценка успешности лесовозобновления на вырубках и гарях традиционным способом является затратной по времени, трудовым и финансовым ресурсам, поэтому поиск новых методов для оптимизации данной работы является актуальной задачей. Использование спутниковых снимков для оптимизации работ имеет определённые ограничения, так как снимки среднего разрешения для мониторинга воспроизводства лесов часто не обеспечивают достаточного пространственного разрешения, а снимки высокого разрешения не всегда доступны для Арктической территории из-за высокой облачности в северных широтах. Основная задача данной научно-исследовательской работы заключается в определении возможности использования спутниковых снимков среднего разрешения вместе с высокодетальными снимками, сделанными при помощи БПЛА.

Целью исследования является создание методики оценки лесовосстановления дистанционными методами в соответствии с установленными федеральным агентством лесного хозяйства России правилами перевода земель, занятых лесными насаждениями.

Материалы и методы

Все работы по определению возможности дистанционного мониторинга за воспроизводством лесов были разделены на следующие этапы:

- создание пространственного слоя уменьшения лесного покрова;
- полевые работы для закладки пробных площадей;
- съемка территории с использованием БПЛА;
- анализ собранного полевого материала;
- создание обучающей выборки для классификации вырубок и гарей по критерию успешности восстановления;
- создание пространственного слоя земель, переведенных в лесопокрытую площадь.

Создание пространственного слоя уменьшения лесного покрова Северодвинского и Онежского лесничества осуществлено с помощью данных с космических аппаратов Sentinel-2MSI и Landsat 8OLI за период 2015 и 2016 годов. Данные об уменьшении лесопокрытой площади в период с 2001 по 2015 год были взяты из пространственного растрового слоя Global Forest Change, созданного университетом Мэриленд (США).

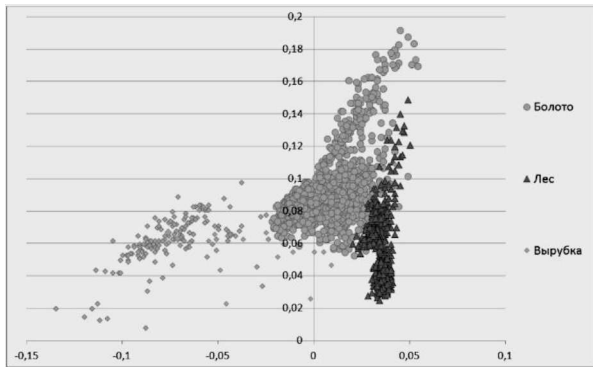


Рис. 1. Ось x – значения канала wetness, ось y – значения канала greenness

Далее следовало использование трансформации Tasseled Cap для объединения оптических и инфракрасных каналов в 3 компонента. Данный метод был разработан в 1976 году исследователями R.J. Kauth и G.S. Thomas. Преобразование Tasseled Cap является частным случаем метода главных компонент.

Цель выполняемого преобразования заключается в уменьшении размерности данных (Kauth,

1976). Компонент brightness (яркость) связан с открытыми или частично открытыми почвенными покровами, искусственными и естественными объектами, такими как бетон и асфальт. Greenness (зеленость) – уровень зеленого – связан напрямую с зеленой растительностью. Wetness (влажность) расположена под прямым углом к первым двум компонентам и отражает значения увлажненности почвенного покрова (Zhang, 2019).

Для анализа изменений в лесном покрове были собраны значения из каналов композита Tasseled Cap для следующих категорий земель: вырубки, болота и лесные насаждения. На графике значений этих объектов в координатах wetness и greenness (рис. 1) можно легко определить пороговые значения для вырубки, болота и леса. Пороговые значения вырубки в канале wetness равны от -0,15 до 0, в канале greenness – от 0 до 0,1.

Создание пространственного слоя уменьшения лесного покрова является первоочередной задачей для оценки успешности лесовозобновления. Для выявления сплошных вырубок была разработана простая методика на основе пороговых значений.

Алгоритм для создания пространственного слоя вырубок состоит из следующих шагов:

1) создание слоя вырубок на определенный год. Слой вырубки выбранного года создается по композиту Tasseled Cap с использованием метода пороговых значений. Статистика о спектральных характеристиках вырубки собирается в границах свежей вырубки, после чего отбрасываются 3 % выбивающихся значений, далее определяются максимумы и минимумы значений в каждом канале по отдельности;

2) по прошлогоднему снимку создается слой леса. Аналогичный алгоритм используется для создания этого слоя. Статистика собирается по границам нетронутого участка леса. Данный шаг необходим для исключения из слоя вырубок прошлых лет (пункт 1) и объектов, которые не относятся к вырубкам. График на рис. 1 показывает значения болота, пересекающиеся со значением свежей вырубки. Это делает затруднительным создание достоверного слоя по одному снимку;

3) наличие облачности на снимках требует построения слоя с облаками для исключения об-

ланных пикселей из обработки спутниковых изображений. Облака краев облачности имеют одинаковые спектральные характеристики со значениями свежей вырубке.

4) создание точного слоя вырубке требует вычистить из слоя вырубке пиксели, не занятые лесом, используя слой леса, и вычистить слой, содержащий облака. Одиночные пиксели были удалены из конечного слоя с целью уменьшения шумов (Olsson, 2009).

На рис. 2 под буквой «А» представлен пример композита Tasseled Cap, полученный из значений спутникового снимка Landsat 8OLI. Композит содержит вырубке леса как за период 2015-2016 годов, так и более ранние вырубке. На рисунке под буквой «Б» черным цветом выделены вырубке за период 2015-2016 годов. Данный слой вырубке был получен с помощью алгоритма, описанного выше.

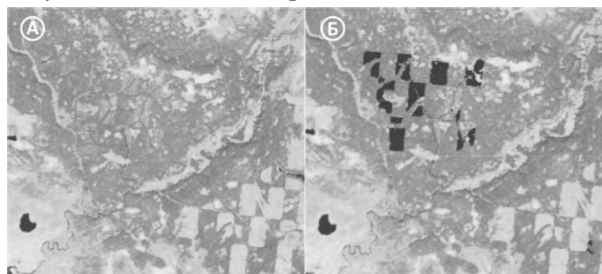


Рис. 2. Композит изображения в каналах brightness, greenness, wetness находится слева, справа расположен слой изменений в лесном покрове, выявленных по снимку Landsat 8OLI поверх композита

Съемка с БПЛА была проведена на 2 участках в Северодвинском лесничестве Унского участка лесничества на площадях 32 га и 19 га. Съемка производилась с высоты 50-70 м. Для съемки с БПЛА данных участков был заранее подготовлен маршрут. Совместно со съемкой беспилотным аппаратом проводились наземные обследования площадей с пересчетом подроста и определением средней высоты. Закладка пробных площадей осуществлялась по правилам государственного мониторинга воспроизводства лесов, а именно по правилам временной методики, утвержденной в 2016 году. Целью проведенных полевых работ было получение характеристик, необходимых для перевода земель в земли, занятые лесными насаждениями: количество деревьев главной породы, средняя высота по группам пород и общий породный состав на объекте лесовосстановления.

После проведения полевых работ и получения высокодетальной съемки на объекты исследования был проведен анализ полученных данных. Для дальнейшей обработки использовался программный комплекс, разработанный компанией «Форгис». Данный программный комплекс предназначен для автоматизированной обработки снимков БПЛА и полевых данных для получения информации о количестве деревьев, средней высоте, породном составе обследуемых участков. Полученные высокодетальные снимки были классифицированы на два класса по критерию успешности лесовосстановления: «восстановились», «не восстановились». Главными критериями успешного лесовосстановления были критерии, изложенные во временной методике перевода земель в лесопокрытую площадь от 2016 года, а именно количество и средняя высота деревьев главных пород.

Результатами обработки снимков БПЛА на участках исследования стал пространственный слой, классифицированный на два класса «восстановилось» и «не восстановилось». Используя описанные выше критерии успешности лесовосстановления, к классу «восстановилось» отнесли 65% вырубке, а 35% площади не достигло необходимых критериев и относится к классу «не восстановилось».

Основной задачей обработки высокодетальной съемки БПЛА стало создание обучающей выборки для классификации снимков среднего разрешения Landsat 8OLI и Sentinel-2MSI. Результаты классификации съемки БПЛА были пересчитаны под размер пикселя среднего разрешения одного из спутниковых изображений.

Классификация спутниковых снимков среднего разрешения была произведена по полученной обучающей выборке на значительно большую территорию в рамках лесных земель, выбывших из лесопокрытой площади. Перевод земель, имеющих достаточные критерии успешности лесовосстановления, в лесопокрытую площадь является непросто задачей и намного более сложной – создание слоя уменьшения лесного покрова.

Начальным этапом стал анализ значений разновременных вырубке в значениях композитов wetness, greenness, brightness преобразования Tasseled Cap.

В данной исследовательской работе для анализа лесовосстановления использовался один снимок Landsat 8OLI от 2016 года. Анализ разновременных снимков для определения успешности лесовозобновления крайне затруднителен из-за фенологических различий между снимками различных лет. Один и тот же участок леса на разновременных снимках будет иметь различные значения композита преобразования Tasseled Cap, что обусловлено фенологическими различиями между снимками на разные даты даже одного сезона.

На графике (рис. 3) собраны значения с вырубок различных лет за период 1986-1989 гг. и 2001-2015 гг. Каналы greenness и wetness являются наиболее важными при оценке лесовозобновления. Значения wetness увеличиваются в течение 15 лет и далее достигают значения участка леса, не подверженного изменениям (рис. 3). Значения greenness растут через год после проведения вырубки и далее продолжают увеличиваться.

На графике, отображенном на рис. 3, представлены усредненные значения вырубок, проведенных в разные годы на территории Северодвинского лесничества. Для исключения участков, на которых отсутствует лесовосстановление, была произведена неуправляемая классификация методом ISODATA. Данный шаг требовался для удаления из границ вырубок участков лесовозных дорог и территорий, подверженных заболачиванию. После исключения этих участков из анализа были рассчитаны средние значения greenness и wetness для вырубок, на которых происходит восстановление древостоя.

Линия тренда, отображаемая на графике компонентов Tasseled Cap на рис. 3, может быть пороговым значением успешности лесовосстановления. Значения выше линии тренда соответствуют значениям успешного лесовозобновления, ниже линии – неудовлетворительным значениям лесовосстановления.

Сбор полевых данных является важной составляющей создания обучающей выборки, которая позволяет связать абстрактные значения спектральных индексов, рассчитанных по спутниковым снимкам, с реальными характеристиками восстановления древостоя.

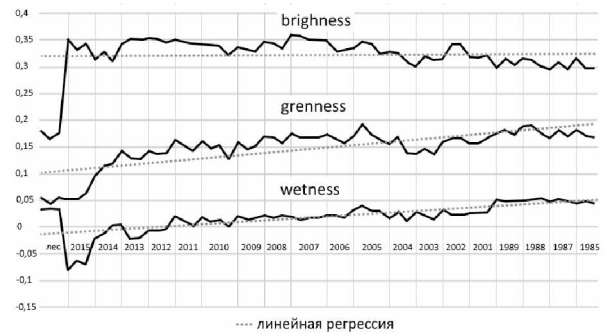


Рис. 3. Значения композитов Tasseled Cap для вырубок различных лет

Методом классификации для спутникового снимка был выбран метод k-NN (k-nearest neighbors algorithm).

В данной работе в качестве обучающей выборки рассматривались 3037 пробных площадей размером 10 на 10 метров. Такое значительное количество закладки пробных площадей было получено благодаря использованию БПЛА. Обучающая выборка имеет два класса пикселей с успешным лесовозобновлением и пиксели, не соответствующие критериям успешного лесовосстановления.

Результаты

Результатами проделанной работы стали два пространственных слоя: слой уменьшения площади лесов за период с 2001 по 2016 годы и слой с результатами успешного лесовозобновления по состоянию на 2016 год по спутниковым снимкам среднего разрешения. Данные слои покрывают территорию Онежского и Северодвинского лесничества Архангельской области. На основе двух полученных пространственных слоев была подготовлена карта-схема перевода земель в лесопокрытую площадь на местах уменьшения лесопокрытой площади за период 2001-2016 гг., которая представлена на рис. 4.

Значительное количество пробных площадей для создания обучающей выборки было получено благодаря использованию БПЛА. Общее количество полученных пробных площадей составляет 3037.

Результатом разработанной в данной научной работе методики автоматической дешифровки спутниковых снимков стала доля площадей, имеющих успешное восстановление, равная 73 %, и доля не восстановившихся площадей, равная 27% от общей площади уменьшения лесного покрова за

16 лет на территории двух лесничеств, входящих в Арктическую зону.

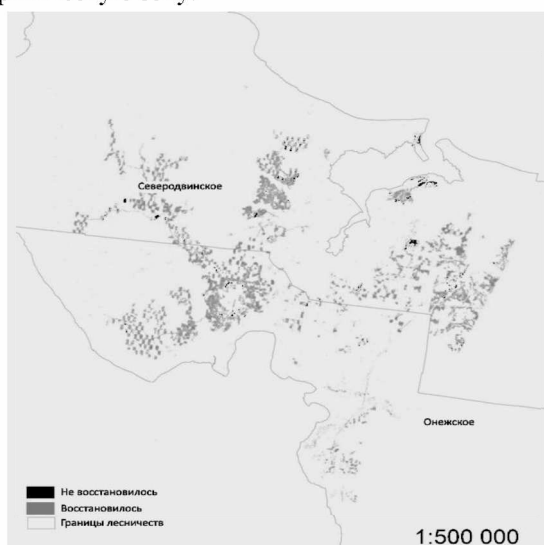


Рис.4. Часть карты успешности лесовосстановления в Северодвинском и Онежском лесничествах

Было произведено сравнение данных об уменьшении лесопокрытой площади за период 2011-2016 гг., полученных дистанционными методами, с данными Государственного лесного реестра (ГЛР) на территории лесничеств. Собранная информация представлена в табл. 1.

Методика может быть применена к снимкам Landsat 8OLI, Sentinel-2MSI и прочих спутников, работающих в оптическом диапазоне, имеющих мультиспектральные каналы в видимом и инфракрасном диапазоне длин волн, а также имеющих среднее пространственное разрешение.

Обсуждение

Оценка успешности лесовосстановления, основанная на существующем подходе, требует закладки значительного количества пробных площадей. Число пробных площадей растёт пропорционально требованиям к точности данных и при увеличении исследуемой территории.

Перевод молодняков в земли, занятые лесными насаждениями, основан на нескольких критериях: количество деревьев главной породы на гектар и средняя высота подроста.

Закладка пробных площадей требует значительных временных затрат на проведение ручного перечёта подроста в границах пробной площади и времени, затрачиваемого на дорогу к объектам, на которых будут заложены пробные площади. Такой подход требует значительных материальных затрат,

поэтому применение методов ДЗЗ позволит оптимизировать данную работу и значительно снизить затраты.

Таблица 1

Данные ГЛР и ДЗЗ об уменьшении лесопокрытой площади по лесничествам

Год	Северодвинское лесничество		Онежское лесничество	
	Данные ГЛР, га	Данные ДЗЗ, га	Данные ГЛР, га	Данные ДЗЗ, га
2011	2458	2295	5596	4922
2012	4927	5403	4281	11749
2013	2192	1566	3008	4168
2014	1790	1783	2694	2528
2015	–	1835	–	2764
2016	–	2237	–	3401

Оценка вероятности получения снимков высокого разрешения с российских спутников Ресурс П Сангур-1У и Канопус В МСС показала, что невозможно построить мозаику из снимков на исследуемую территорию по причине высокой облачности в Арктической зоне Европейского Севера, а немногочисленные безоблачные снимки относятся к различным сезонам, что еще более уменьшает количество доступных снимков для создания спутникового покрытия. Для оценки трансформаций лесного покрова, а именно для выявления сплошных вырубок и их зарастания древесной растительностью, могут быть использованы спутниковые снимки среднего разрешения Sentinel-2MSI и Landsat 8OLI.

Для анализа процесса лесовосстановления был выбран композит Tasseled Cap, так как данный метод содержит в себе следующие положительные моменты:

- 1) использование данного метода позволяет снизить атмосферное влияние и помехи на спутниковых изображениях, что повышает качество анализа;
- 2) возможность прямого сравнения значений различных спутниковых снимков. Например, сравнения компонентов Tasseled Cap, полученных по снимкам Landsat 8OLI и Sentinel-2MSI;
- 3) обеспечивает хорошее отличие лесной растительности по группам пород: хвойные, лиственные, смешанные, а также обеспечивает четкое различие между лесными насаждениями, рубками, пожарами, болотами. Используемый метод показывает высокую чувствительность при определении сомкнутости полога древесной растительности.

Данная методика требует предварительного сбора информации об объектах лесовосстановления. Сбор полевых данных для создания обучающей выборки, которая используется для классификации спутникового снимка, требует большого количества пробных площадей. Целесообразно использовать БПЛА для уменьшения времени проведения работ и трудозатрат.

Заключение

Исследовательская работа показала возможность создания методики оценки успешности лесовосстановления на основе спутниковых снимков среднего разрешения и снимков БПЛА сверхвысокого разрешения. Использование отечественных спутниковых снимков для сухопутной Арктической зоны Архангельской области затруднительно в связи с высокой облачностью в данном регионе и большим временным интервалом между спутниковой съемкой.

Снимки сверхвысокого разрешения БПЛА позволяют создать обучающую выборку, достаточную для точной классификации снимков по критериям успешного лесовозобновления среднего разрешения, полученных со спутников Sentinel-2 и Landsat 8. Использование БПЛА не исключает закладки пробных площадей, так как пробные площади обеспечивают первичную информацию о количественных характеристиках лесовосстановления на вырубках, но значительно сокращает временные затраты на получение качественной обучающей выборки для проведения классификации.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований в рамках научного проекта № 18-37-00120.

Библиографический список

1. Fiorella, M. Ripple Analysis of Conifer Forest Regeneration Using Landsat Thematic Mapper Data / M. Fiorella, J. William // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 1993. – Vol. 59. – № 9. – P. 1383–1388.
2. Franks, S. Monitoring forest regrowth following large scale fire using satellite data – A case study of Yellowstone National Park, USA / S. Franks, J. G. Masek, M. G. Turner // European Journal of Remote Sensing. – 2013. – № 46. – P. 561–569.
3. Frazier, R. J. Boreal Shield forest disturbance and recovery trends using Landsat time series / R. J. Frazier, N. C. Coops, M. A. Wulder // Remote Sens. Environ. – 2015. – № 170. – P. 317–327.
4. Ghuffar, S. Satellite stereo based digital surface model generation using semi global matching in object and image space / S. Ghuffar // ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, III-1, 2016. – P. 63–68.
5. An Object-Based Semantic Classification Method for High Resolution Remote Sensing Imagery Using Ontology / H. Gu, H. Li, L. Yan [et al.] // RemoteSensing. 2017. – No. 9(4). – 329 p.
6. Kauth, R. J. The tasseled Cap – A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by LANDSAT / R. J. Kauth, G. S. Thomas // Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, Purdue University of West Lafayette, Indiana, 1976. – P. 4B-41–4B-51.
7. Olsson, H. A method for using Landsat time series for monitoring young plantations in boreal forests / H. Olson // International Journal of Remote Sensing. – 2009. – No. 30(19). – P. 5117–5131.
8. New Approach for forest inventory estimation and timber harvesting planning in mountain areas: the SLOPE project / F. Prandi, D. Magliocchetti, A. Poveda [et al.] // ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLI-B3, 2016. – P. 775–782.
9. Comparison of Segmentation Algorithm for Urban Tree Delineation using Aerial Imagery / P. M. Salim, A. M. Samad, N. A. A. Aziz [et al.] // 2018 IEEE 8th International Conference on System Engineering and Technology (ICSET). – IEEE, 2018.
10. Potential of Unmanned Aerial Vehicle Based Photogrammetric Point Clouds for Automatic Single Tree Detection / M. Sperlich, T. Kattenborn, B. Koch, G. Kattenborn // DGPF Proceedings; Gemeinsame Tagung 2014 der DGfK, der DGPF, der GfGI und des GiN (DGPF Tagungsband 23 / 2014).

11. Remote Sensing Technologies for Enhancing Forest Inventories: A Review / J. C. White, N. C. Coops, M. A. Wulder [et al.] // *Canadian Journal of Remote Sensing*. – 2016. – No. 42(5). – P. 619–641.
12. Monitoring vegetation dynamics using the universal normalized vegetation index (UNVI): An optimized vegetation index-VIUPD / L. Zhang, N. Qiao, M. H. A. Baig [et al.] // *Remote Sensing Letters*. 2019. – No. 10 (7). – P. 629–638.
13. Совершенствование мониторинга лесов путем использования облачных технологий как элемента устойчивого лесопользования / А. П. Богданов, А. А. Карпов, Н. А. Демина, Р. А. Алешко // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2018. – Т. 15. – № 1. – С. 89–100.
14. Оценка динамики и нарушенности лесного покрова в Среднем Поволжье по снимкам Landsat / О. Н. Воробьев, Э. А. Курбанов, Ю. А. Полевщикова, С. А. Лежнин // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2016. – Т. 13. – № 4. – С. 124–134.
15. Денисов, С. А. Опыт применения квадрокоптера для мониторинга возобновления леса / С. А. Денисов, А. А. Домрачев, А. С. Елсуков // *Вестник ПГТУ*. – 2016. – № 4 (32). – С. 34–46.

References

1. Fiorella M., William J. Ripple Analysis of Conifer Forest Regeneration Using Landsat Thematic Mapper Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. Vol. 59. № 9, 1993, p. 1383-1388.
2. Franks S., Masek J. G., Turner M. G. Monitoring forest regrowth following large scale fire using satellite data – A case study of Yellowstone National Park, USA. *European Journal of Remote Sensing*, № 46, 2013, p. 561-569.
3. Frazier R. J., Coops N. C., Wulder M. A. Boreal Shield forest disturbance and recovery trends using Landsat time series. *Remote Sens. Environ*, № 170, 2015, p. 317-327.
4. Ghuffar S. Satellite stereo based digital surface model generation using semi global matching in object and image space. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, III-1, 2016, p. 63-68.
5. Gu H., Li H., Yan L. et al. An Object-Based Semantic Classification Method for High Resolution Remote Sensing Imagery Using Ontology. *Remote Sensing*, 9(4), 2017, 329 p.
6. Kauth R. J., Thomas G. S. The tasseled Cap – A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by LANDSAT. *Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data*, Purdue University of West Lafayette, Indiana, 1976, 4B-41 to 4B-51 p.
7. Olsson H. A method for using Landsat time series for monitoring young plantations in boreal forests. *International Journal of Remote Sensing*, 30(19), 2009, p. 5117-5131.
8. Prandi F., Magliocchetti D., Poveda A. et al. New Approach for forest inventory estimation and timber harvesting planning in mountain areas: the SLOPE project. *ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B3, 2016, p. 775-782.
9. Salim P. M., Samad A. M., Aziz N. A. A. et al. Comparison of Segmentation Algorithm for Urban Tree Delineation using Aerial Imagery. *2018 IEEE 8th International Conference on System Engineering and Technology (ICSET)*. IEEE, 2018.
10. Sperlich M., Kattenborn T., Koch B., Kattenborn G. Potential of Unmanned Aerial Vehicle Based Photogrammetric Point Clouds for Automatic Single Tree Detection. *DGPF Proceedings; Gemeinsame Tagung 2014 der DGfK, der DGPF, der GfGI und des GiN (DGPF Tagungsband 23 / 2014)*.
11. White J. C., Coops N. C., Wulder M. A. et al. Remote Sensing Technologies for Enhancing Forest Inventories: A Review. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 42(5), 2016, 641-619 p.
12. Zhang L., Qiao N., Baig M. H. A. et al. Monitoring vegetation dynamics using the universal normalized vegetation index (UNVI): An optimized vegetation index-VIUPD. *Remote Sensing Letters*, 10(7), 2019, p. 629-638.
13. Bogdanov A. P., Karpov A. A., Demina N. A., Aleshko R. A. Improving forest monitoring by using cloud technologies as an element of sustainable forest management. *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa* [Contemporary Issues of Remote Sensing of the Earth from Space], 2017, Vol. 15, Iss. 1, pp. 89-100.

14. Vorobev O. N, Kurbanov E. A., Polevshchikova Yu. A, Lezhnin S. A. *Otsenka dinamiki i narushenosti lesnogo pokrova v Srednem Povolzh'e po snimkam Landsat* [Assessment of the dynamics and disturbance of forest cover in the Middle Volga region using Landsat images]. *Sovremennyye problem distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Contemporary Issues of Remote Sensing of the Earth from Space]. 2016, 13(4): p. 124–134 (In Russian).

15. Denisov S. A., Domrachev A. A., Elsukov A. S. *Opyt primeneniya kvadrakoptera dlya monitoringa vozobnovleniya lesa* [Experience of using quadcopter for monitoring forest renewal]. *Vestnik PGU* [Bulletin of Perm State Technical University]. 2016, 4(32): p. 34-46 (In Russian).

Сведения об авторах

Карпов Александр Анатольевич – аспирант очной формы обучения, кафедра лесоводства и лесостроительства, высшая школа естественных наук и технологий ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) Федеральный университет имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, Российская Федерация; e-mail: lesnoy.monitoring@gmail.com.

Пирцхалава-Карпова Нана Роландиевна – аспирант очной формы обучения, высшая инженерная школа ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) Федеральный университет имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, Российская Федерация; e-mail: nanahoroshaya@gmail.com.

Гудина Александра Геннадьевна – аспирант очной формы обучения, кафедра лесоводства и лесостроительства, высшая школа естественных наук и технологий ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) Федеральный университет имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, Российская Федерация; e-mail: aleksandra-oblova@yandex.ru.

Алешко Роман Александрович – кандидат технических наук, доцент, и.о. заведующего кафедрой информационных систем и технологий, высшая школа информационных технологий и автоматизированных систем ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) Федеральный университет имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, Российская Федерация; e-mail: r.aleshko@narfu.ru.

Богданов Александр Петрович – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства», г. Архангельск, Российская Федерация; e-mail: aleksandr_bogd@mail.ru.

Information about authors

Karpov Aleksandr Anatolyevich – PhD student, higher school of natural science and technology, FSAEI HE Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russian Federation; e-mail: lesnoy.monitoring@gmail.com.

Pirtskhalava-Karpova Nana Rolandievna – PhD student, higher engineering school, FSAEI HE Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russian Federation; e-mail: nanahoroshaya@gmail.com.

Gudina Aleksandra Gennadievna – PhD student, higher school of natural science and technology, FSAEI HE Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russian Federation; e-mail: aleksandra-oblova@yandex.ru.

Aleshko Roman Aleksandrovich – PhD (Computer Science), Head of Information Systems and Technologies Department, Higher School of Information Technologies and Automated Systems, FSAEI HE Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russian Federation; e-mail: r.aleshko@narfu.ru.

Bogdanov Alexander Petrovich – PhD (Agriculture), Senior Researcher, FBI Northern Scientific and Research Forestry institute, Arkhangelsk, Russian Federation; e-mail: aleksandr_bogd@mail.ru.

АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНОЕ РЕШЕНИЕ СЕЛЬСКИХ ПАРКОВ

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент **Н.П. Карташова**

магистр **С.В. Попова**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет

имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация

Сельские территории являются важнейшей социально-экономической и экологической подсистемой общества. На сегодняшний день необходимо рассматривать вопросы разработок парковых территорий не только внутри городов, но и сельских поселений. Объектами исследования послужили парки, расположенные в сельской местности Аннинского района Воронежской области. На территориях парков была выполнена ландшафтно-экологическая оценка, заключающаяся в определении типа пространственной структуры, оценки состояния и класса устойчивости насаждений, эстетической и санитарно-гигиенической оценок, стадии дигрессии, рекреационной емкости. По результатам исследования разработано функциональное зонирование сельских парков, имеющее отличительные черты по сравнению с городскими. Определен баланс территорий парков и выяснено, что процент озелененности и дорожно-тропиночной сети не соответствуют нормам. Состояние насаждений на всех объектах оценено как удовлетворительное. Поэтому необходимо дополнить количество насаждений наиболее устойчивыми видами древесно-кустарниковой растительности, проложить дополнительные дороги, что уменьшит долю бездорожной формы рекреации, которая ведет к уменьшению устойчивости насаждений, следовательно, может привести к деградации территорий. Результаты определения рекреационной емкости на объектах свидетельствуют о том, что в двух парках имеется потенциал для рекреационного пользования, что является необходимым для увеличения мест отдыха. Территория парка в п. Новонадеждинский достигла третьей стадии дигрессии, рекреационная емкость превышает предельно-допустимую, поэтому необходимо регулировать рекреационное пользование. Для этого надо грамотно провести благоустройство объекта, рекомендовать насаждения, наиболее устойчивые в данных условиях с учетом их декоративности и эстетической ценности, разработать архитектурно-планировочную композицию сельских парков.

Ключевые слова: насаждения, сельский парк, архитектурно-планировочное решение, ландшафтно-экологическая оценка, функциональное зонирование, баланс.

ARCHITECTURAL AND PLANNING CONCEPT FOR RURAL PARKS

PhD (Agriculture), Associate Professor **N.P. Kartashova**

Master's Degree Student **S.V. Popova**

FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov",

Voronezh, Russian Federation

Abstract

Rural territories are the most important socio-economic and environmental subsystem of society. Today, it is necessary to consider the development of park territories not only within cities, but also in rural settlements. The objects of the study were parks located in the countryside of the Anninsky district of the Voronezh region. In the territories of the parks, a landscape-ecological assessment was carried out, which consisted of determining the type of spatial structure, assessing the condition and stability class of the stands, aesthetic and sanitary-hygienic assessments, the stage of digression, and recreational capacity. According to the results of the study, a functional zoning of rural parks has been developed, which has distinctive features compared to urban ones. The balance of the park territories has been determined. It was found that the percentage of greenery and the road-path network did not meet the standards. The state of plantations at all sites is rated as satisfactory one. Therefore, it is necessary to supplement the number of plantings with

the most resistant species of tree and shrub vegetation; pave additional roads, which will reduce the proportion of off-road forms of recreation, which leads to a decrease in the stability of stands, therefore, can lead to degradation of territories. The results of determining the recreational capacity at the facilities indicate that there is a potential for recreational use in two parks. It is necessary to increase recreation areas. The park in Novonadezhdinsky has reached the third stage of digression. The recreational capacity exceeds the maximum permissible. Therefore, it is necessary to regulate the recreational use. To do this, it is necessary to competently carry out the improvement of the object, to recommend the most stable plantings in these conditions, taking into account their decorativeness and aesthetic value, to develop an architectural and planning composition of rural parks.

Keywords: plantations, rural park, architectural and planning concept, landscape and environmental assessment, functional zoning, balance.

Введение

Парк – это обширная территория (более 15 га), предназначенная для отдыха городского или сельского населения, представляющая собой земельный участок, на котором элементы ландшафта, сооружения, здания организуются в определенную объемно-пространственную систему в соответствии с законами композиции [6]. Сельские парки обычно располагаются вблизи общественного центра поселения, школы, при этом главный вход в парк размещается со стороны главной улицы или общественного центра [5]. Для них характерно органичное включение парковых композиций в окружающую природную среду. Сельские парки также имеют огромное значение для отдыха населения, поэтому необходимым условием устойчивого существования данных объектов является архитектурно-планировочная структура самого парка, устойчивость насаждений, произрастающих на данных объектах, наличие элементов благоустройства и правильно разработанное функциональное зонирование. Ведь сельские парки так же, как и парки, расположенные в городах, имеют огромное значение для населения, являются не только местами отдыха, но и улучшают природные условия, повышают декоративные качества и эстетические свойства самого населенного пункта. Говоря о степени изученности проблемы, допустимо подчеркнуть, что работ, посвященных сельским паркам, не так много. Изучением композиций парков занимались такие ученые, как А.П. Вергунов, С.Н. Палентреер, Денисов М.Ф., Ожегов С.С., И. А. Косаревский, Теодоронский В.С. [1, 6, 7].

Материалы и методы

Объектами исследования послужили парки в сельской местности Аннинского района Воронежской области – парк при администрации Садовского сельского поселения; парк при администрации Берёзовского сельского поселения; парк в Васильевском сельском поселении, п. Новонадеждинский.

Парк при администрации Садовского сельского поселения занимает площадь 1,27 га. Древесная растительность представлена в числе 115 деревьев, некоторым из которых уже по полвека, и представлена большей частью каштаном конским, из кустарников – сиренью обыкновенной. По результатам исследования в табл. 1 приведен баланс территории данного парка.

Таблица 1
Баланс территории парка в с. Садовое

Наименование элементов	Занимаемая площадь	
	м ²	%
Насаждения:	576,0	4,5
Цветники	32	0,3
Газоны	7268	57,2
МАФы	140,0	1,1
Дорожки, площадки в т. ч.:		
- тротуар, площадки из тротуарной плитки	1809,0	14,2
- площадка с асфальтобетонным покрытием	506,0	3,9
- детская и спортивная площадки с песчаным покрытием	946,0	7,4
Сооружения	1995	15,7
ИТОГО:	12 700,0	100

Результаты баланса территории показывают, что насаждения занимают 4,5 %, цветники – 0,3 %, что свидетельствует о незначительном озеленении данной территории, когда по нормам озеленения насаждения должны занимать около 60 % [6, 7].

Парк при администрации Берёзовского сельского поселения занимает площадь 2,5 га. Выполненный баланс территории показывает, что на территории данного парка озеленение также недостаточно, так как площадь под насаждения составляет 2,7 % (табл. 2).

Кроме того, под дороги, площадки отводится 10,8 % от общей площади, что в два раза меньше нормативов, которые составляют 25-28 % [6].

Таблица 2

Баланс территории парка в с. Берёзовка

Наименование элементов	Занимаемая площадь	
	м ²	%
Насаждения	680,0	2,7
Цветники	14,0	0,06
Газоны	16779,0	67,1
МАФы	110,0	0,4
Дорожки, площадки в т. ч.:		
- тротуар, площадки из тротуарной плитки	1520,0	6,1
- танцплощадка с асфальтобетонным покрытием	290,0	1,2
- детская и спортивная площадки с песчаным покрытием	600,0	2,4
- футбольное поле	5400,0	21,6
- волейбольная площадка	162,0	0,6
- спортивная площадка	125	0,5
Сооружения	-	-
ИТОГО:	25 000,0	100

Парк в п. Новонадеждинский занимает площадь 1,37 га. Результаты выполненного баланса территории показывают, что насаждения занимают 2,7 % от всей площади парка, что в 20 раз меньше нормы (табл. 3). Дороги составляют 11,8 % от общей площади парка, что также в два раза меньше требуемых норм.

Таким образом, выполнив баланс территории, мы определяем тип пространственной структуры объектов [2, 11]. Затем выполняем ландшафтно-экологическую оценку, которая заключается в определении эстетической и санитарно-гигиенической оценок, стадии дигрессии, класса устойчивости, рекреационной емкости. Также необходимо оценить состояние насаждений в парках.

Состояние деревьев визуально определяется по сумме основных биоморфологических признаков, какими являются густота кроны, её облиственность или охвоенность, соответствие размеров и цвета листьев и хвои и прироста побегов нормальным для данных видов и данного возраста деревь-

ев, наличие или отсутствие отклонений в строении ствола, кроны, ветвей и побегов, суховершинность или наличие и доля сухих ветвей в кроне, целостность и состояние коры и луба [3].

Таблица 3

Баланс территории парка в п. Новонадеждинский

Наименование элементов	Занимаемая площадь	
	м ²	%
Насаждения:	860,0	2,7
Цветники	28,3	0,06
Газоны	8727,1	63,7
МАФы	46,0	0,4
Водоем	3225,0	23,5
Дорожки, площадки в т. ч.:		
- тротуар, площадки из тротуарной плитки	894,0	6,5
- детская и спортивная площадки с резиновым покрытием	332,6	2,4
- танцплощадка	397,0	2,9
Сооружения	50,0	0,4
ИТОГО:	13 700,0	100

Оценка по санитарно-гигиеническому фактору – оценивают микроклиматические и теллурические условия:

1 – микроклиматические – условия оцениваются по данным температуры, влажности воздуха, ветрового режима и солнечной радиации. В комплексе эти данные должны обеспечить благоприятные условия пребывания человека;

2 – теллурические – характеризуются особенностями состава воздуха, оказывающими влияние на организм, прежде всего через дыхательные пути. Здесь главную роль играет видовой состав насаждений, а также направление и повторяемость преобладающих ветров. В зависимости от сезона года и погоды теллурические показатели существенно изменяются наиболее ярко они проявляются в жаркие летние дни [1].

Эстетическая оценка устанавливается по визуально-сравнительным заключениям и определяется следующими показателями:

- состояние насаждений, соотношение плоскостных и объемных элементов, водные поверхности, архитектура – наиболее важные факторы – 30 баллов;

- видовые точки – насыщенность, уникальность, глубина перспектив – 10 баллов;

- рельеф и его геопластика – экспозиция склонов, % – 5 баллов;

- почвенно-растительный покров – 5 баллов [1].

При определении стадии дигрессии руководствуются тем, что на 1 стадии в фитоценозе практически не бывают заметны результаты посещения его отдыхающими. На крайней, 5 стадии, вследствие высоких рекреационных нагрузок полностью отсутствует подстилка, травы «прижимаются» к стволам деревьев, стоящих на вытоптанной и утрамбованной почве [3].

Устойчивость насаждений оценивается их способностью к нормальному формированию в определенных экологических условиях с различным уровнем отрицательных техногенных и антропогенных воздействий [3].

По результатам исследований выполнили функциональное зонирование территорий объектов.

Цель работы – разработать общий подход при реализации архитектурно-планировочного решения парковых территорий для малых населённых пунктов с учетом их рекреационной емкости.

Научная новизна работы заключается в следующем: разработан комплексный подход к выявлению и анализу факторов, влияющих на формирование структуры сельских парковых территорий. Предложены требования рациональных архитектурно-планировочных решений, отвечающих современным социальным и экономическим условиям. Разработан ассортимент древесно-кустарниковых насаждений и мероприятия по благоустройству территорий сельских парков Воронежской области.

Результаты исследований

Исследуемые объекты по системе озеленения относятся по территориальному признаку к внутригородским, так как располагаются в самом населенном пункте, по функциональному назначению – к объектам общего пользования [1, 7].

По результатам выполненного баланса территории парков относятся к полукрытому типу пространственной структуры. Проведя ландшафтно-экологическую оценку, выяснили, что санитарно-гигиеническая оценка составила в среднем два балла на всех объектах. Результаты эстетической оценки приведены в табл. 4.

Таблица 4

Сравнительная таблица по показателям эстетической оценки исследуемых парков (в баллах)

Исследуемые парки	Парк в с. Садовое	Парк в с. Березовка	Парк в п. Новодеждинский
Эстетическая оценка, баллы	38	35	40

Исходя из результатов табл. 4, видно, что из максимальных 50 баллов эстетическая оценка всех территорий парков ниже, следовательно, участки нуждаются в назначении мероприятий по улучшению ландшафта для более эстетического качества, эмоциональной привлекательности территорий.

Состояние насаждений на территориях исследуемых парков характеризуется как удовлетворительное [4]. На территории парка с. Березовка произрастает 170 деревьев – это акация белая, береза повислая, ель обыкновенная, каштан конский, из которых 85 % находятся в удовлетворительном состоянии. Вырубке подлежат две березы повислых и три каштана конских. Насаждения парка в п. Новодеждинский представлены преимущественно березой повислой. Вырубке подлежат четыре дерева, так как они являются сухостоем. Остальные имеют удовлетворительное состояние. В парке с. Садовое произрастает 115 деревьев, представленных в основном каштаном конским, из кустарников – сирень обыкновенная. Каштан конский находится в удовлетворительном состоянии.

Территории парков в с. Садовое и с. Березовка достигли второй стадии дигрессии, что является показателем незначительного использования самих парков, а также устойчивости насаждений. Территория парка в п. Новодеждинский достигла третьей стадии дигрессии, что свидетельствует о значительных нарушениях окружающей среды, а дальнейшее использование объекта в рекреационных целях приведет его к деградации. Поэтому необходимо определить рекреационную емкость данных объектов, чтобы выяснить устойчивость самих природных территориальных комплексов к антропогенным нагрузкам, при которых сохраняется их способность к самовосстановлению.

На территории парка с. Садовое насаждения имеют 2 класс устойчивости, рекреационная нагрузка составит 3,0 чел.-дн./га, а на самой территории объекта – 3,81 чел.-дн./га, что не превышает

предельно допустимую нагрузку, равную 8,0 чел.-дн./га. На территории парка в с. Березовка, имеющего 2 класс устойчивости, рекреационная нагрузка составила 3,0 чел.-дн./га, а на объекте – 7,5 чел.-дн./га, что на 0,5 чел.-дн./га меньше предельно допустимой нагрузки. В парке п. Новонадеждинский, достигшего третьей стадии дигрессии, рекреационная нагрузка составит 8,0 чел.-дн./га, а на самой территории – 10,96 чел.-дн./га, что превышает предельно допустимую нагрузку.

Таким образом, найденная рекреационная емкость позволяет разработать архитектурно-планировочное решение парков с учетом их рационального пользования рекреантами. При этом необходимым условием является функциональное зонирование, а также назначение мероприятий по озеленению и благоустройству.

Рекомендуемый состав и соотношение площадей основных функциональных зон многофункциональных сельских парков, площади которых соответственно равны 1,27 га, 2,5 га и 1,37 га, приведены в табл. 5.

Разработав функциональные зонирование, можно рекомендовать мероприятия по озеленению, применяя различные виды и формы древесно-кустарниковых насаждений относительно каждой зоны. Ассортимент рекомендуемой растительности в парках представлен в виде различных типов садово-парковых насаждений, видов цветочного оформления (табл. 6). Насаждения на исследуемых территориях не имеют видового разнообразия, поэтому необходимо рекомендовать более разнообразный ассортимент растений, который также будет более устойчив в данных условиях [9, 10].

Также необходимо обустроить детские игровые площадки и площадки для спорта. Рекомендуется увеличить количество малых архитектурных форм в парках для лучшего эстетического восприятия посетителей (табл. 7).

Малые формы утилитарного характера выполнены в соответствии с ландшафтно-архитектурными и эстетическими требованиями, предъявляемыми к объектам озеленения, из прочных материа-

лов, отличающихся высокой степенью устойчивости к воздействию факторов внешней среды [5, 8]. Таким образом, на территориях сельских парков формируется определенная система зеленых насаждений и приемы размещения элементов благоустройства, позволяющих создать наиболее комфортные условия для отдыха населения, а также повысить степень озелененности и дорожно-тропиночной сети в процентном соотношении. Все это ведет к регулированию рекреационного пользования и грамотного архитектурно-планировочного решения территории парков.

Таблица 5

Рекомендуемый состав и соотношение площадей основных функциональных зон многофункциональных сельских парков

Функциональные зоны парков	% от общей площади парка		
	парк в с. Садовое	парк с. Березовка	парк п. Новонадеждинский
Массовых мероприятий	5	5	5
Тихого отдыха	75	67	75
Культурно-просветительских мероприятий	3	-	-
Физкультурно-оздоровительную	10	23	12
Отдыха детей	7	5	8
ИТОГО	100	100	100

Выводы

1. Результаты проведенных исследований позволяют с уверенностью сказать, что на территориях сельских парков степень озелененности меньше нормативных данных. Ассортимент не отличается разнообразием;

2. Территории сельских парков оцениваются ландшафтно-рекреационными качествами, включая рекреационную емкость территорий, которая позволяет наиболее рационально использовать данные объекты в рекреационных целях;

3. Архитектурно-планировочная композиция парков разрабатывается с учетом рекреационной емкости объектов и функционального зонирования;

4. Функциональное зонирование выполняется на основе ландшафтно-экологической оценки.

Природопользование

Таблица 6

Ассортимент рекомендуемой растительности в парках

№ п/п	Функциональная зона	Площадь функциональной зоны, м ²	Наименование растений	Площадь компонента озеленения, м ²	Количество растений, шт.			Вид посадки
					Д*	К*	ЦР*	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Парк в с. Садовое								
1	Тихого отдыха, зона массовых мероприятий	9525,635	Дерен белый «Aurea»	15	-	15	-	Группа
2			Клен гиннала	24	9	-	-	Группа
3			Можжевельник китайский	9	-	9	-	Группа
4			Туя западная «Golden Globe»	15	-	15	-	Группа
5			Туя западная «Holmstrup»	3	-	3	-	Группа
6			Чубушник вечнозеленый	12	-	12	-	Группа
7			Петуния крупноцветковая «Dreams Rose Morn»	7,3	-	-	219	Клумба
8			Тагетес отклоненный «Bonanza Yellow»	7,3	-	-	292	Клумба
9			Целозия перистая «New Look»	7,3	-	-	292	Клумба
10	Массовых мероприятий	635	Клен остролистный «Глобозум»	68	17	-	-	Рядовая посадка
11	Культурно-просветительных мероприятий	381	Агератум Хоустона «Leilani Blue»	3	-	-	240	Рабатка
12			Сальвия блестящая	3	-	-	150	Рабатка
13			Цинерария серебристая	3	-	-	150	Рабатка
14	Спортивная	1270	Липа мелколистная	32	8	-	-	Рядовая посадка
15	Детская	889	Бирючина обыкновенная	35	-	35	-	Рядовая посадка
ИТОГО:				234,3	34	89	1343	
Парк в с. Березовка								
16	Тихого отдыха	16750	Калина обыкновенная	14	-	14	-	Группа
17			Катальпа обыкновенная	96	24	-	-	Рядовая посадка
18			Рябина обыкновенная	40	10	-	-	Группа
19			Сирень венгерская	24	-	24	-	Группа/Рядовая
20			Спирея Вангутта	20	-	20	-	Группа
21			Тополь черный «Italica»	60	15	-	-	Рядовая посадка
22			Ясень обыкновенный	8	2	-	-	Солитер
23			Агератум Хоустона	2,9	-	-	232	Клумба
24			Портулак крупноцветковый	2,9	-	-	290	Клумба
25			Тагетес прямостоячий	2,9	-	-	87	Клумба
26	Массовых мероприятий	1250	Сирень обыкновенная «PresidentGrevy»	23	-	23	-	Группа
27	Спортивная	15750	Клен остролистный	140	35	-	-	Рядовая посадка
28	Детская	1250	Кизильник блестящий	25	-	25	-	Рядовая посадка
ИТОГО				458,7	86	106	609	

Природопользование

Окончание табл. 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Парк в п. Новонадеждинский								
29	Тихого отдыха	10275	Акация желтая	30	-	30	-	Группа
30			Барбарис Тунберга «Aurea»	17	-	17	-	Группа
31			Каштан конский	108	27	-	-	Рядовая посадка
32			Ива белая	8	2	-	-	Солитер
33			Дербенник иволистный	45	-	-	180	Рядовая посадка
34			Коллеуса Блюме «Red Monarch»	6,5	-	-	234	Клумба
35			Коллеус Блюме «Volcano»	6,5	-	-	234	Клумба
36			Коллеус Блюме «Scarlet Poncho»	6,5	-	-	234	Клумба
37			Липа сердцелистная	4	1	-	-	Солитер
38			Массовых мероприятий	685	Дерен белый	7	-	7
39	Спирея японская	15			-	15	-	Группа
40	Спортивная	1644	Ясень обыкновенный	40	10	-	-	Рядовая посадка
41	Детская	1096	Спирея японская «Golden Princess»	30	-	30	-	Рядовая посадка
ИТОГО				331,5	65	69	882	

Д* – деревья, К* – кустарники, ЦР* – цветочные растения.

Таблица 7

Ведомость малых архитектурных форм и переносных сооружений

№ п/п	Наименование оборудования	Описание комплекса	Кол-во, шт.
1	Скамейка металлическая СП со спинкой	Каркас скамейки изготовлен из металлического профиля размером 25х25 мм с последующим покрытием эмалью черного цвета. Настил и спинка для сидения изготовлен из бруса хвойных пород с последующим нанесением морилки (светлой или темной)	15
2	Урна «Волна»	Основной бак урны имеет систему опрокидывания, для более быстрой и легкой очистки от мусора. Толщина стали мусорного бака 1,1 мм, с элементами художественнойковки	12
3	Садово-парковый светильник ArteLampMonaco A1497PA-1BK	Компактная люминесцентная, накаливания, светодиодная (LED); 220 В; 100 Вт.,1 лампа. Размеры: ширина 270 мм, высота 2100 мм, диаметр 270 мм, выступ 270 мм	12
4	Беседка садовая	Размер беседки (ДхШ) 2,3х2,3 м. Материал: каркас – труба 40х20 мм, 30х15 мм; наполнение – труба 15х15 мм	5
5	Стол «Дачный 1,5 м»	Сборно-разборная конструкция, поэтому стол удобен для транспортировки и прост в сборке	5
6	Арка садовая кованая К-82	Выполнена из металла, окрашена в темно-серый цвет, габаритные размеры (ШхГхВ): 180х40х210 см	3
7	МФ-1.18 – Песочница с навесом	Песочница выполнена из разборных деревянных деталей. Каркас собирается из брусков и дуг, соединяемых между собой посредством стягивающих шпилек. Брусочки каркаса представляют собой деревянные ламели, склеенные при помощи водостойкого клея, покрытые водно-масляной пропиткой и акрилатным лаком методом защитно-декоративного покрытия, после высыхания не выделяют формальдегиды в окружающую среду. Песочница комплектуется навесом, который выполнен из ткани с водоотталкивающей пропиткой, устойчивой к выгоранию на солнце	3
8	ДИО 1.02 – Качели базовые двойные жесткий подвес	Размеры: 2900х1400 х1900 мм, состоят из: двух боковых стоек (металлическая труба диаметром не менее 42 мм и толщиной стенки не менее 3,5 мм); одной средней стойки (металлическая труба диаметром не менее 42 мм); двух жестких подвесов (металлическая труба диаметром не менее 26 и 32 мм, с металлическими подлокотниками и спинкой, с сидением из фанеры толщиной не менее 21 мм); перекладины (металлическая труба диаметром не менее 42 мм, с толщиной стенки не менее 3,5 мм). Для прочного соединения стоек с балкой использовать фланец толщиной не менее 5 мм, с 4 отверстиями для крепления	3
9	КМ 5.27.1 – Качалка-балансир	Длина 2550 мм, ширина 550 мм, высота 1100 мм. Материал – дерево, влагостойкая фанера, металл. Зона безопасности 4550х2550 мм	6
10	ДИО 5.033 – Горка с металлическими перилами Н=1500	Размеры: 3450х720х2320 мм. Каркас выполнен из профильной трубы сечением не менее 50х25х2 мм и утоплен в офрезерованный паз фанерного борта по всей длине. Боковые ограждения ската горки выполнены из влагостойкой фанеры марки ФСФ сорт не ниже 2/2 толщиной не менее 24 мм, высотой не менее 700 мм и оборудованы поручнем ограничителем на высоте не менее 600 мм. Поручень выполнен из металлической трубы с двумя штампованными ушками из стали не менее 4 мм, под 4 мебельных болта. Лестница выполнена из профильной трубы сечением не менее 50х25х2 мм, ступеньки и стартовая площадка из ламинированной противоскользящей фанеры	3

1	2	3	4
11	КМ-5.39 – Качалка на пружине «Лощадка»	Длина 920 мм, ширина 520 мм, высота 1020 мм. Материал: металл, влагостойкая фанера. Зона безопасности 3320x2920 мм	12
12	КАР-1.10 Карусель	Возрастная группа от 2 до 7 лет. Общая высота – 900 мм. Площадь зоны безопасности – 23,7 м ²	3
13	Детский игровой комплекс «Рада»	Размеры 5350x4380x3000 мм. Зона безопасности 8350x7380 мм. Башни, лестница, горка, скалолаз, рукоход с кольцами, вертикальный шест, спираль, решетка для лазанья, турник. Характеристики детских площадок: скат горки выполнен из нержавеющей стали, цельного листа, высота 1200 мм. Ступени выполнены из ламинированной фанеры с антискользящим покрытием. Несущая конструкция выполнена из клееного соснового бруса, высушенного до мебельной влажности. Борта выполнены из влагостойкой фанеры, толщина которой не менее 30 мм, при обработке фанеры обязательна тщательная шлифовка кромок. Все деревянные элементы отшлифованы и покрыты яркими двухкомпонентными красками стойкими к сложным погодным условиям, истреблению, действию ультрафиолета	3
14	Ворота футбольные	Продукция изготовлена из прочных современных материалов. Оборудование не имеет острых углов и прочих травмоопасных элементов. Детали покрыты нетоксичными красками и лаками, защищающими от воздействия негативных факторов окружающей среды. Спортивные снаряды разработаны с учетом общепринятых стандартов и необходимых законодательных нормативов. Габаритные размеры 3200x1100 мм, высота 2000 мм	2
15	Спортивный комплекс БУСК66	Уличное спортивное оборудование включающее: рукоход, шведскую стенку, турник и брусья. Регулируемые по высоте перекладины, секция рукоход. Диаметр перекладин брусьев 48 мм. Габариты в собранном виде: 5,2 м x 2,4 м x 2,7 м. Вес: ок. 320 кг	3

Выбран оптимальный ассортимент рекомендуемой растительности в парках в соответствии с экологическими условиями, представленный в виде различных типов посадок из деревьев и кустарников, видов цветочного оформления, состоящий из сорока видов. В тихой зоне рекомендуем многопородные ландшафтные группы, в состав которых входят хвойные: можжевельник китайский (*Juniperus chinensis*), туя западная «Holmstrup» (*Thuja occidentalis* Holmstrup), туя западная «Golden Globe» (*Thuja occidentalis* «Golden Globe»). Также можно использовать ландшафтные группы из лиственных пород, таких как клен гиннала (*Acer ginnala*), дерен белый «Aurea» (*Cornus alba* «Aurea»), чубушник вечнозеленый (*Philadelphus coronarius*); калина обыкновенная (*Viburnum opulus*), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*), спирея вангутта (*Spiraea x vanhouttei*) и однопорядные ландшафтные группы из сирени венгерской (*Syringa josikaea*); сирени обыкновенной «President Grevy» (*Syringa vulgaris* «President Grevy»); акации желтой (*Caragana arborescens*), барбариса Тунберга «Aurea» (*Berberis thunbergii* «Aurea»).

В зоне массовых мероприятий рекомендуем ландшафтную группу из дерена белого (*Cornus alba*) и спиреи японской (*Spiraea japonica*).

В спортивных зонах парков по периметру площадок необходима посадка деревьев из клена остролистного (*Acer platanoides*), липы мелколист-

ной (*Tilia cordata*), ясени обыкновенного (*Fraxinus excelsior*).

В детской зоне с восточной стороны площадки рекомендуем в виде рядовой посадки высадить бирючину обыкновенную (*Ligustrum vulgare*), кизильник блестящий (*Cotoneaster lucidus*), спирею японскую «Golden Princess» (*Spiraea japonica* «Golden Princess»).

Также на территориях парков рядовые посадки могут быть выполнены из катальпы обыкновенной (*Catalpa bignonioides*), каштана конского (*Aesculus hippocastanum*), тополя черного «Italica» (*Populus nigra* «Italica»). В качестве солитера выступают липа сердцелистная (*Tilia cordata*), ива белая (*Salix alba*) и ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior*).

Цветочное оформление в виде клумб, в состав которых входят: цезалия перистая «New Look» (*Celosia argentea* «New Look»), петуния крупноцветковая «Dreams Rose Morn» (*Petunia grandiflora* «Dreams Rose Morn»), тагетес отклоненный «Bonanza Yellow» (*Tagetes patula* «Bonanza Yellow»); агератум Хоустона (*Ageratum houstonianum*), портулак крупноцветковый (*Portulaca grandiflora*) и тагетес прямостоячий (*Tagetes erectus*); колеус Блюме «Red Monarch» (*Coleus Blumei* «Red Monarch»), колеус Блюме «Volcano» (*Coleus Blumei* «Volcano»), колеус Блюме «Scarlet Poncho» (*Coleus Blumei* «Scarlet Poncho»).

Рабатка представлена видами из агератума Хоустона «Leilani Blue» (*Ageratum houstonianum* «Leilani Blue»), сальвии блестящей (*Salvia splendens*) и цинерарии серебристой (*Cineraria maritima*).

Таким образом, мероприятия по озеленению повысят степень озелененности территорий данных парков, а сам ассортимент растительности улучшит эстетический вид парков и положительно скажется на эмоциональном состоянии отдыхающих. В результате модель парка будет представлять собой

систему районирования с набором сооружений и площадок определенной вместимости. Предложенные модели дают возможность выбрать в соответствии с реальными условиями набор сооружений и схему районирования, типы садово-парковых насаждений, что ведет к улучшению облика самого парка и положительно сказывается на состоянии отдыхающих.

Библиографический список

1. Боговая, И. О. Озеленение населенных мест : учеб. пособие / И. О. Боговая, В. С. Теодоронский. – Москва : Агропромиздат, 1990. – 239 с.
2. Kartashova, N. P. Landscaping and beautification of urban areas = Озеленение и благоустройство городских территорий / N. P. Kartashova // The Third European Conference on Agriculture : proceeding of the conference (Austria, Vienna, November 1, 2014). – Vienna, 2014. – P. 45-50.
3. Карташова, Н. П. Ландшафтно-экологическое обоснование рекреационного лесопользования в северной части зеленой зоны г. Воронежа : специальность 03.00.16 «Экология» : дис. ... канд. с.-х. наук: защищена 23.06.2003 / Карташова Нелли Павловна ; ВГЛТА. – Воронеж, 2003. – 228 с.
4. Кругляк, В. В. Урбоэкология и мониторинг среды : учеб. пособие. Ч. 1 / В. В. Кругляк, Н. П. Карташова ; Фед. агентство по образованию, ГОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2004. – 71 с.
5. Потаев, Г. А. Архитектурно-ландшафтный дизайн: теория и практика : учеб. пособие / Г. А. Потаев. – Москва : Форум ; Инфра-М, 2013. – 320 с.
6. Теодоронский, В. С. Объекты ландшафтной архитектуры : учеб. пособие для студентов спец. 260500 / В. С. Теодоронский, И. О. Боговая. – Москва : МГУЛ, 2003 – 330 с.
7. Теодоронский, В. С. Озеленение населенных мест. Градостроительные основы : учеб. / В. С. Теодоронский, Г. П. Жеребцова. – Москва : Академия, 2010. – 256 с.
8. Фирсова, Н. В. Эколого-градостроительный анализ состояния зеленых насаждений Воронежа // Проблемы озеленения крупных городов. – Москва : Прима-М, 2005. – Вып. 11. – С. 69–71.
9. Bunio, L. V. Specific features of morphogenesis of sedge (*Carex hirta* L.) on oil-contaminated soil / L. V. Bunio, O. M. Tsvilynjuk // Contemporary Problems of Ecology. – 2015. – Vol. 8. – No. 5. – P. 660–667.
10. Talovskaya (Kolegova), E. B. *Thymus baicalensis* (Lamiaceae) morphological transformation under different environmental conditions / E. B. Talovskaya (Kolegova) // Contemporary Problems of Ecology. – 2015. – Vol. 8. – No. 5. – P. 607-613.
11. Turner, T. Open space planning in London / T. Turner // Strategic Planning Advice for London, October, 1988. – London, 1993. – P. 366–386.

References

1. Bogovaya I. O. *Ozelenenie naselennykh mest* [Gardening of the inhabited places]. Ed. 2nd, has erased. SPb.; M.; Krasnodar: Fallowdeer Publ., 2012, 240 p.
2. Kartashova N. P. Landscaping and beautification of urban areas = Озеленение и благоустройство городских территорий. *The Third European Conference on Agriculture: proceeding of the conference* (Austria, Vienna, November 1, 2014). Vienna, 2014. P. 45-50.

3. Kartashova N. P. Landscape-ecological substantiation of recreational forest use in the northern part of the green zone of the city of Voronezh : PhD Thesis (Agriculture) 03.00.16: passed 23.06.2003. Voronezh, 2003. 228 p. (in Russian)
4. Kruglyak V. V., Kartashova N.P. *Urboekologiya i monitoring sredi : uchebnoe posobie. Ch. 1.* Voronezh, 2004. 71 p. (in Russian)
5. Potaev G. A. Architectural and landscape design: theory and practice: Proc. manual for universities. M.: Forum; Infra-M, 2013. 320 p. (in Russian)
6. Teodoronsky V. S., Bogovaya I. O. *Obekti landshaftnoi arhitekturi* [The objects of landscape architecture]. Moscow, MSFU, 2003. 300 p. (in Russian)
7. Teodoronsky V. S., Zherebtsova G. P. *Ozelenenie naseleennykh mest. Gradostroitelnye osnovy* [Greening populated areas. Town building foundations]. Moscow, "Academy", 2010. 256 p. (in Russian)
8. Firsova N. V. Environmental and urban planning analysis of the state of green plantations in Voronezh. *Problems of landscaping large cities.* Moscow, Prima-M, 2005, vol. 11, pp. 69–71 (in Russian).
9. Bunio L. V., Tsvilynjuk O. M. Specific features of morphogenesis of sedge (*Carex hirta* L.) on oil-contaminated soil. *Contemporary Problems of Ecology*, 2015. vol. 8, no 5. pp. 660-667.
10. Talovskaya (Kolegova), E. B. *Thymus baicalensis* (Lamiaceae) morphological transformation under different environmental conditions. *Contemporary Problems of Ecology*, 2015. vol. 8, no 5. pp. 607-613.
11. Turner T. Open space planning in London. Strategic Planning Advice for London, October, 1988. London, 1993. pp. 366-386.

Сведения об авторах

Карташова Нелли Павловна – доцент кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: Kartashova_73@mail.ru.

Попова Светлана Валентиновна – магистр лесного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: popova.swe2012@yandex.ru.

Information about authors

Kartashova Nelly Pavlovna – Associate Professor of Landscape Architecture and Soil Science department, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", PhD (Agriculture), Voronezh, Russian Federation; e-mail: Kartashova_73@mail.ru.

Popova Svetlana Valentinovna – Master, Faculty of Forestry, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: popova.swe2012@yandex.ru.

БЛАГОУСТРОЙСТВО И ОЗЕЛЕНЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БАЗЫ ООО «НПК «НИВА», Г. КРАСНОДАР

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент **Н.П. Карташова**

кандидат биологических наук, доцент **Е.П. Хазова**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Российская Федерация

В современных условиях актуальной является проблема сохранения и оздоровления городской среды, особенно в период интенсивного роста городов, развития всех видов транспорта, повышения тонуса деловой жизни. Хозяйственная деятельность человека, планировка жилых кварталов, ограничение площадей зеленых насаждений приводят к ухудшению экологической характеристики крупных населенных пунктов. В свою очередь, серьезно ухудшают экологическую обстановку промышленные предприятия. Поэтому очень важно озеленять промышленные территории. Однако объемы созданных зеленых насаждений должны быть достаточными для снижения вредных воздействий городской среды на организм человека. Особое внимание следует уделять составу и состоянию посадок, которые отделяют жилую застройку от промышленных территорий. Такие насаждения выполняют главную функцию фильтрации воздушных масс. Работа посвящена исследованию территории производственной базы ООО «НПК «Нива», расположенной в г. Краснодар. Для данного объекта проведен предпроектный анализ, разработаны рекомендации по благоустройству и озеленению территории. На стадии проектирования нужно позаботиться об организации мест отдыха трудящихся. Для этого необходимо провести исследования существующих насаждений, оценить их состояние, определить пространственную структуру, санитарно-гигиеническую и эстетическую оценки, устойчивость насаждений, стадию дигрессии, рекреационную емкость. Также требуется наметить работы, посвященные декоративному оформлению зданий и открытых площадей. В результате нами было предложено функциональное зонирование и назначение мероприятий по озеленению и благоустройству каждой зоны отдельно. Рекомендуемые мероприятия являются вариантом планировочного решения территории, подходящим для промышленных предприятий.

Ключевые слова: производственные территории, зеленые насаждения, предпроектный анализ, планировочное решение, благоустройство, озеленение

GENERAL IMPROVEMENT AND LANDSCAPING OF INDUSTRIAL AREAS ON THE EXAMPLE OF NPK NIVA LLC PRODUCTION CENTRE, KRASNODAR

PhD (Agriculture), Associate Professor **N.P. Kartashova**

PhD (Biology), Associate Professor **E.P. Khazova**

FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov",
Voronezh, Russian Federation

Abstract

The problem of preserving and improving the urban environment is essential in modern conditions. It is especially important during a period of intensive urban growth, the development of all types of transport, and business life improvement. Human activities, layout of residential areas, and limiting the areas of green space lead to a deterioration of the environmental characteristics of large settlements. In its turn, industrial enterprises seriously worsen the environmental situation. Therefore, it is very important to landscape the industrial areas. However, the volumes of created green spaces should be sufficient to reduce harmful effects of the urban environment on the human body. Special attention should be paid to the composition and condition of plantations which separate residential constructions from industrial areas. Such plantations perform the main function of air masses filtration. The work is devoted to the study of the

adjacent territory of NPK NIVA LLC production centre, located in the city of Krasnodar. Pre-project analysis has been carried out and recommendations have been developed for the improvement and landscaping of the object territory. The organization of leisure places should be think over at the design stage. To do this, it is necessary to conduct research of existing plantations, assess their condition, determine the spatial structure, sanitary and hygienic and aesthetic assessments, the sustainability of plantations, the stage of digression, and recreational capacity. It is also required to outline the work on the decoration of buildings and open spaces. As a result, we have proposed functional zoning and the appointment of measures for gardening and landscaping for every separate zone. Recommended activities are variants of the planning solution of the territory, suitable for industrial enterprises.

Keywords: industrial territories, green spaces, pre-project analysis, planning solution, landscaping, planting

Введение

Главным градообразующим фактором является становление и развитие промышленности, которое, в свой черед, отрицательно влияет на экологическую обстановку города. Ухудшение экологической ситуации не может не сказаться на состоянии здоровья населения. Важную роль в сохранении окружающей среды играют зеленые насаждения. Они улучшают мезо- и микроклимат городской среды и по праву называются «легкими города». Посадка растений на территории производственных объектов имеет огромное значение, поскольку насаждения являются защитным экраном для жилых районов. Необходимо повышать уровень озелененности производственных территорий путем введения наиболее устойчивых видов древесной и кустарниковой растительности. Вопросы озеленения производственных территорий занимались ученые многих стран мира. Большой вклад внесли и наши ученые: И.О. Боговая, В.С. Теодоронский, М.М. Фатиев, Т.В. Камиулина, А.Е. Морозов [4].

Материалы и методы

Объектом исследования послужила территория производственной базы предприятия ООО «НПК «Нива» площадью 4200 м², расположенная в черте города Краснодар.

Данное предприятие является частью восточной промышленной зоны, которая, в свою очередь, занимает площадь 340 га на северо-востоке города. Застройка восточной промышленной зоны представлена, в основном, одноэтажными и двухэтажными зданиями промышленного назначения – складские помещения, здания магазинов, АЗС, ГСК, офисные малоэтажные здания – разнообразные предприятия, в подавляющем большинстве, торго-

вой ориентации. По типу застройки [7] данную территорию можно отнести к свободной застройке.

Территория производственной базы предприятия ООО «НПК «Нива» связана с городом одной дорогой местного значения (3 класс) длиной 510 м, которая примыкает к улице Уральской – магистрали общегородского значения (2 класс). Рядом расположены другие предприятия: АО «Металлокомплект-М», РБУ (растворобетонный узел), завод по производству каркасных теплиц. Однако основным фактором, ухудшающим экологическую обстановку, является транспорт [12]. Большая концентрация торговых предприятий на ограниченной площади провоцирует загруженность основной транспортной артерии восточного направления города – улицы Уральской.

Уровень благоустройства восточной промышленной зоны можно охарактеризовать как низкий, так как почти вся ее площадь представлена автомобильными дорогами и подъездными путями. Ощущается дефицит озелененных территорий, которые бы сдерживали движение загрязненного воздуха в сторону жилой застройки. В связи с этим необходимо запланировать мероприятия по благоустройству и озеленению. Перед назначением данных действий важно осуществить предпроектный анализ территории, который включает ландшафтно-экологическую оценку. В ходе проведения ландшафтно-экологической оценки нужно определить санитарно-гигиеническую и эстетическую оценки, тип пространственной структуры, стадию дигрессии и рекреационную емкость [5, 8]. В ходе натурного обследования территорий фиксировались следующие показатели:

– анализ структуры и состояние существующих насаждений, изучение режимов пользования в

соответствии с функциями территории исследуемых объектов;

– рекогносцировка территории, которая проводилась как в границах объекта, так и на прилегающей территории с отметками и фиксацией спецификации на рабочем плане;

– уточнение местонахождения планировочных элементов территории (сооружений, площадок, дорожек и т. д.).

Одним из основных видов изыскательских работ является оценка состояния существующих насаждений, устойчивости, оценка эстетического состояния древесных растений. В городских насаждениях принято разделять деревья на три группы качественного состояния: 1 – хорошее, 2 – удовлетворительное и 3 – неудовлетворительное. Состояние деревьев визуально определяли по сумме основных биоморфологических признаков. Такими признаками являются: густота кроны; ее облиственность или охвоенность; соответствие размеров, цвета листьев и хвои для конкретных видов; нормальный для данных видов и возраста прирост побегов; наличие или отсутствие отклонений в строении ствола, кроны, ветвей и побегов; суховершинность или наличие ветвей в кроне; доля сухих ветвей в кроне; целостность и состояние коры и луба. Дополнительными признаками являются пораженность деревьев болезнями инфекционного и неинфекционного характера, поврежденность вредителями и другими негативными природными и антропогенными факторами среды [6]. Эстетическая оценка устанавливается по визуально-сравнительным заключениям и определяется следующими показателями:

- состояние насаждений, соотношение плоскостных и объемных элементов, водные поверхности, архитектура – наиболее важные факторы – 30 баллов;

- видовые точки – насыщенность, уникальность, глубина перспектив – 10 баллов;

- рельеф и его геопластика – экспозиция склонов, % – 5 баллов;

- почвенно-растительный покров – 5 баллов [3].

Санитарно-гигиеническая оценка – это оценка микроклимата, способности насаждений проду-

цировать кислород, обогащать среду фитонцидами и ионизировать воздух. Основными показателями санитарно-гигиенической оценки являются: 1) кислородная продуктивность; 2) способность обогащать среду фитонцидами; 3) ионизирующая и газоочищающая способность. Согласно этим показателям можно определить сумму коэффициентов и соответствующий ему класс санитарно-гигиенической оценки [3, 8].

По результатам исследований было разработано функциональное зонирование территории объекта и рекомендованы мероприятия по озеленению и благоустройству.

Цель работы – разработка системы мероприятий по улучшению санитарно-гигиенического состояния и эстетического восприятия промышленных территорий, находящихся в условиях сильной загазованности.

Научная новизна – впервые опробована методика предпроектной оценки на территории производственной базы ООО «НПК «Нива» в г. Краснодар. Скопление автомобильного транспорта вблизи производственной территории увеличивает антропогенную нагрузку на данный объект, что требует дополнительной защиты. Учитывая особенности расположения объекта, предложено функциональное зонирование территории, рекомендован ассортимент древесной и кустарниковой растительности, устойчивой к выбросам вредных веществ.

Результаты исследований

По системе озеленения производственная база относится к внутригородским объектам ограниченного пользования [3, 8].

Согласно критериям санитарно-гигиенической оценки, исследуемой территории можно присвоить 2 класс, так как участок находится в сравнительно хорошем санитарном состоянии, незначительно захламлен и замусорен, имеются отдельные сухостойные деревья, воздух несколько загрязнен, шум периодический или отсутствует [7, 8].

На прилегающей к производственной базе территории произрастают только единичные деревья, плотных насаждений нет. Свободную от строений площадь занимают места для разгрузки, поляны и пустыри. При такой ситуации мы имеем

открытый тип пространственной структуры (ТПС). Класс устойчивости насаждений определить затруднительно, но изучив состояние имеющихся деревьев, можно отнести их к 3 классу устойчивости. К данному классу относятся насаждения с резко ослабленным ростом. Подрост отсутствует, подлесок и живой напочвенный покров вытоптан, почва уплотнена (11-30 % площади участка), многие деревья имеют механические повреждения или следы действия вредителей, болезней [6].

Территория объекта исследования достигла пятой стадии рекреационной дигрессии, поскольку наблюдается изменение среды сильной степени (нарушенность ландшафтов очень высокая, вытопанные участки и тропы составляют более 51 %). Подрост и подлесок отсутствуют. Древостой изрежен, больные и усыхающие деревья составляют 70 % и более. Поэтому требуется восстановление насаждения [5].

В связи с тем, что рассматриваемый объект относится к производственной территории, то он должен иметь 3 класс эстетической оценки [3, 8], но существует несколько факторов, которые позволяют нам отнести его ко 2 классу. К таковым относятся: близость к водоему (объект примыкает одной стороной к озеру Карасун), отсутствие большого количества бытового и промышленного мусора на территории.

Результаты ландшафтно-экологической оценки территории объекта сведены в табл. 1.

Проведен анализ существующей растительности на прилегающей территории объекта и предложены мероприятия, которые улучшат состояние растений (табл. 2). Результаты оценки растительности показывают, что вырубке подлежит клен ясенелистный, так как он имеет неудовлетворительное состояние, и частично удалению подлежит свидина белая. Остальные насаждения находятся в хорошем и удовлетворительном состоянии.

Для снижения уровня дигрессии и повышения качества насаждений необходимо более грамотно спроектировать дорожно-тропиночную сеть, а также провести ряд мероприятий по благоустройству и озеленению [6, 10, 11, 13]. При озеленении территорий промышленных предприятий следует обратить особое внимание на закладку зеленых

насаждений на главных подъездных магистральных дорогах, предзаводской площади, а также на дорогах заводской территории.

Для правильного размещения насаждений, удобства перемещения персонала, лучшего проведения технического обслуживания и выполнения других мероприятий рабочего процесса необходимо грамотно разработать функциональное зонирование территории объекта [7]. Нами выделены следующие функциональные зоны:

1) зона административно-хозяйственных и бытовых объектов, площадь которой составит 130 м^2 , или 3,09 % от всей площади объекта. В нее входит офисное здание – 80 м^2 , место под септик – 50 м^2 ;

2) зона производственных цехов, представленная цехом, примыкающим к офисному зданию. Площадь данной зоны составит 125 м^2 – 2,98 %;

3) зона энергетических объектов площадью 40 м^2 – 0,95 %. В нее входят главная электрощитовая – 30 м^2 , а также система электропитания складов – 10 м^2 ;

4) зона складских объектов – 920 м^2 , или 21,9 %. К ней относится 2 ангара – 560 м^2 , навес для хранения ТМЦ – 360 м^2 ;

5) зона транспорта – $995,5 \text{ м}^2$ (23,7 %). В эту зону можно отнести зону парковки – 80 м^2 , главную дорогу и подъезды к цехам – $915,5 \text{ м}^2$.

Остается территория в $1989,5 \text{ м}^2$, или 47,38 % от общей площади, которая на момент исследования не занята. Под проектирование дорог отводим 50 м^2 , а остальную площадь, т. е. $1939,5 \text{ м}^2$, используем для организации отдыха работающего персонала:

6) зона кратковременного отдыха. Включает спортивную площадку, занимающую площадь 25 % от площади свободной территории, т. е. 485 м^2 ; площадку для активных настольных игр – 10 %, или 194 м^2 ; площадку для тихого отдыха – 20 %, или 388 м^2 ; площадку для увлекательных игр – 45 % от свободной площади, $872,5 \text{ м}^2$.

На данном объекте рельеф ровный, имеются лишь незначительные его повышения и понижения. Работы по изменению рельефа необходимо произвести только со стороны участка, который граничит с озером Карасун. К таким работам можно отнести

выравнивание береговой линии (проход трактором с отвалом). Длина береговой линии на проектируемом объекте составляет 70 м, ширина – 3 м. Можно сделать небольшое углубление берега (длиной 70 м на ширину 2 м и глубину 2 м) при помощи экскаватора вдоль территории участка производственной базы с дальнейшим укреплением береговой линии противоэрозионной сеткой. В основе берегоукрепляющей способности противоэрозионной сетки лежит ее заполнение булыжными камнями (фракции 100 x 100 мм и более).

Значительную часть территории объектов ландшафтной архитектуры занимают плоскостные сооружения – дорожки и площадки. Поэтому их строительству отводится большое место в комплексе работ по благоустройству территорий. Основными требованиями, предъявляемыми к плоскостным сооружениям, являются удобство передвижения пешеходов и обеспечение отвода поверхностных вод [9]. Производственные процессы неразделимо связаны с проведением погрузочно-разгрузочных работ. На территории объекта есть гравийное покрытие с забутовочным основанием 70-120 мм и основным покрытием 20-40 мм. Требуется провести ремонт существующих дорог. Расчет необходимого материала для ремонта определяется исходя из объема повреждений дорожного полотна.

К проектируемым типам плоскостных сооружений (табл. 3) можно отнести дорожки из тротуарной плитки. Ниже представлена табл. 4, где отображается объем запроектированных (реконструированных) элементов.

Объем земляных работ по выборке грунта дна всегда больше в количественном отношении, чем объем работ по монтажу противоэрозионных габионов, примерно в 1,5-3 раза. Рассчитывается исходя из линейных размеров территории, подлежащей выборке, а также предполагаемой глубины выборки. В нашем случае имеем: $70 \text{ м} \times 2 \text{ м} \times 2 \text{ м} = 280 \text{ м}^3$, где 70 м – длина береговой линии; 2 м – ширина выборки грунта; 2 м – глубина выборки грунта. Объем работ по монтажу габионов определяется их линейными объемами и длиной береговой линии: $70 \text{ м} \times 1 \text{ м} \times 2,5 \text{ м} = 175 \text{ м}^3$, где 1 м – ширина габиона; 2,5 м – высота габиона, необходимая при учете просадки грунта. Объем одного

сетчатого габиона вместе с наполнением бутом составляет $0,75 \text{ м}^3$.

Для улучшения экологического состояния территории объекта, эстетической привлекательности, с целью создания зон отдыха, для снижения ветровой нагрузки запроектированы зеленые насаждения в виде рядовых посадок вдоль границ объекта и дорог, а также солитеров и групповых посадок на территории объекта (табл. 5). При выборе растений [1, 2] необходимо учитывать их эколого-биологические свойства. Правильный подбор ассортимента обеспечит долговечность и устойчивость посадок.

Орех грецкий неприхотлив, растет достаточно быстро и часто применяется для озеленения промышленных территорий. Растение очень декоративно, эффективно очищает воздух от паров бензина и ацетилена.

Выбор липы крупнолистной для данного объекта обоснован довольно высокой устойчивостью к агрессивной городской среде – дыму, грязи, пыли и загазованности. Кроме того, липа отличается компактностью густой кроны, относительно нетребовательна к почвенным условиям. Экземпляры ивы белой рекомендуем посадить вдоль берега озера Карасун. Это не только улучшит эстетическую привлекательность участка, но и повысит берегоукрепляющую функцию озера совместно с проектируемыми каменными габионами.

Дуб красный планируем высадить при въезде на территорию базы в виде солитеров, а также вдоль главной дороги (рядовая посадка). Этот вид обладает высокими фитонцидными свойствами, неплохо снижает городской шум, весьма декоративен в осенний период благодаря красной окраске листа.

Клен остролистный рекомендуем высадить вдоль дорог и по границам участка в виде рядовой посадки. Растение хорошо переносит пересадку и городские условия. Исключительная декоративность клена, особенно в осенний период, делает его желательным для озеленения объектов различного назначения. Кизильник блестящий высаживаем в виде живой изгороди. Кустарник отличается особой неприхотливостью, хорошо формируется, пригоден для городских условий. Можжевельник китайский

малотребователен к плодородию и влажности почвы, хорошо развивается в условиях города. Можжевельник казацкий также малотребователен к почве, устойчив к дыму и газам, обладает почвозащитными свойствами. Рекомендуем сочетать эти два вида можжевельника в куртинах. Данные посадки хорошо замаскируют бытовые постройки.

Применение сирени обыкновенной на объекте озеленения обусловлено такими качествами, как неприхотливость, декоративность в период цветения, низкая стоимость посадочного материала. При озеленении промышленных территорий сирень обыкновенную, благодаря густой низко расположенной кроне, хорошо использовать для маскировки неприглядных мест, таких как септики, промышленные колодцы, небольшие подсобные помещения и пр.

Туя западная «Смарагд» зимостойка, нетребовательна к почвам, хорошо поддается обрезке. На объекте запроектирована в виде рядовой посадки, а также в группе в сочетании с другими хвойными растениями и папоротниками. Данный вид был выбран исходя из его устойчивости к воздействию городской среды, относительной неприхотливости и высокой декоративности.

Чубушник венечный «Инносенс» отличается пятнистой листвой и ароматными цветами. Хорошо переносит засуху и загрязнение воздуха. Подходит для одиночной посадки.

Орляк обыкновенный для озеленения участка производственной базы был выбран по нескольким критериям: неприхотливость, способность достаточно быстро заполнять собой пустые пространства благодаря быстрому размножению, высокая декоративность в течение всего периода вегетации (в Краснодаре – с конца марта до середины сентября). Страусник обыкновенный был выбран по тем же причинам, что и орляк обыкновенный. Рекомендуем сочетать эти травянистые растения в групповой посадке для образования красивого ковра.

На территории производственной базы ООО «НПК «Нива» проведено обследование напочвенного покрова. Было выявлено, что напочвенный покров в местах, свободных от дорог и сооружений, представляет собой смесь злаковых трав: пырей ползучий, осот городской, щирца запрокинутая и др. Так как существующие травяни-

стые растения занимают большую площадь – 40 % территории базы, а проектируемый объект по своему назначению является промышленным, то целесообразно и очень дорого проводить работы по устройству газона на всей территории. В связи с этим было принято решение по устройству газона только на прилегающих к офисному зданию участках и со стороны септика (310 м²), а также в зоне кратковременного отдыха – беседки (228 м²) и рядом с главным въездом на территорию (456 м²). Итоговый объем площади проектируемого газона составил 994 м².

Для данного участка рекомендован подсев газона спортивного типа как самого устойчивого к внешним воздействиям. Была выбрана травосмесь DLF-Trifolium «Golfmaster», в состав которой входит овсяница красная волосовидная (20 %), овсяница красная измененная (30 %), мятлик луговой (30 %), райграс пастбищный (15 %), полевица побегоносная (5 %).

Норма высева согласно инструкции – 1,5-2,5 кг на 100 м². Исходя из опыта посева газонной травы на территории города Краснодар, для хорошей всхожести к данному значению желательно прибавить 15-20 % от нормы. Получим норму высева 1,8-3 кг на 100 м². Поскольку посев газона проводим на ровных участках, то примем норму, равную 2 кг/100 м². При расходе газонной травосмеси 20 г/м² для посева на территории площадью 994 м² необходимо 19,88 кг семян.

Перед высевом газонной травосмеси необходимо провести предварительную подготовку, которая заключается в очистке участка от сорняков, старой травы, камней, мусора. Затем надо вскопать почву на глубину 5-10 см, сверху насыпать плодородный грунт, обработать поверхность фрезой, выровнять граблями и укатать тяжелым катком во избежание просадки почвы. Для ликвидации воздушных пор за 2-3 дня до посева рекомендуется почву пролить водой.

Данным проектом предусмотрена установка малых архитектурных форм: беседка (1 шт.), скамьи (5 шт.), урны (10 шт.), которые будут размещены в зоне кратковременного отдыха. Площадь, занимаемая МАФ: беседка – 36 м², скамья для сидения (1 шт.) – 2 м², урна (1 шт.) – 0,16 м². Итого по данному пункту – 47,6 м².

Природопользование

Таблица 1

Ландшафтно-экологическая оценка территории объекта

Тип пространственной структуры	Класс устойчивости насаждений	Стадия рекреационной дигрессии	Класс эстетической оценки, баллы	Класс санитарно-гигиенической оценки, баллы
открытый	3	5	2	2

Таблица 2

Перечетная ведомость древесной и кустарниковой растительности

Вид растения	Возраст, лет	d, см	h, м	Категория состояния	Категория жизнеспособности	Рекомендуемые мероприятия
Клен ясенелистный	5-10	10-15	2-5	3	1	Удаление
Орех грецкий	5-10	10-15	2-5	1	1	Формирование кроны, выборочное удаление деревьев
Абрикос обыкновенный	5-7	5-7	2,5-3	2	2	Формирование кроны
Свидина белая	1-10	1-7	1,5-3	2	1	Удаление поросли, выборочное удаление

Таблица 3

Характеристика плоскостных сооружений

Тип плоскостного сооружения	Размеры, м ²	Тип покрытия
Главная дорога, подъезды к цехам, автостоянка (реконструкция)	915,5	Щебень фракции 20x40 мм
Пешеходные дорожки зоны отдыха (проектирование)	50	Тротуарная плитка (200 x 200 x 40 мм)

Таблица 4

Объем работ по устройству и ремонту дорожных покрытий и изменению рельефа территории

Тип плоскостного сооружения	% повреждения	Размеры	Вид работ	Тип покрытия
Главная дорога, подъезды к цехам, автостоянка	10	91,55	Ямочный ремонт	Щебень фракции 20 x 20 мм
Пешеходные дорожки зоны отдыха	-	50	Проход грейдером, подготовка основания под укладку плиточного покрытия	Плитка прорезиненная (500 x 500 x 40 мм)
Береговая линия	-	210 м ²	Проход трактором с отвалом	Грунт
Работы по углублению дна с последующим устройством противоэрозионных габионов	-	Выборка дна (280 м ³)	Выборка грунта экскаватором с последующим монтажом противоэрозионных габионов	Противоэрозионные каменные габионы

Посадочная ведомость

№ п/п	Ассортимент пород	Площадь компонента озеленения, м ²	Количество растений, шт.			Вид посадок
			деревья	кустарники	травянистые растения	
Деревья						
1	Орех грецкий	50	10	-	-	Солитер
2	Липа крупнолистная	100	20	-	-	Групповая посадка, солитер
3	Ива белая	30	6	-	-	Солитер
4	Дуб красный	80	20	-	-	Рядовая посадка, солитер
5	Клен остролистный	150	30	-	-	Рядовая посадка
Кустарники						
5	Можжевельник китайский	8	-	8	-	Групповая посадка
6	Можжевельник казацкий	10	-	10	-	Групповая посадка
7	Сирень обыкновенная	10	-	10	-	Групповая посадка
8	Туя западная «Смарагд»	45	-	45	-	Рядовая посадка, куртина
9	Чубушник венечный «Инносенс»	10	-	10	-	Солитер
	Кизильник блестящий	140	-	140	-	Живая изгородь
Травянистые растения						
10	Орляк обыкновенный	5,4	-	-	18	Групповая посадка
11	Страусник обыкновенный	2,4	-	-	8	Групповая посадка
12	Газонная травосмесь	994	-	-	-	Газон

Баланс территории (табл. 6) показывает соотношение планировочных элементов и пространственной структуры объекта, а также служит для определения площади дорог и площадок, сооружений, зеленых насаждений как в количественном значении, так и в процентном отношении к общей площади объекта.

Составляется на основании рабочих чертежей и ведомости посадочного материала [3]. Площади, отведенные под насаждения, газон и МАФ, не учитываются при подсчете общей суммы площадей.

Таким образом, результаты баланса территории исследуемого объекта показывают, что озеленение территории после проведения соответствующих мероприятий составит 15,04 %, что соот-

ветствует нормам озеленения промышленных предприятий, которые составляют 15-60 %. Увеличится протяженность дорог, зданий, сооружений и площадок. Также на территории будут размещены малые архитектурные формы.

Осуществление мероприятий по благоустройству и озеленению будет способствовать повышению показателей санитарного состояния, оздоровлению экологической обстановки, усилению эстетической привлекательности с целью улучшения условий работы и отдыха для сотрудников и клиентов предприятия.

Баланс территории объекта проектирования

№ п/п	Наименование элементов	Занимаемая площадь			
		до проектирования		после проектирования	
		м ²	%	м ²	%
	Насаждения:				
	а) деревья:				
1	Одиночные	8	0,19	100	2,4
2	Группы	-		100	2,4
3	Рядовые	-		210	5,0
	б) кустарники:				
4	Одиночные	-		10	0,24
5	Куртины	-		73	1,7
6	Живые изгороди	-		140	3,3
7	Газон	0	0	994	23,67
8	МАФ	0	0	47,6	1,13
9	Дороги	915,5	21,8	965,5	22,99
10	Здания, сооружения, площадки	1295	30,82	3234,5	77,01
11	Свободная территория	1989,5	47,38	0	0
	ИТОГО:	4200	100	4200	100

Выводы

1. Производственные территории представляют собой сложную систему, резко отличающуюся от объектов, не испытывающих промышленного влияния, что выражается в высокой нарушенности ландшафтов, незначительном уровне озеленения, неудовлетворительном состоянии дорог, отсутствии мест отдыха работающих.

2. Предложен предпроектный анализ территории промышленных объектов, результатом которого является его ландшафтно-экологическая оценка, выполненная с учетом специфических свойств объекта.

3. Разработано функциональное зонирование промышленного объекта с выделением зоны для организации отдыха работающего персонала – зоны кратковременного отдыха, включающую спортивную площадку, площадку для активных настольных игр, площадку для тихого отдыха, площадку для увлекательных игр.

4. Запланированы работы по изменению рельефа (выравнивание береговой линии с дальнейшим ее укреплением), которые повысят эстетическую и биологическую ценность объекта.

5. Подобран ассортимент для озеленения промышленных территорий, устойчивый к неблагоприятным условиям и, в то же время, имеющий декоративную ценность.

6. Дополнительный посев газона усилит привлекательность территории, поможет лучше организовать условия для отдыха трудящихся. Итоговый объем площади проектируемого газона составил 994 м².

7. После осуществления мероприятий территория производственной базы ООО «НПК «Нива» (г. Краснодар) будет являться объектом озеленения с соответствующими нормативными показателями, которые снижают негативное влияние промышленных выбросов на окружающую среду.

Библиографический список

1. Аксенов, Е. С. Декоративные растения. В 2 т. Т. 1. Деревья и кустарники / Е. С. Аксенов, Н. А. Аксенова. – Москва : ABF, 1997. – 557 с.
2. Аксенов, Е. С. Декоративные растения. В 2 т. Т. 2. Травянистые растения / Е. С. Аксенов, Н. А. Аксенова. – Москва : ABF, 1997. – 607 с.
3. Боговая, И. О. Ландшафтное искусство / И. О. Боговая, Л. М. Фурсова. – Москва : Агропромиздат, 1988. – 223 с.

4. Камиуллина, Т. В. Проблемы озеленения санитарно-защитных зон промышленных предприятий в свете действующего законодательства / Т. В. Камиуллина, А. Е. Морозов // Молодой ученый. – 2017. – № 23. – С. 22–23.
5. Карташова, Н. П. О нормативах рекреационных нагрузок / Н. П. Карташова // Лес. Наука. Молодежь. ВГЛТА 2003 : сб. матер. по итогам научно-исследовательской работы молодых ученых за 2003 год, посвященный 90-летию со дня рождения проф. П. Б. Раскатова / под ред. акад. РАЕН, проф. Л. Т. Свиридова. – Воронеж : ВГЛТА, 2003. – С. 67–71.
6. Кругляк, В. В. Состояние насаждений в городской среде Воронежа / В. В. Кругляк, Н. П. Карташова // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – Архангельск, 2009. – № 5. – С. 40–43.
7. Теодоронский, В. С. Объекты ландшафтной архитектуры / В. С. Теодоронский, И. О. Боговая. – Москва : МГУЛ, 2003. – 331 с.
8. О качественном и количественном аспектах оценки состояния растений в городских зеленых насаждениях / В. С. Теодоронский, Н. А. Авсиевич, В. А. Фролова, Х. Г. Якубов // Экология большого города. Проблемы содержания зеленых насаждений в условиях Москвы. Вып. 4. – Москва : Прима-Пресс-М, 2000. – С. 29–37.
9. Фатиев, М. М. Строительство городских объектов озеленения : моногр. / М. М. Фатиев. – Москва : Форум, 2012. – 204 с.
10. Galychyn, O. Organic Urbanism: Human-oriented Design for Metropolises / O. Galychyn, K. Ustundag // Procedia Environmental Sciences. – 2017. – P. 396–407.
11. Kamal, N. Greening the Urban Environment Using Geospatial Techniques, A Case Study of Bangkok, Thailand / N. Kamal, M. Imran, N. Kumar Tripath // Procedia Environmental Sciences. – 2017. – P. 141–152.
12. Appropriate National Policy Frameworks for Sustainable Urban Mobility Plans / A. May, S. Boehler-Baedeker, L. Delgado [et al.] // European Transport Research Review. – 2017. – Vol. 9. – Iss. 7. – P. 6–16.
13. Turner, T. Open Space Planning in London / T. Turner // Strategic Planning Advice for London, October, 1988. – London, 1993. – P. 366–386.

References

1. Aksenov E. S., Aksenova N. A. *Dekorativnye rastenija. T. 1: Derev'ja i kustarniki* [Ornamental plants. T. 1: Trees and Shrubs]. Moscow: ABF, 1997, 557 p. (In Russian).
2. Aksenov E. S., Aksenova N. A. *Dekorativnye rastenija. T. 2: Travjanistye rastenija* [Ornamental plants. T. 2: Herb plants]. Moscow: ABF, 1997, 607 p. (In Russian).
3. Bogovaya I. O., Fursova L. M. *Landshaftnoe iskusstvo* [Landscape Design]. Moscow: Agropromizdat, 1988, 223 p. (In Russian).
4. Kamiullina, T. V., Morozov A. E. *Problemy ozelenenija sanitarno-zawitnyh zon promyshlennyh predpriyatij v svete dejstvujuwego zakonodatel'stva* [Problems of gardening of sanitary protection zones of the industrial enterprises in the current legislation]. Molodoj uchenyj, 2017, № 23, pp. 22-23 (In Russian).
5. Kartashova N. P. *O normativah rekreacionnyh nagruzok* [About standards of recreational loads] *Les. Nauka. Molodezh'. VGLTA 2003 : sbornik materialov po itogam nauchno-issledovatel'skoj raboty molodyh uchenyh za 2003 god, posvjawennyj 90-letiju so dnja rozhdenija professora P. B. Raskatova* [Forest. The science. Youth. VGLTA 2003: a collection of materials on the results of the research work of young scientists in 2003, dedicated to the 90th anniversary of the birth of Professor P. B. Raskatov]. Voronezh: VGLTA, 2003, pp. 67-71 (In Russian).
6. Kruglyak V. V., Kartashova N. P. *Sostoyanie nasazhdenij v gorodskoj srede Voronezha* [Condition of plantings in the urban environment of Voronezh] *Izvestiya vy'sshix uchebny'x zavedenij. Lesnoj zhurnal* [Proceedings of higher educational institutions. Forest Journal]. Arkhangelsk, 2009, No. 5, pp. 40-43 (In Russian).

7. Teodoronskij V. S., Bogovaya I. O. *Ob`ekty landshaftnoj arxitektury* [Landscape Architecture Objects]. Moscow: MGUL, 2003, 331 p. (In Russian).
8. Teodoronskij V. S., Avsievich N. A., Frolova V. A., Yakubov X. G. *O kachestvennom i kolichestvennom aspektax ocenki sostoyaniya rastenij v gorodskix zelenyx nasazhdeniyax* [About the qualitative and quantitative aspects of assessing the state of plants in urban green areas] *Ekologiya bol`shogo goroda. Problemy sodержaniya zelenyx nasazhdenij v usloviyax Moskvy* [Ecology of a big city. Problems of maintenance of green spaces in Moscow]. Moscow: Prima-Press-M, 2000, issue 4, pp. 29-37 (In Russian).
9. Fatiev M. M. *Stroitel`stvo gorodskix ob`ektov ozeleneniya* [Construction of urban landscaping facilities] *Monografiya* [Monograph]. Moscow: Forum, 2012, 204 p. (In Russian).
10. Galychyn O., Ustundag K. Organic Urbanism: Human-oriented Design for Metropolises. *Procedia Environmental Sciences*, 2017, pp. 396-407.
11. Kamal N., Muhammad Imran, Nitin Kumar Tripathi. Greening the Urban Environment Using Geospatial Techniques, A Case Study of Bangkok, Thailand. *Procedia Environmental Sciences*, 2017, pp. 141-152.
12. May A., Boehler-Baedeker S., Delgado L. et al. Appropriate National Policy Frameworks for Sustainable Urban Mobility Plans. *European Transport Research Review*, 2017. Vol. 9. Iss. 7, pp. 6-16.
13. Turner T. Open Space Planning in London. Strategic Planning Advice for London, October, 1988. London, 1993, pp. 366-386.

Сведения об авторах

Карташова Нелли Павловна – доцент кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: Kartashova_73@mail.ru.

Хазова Екатерина Петровна – доцент кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат биологических наук, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: hazovaep@gmail.com.

Information about authors

Kartashova Nelly Pavlovna – Associate Professor of Landscape Architecture and Soil Science department, FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», PhD (Agriculture), Voronezh, Russian Federation; e-mail: Kartashova_73@mail.ru.

Khazova Ekaterina Petrovna – Associate Professor of Landscape Architecture and Soil Science department, FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», PhD (Biology), Voronezh, Russian Federation; e-mail: hazovaep@gmail.com.

МЕТОДИКА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛЕСОКУЛЬТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ППП MATHCAD

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент **С.Н. Кружилин**

преподаватель первой категории, доцент **Е.В. Барышникова**

аспирант **М.П. Мишенина**

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова –

филиал ФГБОУ ВО «Донской государственной аграрный университет»

г. Новочеркасск, Российская Федерация

Одним из показателей добротности научных исследований является наличие статистической обработки результатов исследований, полученных в результате закладки пробных площадей в лесокультурном производстве, а первостепенной задачей для исследователя (инженера лесного хозяйства) является доказательство факта достоверности полученных результатов. Большие возможности статистических расчётов для исследователей открываются при помощи пакета прикладных программ MathCAD (ППП MathCAD). Цель работы – детальное описание и представление математико-статистической обработки данных инвентаризации, полученных в результате закладки пробной площади и проведённого подеревного обмера деревьев клёна остролистного (*Acer platanoides* L.) вдоль автомобильной трассы Шахтинского шоссе, трасса 60Н-248. Методология исследования состоит в том, что с использованием ППП MathCAD на конкретных примерах пошагово представлены действия и расчёты для получения основных статистических показателей, был обработан таксационный показатель диаметра на высоте 1,3 м деревьев клёна остролистного (*Acer platanoides* L.). Главные результаты исследования: выборочная средняя диаметра 27,1 см; изменчивость диаметра характеризуется такими показателями, как среднеквадратическое отклонение 9,6 см и коэффициент вариации 35,3 %, которые говорят о значительной изменчивости изучаемого признака, оценка достоверности приводит к выводу о надёжности выборочной средней, среднего квадратического отклонения, коэффициента вариации, асимметрии на 5 %-м уровне значимости. Главные выводы исследования состоят в том, что ППП MathCAD позволяет оперировать большим числом данных, быстро и с достаточной точностью обрабатывать и сравнивать результаты измерений, полученных при подеревной инвентаризации в лесном хозяйстве.

Ключевые слова: математико-статистическая обработка, лесокультурные исследования, статистическая обработка данных, достоверность результатов исследований, пакет прикладных программ MathCAD (ППП MathCAD).

METHODOLOGY FOR STATISTICAL PROCESSING OF THE SYLVICULTURAL RESEARCH RESULTS USING MATHCAD APPLICATION PACKAGE

PhD (Agriculture), Associate Professor **S.N. Kruzhilin**

Lecturer of the first category, associate professor **E.V. Baryshnikova**

Post-graduate student **M.P. Mishenina**

Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A.K. Kortunova – a branch of

Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

Abstract

One of the quality indicators of scientific research is the availability of statistical processing of research results obtained as a result of laying test plots in forestry production. The primary task for a researcher (forestry engineer) is to prove the reliability of the results. Great opportunities for statistical calculations for researchers are opened using the MathCAD application package (MathCAD AP). The purpose of the work is a detailed description and presentation of the mathematical and statistical processing of inventory data obtained as a result of laying the test plot and measuring trees of the Norway maple (*Acer platanoides* L.) along the Shakhtinsky highway, highway 60N-248. The research me-

thodology consists in the fact that, using the MathCAD AP, specific examples provide step-by-step actions and calculations to obtain the main statistical indicators. A taxation indicator of the diameter at a height of 1.3 m of the maple trees (*Acer platanoides* L.) has been processed. The main results of the study are: a sample average diameter is 27.1 cm; the variability of the diameter is characterized by such indicators as a standard deviation of 9.6 cm and a coefficient of variation of 35.3 %. They indicate significant variability of the studied trait. The reliability assessment leads to the conclusion that the reliability of the sample average, standard deviation, coefficient of variation, and asymmetry keeps at 5 % level of significance. The main findings of the study show that the MathCAD AP enables to operate with a large number of data, to process them quickly and with sufficient accuracy, and compare the results of the obtained measurements during complete enumeration in forestry.

Keywords: mathematical and statistical processing, silvicultural research, statistical data processing, reliability of research results, MathCAD application package (MathCAD AP)

Введение

Основные области исследований в соответствии с паспортом специальности 06.03.01 «Лесные культуры, селекция, семеноводство» – это изучение плодоношения, лесоводственно-таксационная оценка чистых и смешанных искусственных насаждений (закладка пробных площадей, на которых определяются основные параметры, например, высота и диаметры деревьев, освещенность под пологом насаждения, текущие приросты), применение удобрений в питомниках и на лесокультурных площадях, а также другие вопросы [3, 13].

Одним из показателей добротности научных исследований является наличие статистической обработки данных (результатов исследований), полученных в результате закладки пробных площадей, а первостепенной задачей для исследователя является доказательство факта достоверности полученных результатов. Зачастую исследователи, проводя эксперимент, видят показатели, которые на первый взгляд предвещают значимые выводы [10, 19]. Например, С.Н. Кружилин при проведении статистической обработки заметил, что высота дуба черешчатого в лесных культурах Нижнего Дона, созданных с применением разных типов смешения, в условиях сухих дубрав разнотравно-злаковой степи является недостоверной, хотя на первый взгляд она заметно больше чем у дуба, произрастающего в сухой степи [10].

В книге «Энциклопедия археологии» (Дебора М. Пирсолл, 2008) описываются способы, позволяющие избежать неправильного толкования статистических данных, включающие в себя использо-

вание надлежащей схемы и исключение предвзятости при проведении исследований [17].

Неправильное использование статистических данных может быть как случайным, так и преднамеренным, Д.Хафф (1954) в своей книге «Как лгать при помощи статистики» излагает ряд соображений по поводу использования и неправильного применения статистических данных. В статье «Статистические методы, используемые в журналах по высшему образованию с 2006 по 2010 годы» (Р. Варн, М. Лазо, Т. Рамос и Н. Риттер, 2012) [18] анализу подлежат статьи из различных журналов, проводится обзор статистических методов, используемых в определённых областях науки, в итоге авторы приходят к выводу, что статистические данные должны быть достоверны, а не выглядеть идеально.

Основными авторами, доступно охарактеризовавшими методики математико-статистической обработки материалов применительно к лесохозяйственным исследованиям, являются: Митропольский А.К., 1971 [12]; Зайцев Г.Н., 1984 [5]; Доспехов Б.А. [3]; Ивонин В.М., Пеньковский Н.Д., 2003 [6], Колмогоров А.Н., 2005 («Избранные труды. В 6 т. Т. 2. Теория вероятностей и математическая статистика»); Барышникова Е.В., 2010 [1]; Танюкевич В.В., 2004, 2011 [14]; Хуснутдинов Р.Ш., 2014 («Сборник задач по теории вероятности и математической статистике. Учебное пособие»), Гмурман В.Е., 2003, 2017 [2]. Например, Б.А. Доспеховым даны основы статистической обработки результатов исследований и техника математической обработки данных наблюдений, однофакторных и многофакторных полевых и вегетационных опытов [3].

В.М. Ивониным и Н.Д. Пеньковским показано вычисление основных параметров статистического ряда [6]. В.Е. Гмурман большое внимание уделил статистическим методам обработки экспериментальных данных [2].

К сожалению, авторы не дают конкретных рекомендаций по программному обеспечению, способному с максимальной точностью обработать результаты лесокультурных исследований, поэтому остаются нераскрытыми вопросы, в какой программе всё-таки рассчитать и сравнить результаты, полученные при подеревной инвентаризации. Нами сделана попытка с помощью пакета прикладных программ MathCAD (далее по тексту – ППП MathCAD) на конкретных примерах пошагово представить действия и расчёты для получения основных статистических показателей применительно к лесокультурным исследованиям, в чём и состоит научная новизна представленной работы.

Материалы и методы исследования

Во многих диссертационных работах в разделе «Методика проведения исследований» встречаются записи: результаты полученных измерений подвергались математической обработке на персональном компьютере с использованием пакетов прикладных программ «Statgraphics», «Biostat», «Microsoft Excel» [11]; математико-статистическая обработка материалов производилась с помощью программ STATGRAPHICS и Excel для среды MS Windows [8]; для оценки достаточности количества наблюдений и достоверности полученных результатов проводилась математическая обработка, рассчитывали: $M \pm m$, коэффициент вариации ($\pm C$, %), точность опыта ($\pm P$, %) [10]. Такие общие характеристики на фоне детализации других специализированных методик говорят о том, что у исследователей не возникает проблем с математико-статистической обработкой материалов, что статистика выполнена «общепринятыми в математике методами». Важным моментом для исследователя является понимание полученных параметров статистических показателей, умение пользоваться ими и анализировать их. Главными недостатками, которые представляются очевидными, при обработке полевых исследований являются: анализ большого объёма обрабатываемой информации, который требует

значительных временных затрат; также при обработке данных с помощью математических методов возрастает вероятность возникновения ошибки, на устранение которой потребуется дополнительное время. Все вышеуказанные трудности имеют место при обработке данных, полученных в результате закладки пробной площади и подеревной инвентаризации, и в этой связи представляется необходимой автоматизация процесса. Отсюда и применение специализированных программ и интернет-сайтов, в которых гораздо проще провести расчёт статистики. Большие возможности статистических расчётов для исследователей открываются при помощи пакета прикладных программ MathCAD (ППП MathCAD). MathCAD – это уникальный математический пакет для работы с уравнениями, числами, текстом и графиками [9]. При этом важно отметить, что все вычисления в ППП MathCAD производятся автоматически, т.е. изменив исходные данные, мы мгновенно получаем вычисленные показатели для введённой выборки. Формулы в ППП MathCAD, в отличие от, например, программы для работы с электронными таблицами Microsoft Excel, выглядят так же, как и в учебнике по статистической обработке, что позволяет вставлять фрагменты формул, графиков и вычислений (расчётов), созданных в ППП MathCAD, в текстовый редактор Microsoft Word.

В данной работе использованы методики: подеревной инвентаризации, пробные площади заложены с учётом ОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесоустроительные. Методы закладки»; ГОСТ 16483.6-80 (СТ СЭВ 1141-78) [3], а также различные статистические методы (аналитических группировок, индексный и структурный анализы) [5].

Целью представленной работы является детальное описание и представление математико-статистической обработки данных, полученных в результате закладки пробной площади и подеревной инвентаризации в г. Новочеркасске, с использованием ППП MathCAD [1, 9], применительно к таксационному показателю – диаметр на высоте 1,3 м ($d_{1,3}$, см).

Для выполнения поставленной цели работы нам необходимо было выполнить следующие задачи с использованием ППП MathCAD:

а) записать данные, полученные в результате полевого обследования деревьев в ППП MathCAD;

б) провести первичную обработку данных наблюдения (диаметра) и построить статистическое распределение выборки с помощью встроенных функций ППП MathCAD;

в) построить полигон и гистограмму теоретической кривой нормального распределения диаметра клёна остролистного (*Acer platanoides* L.) на высоте 1,3 м. Выдвинуть гипотезу о законе распределения исследуемой случайной величины по виду гистограммы (или полигона);

г) вычислить основные статистические показатели, такие как выборочная средняя, выборочная дисперсия, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации, асимметрия и эксцесс с помощью ППП MathCAD;

д) найти ошибки полученных показателей и относительную ошибку выборочной средней. Пользуясь критерием Стьюдента, определить достоверность статистических показателей для 5%-го уровня значимости;

е) при уровне значимости $\alpha = 0,05$ проверить по критерию Пирсона гипотезу о нормальном распределении генеральной совокупности;

ж) вычислить доверительные интервалы для генерального среднего, для коэффициента вариации и среднего квадратического отклонения в генеральной совокупности;

з) провести анализ результатов полученных данных с использованием ППП MathCAD математико-статистической обработки результатов лесокультурных исследований.

В соответствии с методикой исследования [3] полевой обмер деревьев был проведён 9 и 10 октября 2017 года. Объектом исследований являлись деревья тополя пирамидального (*Populus pyramidalis* L.) [16] и клёна остролистного (*Acer platanoides* L.) [16], произрастающие по обеим сторонам Шахтинского шоссе, трасса 60Н-248. Исследуемая территория ограничена северным выездом из г. Новочеркасск и южным выездом п. Персиановский Октябрьского района Ростовской области, протяжённость участка составляет 1,54 км.

Рядовая посадка тополя с примесью деревьев клёна располагается в западной части от автомагистрали, а посадка клёна – на противоположной стороне от автомагистрали, в восточной части (рис. 1).

На рис. 2 показаны тополь пирамидальный и клён остролистный на объекте исследований, произрастающие деревья выполняют функцию придорожных насаждений. Насаждения, которые формируют придорожную полосу, имеют возраст 60-65 лет.

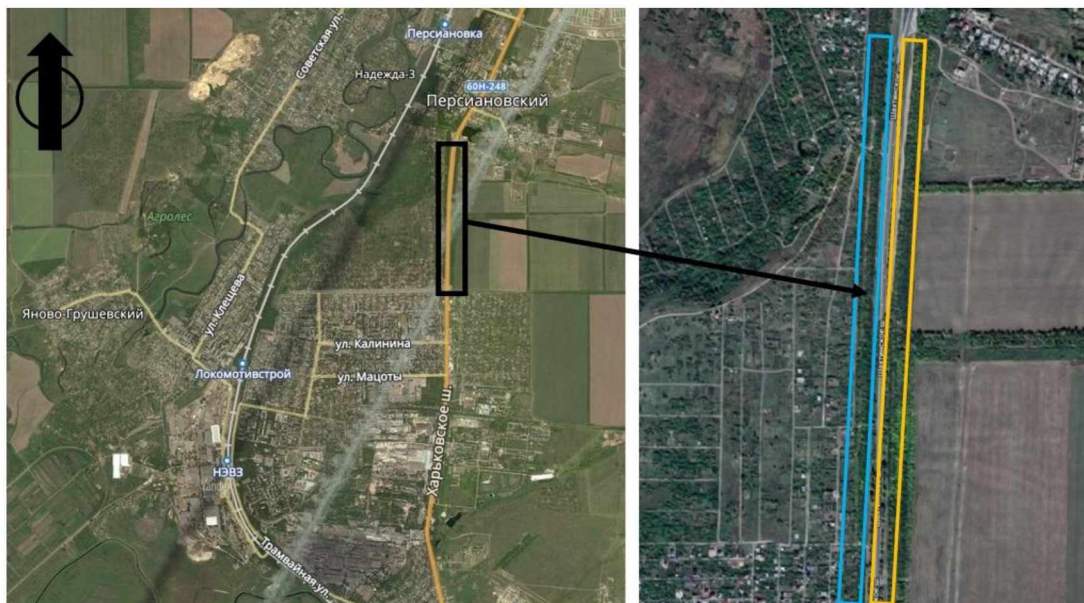
На пробной площади при подеревной инвентаризации были проведены измерения высоты деревьев (h , м), диаметра на высоте 1,3 м ($d_{1,3}$, см); присвоение категории состояния каждому дереву. Полученные данные записывали в инвентаризационную ведомость [3].

Все этапы математико-статистической обработки результатов, полученных при инвентаризации, расчёт основных статистических показателей и их оценка проведены с использованием ППП MathCAD [1, 3] применительно к таксационному показателю (диаметр на высоте 1,3 м) деревьев клёна остролистного.

Необходимые для расчётов в ППП MathCAD данные отражены в табл. 1.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализируя табл. 1, видим, что выборочная совокупность является большой выборкой, так как содержит результаты 100 наблюдений (измерений), среди значений также встречаются повторяющиеся варианты. Полученные экспериментальные данные необходимо обработать интервальным методом.



- придорожная рядовая посадка тополя пирамидального;
- придорожная рядовая посадка клёна остролистного

Рис. 1. Ситуационная схема месторасположения объекта исследований [6]



А) тополь пирамидальный
 Б) клён остролистный
 Рис. 2. Исследуемые рядовые посадки насаждений вдоль Шахтинского шоссе

Таблица 1

Данные измерения диаметра клёна остролистного (*Acer platanoides* L.) на высоте 1,3 м ($d_{1,3}$, см)

51,8	39,0	30,4	43,9	27,1	22,9	23,9	26,8	17,2	11,1
22,8	22,3	34,4	16,2	43,0	19,1	22,6	21,7	26,1	16,6
39,5	29,6	39,5	32,8	30,9	43,0	17,8	22,0	13,1	20,4
36,9	19,4	45,5	32,5	32,5	15,9	17,8	20,4	8,9	22,6
41,2	25,8	37,3	43,6	22,0	14,6	21,0	22,0	15,6	21,0
39,2	26,4	47,8	23,2	33,8	13,7	42,4	22,3	31,1	10,2
28,0	35,7	29,6	35,7	34,2	24,5	44,9	15,3	12,1	22,9
21,3	34,1	24,2	41,7	22,3	30,3	32,5	17,2	36,3	26,4
21,3	32,5	28,7	32,5	27,1	34,7	20,4	32,5	21,0	18,8
43,6	23,6	23,9	16,9	27,4	22,3	23,2	22,5	15,0	13,1

а) Все данные по диаметру надо разбить на k интервалов одинаковой длины, это необходимо для выполнения сводки данных наблюдения за измерением деревьев по диаметру. По приближенной формуле Стерджесса определяем число интервалов

$$k \approx 1 + 3.322 \cdot \lg n, \quad (1)$$

где n – объём выборки. Число интервалов округляем до целого числа.

$$k \approx 1 + 3.322 \cdot \lg 100 \approx 8$$

Длина интервала

$$\Delta = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{k}, \quad (2)$$

где x_{\max} – наибольший элемент выборки;

x_{\min} – наименьший элемент выборки.

Вычислим длину интервала

$$x_{\max} = 51,8, \quad x_{\min} = 8,9 \text{ (см).}$$

$$\Delta = \frac{51,8 - 8,9}{8} = 4,89 \approx 5,4 \text{ (см)}$$

Границы интервалов можно рассчитать по следующей формуле:

$$x_{i+1} = x_i + \Delta, \quad (i = 0, 1, 2, \dots, k-1), \quad x_0 = x_{\min}. \quad (3)$$

б) Сводку данных наблюдений выполняем с помощью ППП MathCAD. Интервальный ряд распределения частот, полученный по сводке данных наблюдения, представлен в виде табл. 2. Ряд распределения (статистический ряд распределения частот), содержащий значения вариант, представляющих собой величины середин каждого интервала, и соответствующих им частот представлен в табл. 3 и в табл. 4 – ряд распределения относительных частот.

в) Для построения гистограммы относительных частот необходимо знать длины интервалов $\Delta x_i = \Delta$ (основания прямоугольников) и высоты $h_i = \frac{P_i^*}{\Delta}$ (плотность относительной частоты), ряд распределения плотности относительной частоты представлен в табл. 5. На рис. 3 представлена гистограмма относительных частот.

Таблица 2

Интервальный ряд распределения частот

Интервалы	8,9–14,3	14,3–19,7	19,7–25,1	25,1–30,5	30,5–35,9	35,9–41,3	41,3–46,7	46,7–52,1
Частота	7	15	29	14	16	8	9	2

Таблица 3

Статистический ряд распределения частот

Значение \tilde{x}_i	11.6	17	22.4	27.8	33.2	38.6	44	49.4
Частота n_i	7	15	29	14	16	8	9	2

Таблица 4

Ряд распределения относительных частот

Значение \tilde{x}_i	11.6	17	22.4	27.8	33.2	38.6	44	49.4
Относительная частота $P_i^* = \frac{n_i}{n}$	0.07	0.15	0.29	0.14	0.16	0.08	0.09	0.02

Таблица 5

Ряд распределения плотности относительной частоты

Значение \tilde{x}_i	11.6	17	22.4	27.8	33.2	38.6	44	49.4
Плотность $h_i = \frac{P_i^*}{\Delta}$	0.013	0.028	0.054	0.026	0.03	0.015	0.017	0.0037

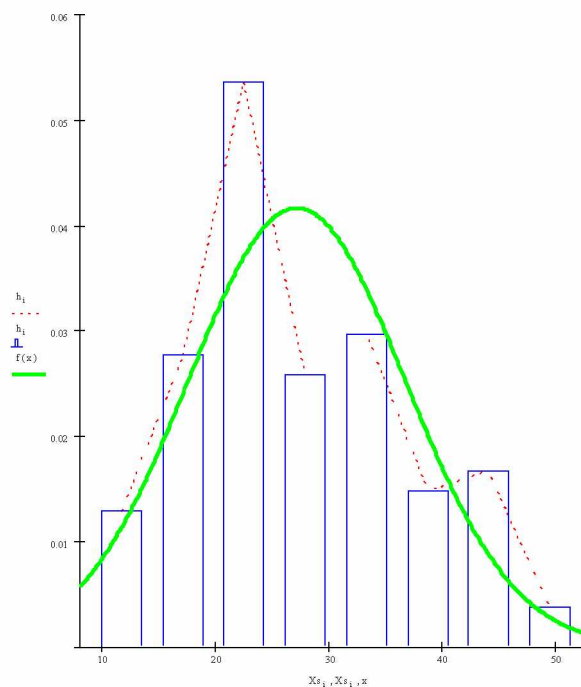


Рис. 3. Полигон и гистограмма относительных частот. Теоретическая кривая нормального распределения диаметров клёна остролистного (*Acer platanoides* L.) на высоте 1,3 м

Соединяя середины верхних сторон прямоугольников отрезками прямых линий, получаем полигон относительных частот (ломаная линия). По виду гистограммы (полигона) рис. 3 выдвигаем гипотезу о нормальном распределении признака X – измерение диаметров клёна остролистного (*Acer platanoides* L.) на высоте 1,3 м ($d_{1,3}$, см).

г) Основные статистические показатели вычислим с помощью ППП MathCAD.

а) выборочная средняя:

$$\bar{X}_b = \frac{\sum_{i=1}^k X_{s_i} \cdot N_i}{n} \quad \bar{X}_b = 27.098$$

б) выборочная дисперсия:

$$D_b = \frac{\sum_{i=1}^k (X_{s_i} - \bar{X}_b)^2 \cdot N_i}{n - 1} \quad D_b = 91.695$$

в) среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma = \sqrt{D_b} \quad \sigma = 9.576$$

г) коэффициент вариации в %:

$$V = \left(\frac{\sigma}{\bar{X}_b} \right) \cdot 100 \quad V = 35.337$$

д) асимметрия:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^k (X_{s_i} - \bar{X}_b)^3 \cdot N_i}{n \cdot \sigma^3} \quad A = 0.421$$

е) эксцесс:

$$E = \left[\frac{\sum_{i=1}^k (X_{s_i} - \bar{X}_b)^4 \cdot N_i}{n \cdot \sigma^4} \right] - 3 \quad E = -0.662$$

Так как $V = 35,3\% > 20\%$ следовательно, изменчивость данного признака (диаметра клёна) является значительной. Так как $A > 0$, то асимметрия

левосторонняя, потому что вершина полигона сдвинута влево относительно вершины кривой нормального распределения (пунктирная линия на рис. 3). Эксцесс $E < 0$, это говорит о том, что линия распределения вариант данного ряда проходит ниже кривой нормального распределения.

д) Далее вычислим ошибки среднего выборочного значения, среднего квадратичного отклонения, коэффициентов вариации (%), асимметрии и эксцесса:

$$m\sigma = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad m\sigma = 0.958$$

$$m\sigma = 0.71 \cdot m\sigma \quad m\sigma = 0.68$$

$$mv = \left(\frac{v}{\sqrt{n}} \right) \cdot \sqrt{0.5 + \left(\frac{v}{100} \right)^2} \quad mv = 2.793$$

$$ma = \sqrt{\frac{6}{n}} \quad ma = 0.245$$

$$me = 2 \cdot ma \quad me = 0.49$$

Путём вычисления отношения величины рассматриваемого показателя к его ошибке рассчитывается оценка достоверности показателей:

$$t = \frac{X_b}{m\sigma} \quad t = 28.299$$

$$t = \frac{\sigma}{m\sigma} \quad t = 14.085$$

$$t = \frac{v}{mv} \quad t = 12.65$$

$$t = \frac{A}{ma} \quad t = 1.718$$

$$t = \frac{E}{me} \quad t = -1.352$$

Полученные показатели достоверности сравниваем со стандартной величиной критерия Стьюдента $t(k, \alpha)$, при числе степеней свободы $k = n - 1 = 100 - 1 = 99 (n = 100)$ и уровне значимости $\alpha = 0,05$, $t(99; 0,05) = 1,66$. Если значения показателей достоверности для выборочной средней, среднего квадратичного отклонения, коэффициента вариации и асимметрии больше, чем $t(99; 0,05) = 1,66$, то перечисленные статистические показатели достоверны на 5 %-м уровне зна-

чимости. Если значение показателя достоверности для эксцесса меньше, чем $t(99; 0,05) = 1,66$, следовательно, эксцесс недостоверен на 5 %-м уровне значимости, что видно и на рис. 3.

е) По критерию Пирсона (при заданном уровне значимости $\alpha = 0,05$) проверим гипотезу о нормальном распределении генеральной совокупности. Для этого необходимо найти теоретические частоты n'_i с помощью формулы плотности нормального распределения

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

- ошибка средней выборочно
- ошибка среднего квадратического отклонения
где \bar{x}_e – выборочное среднее, σ – среднее

квадратическое отклонение.

- ошибка коэффициента вариации в %

$$n'_i = n \cdot \Delta \cdot f(x) \quad (5)$$

- ошибка асимметрии
Затем с помощью критерия Пирсона сравним эмпирические (n_i) и теоретические (n'_i) частоты:

- ошибка эксцесса

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(N_i - M_i)^2}{M_i} \quad \chi^2 = 12.862$$

По таблице критических точек распределения χ^2 с заданным уровнем значимости $\alpha = 0,05$ и числом степеней свободы $k = s - 3 = 8 - 3 = 5$ находим критическую точку правосторонней критической области $\chi^2_{кр}(0,05; 5) = 11,07$. Так как $\chi^2_{факт} > \chi^2_{кр}$, то гипотезу о нормальном распределении генеральной совокупности отвергаем.

Аналогично с помощью данной программы можно провести статистическую обработку и других данных с пробной площади из инвентаризационной ведомости (высоты деревьев (h , м), диаметра на высоте 1,3 м ($d_{1,3}$, см); категории состояния) и сравнить, например, коэффициенты вариации, характеризующие изменчивость диаметров и высоты клёна остролистного и тополя пирамидального.

Проведённые исследования (расчёты) с использованием ППП MathCAD позволяют вывести следующие результаты, дать практические рекомендации и выводы.

Результаты анализа данной выборки диаметров клёна остролистного (*Acer platanoides* L.) на высоте 1,3 м:

$$\overline{X}_e \pm m_{\overline{X}_e} = 27,1 \pm 0,96$$

$$\overline{\sigma} \pm m_{\overline{\sigma}} = 9,6 \pm 0,68$$

$$V \pm m_V = 35,3 \pm 2,8\%$$

$$A \pm m_A = 0,42 \pm 0,25$$

$$E \pm m_E = -0,66 \pm 0,49$$

– выборочная средняя измерений деревьев по диаметру составляет 27,1 см;

– изменчивость диаметра клёна остролистного характеризуется средним квадратическим отклонением, которое для выборочной совокупности составляет $\overline{\sigma} = 9,6$ см, коэффициент вариации равен 35,3 %, что говорит о значительной изменчивости деревьев по диаметру и подтверждается опытными данными. Проанализировав интервальный ряд распределения выборки, видим, что для улучшения полученных результатов можно отбросить нехарактерные данные, т.е. последний интервал (табл. 2) объединить с предпоследними, что позволит уменьшить среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации. Диаметр у деревьев клёна, посаженных в один вегетационный период, сильно варьируется, возможно, это связано с климатическими условиями, приживаемостью деревьев и другими факторами, которые влияют на рост и развитие насаждений;

– оценка достоверности основных статистических показателей приводит к выводу о надёжности выборочной средней, среднего квадратического отклонения, коэффициента вариации и асим-

метрии на 5 %-м уровне значимости. В то же время такой показатель, как эксцесс, характеризующий крутость эмпирической кривой, недостоверен, что позволяет считать его практически отсутствующим;

– на основании проверки критерия согласия Пирсона мы приходим к выводу о том, что измерения деревьев по диаметру нельзя считать распределёнными по нормальному закону. Это можно объяснить недостаточным объёмом выборки и наличием нехарактерных показателей.

Главные выводы проделанной работы с использованием ППП MathCAD состоят в том, что были показаны последовательные и подробные этапы математической обработки результатов лесокультурных исследований, расчёт основных статистических показателей (выборочная средняя измерений деревьев по диаметру, выборочная дисперсия, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации и асимметрии на 5 %-м уровне значимости) и их оценка (оценка достоверности основных статистических показателей). ППП MathCAD позволяет оперировать большим числом данных, быстро и с достаточной точностью обрабатывать и сравнивать результаты измерений, полученных при подеревной инвентаризации в лесном хозяйстве, поэтому данную программу можно внедрять в производство, в работе на конкретных примерах пошагово представили действия и расчёты для получения основных статистических показателей применительно к лесокультурным исследованиям.

Библиографический список

1. Барышникова, Е. В. Математика. Математическая статистика : метод. указания к выполнению расчётно-графической работы для студентов всех специальностей / Е. В. Барышникова. – Новочеркасск, 2010. – 61 с.
2. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – 9-е изд., стер. – Москва : Высш. шк., 2003. – 479 с.
3. ГОСТ 16483.6-80 (СТ СЭВ 1141-78). Древесина. Метод отбора модельных деревьев и кряжей для определения физико-механических свойств древесины насаждений : издание официальное : дата введения 1981.01.01. – Москва : Стандартинформ, 2005. – 6 с.
4. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – Москва : Агропромиздат, 1985. – 351 с.

5. Зайцев, Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике / Г. Н. Зайцев. – Москва : Наука, 1984. – 424 с.
6. Ивонин, В. М. Лесомелиорация ландшафтов. Научные исследования / В. М. Ивонин, Н. Д. Пеньковский. – Ростов-на-Дону, 2003. – 152 с.
7. Карта г. Новочеркаска (Шахтинское шоссе). – URL: <https://www.google.com/maps/@47.5039335,40.1025466,1514m/data=!3m1!1e3?hl=ru-RU> (дата обращения: 05.09.2019).
8. Кох, Е. В. Вертикальная структура фитомассы в сосняках искусственного происхождения : специальность 06.03.02 «Лесоведение, лесоводство, лесоустройство и лесная таксация» : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Кох Елена Викторовна. – Екатеринбург, 2013. – 24 с.
9. Кочегурова, Е. А. Основы работы и программирования в системе MathCAD : учеб. пособие / Е. А. Кочегурова. – Томск, 2012. – 25 с.
10. Кружилин, С. Н. Рост дуба черешчатого в лесных культурах, созданных с применением разных типов смешения в условиях Нижнего Дона : специальность 06.03.01 «Лесные культуры, селекция, семеноводство» : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Кружилин Сергей Николаевич. – Брянск, 2008. – 25 с.
11. Медведева, Е. Ю. Биолого-экологические особенности роста и размножения гибридных тополей в городе Екатеринбурге : специальность 06.03.03 «Агрлесомелиорация и защитное лесоразведение, озеленение населенных пунктов, лесные пожары и борьба с ними» : дис. ... канд. с.-х. наук: защищена 07.10.2015 / Медведева Елена Юрьевна. – Екатеринбург, 2015. – 210 с. – Библиогр.: с. 166-187.
12. Митропольский, А. К. Техника статистических вычислений / А. К. Митропольский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Наука, 1971. – 576 с. – (Физико-математическая библиотека инженера)
13. Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации № 1027 от 23 октября 2017 года (ред. от 23.03.2018) «Об утверждении номенклатуры специальностей, по которым присуждаются ученые степени» // Информационно-правовой портал ГАРАНТ.РУ. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71714408/>.
14. Танюкевич, В. В. Эколого-мелиоративное состояние осокорников в условиях загрязнения Доно-Аксайской поймы : специальность 03.00.16 «Экология» : дис. ... канд. с.-х. наук: защищена 10.12.2004 / Танюкевич Вадим Викторович. – Новочеркасск, 2004. – 225 с. – Библиогр.: с. 182-201.
15. Knibbeler, V. Higher-Dimensional Automorphic Lie Algebras Lombardo / V. Knibbeler, S. Lombardo, Jan A. Sanders // The Journal of the Society for the Foundations of Computational Mathematics. – 2017. – Vol. 17. – No 4. – P. 987–1035. DOI 10.1007/s10208-016-9312-1.
16. McNeill, J. Major changes to the Code of Nomenclature – Melbourne, July 2011 / J. McNeill, N. J. Turland // Taxon. – 2011. – Vol. 60. – No. 4 – P. 1495-1497.
17. Pearsall, D. M. Encyclopedia of Archaeology / D. M. Pearsall. – San Diego, Calif. : Elsevier Academic Press, 2008. – 2382 p.
18. Statistical Methods Used in Gifted Education Journals, 2006-2010 / R. Warne, M. Lazo, T. Ramos, N. Ritter // Gifted Child Quarterly. – 2012. – Vol. 56. – No 3. – P. 134-149. doi: 10.1177/0016986212444122.
19. White, C. Unkind cuts at statisticians / C. White // The American Statistician. – 1964. – Vol. 18. – No. 5. – P. 15–17.

References

1. Baryshnikova E. V. *Matematika. Matematicheskaya statistika* [Mathematics. Mathematical statistics]. Novocherkassk: Novocherkasskaya gos. melior. akad., 2010, 61 p. (in Russian).
2. Gmurman V. E. *Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika: ucheb. Posobie dlya vuzov* [Probability theory and mathematical statistics: studies textbook for universities]. Moscow, 2003. 479 p. (in Russian).

3. GOST 16483.6-80 (ST SEV 1141-78). *Drevesina. Metod otbora model'nyh derev'ev I kryazhej dlya opredeleniya fiziko-mekhanicheskikh svojstv drevesiny nasazhdenij* [State Standard 16483.6-80. Wood. Method of selection of model trees and logs for determination of physical and mechanical properties of wood plantations]. – Moscow, Standartinform Publ., 2005. 6 p.
4. Dospekhov B. A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij)* [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow, 1985. 351 p. (in Russian).
5. Zaytsev G. N. *Matematicheskaya statistika v eksperimental'noy botanike* [Mathematical statistics in experimental botany]. Moscow, 1984. 424 p. (in Russian).
6. Ivonin V. M., Pen'kovskij N. D. *Lesomelioratsiya landshaftov. Nauchnye issledovaniya* [Forest reclamation of landscapes. Scientific research]. Rostov-na-Donu, SKNC VSHPubl., 2003. 150 p. (in Russian).
7. Karta g. Novoчеркасска (Shakhtinskoe shosse). URL: <https://www.google.com/maps/@47.5039335,40.1025466,1514m/data=!3m1!1e3?hl=ru-RU> (accessed 22 May 2019).
8. Kokh E. V. *Vertikal'naya struktura fitomassy v sosnyakakh iskusstvennogo proiskhozhdeniya. Avtoreferat* kand. s.-kh. nauk [Vertical structure of phytomass in pine forests of artificial origin. Cand. of Agri. Sci. Abstract]. Ekaterinburg, 2013. 24 p. (in Russian).
9. Kochegurova E. A. *Osnovy raboty I programmirovaniya v sisteme Mathcad* [Basics of work and programming in the Mathcad system]. Tomsk, 2012. 25 p. (in Russian).
10. Kruzhilin S. N. *Rost duba chereshchatogo v lesnykh kul'turakh, sozdannykh s primeneniem raznykh tipov smesheniya v usloviyakh Nizhnego Dona* Avtoreferat kand. s.-kh. nauk [Growth of pedunculate oak in forest cultures, created using different types of mixing in the conditions of the Lower Don. Cand. of Agri. Sci. Abstract]. Bryansk, 2008, 25 p. (in Russian).
11. Medvedeva E. Yu. *Biologo-ekologicheskie osobennosti rosta I razmnozheniya gibridnykh topoley v gorode Ekaterinburge*. Diss. kand. s.-kh. nauk [Biological and ecological features of growth and reproduction of hybrid poplars in Yekaterinburg. Cand. of Agri. Sci. diss]. Ekaterinburg, 2015. 210 p. (in Russian).
12. Mitropol'skiy A. K. *Tekhnika statisticheskikh vychisleniy* [Statistical computing technique]. Moscow, Nauka Publ., 1971. 576 p. (in Russian).
13. *Prikaz Ministerstva obrazovaniya I nauki Rossiyskoy Federatsii № 1027 ot 23 oktyabrya 2017 goda (red. ot 23.03.2018) Ob utverzhdenii nomenklatury spetsial'nostey, po kotorym prisuzhdayutsya uchenye stepeni* [Order of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation No. 1027 of October 23, 2017 (as amended on March 23, 2018) «On approval of the nomenclature of specialties for which scientific degrees are awarded»] URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71714408/> (accessed 22 May 2019).
14. Tanyukevich V. V. *Ekologo-meliorativnoe sostoyanie osokornikov v usloviyakh zagryazneniya Dono-Aksajsko jpojmy*. Diss. kand. s.-kh. nauk [Ecological-reclamation state of Sokolnikov in pollution Dono-Aksay floodplain. Cand. of Agri. Sci. diss]. Novoчеркасска, 2004. 225 p. (in Russian).
15. Knibbeler V., Lombardo S., Sanders Jan A. Higher-Dimensional Automorphic Lie Algebras. The Journal of the Society for the Foundations of Computational Mathematics, 2017, Vol. 17, no. 4, pp. 987–1035. DOI 10.1007/s10208-016-9312-1.
16. McNeill J., Turland N. J. Major changes to the Code of Nomenclature – Melbourne, July 2011. *Taxon*. 2011, Vol. 60, no. 4, pp. 1495–1497.
17. Pearsall D. M. *Encyclopedia of Archaeology* / San Diego, Calif. : Elsevier Academic Press, 2008. 2382 p.
18. Warne R., Lazo M., Ramos T., Ritter N. Statistical Methods Used in Gifted Education Journals, 2006-2010. *Gifted Child Quarterly*. 2012, Vol. 56, no 3. pp. 134–149. doi: 10.1177/0016986212444122.
19. White, C. Unkind cuts at statisticians. *The American Statistician*. 1964, Vol. 18, no. 5. pp. 15–17.

Сведения об авторах

Кружилин Сергей Николаевич – декан лесохозяйственного факультета, доцент кафедры лесных культур и лесопаркового хозяйства Новочеркасского инженерно-мелиоративного института имени А.К. Кортунова – филиала ФГБОУ ВО «Донской государственной аграрный университет», кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, г. Новочеркасск, Российская Федерация; e-mail: ser8915@yandex.ru.

Барышникова Елена Вячеславовна – преподаватель первой категории и доцент кафедры водоснабжения и использования водных ресурсов Новочеркасского инженерно-мелиоративного института имени А.К. Кортунова – филиала ФГБОУ ВО «Донской государственной аграрный университет», доцент, г. Новочеркасск, Российская Федерация; e-mail: barsoft@mail.ru.

Мишенина Марина Петровна – аспирант Новочеркасского инженерно-мелиоративного института имени А.К. Кортунова – филиала ФГБОУ ВО «Донской государственной аграрный университет»; ведущий специалист отдела планировки и застройки Управления архитектуры и градостроительства администрации города Новочеркаска, г. Новочеркасск, Российская Федерация; e-mail: mishenina.marina93@mail.ru.

Information about authors

Kruzhilin Sergey Nikolaevich – Dean of the Faculty of Forestry, Associate Professor Department of Forest Cultures and Forestry Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A. K. Kortunov – a branch of FSBEI HE «The Don State Agrarian University», PhD (Agriculture), Associate Professor, Novocherkassk, Russian Federation, e-mail: ser8915@yandex.ru.

Baryshnikova Elena Vyacheslavovna – Teacher of the Highest Category, Associate Professor Department of Water Supply and Uses of Water Resources Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A.K. Kortunov – a branch of FSBEI HE «The Don State Agrarian University», Associate Professor, Novocherkassk, Russian Federation, e-mail: barsoft@mail.ru.

Mishenina Marina Petrovna – postgraduate student, Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A.K. Kortunov – a branch of FSBEI HE «The Don State Agrarian University», leading specialist of the planning and building Department of the Department of architecture and urban planning of the Novocherkassk city administration, Novocherkassk, Russian Federation, e-mail: mishenina.marina93@mail.ru.

ПОДХОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ И ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНОЙ ЛЕСОСЕКИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

доктор биологических наук, профессор **С.М. Матвеев**

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент **А.Н. Водолажский**

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент **А.В. Мироненко**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Российская Федерация

Проблема подходов к определению расчетной лесосеки в Российской Федерации на основе современных методов моделирования и прогнозирования долгосрочной динамики лесного фонда с учетом соблюдения принципа неистощительного и непрерывного использования лесов, является актуальной и в настоящее время. Не менее значимой проблемой является низкое фактическое выполнение плановой расчетной лесосеки (объемов изъятия древесины) в большинстве субъектов Российской Федерации. Целью данной статьи является анонсирование ряда изменений сущности подхода к определению расчетной лесосеки по лесничествам (лесопаркам) и допустимого объема изъятия древесины по лесным участкам, в том числе при интенсивном использовании и воспроизводстве лесов. По мнению авторов статьи, в эксплуатационный фонд не должны входить леса, которые в силу различных причин не могут быть использованы для заготовки древесины. Включение в расчёт заведомо физически или экономически недоступных участков обуславливает невыполнение плановых объёмов изъятия древесины, в результате чего традиционные методы исчисления лесосек являются неэффективными. Разработанная авторами и апробированная на фактических данных ряда лесничеств Российской Федерации имитационная прогнозная модель и программное обеспечение позволяют при различных сценариях прогнозировать на долгосрочную перспективу динамику лесного фонда, выбирать оптимальный вариант расчетной лесосеки с учетом возможных изменений в течение ревизионного периода, устанавливать продолжительность расчетного периода и проводить сравнительный анализ как вариантов расчетных лесосек, так и фактического объема изымаемой древесины.

Ключевые слова: расчетная лесосека, подходы к определению, допустимые объемы изъятия древесины, интенсивное использование лесов, имитационная модель

APPROACHES AND SUGGESTIONS FOR THE DEFINITION AND IMPLEMENTATION OF THE CALCULATED FELLING RATE IN THE RUSSIAN FEDERATION

DSc (Biology), Professor **S.M. Matveev**

PhD (Agriculture), Associate Professor **A.N. Vodolazhsky**

PhD (Agriculture), Associate Professor **A.V. Mironenko**

FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov",
Voronezh, Russian Federation

Abstract

The problem of approaches to the definition of the calculated cutting area in the Russian Federation on the basis of modern methods of modeling and forecasting the long-term dynamics of the forest fund, taking into account the principle of sustainable and uninterrupted use of forests, is relevant today. An equally significant problem is the low actual performance of the planned calculated felling rate (volume of removed timber) in the most constituent entities of the Russian Federation. The purpose of this article is to announce a number of changes in the essence of the approach to the definition of the calculated cutting area in forest districts (forest parks) and the allowable amount of timber removal in the forest areas, including intensive use and reproduction of forests. According to the authors of the article, the base

for the calculated cutting area should not include forests, which (for various reasons) cannot be used for harvesting wood. Unproductive losses of forests included in the base for the calculated cutting area (from fires, pests, diseases, windfalls, decay and drying of forest walls, etc.) should be considered, as the loss of available resources along with timber harvesting. As a result, traditional methods of calculating cutting areas are ineffective. The universal model and software developed by the authors and tested on the actual data of a number of forest districts in the Russian Federation enables, under various scenarios, to predict the dynamics of the forest fund for a long-term perspective, to choose the best option for the estimated cutting area taking into account possible changes during the accounting period, to establish the duration of the calculation period and conduct a comparative analysis both of options for calculated cutting areas, and of the actual volume of the removed wood.

Keywords: calculated cutting area, approaches to determination, volumes of removed timber, intensive use of forests, simulation model

Введение

Существующий в настоящее время подход к определению расчетной лесосеки и допустимого объема изъятия древесины по лесным участкам не может считаться эффективным, так как фактическое использование лесов РФ показывает несостоятельность данного механизма: расчетная лесосека вырубается в среднем за 2012-2016 гг. (по объему заготовленной древесины) менее чем на 30 %. Даже на арендованных лесных участках расчетная лесосека осваивается менее чем на 65 %. Необходимо проанализировать причины сложившейся ситуации и предпринять необходимые меры по совершенствованию данного механизма.

Исследованиям в области расчетной лесосеки в нашей стране посвящен целый ряд публикаций различных авторов [3-9, 12-14, 23-26]. Есть интерес к этой теме и за рубежом [27-31]. Нами уже были кратко изложены основные тезисы о необходимости изменения подходов к определению объемов допустимого ежегодного изъятия древесины [16]. В этой статье приводятся подробные результаты исследований, для обоснования которых использовался метод имитационного моделирования.

Материал и методы

Расчетная лесосека устанавливается на основании Приказа Рослесхоза от 27.05.2011 № 191 «Об утверждении Порядка исчисления расчетной лесосеки». Согласно этому документу, расчетная лесосека определяет допустимый ежегодный объем изъятия древесины в эксплуатационных и защитных лесах, обеспечивающий многоцелевое, рациональное, непрерывное, неистощительное использование лесов, исходя из установленных возрастов

рубок, сохранение биологического разнообразия, водоохраных, защитных и иных полезных свойств лесов. Исчисление и установление расчетной лесосеки осуществляется при разработке и утверждении лесохозяйственных регламентов лесничеств и лесопарков. Расчетная лесосека исчисляется по каждому лесничеству и лесопарку отдельно для эксплуатационных и защитных лесов по хозяйствам (хвойному, твердолиственному и мягколиственному) с распределением общего объема допустимого ежегодного изъятия древесины для каждого хозяйства по преобладающим породам.

Исчисление расчетной лесосеки осуществляется отдельно для осуществления сплошных рубок, выборочных рубок спелых и перестойных лесных насаждений, средневозрастных, приспевающих, спелых, перестойных лесных насаждений при вырубке погибших и поврежденных лесных насаждений, уходе за лесом (за исключением молодняков первого класса возраста), рубке лесных насаждений на лесных участках, предназначенных для строительства, реконструкции и эксплуатации объектов лесной, лесоперерабатывающей инфраструктуры и объектов, не связанных с лесной инфраструктурой, на основании данных лесоустройства, государственного лесного реестра или специальных обследований лесов [22].

Расчетная лесосека устанавливается на срок действия лесохозяйственного регламента лесничества, лесопарка и не подлежит изменению без внесения соответствующих изменений в установленном порядке в лесохозяйственный регламент лесничества, лесопарка.

Для определения оптимального размера расчетной лесосеки при сплошных рубках ее исчисление осуществляется следующими методами:

- лесосеки равномерного пользования;
- первой возрастной лесосеки;
- второй возрастной лесосеки;
- интегральной лесосеки.

При заготовке древесины спелых и перестойных лесных насаждений выборочными рубками, при заготовке древесины при вырубке погибших и поврежденных лесных насаждений, при уходе за лесом, а также при изъятии древесины при рубке лесных насаждений на лесных участках, предназначенных для строительства, реконструкции и эксплуатации объектов лесной, лесоперерабатывающей инфраструктуры и объектов, не связанных с лесной инфраструктурой, расчетная лесосека исчисляется исходя из интенсивности рубки (процента изымаемого за один прием рубки запаса древесины) и периодов повторения приемов рубок.

Из всех рассчитанных вариантов (лесосека равномерного пользования, первая возрастная лесосека, вторая возрастная лесосека, интегральная лесосека) выбирается оптимальная лесосека.

Обоснование оптимального размера расчетной лесосеки осуществляется по следующим принципам:

а) расчетная лесосека, исчисленная методом лесосеки равномерного пользования, является оптимальной в лесах с относительно равномерным распределением площади лесных насаждений и запасов древесины лесных насаждений соответствующего хозяйства по группам возраста;

б) расчетная лесосека, исчисленная методами второй возрастной и интегральной лесосеки, является оптимальной в лесах, где запасы древесины спелых и перестойных лесных насаждений составляют более 50 процентов от общего запаса древесины в соответствующих хозяйствах; при близких значениях размера расчетной лесосеки, исчисленного методом второй возрастной лесосеки и методом интегральной лесосеки, наиболее целесообразным является размер расчетной лесосеки, исчисленный методом интегральной лесосеки;

в) первая возрастная лесосека является оптимальной в хозяйствах с истощенными запасами

древесины спелых и перестойных лесных насаждений (менее 20 процентов от общего запаса древесины в лесных насаждениях соответствующего хозяйства);

г) оптимальная расчетная лесосека не должна быть больше размера общего среднего прироста древесины лесных насаждений соответствующего хозяйства и преобладающих пород в случаях, когда запасы древесины спелых и перестойных лесных насаждений составляют менее 50 процентов от общего запаса древесины в соответствующих хозяйствах.

В хозяйствах с истощенными запасами древесины спелых и перестойных лесных насаждений расчетная лесосека должна обеспечивать использование запасов древесины хвойных и твердолиственных лесных насаждений семенного происхождения на период не менее 10 лет, а мягколиственных лесных насаждений – не менее 5 лет.

Еще одним документом, регламентирующим способ определения расчетной лесосеки в плане возможности её корректировки в течение ревизионного периода (периода действия лесохозяйственного регламента), является приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 13 сентября 2016 г. № 474 «Об утверждении Правил заготовки древесины и особенностей заготовки древесины в лесничествах, лесопарках, указанных в статье 23 Лесного кодекса Российской Федерации». В соответствии с этими «Правилами...» заготовка древесины осуществляется в пределах расчетной лесосеки лесничества, лесопарка по видам целевого назначения лесов, хозяйствам и преобладающим породам.

Результаты и обсуждение

Изложенные выше нормативные документы регламентируют действующий способ определения расчетной лесосеки, включающий в себя формулы и методику исчисления размера расчетной лесосеки с учетом включаемых в расчет категорий насаждений, сроки её действия и возможности её изменения в течение ревизионного периода. Именно способ определения расчетной лесосеки, а не методы её исчисления (лесосека равномерного пользования, первая и вторая возрастная, интегральная) оказывает влияние на эффективность ведения лесного

хозяйства, так как при определении размера расчетной лесосеки просчитываются все методы её исчисления и в качестве принятой лесосеки выбирается один из расчетов, соответствующий всем критериям оптимальности.

Ниже проанализируем сложившееся положение в освоении расчетной лесосеки при существующем способе её определения, регулируемом действующими нормативными документами, и спрогнозируем возможную динамику эффективности освоения расчетной лесосеки, а, следовательно, и эффективности ведения лесного хозяйства, то есть освоения, охраны, защиты и воспроизводства лесов.

В Центральном Федеральном округе все три субъекта, взятые в качестве примера (а это Брян-

ская, Владимирская и Воронежская области), демонстрируют тенденцию к сокращению фактического объема рубок (рис. 1). При этом в Брянской и Владимирской областях расчетная лесосека тоже снижается, а в Воронежской области последние 4 года она остается на одном уровне.

Если посмотреть на эффективность освоения расчетной лесосеки, выраженную как отношение фактического объема рубок к расчетной лесосеке ($\Theta = V_{\text{РФ}} / V_{\text{РЛ}}$), то по всем трем областям мы увидим динамику снижения эффективности (рис. 2, 3, 4).

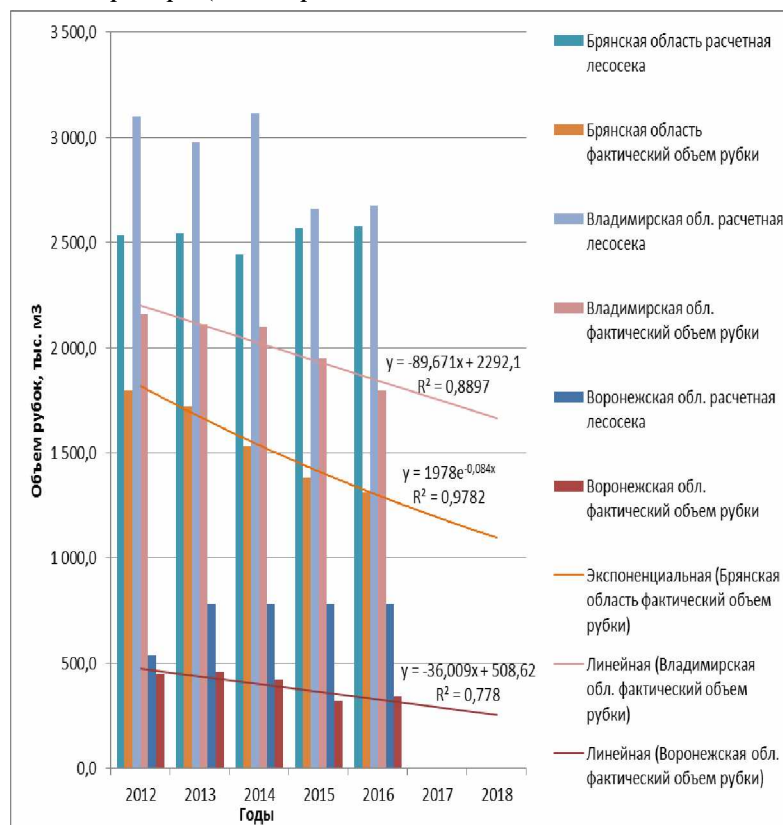


Рис. 1. Выполнение расчетной лесосеки на примере трех субъектов Центрального Федерального округа (Источник: составлено авторами в соответствии с данными государственного лесного реестра)

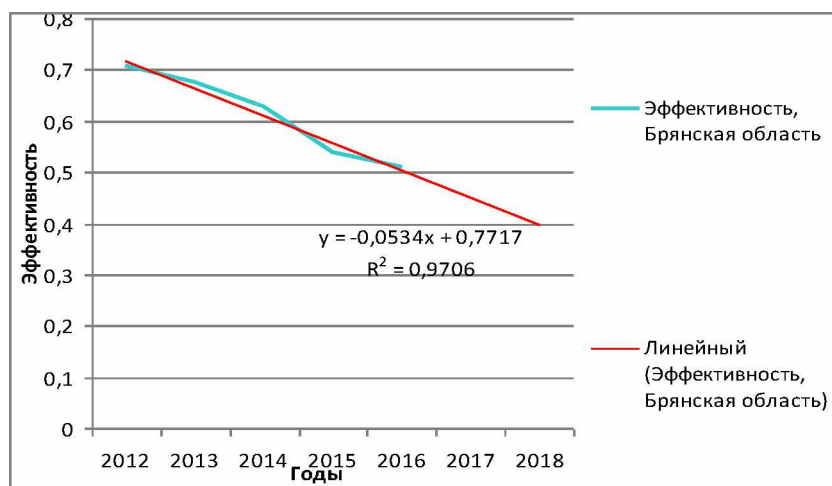


Рис. 2. Эффективность освоения расчетной лесосеки в Брянской области
(Источник: составлено авторами в соответствии с данными государственного лесного реестра)

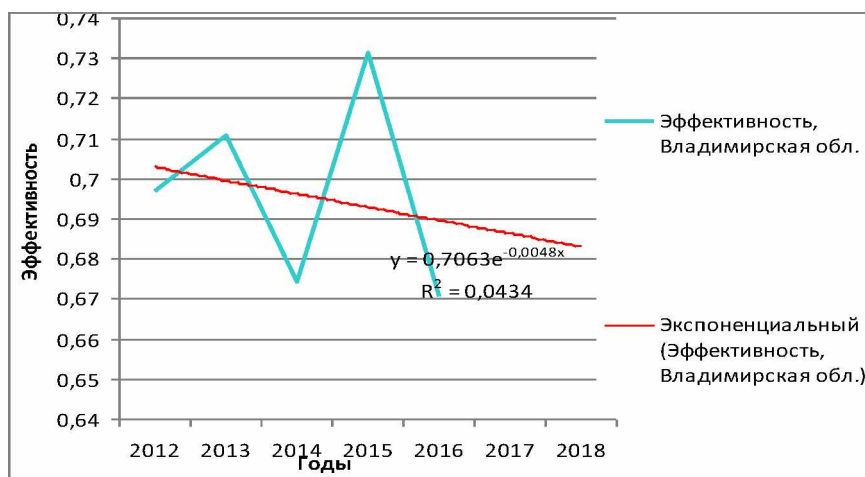


Рис. 3. Эффективность освоения расчетной лесосеки во Владимирской области
(Источник: составлено авторами в соответствии с данными государственного лесного реестра)

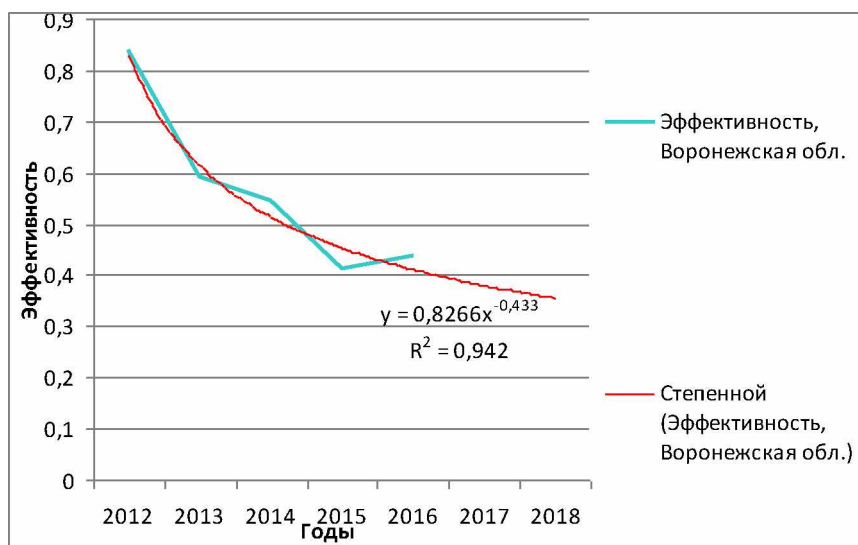


Рис. 4. Эффективность освоения расчетной лесосеки в Воронежской области
(Источник: составлено авторами в соответствии с данными государственного лесного реестра)

Основываясь на динамике процесса, можно предположить, что по сравнению с 2012 годом на 2018 год в Брянской области эффективность освоения расчетной лесосеки снизится с 0,7 (70 %) до 0,4 (40 %), во Владимирской – с 0,7 (70 %) до 0,68 (68 %), в Воронежской – с 80 % до 35 %. Данный прогноз носит вероятностный характер, так как основан на анализе динамики эффективности освоения расчетной лесосеки по субъекту в целом и получен методом интерполирования по математической функции, наиболее адекватно отражающей изменение исследуемого показателя. Естественно, что при этом невозможно учесть все факторы, определяющие динамику процесса, но общая ситуация прослеживается наглядно.

Аналогично была проанализирована эффективность освоения расчетной лесосеки за последние 5 лет в Северо-Западном, Южном, Северо-Кавказском, Приволжском, Уральском, Сибирском и Дальневосточном Федеральных округах. В каждом из них для анализа брались по три субъекта Российской Федерации. Практически в каждом из

них (за исключением единичных случаев) отмечается значительное недоиспользование допустимого объема изъятия древесины: около 20 % в Республиках Адыгея и Марий Эл; 40-50 % в Республике Карелия и Архангельской области; около 50-60 % в Краснодарском, Приморском крае и Республике Калмыкия; 60-70 % в Кабардино-Балкарской Республике, Республиках Башкортостан и Мордовия; 70-80 % в Республиках Коми, Бурятия и в Свердловской области; около 85 % в Тюменской области и Республике Алтай; 93-95 % в Республике Тыва, Саха (Якутия) и Камчатском крае; до 97 % в Республике Ингушетия.

В целом по России за последние 5 лет допустимый объем изъятия древесины от всех видов рубок составил около 700 млн м³, а фактический объем рубок – около 200 млн м³ в год (рис. 5). То есть эффективность освоения расчетной лесосеки (даже с учетом ее незначительного роста на графике) составляет от 28 % до 30 % (рис. 6).

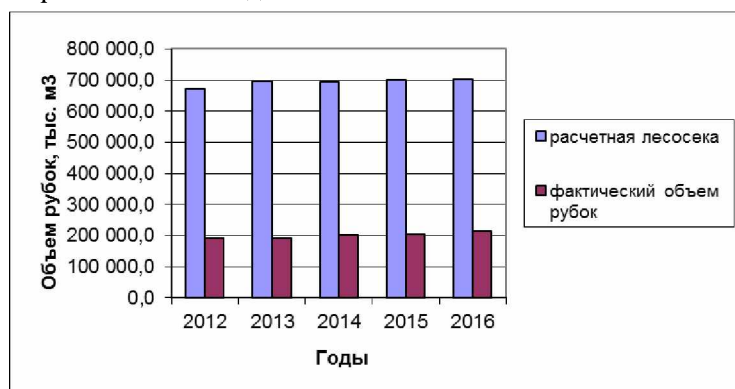


Рис. 5. Расчетная лесосека и фактический объем рубок в целом по РФ

(Источник: составлено авторами в соответствии с данными государственного лесного реестра)

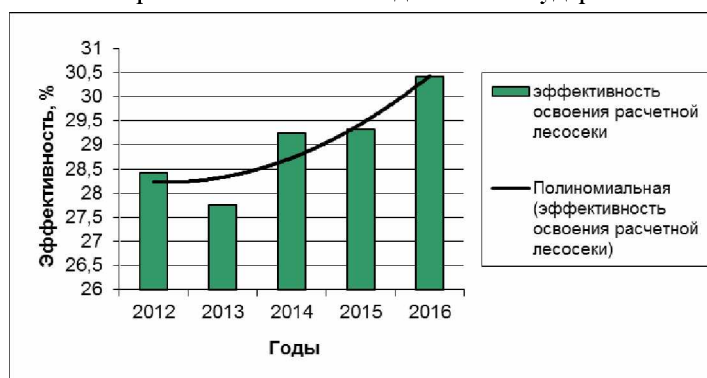


Рис. 6. Эффективность освоения расчетной лесосеки в целом по РФ

(Источник: составлено авторами в соответствии с данными государственного лесного реестра)

Как показал проведенный нами анализ, во всех федеральных округах в подавляющей части субъектов Российской Федерации имеется значительное недоиспользование допустимого объема изъятия древесины, т. е. неэффективное ведение лесного хозяйства в плане заготовки древесины. И причина этого заключается не в формулах исчисления расчетной лесосеки, а в способе её определения, объединяющем и возможность изменения расчетной лесосеки по годам в течение ревизионного периода, и набор насаждений, подлежащих рубке и включаемых в расчет, и другие факторы. Ну и, конечно, велика доля безответственности лесопользователей. Для повышения эффективности лесного хозяйства необходимо изменение подхода при определении расчетной лесосеки, а для выработки этих назревших изменений сначала надо четко установить, что же не учитывается действующим Порядком и методикой исчисления расчетной лесосеки. На наш взгляд, сюда относятся следующие аспекты:

- экономическая доходность и транспортная доступность древесных ресурсов;
- рыночный потенциал, то есть уровень спроса на лесоматериалы;
- производственно-технологическая структура отраслевого потребления древесного сырья;
- ресурсная неоднородность лесных насаждений (не учитываются отличия смешанных лесов);
- включение в расчет лесотаксационных выделов, ведение рубок в которых экономически неоправданно.

В новом подходе (способе) определения расчетной лесосеки по хозсекции в качестве исходных данных, наряду с характеристикой насаждения (распределение выделов по хозяйственным частям и хозсекциям, повыведельная таксационная характеристика), должна учитываться и экономическая доходность (рентабельность заготовки) древесины лесотаксационного выдела, определяемая до исчисления лесосеки. Участки, где заготовка древесины экономически нецелесообразна, надо исключать из расчетной лесосеки.

Для выполнения оценки доходности древесных ресурсов леса необходимы расчет природно-

ресурсного потенциала, анализ технологической структуры лесозаготовки и переработки, анализ транспортной инфраструктуры и рынка лесоматериалов.

На основе расчета доходности древесных ресурсов лесотаксационного выдела, а также затрат на охрану, защиту и воспроизводство лесных ресурсов должен быть проведен расчет экономической доступности лесного участка. И уже на базе полученных результатов необходимо осуществлять проектирование заготовки древесины и лесное планирование.

В связи с этим в новой концепции исчисления расчетной лесосеки с учетом доходности древесных ресурсов определение расчетной лесосеки должно проводиться по всем насаждениям хозсекции по площадям и по запасам для экономически доступных лесных участков.

Для эффективного функционирования данного способа определения расчетной лесосеки необходимо допустить перерасчет площади и объемов экономически недоступных участков, вплоть до ежегодного, в связи с изменением рыночной ситуации; транспортной и лесоперерабатывающей инфраструктур и других факторов, оказывающих влияние на возможность и экономическую целесообразность освоения запаса древесины каждого таксационного выдела.

Оценить эффективность предлагаемых изменений, не прибегая к долгосрочному эксперименту, в современных условиях возможно с помощью моделирования. Имитационная прогнозная модель дает возможность исследования влияния определения расчетной лесосеки различными способами на эффективность ведения лесного хозяйства и лесопользования.

Для исследования влияния определения различными способами расчетной лесосеки на эффективность ведения лесного хозяйства и лесопользования, сравнения различных подходов к исчислению и выполнению расчетных лесосек нами создана имитационная прогнозная модель, позволяющая оценивать эффективность существующих и новых подходов к организации лесопользования в лесах.

Природопользование

В отличие от математических моделей, представляемых в основном в виде формул, имитационная модель, положенная в основу нашей методики, рассчитывает динамику возрастной структуры в разрезе классов возраста древостоев. Модель снабжена специальным режимом настройки ее параметров, что позволяет определять оптимальные размеры расчетной лесосеки с учётом особенностей предлагаемых новых подходов. Например, алго-

ритм программы позволяет временно исключать недоступные лесотаксационные участки из расчёта и производить многовариантные расчёты с последующим сравнительным анализом полученных результатов.

Имитационная прогнозная модель реализована в виде компьютерной программы, блок-схема алгоритма которой представлена на рис. 7.

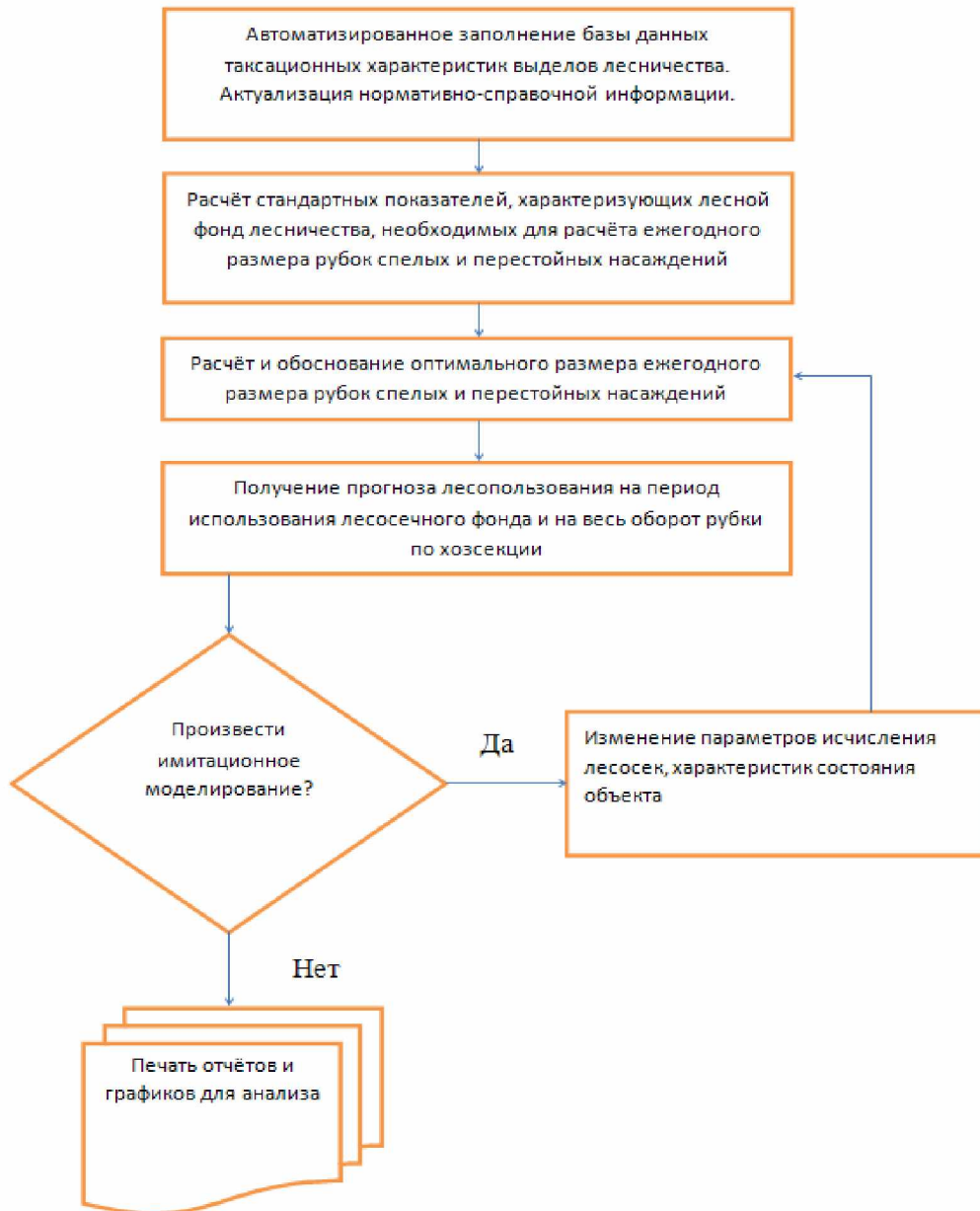


Рис. 7. Блок-схема компьютерной программы (Собственная разработка авторов)

Природопользование

В программе для ЭВМ алгоритм расчёта лесосек реализован в соответствии с Приказом Федерального агентства лесного хозяйства (Рослесхоз) от 27 мая 2011 г. № 191 г. Москва «Об утверждении Порядка исчисления расчетной лесосеки» [22].

В рассматриваемом ниже примере исходными данными для получения таблиц и графиков яв-

ляются таксационные описания. Для того чтобы наглядно увидеть, как каждая лесосека будет обеспечена спелым лесом на перспективу, для каждой хозяйственной секции по данным вспомогательной таблицы (табл. 1) строится график поспевания насаждений (рис. 8) в соответствии с известным в лесоустройстве алгоритмом [17].

Таблица 1

Вспомогательная таблица для построения графика поспевания насаждений, полученная из прогнозной модели

Группа возраста	Класс возраста	Площадь покрытых лесной растительностью земель				Период времени для поспевания
				нарастающим итогом		
		га	%	га	%	
1	2	3	4	5	6	7
Молодняки	I	192,3	5,8	3292	100,0	120
	II	133,4	4,1	3100	94,2	100
Средневозрастные	III	717,5	21,8	2966	90,1	80
	IV	408,6	12,4	2249	68,3	60
	V	817,9	24,8	1840	55,9	40
Приспевающие	VI	453,2	13,8	1022	31,1	20
Спелые и перестойные	VII	569,0	17,3	569,0	17,3	0
	VIII	0,0	0,0			
Итого		3291,9	100,0			

(Собственная разработка авторов)

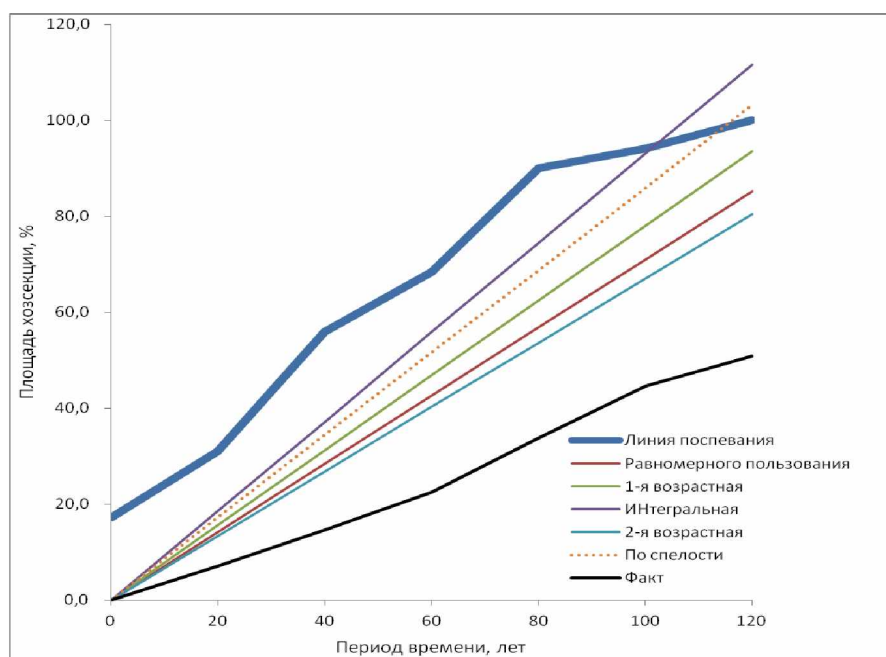


Рис. 8. Различные способы исчисления лесосек и предполагаемое фактическое выполнение запланированных сплошных рубок спелых и перестойных насаждений в условиях низкой эффективности освоения расчетной лесосеки

(Собственная разработка авторов)

Автоматизированный прогноз выполнения расчетной лесосеки в условиях низкой эффективности ведения лесопользования

Расчётная лесосека равномерного пользования (план)				Факт (0,44-0,84 от плана)		
Прогноз	нарастающим итогом			% от площади покрытых лесной растительностью земель	Площадь, га	Остаток спелых и перестойных, га
	% от площади покрытых лесной растительностью земель	запланированная площадь к вырубке, га	запланированный остаток спелых и перестойных после вырубки, га			
Сейчас	0,0	0	3292	0,0	0	3292
Через 20 лет	14,2	467	2824	10,4	341	2951
Через 40 лет	28,4	935	2357	20,4	673	2619
Через 60 лет	42,6	1402	1890	32,7	1075	2217
Через 80 лет	56,8	1870	1422	39,6	1304	1988
Через 100 лет	71,0	2337	955	53,5	1762	1530
Через 120 лет	85,2	2805	487	64,6	2127	1165

(Собственная разработка авторов)

Из табл. 2 видно, что при регулярном невыполнении плана рубок согласно расчётной лесосеке (если выполнение расчётной лесосеки будет варьироваться в пределах от 44 % до 84 %) к концу оборота рубки в данной хозсекции произойдёт накопление площади спелых и перестойных насаждений до 1165 га в отличие от запланированной площади 487 га. На графике (рис. 8) видно, что кривая фактических рубок («Факт») за весь 120-летний период выходит за пределы всех сценариев расчёта лесосек различными способами и значительно отстаёт от темпов поспевания насаждений. Конечно же, на практике каждые 10 лет в лесничествах проводится лесоустройство, исчисляется новая расчётная лесосека, более адаптированная под новое распределение лесного фонда по группам возраста, но в целом тенденция будет сохраняться.

Следующий этап имитационного моделирования показывает, как влияет на эффективность ведения лесного хозяйства и лесопользования соотношение расчётной лесосеки по площади и лесосеки по запасу. Специально разработанное нами программное обеспечение позволило произвести набор выделов в рубку в соответствии с заданными параметрами рассчитанных лесосек: ежегодный размер лесосеки по площади, ежегодный размер

лесосеки по запасу, период использования лесосеки. Период использования принятой лесосеки – это то время, которое понадобится для того, чтобы полностью вырубить весь эксплуатационный фонд (площадь спелых и перестойных насаждений). Для принятой в этом примере расчётной лесосеки равномерного пользования этот период составляет 24 года. Назначение выделов в рубку спелых и перестойных насаждений производилось по принятым в лесоустройстве правилам, в следующем порядке: в первую очередь низкополнотные перестойные насаждения, затем остальные перестойные, далее низкополнотные спелые, и, наконец, остальные спелые насаждения.

В табл. 3 приведены результаты имитационного моделирования процесса назначения выделов в рубку по годам на период использования лесосеки равномерного пользования.

В графе 2 табл. 3 показана площадь выделов, которые были назначены в рубку спелых и перестойных насаждений, исходя из заданного ежегодного объема изъятия древесины в хозсекции – 7162 м³. Очевидно, что на предстоящий ревизионный период лесосека по площади будет превышена в среднем на 2,33 га при условии 100 %-го выполнения лесничеством лесосеки по запасу (рис. 9).

Таблица 3

Результат автоматизированного набора выделов в рубку в соответствии с расчётной лесосекой по запасу

Расчётная лесосека по запасу – 7162 м³

Расчётная лесосека по площади – 23,51 га

Период использования лесосеки – 24 года

Год рубки	Лесосека по запасу, м ³	Площадь выделов, назначенных в рубку, га	Отклонение от расчётной лесосеки по площади (23,51 га), га	Средняя полнота древостоев, назначенных в рубку	Средний возраст древостоев, назначенных в рубку, лет	Вырубаемый объём накопительно, м ³			
						План	Прогнозируемый факт (эфф. 64%)		
1	2	3	4	5	6	7	8		
Ревизионный период	2018	7162	Средняя – 25,84 га	31,60	8,09	0,6	138	7162	4584
	2019	7162		28,62	5,11	0,6	140	14324	9167
	2020	7162		26,61	3,10	0,6	141	21486	13751
	2021	7162		23,93	0,42	0,7	134	28648	18335
	2022	7162		24,31	0,80	0,7	135	35810	22918
	2023	7162		24,98	1,47	0,7	138	42972	27502
	2024	7162		25,49	1,98	0,7	136	50134	32086
	2025	7162		26,32	2,81	0,7	140	57296	36669
	2026	7162		23,53	0,02	0,7	135	64458	41253
	2027	7162		23,03	-0,48	0,7	133	71620	45837
2028	7162	Средняя – 22,58 га	23,50	-0,01	0,7	130	78782	50420	
2029	7162		23,05	-0,46	0,7	130	85944	55004	
2030	7162		23,39	-0,12	0,7	131	93106	59588	
2031	7162		23,29	-0,22	0,7	139	100268	64172	
2032	7162		23,01	-0,50	0,7	134	107430	68755	
2033	7162		24,52	1,01	0,7	130	114592	73339	
2034	7162		22,99	-0,52	0,7	129	121754	77923	
2035	7162		22,02	-1,49	0,8	133	128916	82506	
2036	7162		20,67	-2,84	0,8	132	136078	87090	
2037	7162		19,40	-4,11	0,8	134	143240	91674	
2038	7162		20,04 га	20,51	-3,00	0,8	130	150402	96257
2039	7162			20,88	-2,63	0,8	135	157564	100841
2040	7162			19,36	-4,15	0,8	130	164726	105425
2041	7162			19,39	-4,12	0,8	131	171888	110008
Итого		564,40	0,16						

(Собственная разработка авторов)

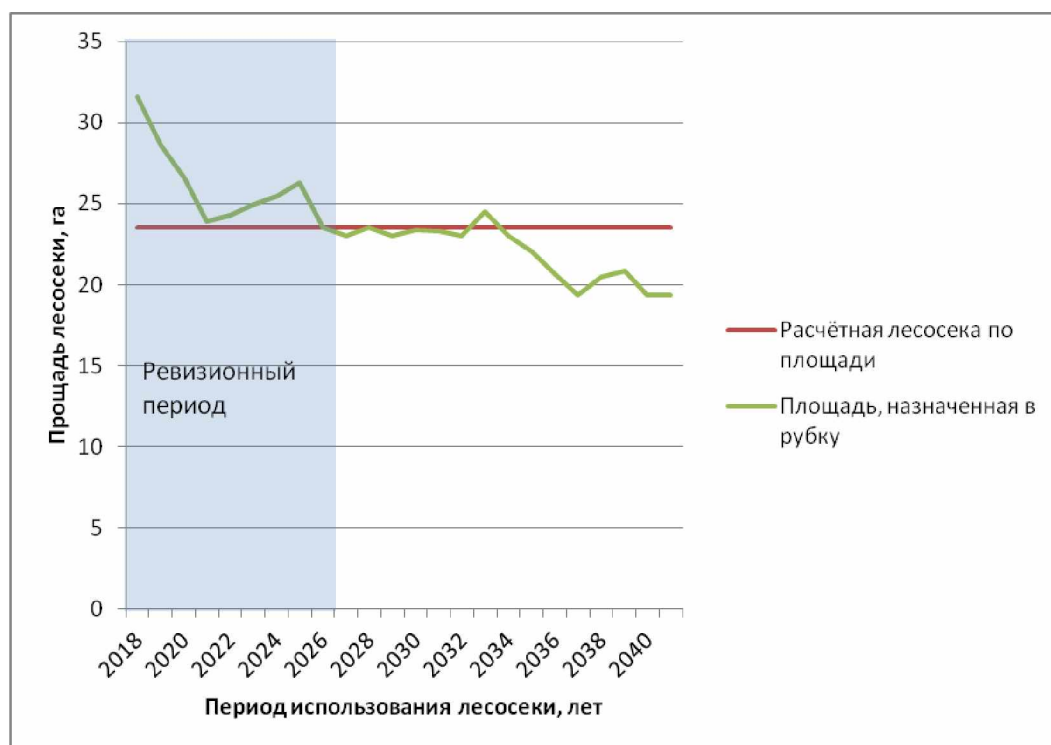


Рис. 9. Прогноз выполнения расчётной лесосеки по площади, исходя из заданного ежегодного объёма изъятия древесины – 7162 м³ (Собственная разработка авторов)

По окончании предстоящего ревизионного периода (через 10 лет) в лесничестве будет проведена инвентаризация и принята новая расчётная лесосека для каждой хозсекции. К этому времени поспеет часть приспевающих насаждений, в эксплуатационном фонде появятся новые низкополнотные насаждения, и ситуация повторится. Данный этап имитационного моделирования подтверждает факт регулярного превышения лесосеки по площади в связи с первоочередным назначением в рубку низкополнотных и, как правило, «экономически невыгодных» лесотаксационных участков. То есть, для того, чтобы выбрать запланированный ежегодный объём древесины, необходимо назначить в рубку площадь большую, чем было запланировано при исчислении лесосеки по площади. И наоборот, при выполнении на 100 % расчётной лесосеки по площади допустимый объём пользования древесиной не будет полностью освоен.

Известно, что полнота имеет важное лесохозяйственное значение, так как от неё зависят запас и качество (товарность) древесины в насаждении. Исходя из вышеизложенного, очевидно, что существующий подход к очередности назначения выде-

лов в рубку корректен с лесоводственной точки зрения, так как предполагает скорейшую замену низкополнотных, малопродуктивных насаждений новыми. Однако с экономической точки зрения такой подход является препятствием для повышения эффективности лесопользования.

Прогноз эффективности существующего подхода к организации лесопользования в лесничестве показал (табл. 2), что через десять лет произойдёт накопление недоиспользованного объёма древесины в размере 25 783 м³.

Аналогичный подход к исчислению расчётной лесосеки реализован в работах А.В. Коросова с коллегами [14], однако, предлагаемая нами модель обладает рядом отличий:

а) может непосредственно использовать базы данных таксационных описаний (в формате MS Word), создаваемые при лесоустройстве, что позволяет производить имитационное моделирование до уровня каждого выдела;

б) позволяет рассчитать и проанализировать долгосрочный результат применения всех действующих формул исчисления расчётной лесосеки;

в) доказывает беспомощность любых вариантов исчисления расчетной лесосеки при фактическом использовании 30 % от допустимого объема изъятия древесины (расчетной лесосеки по запасу).

Выводы и заключение

Приведенные примеры показывают, что в случае присутствия в составе эксплуатационного фонда недоступных для рубок участков формулы исчисления лесосек будут «работать» неправильно. Накопленные годами недоступные для рубок участки искажают исходные данные для расчёта лесосек, что делает невозможным применение классических подходов к обоснованию оптимального размера ежегодного размера рубок спелых и перестойных насаждений на каждый последующий 10-летний ревизионный период.

Считаем, что существующая нормативная и методическая база (с некоторыми поправками) дает возможность обеспечить неистощительность и непрерывность пользования в Российской Федерации. Однако невозможность реализации ряда основополагающих принципов на практике связана в первую очередь с организационными причинами.

Подводя итог, назовём основные причины, способствующие значительным цифрам ежегодно недоиспользования расчетной лесосеки:

- в низкопродуктивных и труднодоступных горных, притундровых, заболоченных лесах заготовка древесины экономически нецелесообразна;
- древостой, расположенные в районах с малой численностью населения, отсутствием дорожной сети, значительными перепадами высот над уровнем моря, экономически нецелесообразны для ведения лесного хозяйства;
- в соответствии с «Порядком...» [22] в расчетную лесосеку включаются древостой с запасом более 50 м³/га. Рентабельно: более 120 м³/га (европейская часть РФ); более 150 м³/га (азиатская часть РФ);
- древостой, произрастающие на вечной мерзлоте, недоступны для использования в теплый период года;
- значительные объемы спелых и перестойных насаждений вырубаются при проведении санитарных (как выборочных, так и сплошных) рубок;

- законодательный запрет на превышение расчетной лесосеки за счет недоиспользуемого объема заготовки древесины прошлых лет (в пределах ревизионного периода) не позволяет лесопользователям устранить периодически возникающие субъективные причины (поломка техники, нетрудоспособность работников, погодные условия и др.) и завершить работы на лесных участках;

- нельзя исключать из этого списка и такие причины, как: низкая доля арендованных лесных участков в общей площади земель лесного фонда – чуть более 20 % [11], наличие коррупционной составляющей при проведении аукционов на право аренды лесных участков, увеличение доли неликвидной древесины непосредственно при разработке лесосек по субъективным причинам, низкоэффективная организация учета древесины на этапе вывозки с лесосек, недобросовестность представления информации первичным звеном (лесничества, арендаторы, лесозаготовители) и др.

Предлагаемый новый подход к определению расчетной лесосеки сводится к следующим основным положениям:

1) на площадях лесного фонда, расположенных в районах с развитой инфраструктурой (сеть транспортных путей, наличие рабочей силы), благоприятными климатическими условиями для произрастания древесной растительности, соответственно – экономически доступных, расстроенных предшествующими рубками, необходим переход на интенсивную модель использования лесов, которая предусматривает наряду с полным использованием расчетной лесосеки (100 %) по всем хозяйствам вложение значительных средств в надежное обеспечение лесовозобновления хозяйственно-ценными породами и снижение оборота рубки, а также получение прибыли от промежуточного лесопользования в процессе выращивания спелого леса (на принципах рационального, неистощительного лесопользования);

2) леса, расположенные на площадях удаленных от транспортных путей, в неблагоприятных лесорастительных условиях (на вечной мерзлоте, в условиях горного и сложного рельефа и т.п.), в сложных климатических условиях, где экономическая эффективность лесопользования низка, следу-

ет исключить из расчета лесопользования, сохранив за ними средообразующие, почвозащитные, водоохраные, рекреационные (туризм) и др. функции;

3) необходимо снять законодательный запрет («Правила заготовки древесины...», 2016, пункт 9 [19]) на суммарный объем заготовки древесины в лесничестве, лесопарке, превышающий расчетную лесосеку за счет недоиспользуемого объема заготовки древесины прошлых лет в пределах ревизионного периода (10 лет). Возможность превышения расчетной лесосеки в спелых и перестойных лесах должна сохраняться (в заявительном порядке) исключительно за счет ранее отведенных в рубку площадей, в тех же хозяйствах и тех же кварталах и выделах, которые были недоиспользованы в предыдущие годы;

4) по окончании ревизионного периода необходимо (силами лесоустройства) произвести экспертизу лесных участков по лесничествам, лесопаркам, определить процент использования расчетной лесосеки, использование допустимого объема изъятия древесины по лесным участкам за 10-летие, установить причины имеющихся несоответствий и наложить штрафные санкции на допустивших невыполнение взятых обязательств по субъективным причинам. Расчетная лесосека на следующий ревизионный период рассчитывается заново, по действующим (приказ № 191, 27.05.2011) расчетным формулам [22], на основании материалов проведенного лесоустройства, с учетом устранения выявленных при проведении экспертизы объективных причин недоиспользования расчетной лесосеки в предыдущий ревизионный период.

На основании приведенной выше информации, предлагаем два варианта:

1. В каждой хозсекции необходимо рассчитывать площадь экономически недоступных лесов. Из площади покрытых лесной растительностью земель, включенных в расчет лесосеки по определенной хозсекции, вычитается площадь «экономически недоступных участков»:

для лесосеки равномерного пользования –

$$L_p = (F - F_n) / U,$$

где F – площадь покрытых лесной растительностью земель, га;

F_n – площадь «экономически недоступных участков», га;

U – возраст (оборот) рубки, лет;

для первой возрастной лесосеки –

$$L_{\text{возр}}^1 = ((F_{\text{пр}} + F_{\text{сп и пер}}) - (F_{\text{нпр}} + F_{\text{нсп и нпер}})) / 2K,$$

где $F_{\text{пр}}$ – площадь приспевающих, га;

$F_{\text{сп и пер}}$ – площадь спелых и перестойных, га;

$F_{\text{нпр}}$ – площадь «экономически недоступных участков» в группе возраста приспевающих, га;

$F_{\text{нсп и нпер}}$ – площадь «экономически недоступных участков» в группе возраста спелых и перестойных, га;

K – продолжительность класса возраста, лет; и так далее.

2. Выделить дополнительную категорию лесов «экономически недоступные участки» (или в особо защитных участках, или отдельно), или дополнительные хозчасти, или хозсекции, в которых затраты на заготовку древесины превысят доход от её реализации. Эти площади исключаются из расчетной лесосеки. Отнесение лесных участков к данной категории, хозчасти или хозсекции должно пересматриваться по окончании ревизионного периода (10 лет), в зависимости от действующих ставок платы за древесину на корню, изменения существующей транспортной сети, обновления видов лесозаготовительной техники и др.

В экономически доступных лесах таежной и умеренной зон необходим переход к модели интенсивного лесного хозяйства, включающего в себя комплекс мер по планированию, развитию инфраструктуры, охране, защите и воспроизводству лесов.

В районах с высокой плотностью населения значение лесов как основы благоприятной для населения природной среды несопоставимо больше их значения как источника доходов от использования в промышленных масштабах. Однако представление о том, что защитные леса служат лишь интересам природы и населения, а для лесного бизнеса их существование оборачивается только ограничениями и убытками, неверно. Возможность эффективной и долгосрочной работы предприятий лесного сектора в защитных лесах определяется

переходом к модели интенсивного лесного хозяйства и грамотным учетом экономической, экологической и социальной составляющих устойчивого лесопользования.

Устойчивость лесопользования (в случае заготовки древесины как основной цели лесопользования) необходимо рассматривать в масштабе территорий уровня лесных ландшафтов или сопоставимых по размеру единиц управления лесами (лесничеств, лесхозов, арендных участков, земельных владений) и выше, но не на уровне элементарных насаждений, хозяйственных выделов или отдельных лесосек.

Лесопользование в целях заготовки значительных объемов древесины может быть экономически устойчивым только в пределах достаточно крупной территории, позволяющей сгладить последствия цикличности лесного хозяйства.

Устойчивость лесопользования, по крайней мере применительно к использованию древесных ресурсов, имеет смысл рассматривать только в масштабе времени, сопоставимом с полным периодом возобновления лесных ресурсов в средних для данного лесного участка условиях, т. е. от нескольких десятилетий до столетия.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства Природных ресурсов и экологии (государственный контракт № АГ-16-33/109 от 09.11.2017 г.) на тему: «Аналитические научные исследования существующих и новых подходов к определению расчетной лесосеки по лесничествам (лесопаркам) и допустимого объема изъятия древесины по лесным участкам с учетом изменившегося законодательства, в том числе при интенсивном использовании и воспроизводстве лесов».

Библиографический список

1. Устойчивое управление лесным хозяйством: научные основы и концепции / А. С. Алексеев, С. Колломаки, А. В. Любимов [и др.]. – Санкт-Петербург, 1998. – 207 с.
2. Антанайтис, В. В. Прирост леса / В. В. Антанайтис, В. В. Загребев. – 2-е изд., перераб. – Москва, 1981. – 200 с.
3. Багинский, В. Ф. Потери народного хозяйства от неполного освоения расчетной лесосеки и методика их определения / В. Ф. Багинский // Рациональное использование и воспроизводство лесных ресурсов в системе устойчивого развития : матер. Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : Ин-т леса НАН Беларуси, 2007. – С. 24–27.
4. Болотов, О. В. Информационное обеспечение для планирования рационального лесопользования / О. В. Болотов // Лесной журнал. – 2011. – № 4. – С. 11–16.
5. Болотов, О. В. Моделирование и оптимизация размеров главного пользования лесом / О. В. Болотов, Ю. М. Ельденштейн, А. С. Болотова. – Красноярск, 2004. – 80 с.
6. Болотова, А. С. Учет рисков при определении величины допустимого объема лесопользования / А. С. Болотова // Актуальные проблемы современной науки и пути их решения : Межвуз. науч. конференция аспирантов. – Красноярск, КГТЭИ, 2001. – С. 38–41.
7. Болотова, А. С. К методике определения расчетной лесосеки. – URL: http://sciencebsea.bgita.ru/2004/les_2004/bolotova_metodika.htm, свободный (дата обращения: 22.07.2014).
8. Вашук, Л. Н. Пути совершенствования методики исчисления расчетных лесосек / Л. Н. Вашук // Государственный лесной реестр, государственная инвентаризация лесов и лесоустройство: матер. 3-й Междунар. науч.-практ. конференции. Новосибирск, 29 ноября–1 декабря 2012 г. – Москва, 2013. – С. 39–45.
9. Голубев, В. Н. Новый подход к исчислению расчетной лесосеки / В. Н. Голубев // Устойчивое лесопользование. – 2014. – № 3 (40). – С. 5–12.
10. Доклад Всемирного фонда дикой природы (WWF) «Живые леса» // Устойчивое лесопользование. – 2012. – № 3 (32). – С. 18–35.
11. Доклад о состоянии и использовании лесов Российской Федерации. – URL: <http://www.rosleshoz.gov.ru/activity/use/docs/orders/2> (дата обращения: 24.11.2017).

12. Каракчиева И. В. Роль информационно-экономического моделирования стоимостной оценки биоресурсов леса / И. В. Каракчиева, С. И. Чумаченко // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – № 7 (99). – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/rol-informatsionno-ekonomicheskogo-modelirovaniya-stoimostnoy-otsenki-bioresursov-lesa> (дата обращения: 28.11.2017).
13. Кобяков, К. Н. Непрерывное неистощительное пользование лесом или расчетная лесосека? / К. Н. Кобяков // Устойчивое лесопользование. – 2014. – № 3 (40). – С. 13–20.
14. О разработке нового подхода для исчисления параметров расчетной лесосеки неистощительного пользования / А. В. Коросов, А. В. Родионов, В. Е. Голубев, А. Ю. Зародов, А. В. Марковский // Принципы экологии. – 2014. – № 2. – С. 4–20. DOI: 10.15393/j1.art.2014.3583.
15. Российская Федерация. Законы. Лесной кодекс Российской Федерации : [принят Гос. Думой 04.12.2006 : ред. от 01.07.2017] // СПС КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/.
16. Матвеев, С. М. К вопросу определения и выполнения расчетной лесосеки в Российской Федерации / С. М. Матвеев, А. Н. Водолажский, А. И. Ревин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2018. – Т. 6. № 7 (43). – С. 262–267.
17. Основы лесоустройства : метод, указания к выполнению лабораторных и практических работ / сост.: Н.Н. Соколов, А.А. Бахтин. – Архангельск : Арханг. гос. техн. ун-т, 2010. – 35 с.
18. Основы устойчивого лесопользования : учеб. пособие / М. Л. Карпачевский, В. К. Тепляков, Т. О. Яницкая [и др.] ; под общ. ред. А. В. Беляковой, Н. М. Шматкова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва, 2014. – 266 с.
19. Приказ Минприроды России от 13.09.2016 N 474 «Об утверждении Правил заготовки древесины и особенностей заготовки древесины в лесничествах, лесопарках, указанных в статье 23 Лесного кодекса Российской Федерации» (Зарегистрировано в Минюсте России 29.12.2016 N 45041 : ред. от 11.01.2017) // СПС КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_210680/.
20. Приказ Минприроды России от 27.02.2017 N 72 «Об утверждении состава лесохозяйственных регламентов, порядка их разработки, сроков их действия и порядка внесения в них изменений» (Зарегистрировано в Минюсте России 31.03.2017 N 46210) // СПС КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_214903/.
21. Приказ Рослесхоза от 05.12.2011 N 513 «Об утверждении Перечня видов (пород) деревьев и кустарников, заготовка древесины которых не допускается» (Зарегистрировано в Минюсте РФ 19.01.2012 N 22973) (в части Перечня видов (пород) деревьев и кустарников, заготовка древесины которых не допускается) // СПС КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_125221/.
22. Приказ Рослесхоза от 27.05.2011 N 191 «Об утверждении Порядка исчисления расчетной лесосеки» (Зарегистрировано в Минюсте РФ 06.07.2011 N 21276) // СПС КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_116416/.
23. Романюк, Б. Д. Требования к нормативам для экономически обоснованной модели лесопользования / Б. Д. Романюк // Интенсивное устойчивое лесное хозяйство: барьеры и перспективы развития : сб. статей ; под общ. ред. Н. М. Шматкова ; Всемирный фонд дикой природы (WWF). – Москва, 2013. – С. 9–20.
24. Соколов, В. А. Основы организации устойчивого лесопользования / В. А. Соколов // Сибирский лесной журнал. – 2014. – № 1. – С. 14–24.
25. Соколов, В. А. О методике исчисления расчетных лесосек / В. А. Соколов, В. Ф. Багинский // Сибирский лесной журнал. – 2014. – № 5. – С. 9–15.
26. Ярошенко, А. Ю. Красивая легенда о расчетной лесосеке / А. Ю. Ярошенко // Сибирский экологический вестник. – 2001. – № 15–16.
27. Application of the mexican method of forest planning (MMFP) to estimate the cutting cycle and intensity in the eastern amazon rainforest [Aplicação do método mexicano de ordenamento florestal (MMOF) para estimar ciclo e intensidade de corte em floresta Amazônica oriental] / L. P. Reis, A. L. De Souza, P. C. M. Dos Reis [et al.] // Scientia Forestalis/Forest Sciences. – 2017. – 45(113), 187–195. doi:10.18671/scifor.v45n113.19.

28. Gobakken, T. T. A forest simulator for bioeconomic analyses based on models for individual trees / T. T. Gobakken, N. L. Lexerød, T. Eid // *Scandinavian Journal of Forest Research*. – 2008. – No. 23(3). – P. 250–265. doi:10.1080/02827580802050722.
29. Kudus, K. A. Simulation model of a hill dipterocarp forest five years after harvesting at angsi forest reserve, Negerisembilan, Malaysia / K. A. Kudus, F. Nobilly // *USDA Forest Service – General Technical Report PNW-GTR/* – 2009. – No. 791. – P. 250. Retrieved from www.scopus.com.
30. Implementation of cost calculation model in forest evaluation of požega forest administration [Primjena modela izračuna troškova u vrednovanjušuma UŠP požega] / S. Posavec, J. Zelić, I. Fliszar, K. Beljan // *Croatian Journal of Forest Engineering*. – 2011. – No. 32(1). – P. 457–467. Retrieved from www.scopus.com.
31. Pukkala, T. Optimizing any-aged management of mixed boreal forest under residual basal area constraints / T. Pukkala, E. Lähde, O. Laiho // *Journal of Forestry Research*. – 2014. – No. 25(3). – P. 627–636. doi:10.1007/s11676-014-0501-y.

References

1. Alekseev A. S., Kollomyaki S., Lyubimov A. V. i dr. *Ustoychivoe upravlenie lesnym khozyaystvom: nauchnye osnovy i kontseptsii* [Sustainable forest management: scientific foundations and concepts]. SPb., 1998. 207 p.
2. Antanaytis V. V., Zagreev V. V. *Prirost lesa* [Forest growth]. 2e izd., pererab. Moscow, 1981. 200 p.
3. Baginskiy V. F. *Poteri narodnogo khozyaystva ot nepolnogo osvoeniya raschetnoy lesoseki i meto-dika ikh opredeleniya* [Losses of the national economy from the incomplete development of the calculated felling rate and the method of their determination]. *Ratsional'noe ispol'zovanie i vosproizvodstvo lesnykh resursov v sisteme ustoychivogo razvitiya: mat-lyMezhdunar. nauch.-prakt. konf. Gomel': In-t lesa NAN Belarusi* [Rational use and reproduction of forest resources in the system of sustainable development: materials of the International scientific and practical conference Gomel: Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus]. Gomel'. In-t lesa NAN Belarusi, 2007, p. 24–27.
4. Bolotov O.V. *Informatsionnoe obespechenie dlya planirovaniya ratsional'nogo lesopol'zovaniya* [Information support for sustainable forest management planning]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2011, no. 4, pp. 11–16.
5. Bolotov O. V., El'denshteyn Yu. M., Bolotova A. S. *Modelirovanie i optimizatsiya razmerov glavnogo pol'zovaniya lesom* [Modeling and optimization of the size of the main forest use]. Krasnoyarsk, 2004, 80 p.
6. Bolotova A. S. *Uchet riskov pri opredelenii velichiny dopustimogo ob'ema lesopol'zovaniya* [Consideration of risks in determining the value of the permissible volume of forest use]. *Aktual'nye problemy sovremennoy nauki i puti ikh resheniya: Mezhyuzovskaya nauchnaya konferentsiya aspirantov* [Actual problems of modern science and ways to solve them: Interuniversity scientific conference for post-graduate students]. Krasnoyarsk: KGTEI Publ, 2001, p. 38–41.
7. Bolotova A. S. *K metodike opredeleniya raschetnoy lesoseki* [To the method of determining the calculated felling rate]. URL: http://sciencebsea.bgita.ru/2004/les_2004/bolotova_metodika.htm.
8. Vashchuk L.N. *Puti sovershenstvovaniya metodiki ischisleniya raschetnykh lesosek* [Ways to improve the calculation of calculated felling rate]. *Gosudarstvennyy lesnoy reestr, gosudarstvennaya inventarizatsiya lesov i lesoustroystvo: mat. 3-y Mezhdunar. nauch. prakt. konf. Novosibirsk, 29 noyabrya – 1 dekabrya 2012 g.* [State Forest Register, state forest inventory and forest management: materials of the 3rd International scientific practical conference, Novosibirsk, November 29 – December 1, 2012]. Moscow, 2013. pp. 39–45.
9. Golubev V.N. *Novyy podkhod k ischisleniyu raschetnoy lesoseki* [New approach to the calculation of the calculated felling rate]. *Ustoychivoe lesopol'zovanie* [Sustainable forest management], 2014, no 3 (40). pp. 5-12
10. *Doklad Vsemirnogo fonda dikoy prirody (WWF) «Zhivye lesa»* [Report of the World Wildlife Fund (WWF) “Living Forests”]. *Ustoychivoe lesopol'zovanie* [Sustainable Forest Management], 2012, no 3 (32). pp. 18–35.
11. *Doklad o sostoyanii i ispol'zovanii lesov Rossiyskoy Federatsii* [Report on the state and use of forests in the Russian Federation]. URL: <http://www.rosleshoz.gov.ru/activity/use/docs/orders/2>

12. Karakchieva I.V., Chumachenko S.I. *Rol' informatsionno-ekonomicheskogo modelirovaniya stoimostnoy otsenki bioresursov lesa* [The role of information and economic modeling of forest bioresource evaluation]. *Vestnik MGUL – Lesnoy vestnik*. [Vestnik of MSFU – Lesnoy Vestnik], 2013, no 7 (99). URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/rol-informatsionno-ekonomicheskogo-modelirovaniya-stoimostnoy-otsenki-bioresursov-lesa>.

13. Kobyakov K.N. *Nepreryvnoe neistoshchitel'noe pol'zovanie lesom ili raschetnaya lesoseka* [Continuous sustainable forest use or calculated cutting area]? *Ustoychivoe lesopol'zovanie* [Sustainable forest management], 2014, no 3 (40), pp. 13-20.

14. Korosov A.V., Rodionov A.V., Golubev V.E., Zarodov A.Yu., Markovskiy A.V. *O razrabotke novogo podkhoda dlya ischisleniya parametrov raschetnoy lesoseki neistoshchitel'nogo pol'zovaniya* [On the development of a new approach for calculating the parameters of the calculated cutting area of non-exhaustive use]. *Printsipy ekologii* [Principles of ecology], 2014, no 2, pp. 4–20. DOI: 10.15393/j1.art.2014.3583

15. *Lesnoy kodeks Rossiyskoy Federatsii ot 04.12.2006 N 200-FZ* (red. ot 01.07.2017) [Forest Code of the Russian Federation of 04.12.2006 N 200-FZ (Edited 01.07.2017)]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/.

16. Matveev S.M., Vodolazhskiy A.N., Revin A.I. *K voprosu opredeleniya i vypolneniya raschetnoy lesoseki v rossiyskoy federatsii* [To the question of determining and performing the calculated cutting area in the Russian Federation]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: Theory and practice], 2018, Vol. 6. no 7 (43), pp. 262-267.

17. Sokolov N.N., Bakhtin A.A. *Osnovy lesoustroystva: metod, ukazaniya k vypolneniyu lab. i prakt. rabot* [Basics of forest inventory: method, instructions for implementation of laboratory and practical works]. Arkhangel'sk: Arkhangel'sk State Technical University, 2010, 35 p.

18. Karpachevskiy M. L., Teplyakov V. K., Yanitskaya T.O. i dr. Ed. by Belyakova A.V., Shmatkov N.M. *Osnovy ustoychivogo lesoupravleniya: ucheb.posobie dlya vuzov* [Fundamentals of sustainable forest management: study guide for universities]. Moscow, 2014. 266 p.

19. Prikaz Minprirody Rossii ot 13.09.2016 N 474 (red. ot 11.01.2017) «*Ob utverzhdenii Pravil za-gotovki drevesiny i osobennostey zagotovki drevesiny v lesnichestvakh, lesoparkakh, ukazannykh v stat'e 23 Lesnogo kodeksa Rossiyskoy Federatsii*» (Zaregistrirvano v Minyuste Rossii 29.12.2016 N 45041) [Order of the Ministry of Natural Resources of Russia of September 13, 2016 № 474 (ed. of January 11, 2017) “On approval of the Rules for timber harvesting and features of timber harvesting in forest areas and forest parks referred in the Article 23 of the Forest Code of the Russian Federation” (Registered in the Ministry of Justice of Russia on December 29, 2016, № 45041)]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_210680/

20. Prikaz Minprirody Rossii ot 27.02.2017 N 72 «*Ob utverzhdenii sostava lesokhozyaystvennykh reg-lamentov, poryadka ikh razrabotki, srokov ikh deystviya i poryadka vneseniya v nikh izmene-niy*» (Zaregistrirvano v Minyuste Rossii 31.03.2017 N 46210) [Order of the Ministry of Natural Resources of Russia of February 27, 2017 № 72 "On approving the composition of the forestry regulations, the procedure for their development, the timeframe for their operation and the procedure for making changes to them" (Registered in the Ministry of Justice of Russia on March 31, 2017 № 46210)]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_214903/.

21. Prikaz Rosleskhoza ot 05.12.2011 N 513 «*Ob utverzhdenii Perechnya vidov (porod) derev'ev i kus-tarnikov, zagotovka drevesiny kotorykh ne dopuskaetsya*» (Zaregistrirvano v Minyuste RF 19.01.2012 N 22973) (v chasti Perechnya vidov (porod) derev'ev i kustarnikov, zagotovka drevesiny kotorykh ne dopuskaet-sya) [The Order of the Federal Forestry Agency (Rosleskhoz) of December 5, 2011 № 513 “On approval of the List of trees and shrubs species, the harvesting of which is not allowed” (Registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation on January 19, 2012 № 22973)]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_125221/.

22. Prikaz Rosleskhoza ot 27.05.2011 N 191 «*Ob utverzhdenii Poryadka ischisleniya raschetnoy lesoseki*» (Zaregistrirvano v Minyuste RF 06.07.2011 N 21276) [Order of the Federal Forestry Agency (Rosleskhoz) of May 27, 2011 № 191 “On approval of the procedure for calculating the allowable cutting area”]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_116416/.

23. Romanyuk B.D. *Trebvaniya k normativam dlya ekonomicheskoi obosnovannoy modeli lesopol'zovaniya* [Standard requirements for an economically justified forest management model] *Intensivnoe ustoychivoe lesnoe khozyaystvo: bar'ery i perspektivy razvitiya*: sb. statey; pod obshch.red. N. M. Shmatkova; Vsemirnyy fond dikoy prirody (WWF) [Intensive sustainable forestry: barriers and development prospects: collected papers edited by N. M. Shmatkov; World Wildlife Fund (WWF)]. Moscow, 2013, pp. 9–20.
24. Sokolov V. A. *Osnovy organizatsii ustoychivogo lesopol'zovaniya* [Basics of organization of sustainable forest management]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal], 2014. no 1, pp. 14–24.
25. Sokolov V.A., Baginskiy V.F. *O metodike ischisleniya raschetnykh lesosek* [About the estimation method of calculated cutting areas]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal], 2014. no 5, pp. 9–15.
26. Yaroshenko A.Yu. *Krasivaya legenda o raschetnoy lesoseke* [Beautiful legend about the calculated cutting area]. *Sibirskiy ekologicheskiy vestnik* [Siberian Ecological Bulletin], 2001, no 15–16.
27. Reis, L. P., De Souza, A. L., Dos Reis, P. C. M. et al. (2017). Application of the mexican method of forest planning (MMFP) to estimate the cutting cycle and intensity in the eastern amazon rainforest. [Aplicação do método mexicano de ordenamento florestal (MMOF) para estimar ciclo e intensidade de corte em floresta Amazônica oriental] *ScientiaForestalis/Forest Sciences*, 45(113), 187-195. doi:10.18671/scifor.v45n113.19.
28. Gobakken, T., Lexerød, N. L., Eid, T. (2008). T: A forest simulator for bioeconomic analyses based on models for individual trees. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 23(3), 250-265. doi:10.1080/02827580802050722.
29. Kudus, K. A., Nobilly, F. (2009). Simulation model of a hill dipterocarp forest five years after harvesting at angsi forest reserve, negerisembilan, malaysia. USDA Forest Service - General Technical Report PNW-GTR, (791), 250. Retrieved from www.scopus.com.
30. Posavec, S., Zelić, J., Fliszar, I., Beljan, K. (2011). Implementation of cost calculation model in forest evaluation of požega forest administration. [Primjena modela izračunatoškova u vrednovanjušuma UŠP požega] *Croatian Journal of Forest Engineering*, 32(1), 457-467. Retrieved from www.scopus.com.
31. Pukkala, T., Lähde, E., Laiho, O. (2014). Optimizing any-aged management of mixed boreal forest under residual basal area constraints. *Journal of Forestry Research*, 25(3), 627-636. doi:10.1007/s11676-014-0501-y.

Сведения об авторах

Матвеев Сергей Михайлович – заведующий кафедрой лесоводства, лесной таксации и лесоустройства ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», доктор биологических наук, профессор, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: lisovod@bk.ru.

Водолажский Алексей Николаевич – доцент кафедры лесоводства, лесной таксации и лесоустройства ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат сельскохозяйственных наук, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: vod.a@list.ru.

Мироненко Алексей Викторович – доцент кафедры лесоводства, лесной таксации и лесоустройства ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат сельскохозяйственных наук, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: alexeymironenko66@gmail.com.

Information about authors

Matveev Sergey Michailovich – the Head of the Chair of Forestry of forest inventory, forest taxation and forest management, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", DSc (Biology), Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: lisovod@bk.ru.

Vodolazhsky Alexey Nikolaevich – Associate Professor, Department of Forestry, Forest Taxation and Forest Management, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", PhD (Agriculture), Voronezh, Russian Federation; e-mail: vod.a@list.ru.

Mironenko Alexey Viktorovich – Associate Professor, Department of Forestry, Forest Taxation and Forest Management, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", PhD (Agriculture), Voronezh, Russian Federation; e-mail: alexeymironenko66@gmail.com.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

магистр **И.А. Скозарева**

доктор сельскохозяйственных наук, профессор **А.И. Чернодубов**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Российская Федерация

Проблема получения качественного посадочного материала в лесных питомниках с использованием стимуляторов роста очень актуальна. Они повышают всхожесть и прорастание семян, способствуют формированию надземной части и корневых систем, улучшают их приживаемость и сохранность в новых условиях. В работе представлены результаты исследования влияния циркона, цитовита и феровита (доза 0,1 мл/л) на грунтовую всхожесть семян и биометрические показатели сеянцев сосны обыкновенной в течение вегетационного периода на различных почвах питомников – серых лесных супесчаных (Учебно-опытного лесхоза ВГЛТУ) и деградированных оподзоленных черноземах (Эртильского лесничества). С 22 июня через каждые 2 недели проводили подкормки путем опрыскивания сеянцев. Контроль – обработка семян и сеянцев дистиллированной водой. Установлено, что все три стимулятора роста при замачивании семян оказывают стимулирующее влияние на прорастание семян сосны обыкновенной. Но на черноземах этот эффект более существенный и составляет 11,0-32,9 %, а на серых лесных почвах 11,8-29,7 % по сравнению с контролем. Хотя эта разница не существенная и лежит в пределах точности опыта. На черноземах у сеянцев сосны, обработанных стимуляторами роста, хорошо развита надземная часть, но слабо – корневые системы. У сеянцев, обработанных феровитом и цитовитом, наблюдается увеличение корневой части за счет развития боковых корней, по сравнению с контролем и другими сеянцами. Наиболее пропорциональное развитие наблюдается у сеянцев, обработанных цирконом, где примерно одинакова величина надземной и подземной части. В опытных посевах сосны, выращенных в условиях серых лесных почв, наиболее перспективным является применение стимулятора роста циркона. Действие циркона увеличивает всхожесть и сохранность посевов, что способствует увеличению выхода стандартных сеянцев.

Ключевые слова: стимуляторы, рост, сосна обыкновенная, сеянцы, выход, циркон, цитовит, феровит

EFFICIENCY OF GROWTH STIMULANT APPLICATION GROWING SEEDS OF SCOTS PINE

Master's Degree student **I.A. Skozareva**

DSc (Agriculture), Professor **A.I. Chernodubov**

FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh,
Russian Federation

Abstract

The problem of obtaining high-quality planting material in forest nurseries using growth stimulants is very relevant. They increase the germination and sprouting of seeds, contribute to the formation of the aerial parts and root systems, and improve their survival and preservation in new conditions. The paper presents the results of a study of zircon, cytovite and ferovit (dose 0.1 ml/l) effect on the soil germination of seeds and biometric indicators of Scots pine's seedling during the growing season on various soils of nurseries - gray forest sandy loam soils (Training Experimental Forestry of VSUFT) and degraded podzolized chernozems (Ertil forestry). Fertilizing was carried out by spraying seedlings from June 22, every 2 weeks. Control activities are treatments of seeds and seedlings with distilled water. It has been established that all the three growth stimulants, when the seeds are soaked, have a stimulating effect on the germi-

nation of pine seeds. This effect is more significant and amounts to 11.0-32.9 % on chernozems, and 11.8-29.7 % on gray forest soils in comparison with the control specimen. This difference is not significant and lies within the accuracy of the experiment. On chernozems, pine seedlings treated with growth stimulants have a well-developed aerial part, but weak root systems. Seedlings treated with ferovit and cytovitis, have an increase in the root part due to the development of lateral roots, in comparison with the control and other seedlings. The most proportional development is observed in seedlings treated with zircon, where approximately the same value of the aboveground and underground parts is seen. The use of a zircon growth stimulator is the most promising in experimental pine crops grown in gray forest soils. The action of zircon increases the germination and preservation of crops, which helps to increase the yield of standard seedlings.

Keywords: stimulants, growth, Scots pine, seedlings, yield, zircon, cytovit, ferovit

Введение

В последнее время наблюдается устойчивая тенденция снижения качества и количества выращиваемого посадочного материала для лесовосстановления и лесоразведения. По данным Рослесзащиты, в 1992 году было выращено 2271,5 млн шт., в 2002 году – 1454,2 млн шт., в 2013 году – 771 млн шт. сеянцев и саженцев различных древесных и кустарниковых пород. Поэтому вопросы получения качественного посадочного материала остаются очень актуальными. Один из способов повышения выхода посадочного материала – это использование новых технологий выращивания, в том числе с использованием стимуляторов роста. Они могут повысить всхожесть семян, рост и развитие сеянцев, их корневых систем и побегов. В различных странах и лесорастительных зонах ведется изучение стимулирующего влияния этого класса химических веществ на выход посадочного материала [1-18].

Цель наших исследований – изучение влияния препаратов стимуляторов роста – циркон, цитовит и феровит – на грунтовую всхожесть семян и биометрические показатели сосны обыкновенной в течение вегетационного периода.

Материалы и методы исследования

Для эксперимента были использованы семена сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), полученные в Воронежской лесосеменной станции Рослесзащиты. Обработку семян проводили в следующей последовательности: 1) сначала на сутки замачивали в дистиллированной воде; 2) затем в течение

2 часов выдерживали в растворе $KMnO_4$; 3) потом промывали водой и 4) помещали в растворы циркона, цитовита и феровита в дозе 0,1 мл/л на 18 часов. Контролем служил вариант, где семена замачивали в дистиллированной воде. Посев проводился на питомнике Воронежского лесотехнического университета – на серых лесных супесчаных почвах и Эртильского лесничества – на черноземах оподзоленных в 3-кратной повторности по одинаковой технологии и агротехнике. После того как сформировались сеянцы (22 июня), проводилась внекорневая подкормка через каждые 2 недели.

Статистическая обработка материала проводилась в программе Statistica 6.0, достоверность различий средних значений определяли с помощью t-критерия Стьюдента.

Результаты и обсуждение

Из табл. 1 и графиков видно, что первоначальная всхожесть семян, которые перед посевом замачивали в стимуляторах роста, заметно выше, чем у контроля в разных условиях произрастания. На графике видно, что максимальный положительный эффект наблюдается в первом опыте при применении циркона, во втором опыте действие данного препарата к концу опыта снижается, при этом лидирующую позицию занимает цитовит. Данные статистической обработки представлены в табл. 2.

На основании табл. 1 строим графики, где видна динамика всхожести и отпада сеянцев сосны обыкновенной.

Природопользование

Таблица 1

Всхожесть семян сосны обыкновенной под действием стимуляторов роста

Стимулятор роста	Дата								
	22.06. 2016	6.07. 2016	20.07. 2016	3.08. 2016	17.08. 2016	31.08. 2016	14.09. 2016	28.09. 2016	01.05. 2017
На черноземах оподзоленных (Эртиль)									
Циркон	139	185	194	185	178	173	166	164	162
Цитовит	119	160	162	155	152	152	149	145	134
Феровит	142	172	170	168	168	160	151	147	140
Контроль	110	145	146	142	139	128	126	126	105
На серых лесных почвах (ВГЛТУ)									
Циркон	136	186	192	182	160	152	148	140	128
Цитовит	121	159	164	160	158	154	150	154	135
Феровит	135	165	171	175	166	154	152	146	135
Контроль	95	143	148	140	136	130	130	124	101

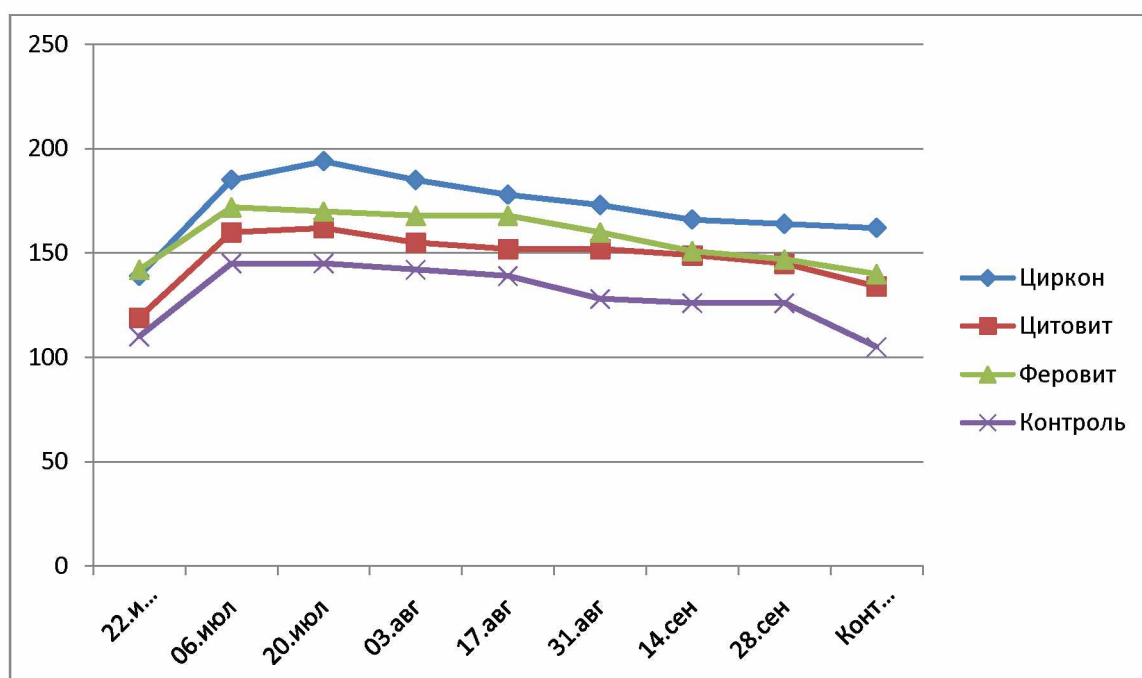


Рис. 1. Динамики всхожести семян и отпада сеянцев сосны обыкновенной выращенных на черноземах оподзоленных

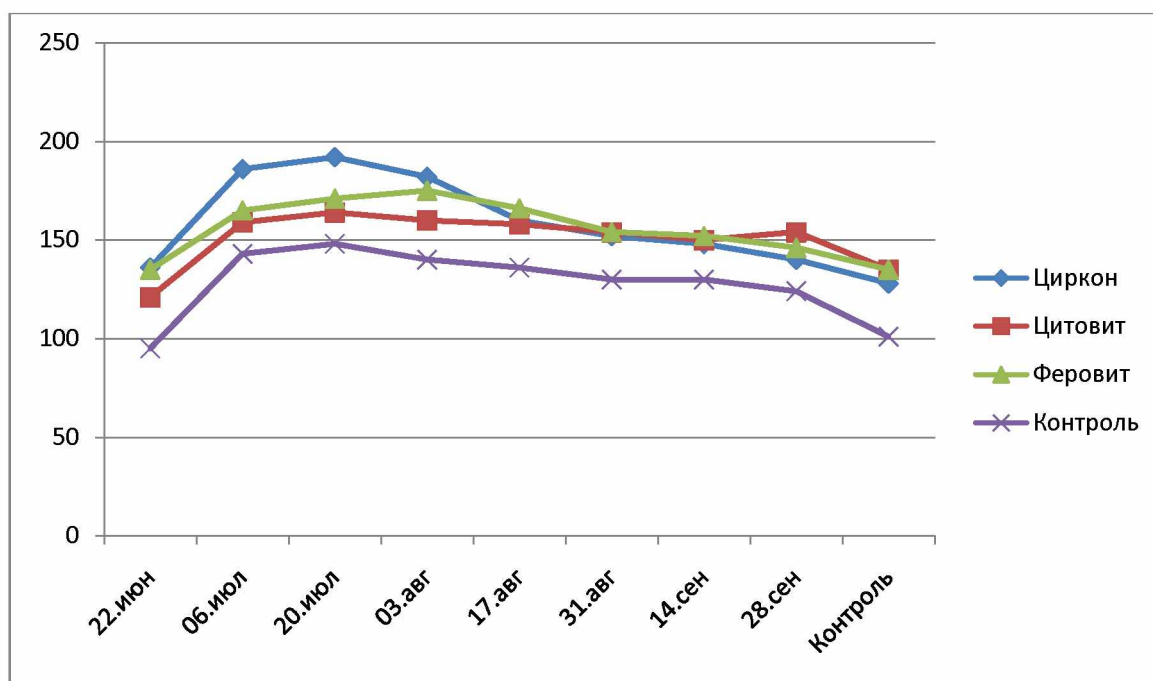


Рис. 2. Динамики всхожести семян и отпада сеянцев сосны обыкновенной выращенных на серых лесных почвах

Таблица 2

Среднестатистические показатели всхожести сосны обыкновенной под действие стимуляторов роста в различных условиях произрастания

Стимуляторы	Показатели				
	Мср, шт.	m	C, %	t	σ
На черноземах оподзоленных (Эртиль)					
Циркон (0,1мл/л)	172	4,94	8,62	0,35	14,8
Цитовит (0,1 мл/л)	148	4,20	8,54	0,35	12,6
Феровит (0,1 мл/л)	158	3,83	7,30	0,41	11,5
Контроль (вода)	130	4,47	10,30	0,29	13,4
На серых лесных почвах (ВГЛТУ)					
Циркон (0,1мл/л)	158	6,88	13,00	0,23	20,6
Цитовит (0,1 мл/л)	151	4,24	8,46	0,35	12,7
Феровит (0,1 мл/л)	155	4,14	7,98	0,38	12,4
Контроль (вода)	127	5,72	13,50	0,22	17,2

Пояснение: $M_{ср}$ – среднее значение всхожести; m – ошибка выборки; C – коэффициент изменчивости; t – коэффициент Стьюдента; σ – среднеквадратическое отклонение. В табл. 3 представлены средние данные по воздействию стимуляторов роста на количество стандартных сеянцев сосны путем их процентного сравнения с контрольными посевами.

Природопользование

Таблица 3

Оценка влияния биостимуляторов на количество семян сосны обыкновенной в различных условиях произрастания

Стимуляторы роста	Максимальное значение всхожести, шт./п.м	Сохранность семян, %	Среднее значение всхожести, шт./п.м	Процент от контроля
На черноземах оподзоленных (Эртиль)				
Циркон	194	83,51	171,8	132,88
Цитовит	162	82,72	147,6	110,96
Феровит	172	81,40	157,6	117,81
Контроль	146	71,92	129,7	100
На серых лесных почвах (ВГЛТУ)				
Циркон	192	66,67	58,2	129,73
Цитовит	164	82,32	50,6	110,81
Феровит	175	77,14	55,4	118,24
Контроль	148	68,24	27,2	100

Таблица 4

Биометрические показатели семян сосны обыкновенной выращенных в различных почвенных условиях с применением стимуляторов роста

Биостимулятор (0,1 мл/л)	Корневая часть, см				Надземная часть, см			
	Мср ±m	% от контроля	С, %	t	Мср ±m	% от контроля	С, %	t
На черноземах оподзоленных (Эртиль)								
Циркон	16,0±1,20	105,26	14,5	0,12	18,2±1,09	142,19	25,4	0,16
Цитовит	15,4±0,88	101,32	22,0	0,14	17,4±0,95	135,94	21,2	0,13
Феровит	15,5±1,05	101,97	16,4	0,13	16,9±1,21	132,03	18,6	0,15
Контроль	15,2±1,12	100	15,1	0,23	12,8±1,31	100	23,5	0,19
На серых лесных почвах (ВГЛТУ)								
Циркон	15,2±0,92	102	19,3	0,13	13,2±1,41	76	33,8	0,09
Цитовит	15,5±1,18	104	24,2	0,13	17,0±1,06	98	19,8	0,15
Феровит	16,9±0,79	113	14,9	0,21	18,4±1,29	106	22,2	0,14
Контроль	14,9±0,37	100	8,0	0,39	17,3±1,23	100	22,5	0,14

Установлено, что наибольший процент сохранности посеянных на территории Эртильского лесничества у сеянцев, обработанных цирконом, – 83,51 % по сравнению с 71,92 % у контрольных. Это положительно характеризует действие данного препарата на устойчивость и сохранность всходов. Наиболее положительные результаты показывает биостимулятор роста циркон, в растворе которого (0,1 г/л) были замочены семена сосны на 18 часов перед посевом, а затем раз в две недели была проведена корневая обработка с той же концентрацией. С его применением наблюдается более высокая максимальная и средняя всхожесть, относительно небольшой процент отпада, по сравнению с контрольными посевами. Также отмечена повышенная всхожесть на 32,88%.

В условиях УОЛ ВГЛТУ лучшие показатели всхожести наблюдаются также у циркона – 192 шт., но, несмотря на это, максимальный процент сохранности наблюдается при применении препарата цитовит, который равен 82,32 %.

Наибольший процент отпада наблюдается у контрольных сеянцев, с предпосевной обработкой водой, данный вариант не дает ощутимого положительного эффекта.

Вместе с оценкой влияния препаратов на всхожесть и сохранность изучаем динамику роста и развития сеянцев. При последнем наблюдении за опытами весной 2017 года была произведена выкопка сеянцев сосны обыкновенной для изучения биометрических показателей. Были случайно выбраны 50 сеянцев и изучены соотношения их надземной части и корневой системы. Результаты измерения биометрических показателей за весь период наблюдения представлены в табл. 4.

Из данных табл. 4 видно, что в первом опыте у сеянцев сосны, обработанных стимуляторами роста, хорошо развита надземная часть, но слабо развита корневая часть. У сеянцев, обработанных феровитом и цитовитом, наблюдается увеличение корневой части за счет развития боковых корней, у сеянцев, обработанных феровитом, также наблюда-

ется утолщение стволика, по сравнению с контролем и другими сеянцами. Наиболее пропорциональное развитие наблюдается у сеянцев, обработанных цитовитом, где примерно одинаковая величина надземной и подземной части.

Во втором опыте у сеянцев, обработанных цирконом и цитовитом, наблюдается преобладание величины корневой части над надземной. У обработанных феровитом одинаково хорошо развиты все части сеянца, корневая система с большим количеством боковых корней.

Выводы и рекомендации

1. При обработке семян перед посевом рекомендуется применять такие стимуляторы роста, как циркон и феровит, в концентрации 0,1 мл/л. Это положительно влияет на всхожесть семян по сравнению с контрольными посевами, проведенными в различных почвенных условиях.

2. На основании проведенных исследований установлено, что в опытных посевах сосны, выращенных в условиях подтипа черноземы оподзоленные, наиболее перспективным является применение стимулятора роста циркона. Действие данного препарата оказывает положительное влияние на рост и развитие сеянцев, повышает процент всхожести и сохранности семян, тем самым способствует увеличению выхода стандартных сеянцев сосны обыкновенной. Длина надземной части сеянцев, обработанных цирконом, преобладает над длиной корневой системы, которая имеет умеренно развитые боковые корни.

3. В опытных посевах сосны, выращенных в условиях серых лесных почв, наиболее перспективным является применение стимуляторов роста циркона и феровита. Действие циркона увеличивает всхожесть и сохранность посевов, что способствует увеличению выхода стандартных сеянцев. Феровит является универсальным стимулятором фотосинтеза, применяется в период вегетации для того, чтобы избежать появления болезней, связанных с дефицитом железа.

Библиографический список

1. Влияние стимуляторов роста природного происхождения на проростки хвойных пород / Е. М. Андреева [и др.] // Лесотехнический журнал. – 2016. – № 3. – С. 10–19.
2. Кириенко, М. А. Влияние стимуляторов роста на всхожесть семян основных лесобразующих пород / М. А. Кириенко // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений : матер. Междунар. науч.-практ. конф. (24–26 окт. 2013 г.). – Красноярск, 2013. – С. 57–63.
3. Кириенко, М. А. Влияние стимуляторов роста на всхожесть семян и сохранность всходов главных лесобразующих пород / М. А. Кириенко // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 12. – С. 134–140.
4. Кириенко, М. А. Влияние концентрации стимуляторов роста на грунтовую всхожесть семян и сохранность сеянцев главных лесобразующих видов Средней Сибири / М. А. Кириенко, И. А. Гончарова // Сибирский лесной журнал. – 2016. – № 1. – С. 39–45.
5. Острошенко, В. В. Влияние предпосевной обработки семян стимуляторами роста на их посевные качества / В. В. Острошенко, Л. Ю. Острошенко // Вестник КрасГАУ. – 2011. – № 5. – С. 12–15.
6. Влияние стимуляторов роста на энергию прорастания и лабораторную всхожесть семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) / В. В. Острошенко [и др.] // Известия СамНЦ РАН. – 2015. – Т. 17. – № 6. – С. 242–248.
7. Пентелькина, Н. В. Экологически чистые технологии на основе использования стимуляторов роста / Н. В. Пентелькина // Экология, наука, образование, воспитание : сб. науч. тр. БГИТА. – Брянск, 2002. – Вып. 3. – С. 69–73.
8. Пентелькина, Н. В. Влияние новых стимуляторов на качество сеянцев хвойных пород / Н. В. Пентелькина // Лесной комплекс: состояние и перспективы развития : сб. науч. тр. БГИТА. – Брянск, 2003. – Вып. 5. – С. 122–125.
9. Пентелькина, Н. В. Применение регулятора роста циркон при выращивании посадочного материала ценных древесных пород / Н. В. Пентелькина // Циркон – природный регулятор роста. Применение в сельском хозяйстве. – Москва : НЭСТ, 2010. – С. 330–340.
10. Влияние биостимуляторов и микроудобрений на рост сеянцев хвойных пород / Н. Е. Проказин [и др.] // Лесохозяйственная информация. – 2013. – № 2. – С. 9–15.
11. Устинова, Т. С. Биологические стимуляторы роста, применяемые в лесных питомниках / Т. С. Устинова // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2009. – Вып. 23. – С. 135–137.
12. Чилимов, А. И. Проблемы использования стимуляторов роста в лесном хозяйстве / А. И. Чилимов, С. А. Пентелькин // Лесное хозяйство. – 1995. – № 6. – С. 11–12.
13. Eriksson, U. Seed and pollen production after stem injections of gibberellin A4/7 in field-grown seed orchards of *Pinus sylvestris* / U. Eriksson, G. Jansson, C. Almqvist // Can. J. For Res. – 1998. – 28. – P. 340–346.
14. Little, C. H. Effects of exogenous gibberellin and auxin on shoot elongation and vegetative bud development in seedlings of *Pinus sylvestris* and *Picea glauca* / C. H. Little, J. E. MacDonald // Tree Physiol. – 2003. – 23. – P. 73–83.
15. Effects of prohexadione on cambial and longitudinal growth and the levels of endogenous gibberellins A1, A3, A4, and A9 and indole-3-acetic acid in *Pinus sylvestris* shoots / Q. Wang, C. H. Little, T. Moritz, P. C. Oden // J. Plant Growth Regul. – 1995. – 14. – P. 175–181.
16. Identification of endogenous gibberellins, and metabolism of tritiated and deuterated GA4, GA9 and GA20, in Scots pine (*Pinus sylvestris*) shoots / Q. Wang [et al.] // Physiol Plant. – 1996. – 97. – P. 764–771.
17. Effect of exogenous gibberellin A4/7 on tracheid production, longitudinal growth and the levels of indole-3-acetic acid and gibberellins A4, A7 and A9 in the terminal shoot of *Pinus sylvestris* seedlings / Q. Wang [et al.] // Physiol. Plant. – 1992. – 86 – P. 202–208.
18. Wang, Q. Control of longitudinal and cambial growth by gibberellins and indole-3-acetic acid in current-year shoots of *Pinus sylvestris* / Q. Wang, C. H. Little, P. C. Oden // Tree Physiol. – 1997. – 17. – P. 715-721.

References

1. Andreeva, E. M. et al. *Vlijanie stimulyatorov rosta prirodnoho proishozhdenija na prorostki hvojnyh porod* [Influence of growth promoters of natural origin on the sprouts of conifers]. *Lesotekhnicheskij zhurnal*, 2016, no. 3, pp. 10-19 (In Russian).
2. Kirienko M. A. *Vlijanie stimulyatorov rosta na vshozhest' semjan osnovnyh lesoobrazujushhih porod* [Effect of growth promoters on seed germination of the main forest-forming species]. *Plodovodstvo, semenovodstvo, introdukcija drevesnyh rastenij*: [Fruit growing, seed growing, introduction of woody plants] materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (24–26 okt. 2013 g.), Krasnojarsk, 2013, pp. 57–63. (In Russian).
3. Kirienko M. A. *Vlijanie stimulyatorov rosta na vshozhest' semjan i sohrannost' vshodov glavnyh lesoobrazujushhih porod* [Effect of growth promoters on seed germination and preservation of main forest-forming speci]. *Vestnik KrasGAU*, 2014, no 12, pp. 134–140 (In Russian).
4. Kirienko M. A., Goncharova I. A. *Vlijanie koncentracii stimulyatorov rosta na gruntovuju vshozhest' semjan i sohrannost' sejancev glavnyh lesoobrazujushhih vidov Srednej Sibiri* [Influence of concentration of growth stimulants on soil germination of seeds and safety of seedlings of the main forest-forming species of Central Siberia]. *Sibirskij lesnoj zhurnal*, 2016, no 1, pp. 39–45 (In Russian).
5. Ostroshenko V. V., Ostroshenko L. Yu. *Vlijanie predposevnoj obrabotki semjan stimulyatorami rosta na ih posevnye kachestva* [Influence of seed pre-sowing treatment with growth stimulants on their sowing qualities]. *Vestnik KrasGAU*, 2011, no 5, pp. 12–15 (In Russian).
6. Ostroshenko V.V. et al. *Vlijanie stimulyatorov rosta na jenergiju prorastanija i laboratornuju vshozhest' semjan sosny obyknovennoj (Pinus sylvestris L.)* [Effect of growth promoters on germination energy and laboratory germination of Scots pine seeds (*Pinus sylvestris* L.)]. *Izvestija SamNC RAN*, 2015, Vol. 17, no 6, pp. 242–248 (In Russian).
7. Pentel'kina N. V. *Jekologicheski chistye tehnologii na osnove ispol'zovanija stimulyatorov rosta* [Environmentally friendly technologies based on the use of growth stimulants]. *Jekologija, nauka, obrazovanie, vospitanie*. [Ecology, science, education] Sb. nauch. tr. BGITA, Brjansk, 2002, issue 3, pp. 69–73. (In Russian).
8. Pentel'kina N. V. *Vlijanie novyh stimulyatorov na kachestvo sejancev hvojnyh porod* [The influence of new stimulants on the quality of coniferous seedlings]. *Lesnoj kompleks: sostojanie i perspektivy razvitija* [Forest complex: state and prospects of development] Sb. nauch. tr. BGITA, Brjansk, 2003, issue 5, pp. 122–125 (In Russian).
9. Pentel'kina N. V. *Primenenie reguljatora rosta cirkon pri vyrashhivanii posadochnogo materiala cennyh drevesnyh porod* [The use of zircon growth regulator in the cultivation of planting material of valuable wood species]. *Cirkon – prirodnyj reguljator rosta. Primenenie v sel'skom hozjajstve* [Zircon is a natural growth regulator. Application in agriculture], Moscow, 2010, pp. 330–340. (In Russian).
10. Prokazin N. E. et al. *Vlijanie biostimulyatorov i mikroudobrenij na rost sejancev hvojnyh porod* [Influence of biostimulants and micronutrients on the growth of coniferous seedlings]. *Lesohozjajstvennaja informacija*, 2013, no 2, pp. 9–15 (In Russian).
11. Ustinova T. S. *Biologicheskie stimulyatory rosta, primenjaemye v lesnyh pitomnikah* [Biological growth promoters used in forest nurseries]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2009, issue. 23, pp. 135–137 (In Russian).
12. Chilimov A. I., Pentel'kin S.A. *Problemy ispol'zovanija stimulyatorov rosta v lesnom hozjajstve* [The problem of the use of growth promoters in forestry]. *Lesn. hoz-vo*, 1995, no 6, pp. 11–12 (In Russian).
13. Eriksson U., Jansson G., Almqvist C. *Seed and pollen production after stem injections of gibberellin A4/7 in field-grown seed orchards of Pinus sylvestris*. *Can. J. For Res.*, 1998, vol. 28, pp. 340–346.
14. Little C. H., MacDonald J. E. *Effects of exogenous gibberellin and auxin on shoot elongation and vegetative bud development in seedlings of Pinus sylvestris and Picea glauca*. *Tree Physiol.*, 2003, vol. 23, pp. 73–83.

15. Wang Q., Little C. H., Moritz T., Oden P. C. *Effects of prohexadione on cambial and longitudinal growth and the levels of endogenous gibberellins A1, A3, A4, and A9 and indole-3-acetic acid in Pinus sylvestris shoots*. *J. Plant Growth Regul.*, 1995, vol. 14, pp. 175–181.

16. Wang Q. et al. *Identification of endogenous gibberellins, and metabolism of tritiated and deuterated GA4, GA9 and GA20, in Scots pine (Pinus sylvestris) shoots*. *Physiol Plant*, 1996, vol. 97, pp. 764–771.

17. Wang Q. et al. *Effect of exogenous gibberellin A4/7 on tracheid production, longitudinal growth and the levels of indole-3-acetic acid and gibberellins A4, A7 and A9 in the terminal shoot of Pinus sylvestris seedlings*. *Physiol Plant*, 1992, vol. 86, pp. 202–208.

18. Wang Q., Little C. H., Oden P. C. *Control of longitudinal and cambial growth by gibberellins and indole-3-acetic acid in current-year shoots of Pinus sylvestris*. *Tree Physiol.*, 1997, vol. 17, pp. 715–721.

Сведения об авторах

Скозарева Инна Александровна – магистр кафедры лесных культур, селекции и лесомелиорации ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация.

Чернодубов Алексей Иванович – профессор кафедры лесных культур, селекции и лесомелиорации ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», доктор сельскохозяйственных наук, профессор, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: leskulvglt@gmail.com.

Information about authors

Skosareva Inna Aleksandrovna – master degree student of the Department of forest cultures, selection and forest reclamation, FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, Russian Federation.

Chernodubov Alexej Ivanovich – Professor of the Department of forest cultures, selection and forest reclamation, FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», DSc (Agriculture), Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: leskulvglt@gmail.com.

УЧЕТ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ПРИ ПРИВЕДЕНИИ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ К РАСЧЕТНОЙ НАГРУЗКЕ

аспирант **Н.В. Савенкова**

ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) Федеральный университет имени М.В. Ломоносова»,
г. Архангельск, Российская Федерация

Грузоподъемность тяжелых автотранспортных средств, используемых для перевозки древесины, в современном мире возрастает. Транспортные средства вызывают ускоренное разрушение лесовозных дорог. Системы дорог рассчитаны для транспортных средств старой концепции, как правило, с уменьшенной грузоподъемностью. В современной методике проектирования строительства и реконструкции дорожных одежд ключевое значение имеет суммарный коэффициент приведения интенсивности движения транспортных средств к расчетным нагрузкам. От величины принятого в расчете коэффициента прямо пропорционально зависят затраты ресурсов на строительство или реконструкцию дороги. Конструктивные особенности современных лесовозных автопоездов обуславливают специфику их воздействия на дорожное покрытие. При этом отсутствуют индивидуальные коэффициенты приведения их фактических нагрузок к расчетным. Целью данного исследования является изучение влияния тяжелых транспортных средств на дороги. Изучение научно-технической литературы приводит к выводу о недостаточной изученности комплекса вопросов, связанных с оценкой дорожных условий эксплуатации лесовозного транспорта и влиянием их на дорожное покрытие. При проектировании дорожной одежды необходимый запас прочности материала слоя на повторность воздействия нагрузки должен назначаться с учетом физико-механических свойств материала. В данном кратком обзоре мы хотели бы представить экспериментальные и теоретические данные о физико-механических свойствах материала и указать на важность их влияния при расчете коэффициента приведения автотранспортных средств к расчетной нагрузке.

Ключевые слова: дорожная одежда, коэффициент приведения к расчетной нагрузке, автотранспортное средство, транспортировка древесины

DESCRIPTION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PAVEMENT MATERIAL WHEN REDUCING FORESTRY MOTOR VEHICLES TO CALCULATED LOAD

Post-graduate student **N.V. Savenkova**

FSAEI HE "Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov", Arkhangelsk,
Russian Federation

Abstract

The carrying capacity of heavy vehicles used to transport timber is increasing in the modern world. Vehicles cause accelerated destruction of forest roads. Road systems are designed for old vehicles, usually with reduced carrying capacity. In the modern methodology for designing the construction and reconstruction of pavement, the total coefficient of reducing the traffic intensity to the calculated loads is of great importance. The cost of resources for the construction or reconstruction of a road directly depends on the coefficient taken in the calculation. The design features of modern truck-and-trailer combination sets determine the specifics of their impact on the road surface. Moreover, there are no individual coefficients for reducing their actual loads to the calculated ones. The purpose of this study is to study the effect of heavy vehicles on roads. The study of scientific and technical literature leads to the conclusion that the set of issues related to the assessment of the road operating conditions of timber transport and their influence on the road surface has been studied insufficiently. When designing pavement, the necessary safety margin of the layer material on the repetition of the load should be assigned taking into account physical and mechanical properties of the material.

In this brief review, we would like to present experimental and theoretical data on physical and mechanical properties of the material and indicate the importance of their influence in calculating the coefficient for reducing vehicles to the calculated load.

Keywords: pavement, load reduction factor, motor vehicle, timber transportation

Лесовозные автомобильные дороги должны обеспечивать бесперебойное, круглогодичное и безопасное движение лесовозных автотранспортных средств (далее – АТС) с расчетными скоростями и осевыми нагрузками в течение всего срока службы. Стоимость содержания и ремонта лесовозных дорог зависит от того, насколько верно разработана и рассчитана конструкция дорожной одежды.

В настоящее время четко обозначилась тенденция увеличения грузоподъемности лесовозных автопоездов, применяемых на вывозке древесины, способных перевозить за один рейс 50...60 м³. Лесовозные дороги до сих пор проектировались на расчетную нагрузку автомобилей группы А1, т.е. на 100 кН на ось. В связи с появлением большого количества специализированных тяжеловесных автотранспортных средств для перевозки круглых лесоматериалов возникает задача строительства новых и реконструкции действующих дорог на расчетные нагрузки от автомобилей группы А3, т.е. на 130 кН на ось.

Во всех методах расчета конструкции дорожных одежд нежесткого типа по ОДН 218.046-01 приведены результаты расчета коэффициента приведения к расчетным нагрузкам для автомобилей общего пользования, однако без учета специфики лесовозных дорог, что является огромным недостатком. Расчет дорожной одежды определяется величиной требуемого модуля упругости, который, в свою очередь, зависит от интенсивности воздействия расчетной нагрузки на дорожную одежду.

В современной методике проектирования строительства и реконструкции дорожных одежд ключевое значение имеет суммарный коэффициент K_{np} приведения интенсивности движения транспортных средств к расчетным нагрузкам от автомобилей группы А. От величины принятого в расчете K_{np} прямо пропорционально зависят затраты всевозможных ресурсов на строительство или реконструкцию дороги. Это свидетельствует о необхо-

димости использования в практике проектирования дорог достаточно корректных значений K_{np} . Современные АТС отличаются от расчетных автомобилей целым рядом параметров, влияющих на напряженно-деформированное состояние дорожной конструкции. В расчетах общего числа приложений нагрузки к дорожному покрытию это влияние учитывают коэффициентом приведения K_{np} , значение которого индивидуально для каждого АТС.

При проектировании дорожной одежды необходимый запас прочности материала слоя на повторность воздействия нагрузки должен назначаться в зависимости от интенсивности движения, состава транспортного потока, срока службы и от способности данного материала сопротивляться усталостному разрушению [9, 10, 11].

В работе А.Г. Колчанова «Совершенствование метода расчета нежестких дорожных одежд для сверхтяжелых автомобилей» [5] изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований по обоснованию расчетного диаметра отпечатка колеса для автомобилей грузоподъемностью 27-180 т. Автор показал, что чем больше грузоподъемность автомобиля, тем больше у него диаметр отпечатка колеса и более неблагоприятное воздействие, оказываемое этим АТС на дорожное покрытие [12].

В исследовании Б.С. Радовского и Г.В. Малеванского [6, 7] задача о долговечности материала при многократном действии напряжений различной величины была решена авторами на основе правила Пальмгрема-Майнера о линейном суммировании повреждений. Алгоритм расчета дал возможность получать результаты для различных законов распределения проездов колес транспортных средств по ширине проезжей части:

1) кривые усталости всех материалов слоев близки к линейной зависимости в логарифмических координатах. Однотипность этих кривых дает возможность на основе единой зависимости описывать

сопротивление различных материалов слоев усталостному разрушению;

2) значение постоянной n (константа, характеризующая наклон прямой усталости в координатах) практически не зависит от вида напряженно-деформированного состояния материала (изгиб, сжатие, изгиб на упругом основании);

3) дорожно-строительным материалам, содержащим органические и минеральные вяжущие вещества, соответствуют две различные не перекрывающиеся области расположения усталостных прямых в логарифмических координатах;

4) по чувствительности к повторности приложения нагрузки дорожно-строительные материалы можно расположить в таком порядке: дегтебетоны; асфальтобетоны; грунты, укрепленные известью или цементом; цементбетоны. Это следует из того, что на любом уровне нагружения число приложений нагрузок до разрушения образцов различных материалов возрастает в указанном порядке;

5) положение усталостных прямых зависит главным образом от вида и свойств вяжущего вещества. Постоянная n , характеризующая наклон усталостной прямой, имеет следующие значения: для горячих дегтебетонов и холодных битумо-минеральных смесей 2...3; горячих асфальтобетонов на битумах средней вязкости 3,5...5,0; горячих асфальтобетонов на вязких битумах 5,0...6,3; грунтов, укрепленных цементом либо известью, 12...20; цементбетонов 20...37.

Общепринятая точка зрения на механизм усталостного разрушения твердых тел пока еще не выработана. В исследованиях рассматривают чаще всего какой-либо один из двух механизмов усталостного разрушения: критический или термофлуктуационный.

Критический механизм (Гриффит и др. [7]) предполагает существование трех фаз процесса усталостного разрушения: движение и скопление микродефектов, развитие микротрещин, распространение трещин по телу, завершающееся разрушением тела как целого.

Первая фаза выражается в движении и концентрации микродефектов, вторая – в образовании микротрещины, развитии и ветвлении системы микротрещин. Возникновение системы микротре-

щин вызывает двойкий эффект: с одной стороны, трещины уменьшают «живое сечение» материала, ослабляя его, с другой – снимают внутренние микронапряжения, повышая сопротивление соответствующего участка материала внешним по отношению к нему нагрузкам. При достижении материалом критического ослабления начинается третья фаза процесса: возникает одна макроскопическая трещина (или немногие макроскопические трещины), приводящая (приводящие) к разрушению тела.

Однако полагают, что материалы слоев дорожных одежд, обладающие не только упругими, но и в значительной степени вязкими свойствами, могут разрушаться не только вследствие развития дефектов. В частности, для материалов, укрепленных органическими вяжущими веществами, и в меньшей степени – для материалов, содержащих минеральные вяжущие, существенная роль принадлежит кинетическому термофлуктуационному процессу постепенного накопления нарушений.

Согласно термофлуктуационному механизму (С.Н. Журков и др. [7]) разрушение твердого тела является следствием постепенного накопления субмикроскопических разрушений, развивающихся при совместном действии механических напряжений и тепловых колебаний атомов и молекул. Элементарными актами термического процесса разрушения являются термофлуктуационные разрывы связей (химических и межмолекулярных), активируемые приложенным механическим напряжением. При этом тепловые колебания считаются основной причиной разрыва связей, а роль внешней нагрузки сводится к уменьшению потенциального барьера, т. е. к увеличению вероятности разрыва связей.

Можно предположить, что практически для всех дорожно-строительных материалов характерно сочетание критического и термофлуктуационного механизмов разрушения. На основе этих физических закономерностей усталостного разрушения можно проанализировать имеющиеся экспериментальные данные о сопротивляемости образцов различных материалов слоев дорожных одежд повторным кратковременным нагрузкам.

Как известно, наиболее распространенным типом дорожного покрытия является щебеночное, технический потенциал которого высок, а техноло-

гические преимущества хорошо известны. Наряду с этим, долговечность дорожных конструкций со щебеночными основаниями продолжает оставаться небольшой.

Более 20 лет назад проф. В.Д. Казарновский четко сформулировал проблему: «Существующая методика расчета нежестких дорожных одежд содержит в себе глубокие противоречия. С одной стороны, она базируется на достаточно «тонком» теоретическом аппарате теории упругих многослойных систем, с другой – содержит мощный эмпирический блок определения расчетных характеристик, произвольные действия и грубые осреднения в котором перечеркивают точность расчетных формул при получении конечного результата» [3].

Е.М. Баранов предложил структурный подход к исследованию конструктивных слоев основания дорожных одежд из материалов, не обработанных вяжущими. Он отметил, что для определения модуля упругости щебеночных (гравийных) слоев основания достаточно знать лишь зерновой состав исходной смеси и физико-механические характеристики каменных материалов. Кроме того, полученный автором в ходе исследования закон изменения контактного сечения позволяет прогнозировать изменение деформационных характеристик слоев основания в процессе эксплуатации дороги [1].

Грунты, в состав которых входит большое количество тонкораздробленных частиц, следует рассматривать как дисперсные системы с твердой фазой и жидкой средой (вода). Большое влияние на свойства грунтов оказывает наличие в них коллоидальной и тонкодисперсной части. Физические свойства грунта и его состояние под нагрузкой в значительной степени определяются относительным содержанием частиц различной крупности, т. е. гранулометрическим составом.

Мелкие частицы в грунтах объединяются в структурные группы. Крупные структурные группы при раздроблении легко разрушаются, а микрогруппы не поддаются механическому разрушению ввиду наличия между частицами сил взаимного притяжения. Силы притяжения между частицами грунта возникают через пленки связанной воды. Физические свойства грунтов также зависят от влажности.

При деформации грунта под нагрузкой наблюдается сжатие и выжимание его в стороны. При вдавливании штампа в грунт в первой фазе деформации происходит только уплотнение грунта; при этом зависимость между нагрузкой и деформацией у слабо уплотненных грунтов имеет вогнутую характеристику, а у плотных – примерно прямолинейную. При дальнейшем возрастании нагрузки наряду с уплотнением происходит выжимание грунта в стороны из-под площадки, передающей нагрузку, при этом деформация значительно увеличивается. При некоторой критической нагрузке происходит резкое погружение площадки с интенсивным выжиманием грунта с ее боков.

Прочность грунтов оценивается следующими параметрами: несущей способностью грунта, коэффициентом постели и модулем деформации (модулем упругости).

Проф. В.Ф. Бабков отмечал, что несущая способность, т. е. удельная нагрузка $P_{крит}$, определяется при заданной величине деформации $l=const$; при критической деформации – для сооружений $l=l_{крит}$; при напряжениях в грунте, соответствующих переходу деформации из фазы уплотнения в фазу сдвига $\sigma=\sigma_{крит}$. Проходимость ТС по грунту наиболее полно определяет последнее условие несущей способности [2].

Проф. Н.Н. Иванов при оценке сопротивления грунтов вертикальной нагрузке указал, что при малых нагрузках осадка примерно пропорциональна увеличению нагрузки [2]. Затем, при некоторой нагрузке, равной пределу пропорциональности, деформация быстро возрастает и, наконец, при временном сопротивлении опорная площадка фактически теряет поддержку и проваливается на значительную глубину.

Проф. А.К. Бируля, рассматривая характер кривой вдавливания штампа в грунт, подразделял процесс деформации на три фазы: сжатия, местных сдвигов и выпучивания, когда наблюдаются значительные деформации без существенного повышения давления [2].

Определение несущей способности грунтов по кривой вдавливания принято считать наиболее правильным. Если принять кривые вдавливания штампа в первой и третьей фазах за прямолиней-

ные, то координата точки пересечения этих прямых может быть принята за предельную несущую способность грунта. В этом случае предполагается работа колесных ТС в фазе местных сдвигов, что вполне допустимо при ограниченном числе проходов.

При оценке грунта с точки зрения проходимости транспорта В.К. Голяк приводит графики предела несущей способности грунта в зависимости от относительной влажности, построенные по данным Н.Н. Иванова. Из графиков следует, что максимальная несущая способность несвязных грунтов наблюдается при некоторой оптимальной влажности: у песчаных грунтов максимум соответствует относительной влажности 60...70 %, а у пылеватых супесей – 40...50 %. Несущая способность связных грунтов уменьшается с увеличением относительной влажности.

При определении несущей способности различных грунтов неблагоприятные климатические периоды учитывают хорошую водопроницаемость несвязных грунтов, которые, как правило, имеют влажность ниже влажности предела текучести; связные грунты имеют плохую водопроницаемость, и их влажность в этих условиях приближается к пределу текучести. Проходимость ТС в зависимости от несущей способности грунтов определяют приближенно штампом. При этом пытаются учитывать, что на деформацию грунта оказывают влияние размер штампа, его форма и скорость приложения расчетной нагрузки.

Исследования С.Н. Журкова, Н.Н. Иванова и др. показывают, что вследствие различия деформативно-прочностных характеристик грунтов взаимодействие колес одного и того же автопоезда с различными типами покрытий значительно различается. В этой связи в большинстве исследований по определению значений коэффициента приведения результаты дифференцируют минимум на две группы: 1) с капитальными и облегченными покрытиями; 2) с жесткими и низшими типами покрытий.

Также на основе анализа существующих в теории расчета жестких дорожных одежд формул и вычислительного эксперимента установлено, что определяемый требуемый модуль упругости не зависит от расчетной осевой нагрузки. Вместе с

тем, один и тот же требуемый модуль упругости в расчете достигается различными по толщине конструктивными слоями в зависимости от расчетной нагрузки. Также установлено, что при оценке прочности одна и та же конструкция дорожной одежды может иметь разные модули упругости в зависимости от того, на какую расчетную нагрузку оценивается прочность.

Акцентируется внимание на том, что для расчетной нагрузки 130 кН необходим индивидуальный подход по конструированию жесткой дорожной одежды с рекомендуемыми ограничениями.

На данный момент установлено, что парк лесовозных автопоездов является разнообразным и включает в себя множество моделей тяжеловесных большегрузных АТС зарубежного производства. Конструктивные особенности современных лесовозных автопоездов обуславливают специфику их воздействия на дорожное покрытие.

Подводя итоги, можно сделать следующие выводы.

Прежние технологии строительства лесовозных дорог и конструкции дорожных одежд не в полной мере отвечают требованиям, предъявляемым в связи с появлением лесовозных автопоездов большой грузоподъемности. Анализ научнотехнической литературы приводит к выводу о недостаточной изученности комплекса вопросов, связанных с оценкой дорожных условий эксплуатации лесовозного транспорта и влиянием их на дороги. На основании выполненного обзора литературы можно сделать вывод, что только на основе комплексного изучения влияния геометрических параметров тяжелых транспортных средств можно говорить о влиянии этих параметров на разрушение лесных дорог. Принципиально новым положением является определение нагрузки как суммарного числа приложений расчетной нагрузки за весь период срока службы дороги. Это позволяет повысить надежность и работоспособность дорожных одежд. Необходимо выполнить ряд теоретических и экспериментальных исследований для разработки методов определения суммарных коэффициентов приведения воздействия лесовозных автопоездов к нормативной нагрузке.

Библиографический список

1. Баранова, Е. М. Метод определения деформационных характеристик слоев основания дорожных одежд из материалов, не обработанных вяжущими / Е. М. Баранова // Дороги и мосты. – Москва : РосдорНИИ, 2013. – Вып. 30/2. – С. 156–162.
2. Горбачевский, В. А. Работа шин на лесотранспорте / В. А. Горбачевский. – Москва : Лесн. пром-сть, 1970. – С. 96–105.
3. Казарновский, В. Д. Задачи совершенствования теории и практики расчета и конструирования дорожных одежд / В. Д. Казарновский // Автомобильные дороги. – 1992. – № 3. – С. 11–12.
4. Калужский, Я. А. Уплотнение земляного полотна и дорожных одежд / Я. А. Калужский, О. Т. Батраков. – Москва : Транспорт, 1970. – 160 с.
5. Колчанов, А. Г. Совершенствование метода расчета нежестких дорожных одежд для сверхтяжелых автомобилей / А. Г. Колчанов // Промышленный транспорт. – 1977. – № 2. – С. 79–86.
6. Красиков, О. А. Особенности расчета и оценки прочности нежестких дорожных одежд на существующие расчетные осевые нагрузки / О. А. Красиков // Дороги и мосты. – 2015. – Т. 1. – № 33. – С. 112–128.
7. Радовский, Б. С. Проектирование дорожных одежд для движения большегрузных автомобилей / Б. С. Радовский, А. С. Супрун, И. И. Козаков. – Киев : Будивэльник, 1989. – 168 с.
8. Хархута Н. Я. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог / Н. Я. Хархута, Ю. М. Васильев. – Москва : Транспорт, 1975. – 288 с.
9. Maximum loading heights for heavy vehicles used in timber transportation / C. Antoniadu, C. Şlincu, C. Stan, V. Ciobanu, V. Ştefan // Bulletin of the Transilvania University of Braşov. – 2012. – Vol. 5 (54), № 1. – P. 7–12.
10. Greis, I. Forest roads in Finland: Practices for the development of forest roads in Russia / I. Greis, K. Kontinen // Ideas, practices and tools for the development of wood procurement / Mikkeli university of applied sciences ; ed. K. Itkonen. – 2014. – P. 35–42.
11. Trzciński, G. Effects of Timber Loads on Gross Vehicle Weight / G. Trzciński, W. Sieniawski, T. Moskalik // Folia Forestalia Polonica. – 2013. – series A, Vol. 55 (4). – P. 159–167.
12. Palander, T. Potential Traffic Levels after Increasing the Maximum Vehicle Weight in Environmentally Efficient Transportation System: The Case of Finland / T. Palander, K. Kärhä // Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems. – 2017. – Vol. 5, Issue 3. – P. 417–429.

References

1. Baranova E. M. *Metod opredeleniya deformatsionnykh kharakteristik sloev osnovaniya dorozhnykh odezhd iz materialov, ne obrabotannykh vyazhushchimi* [Method for determining the deformation characteristics of the pavement base layers of materials not treated with astringents]. *Dorogi i mosty*. – Moscow : Rosdor-NII, 2013. Vol. 30/2. pp. 156-162 (In Russian).
2. Gorbachevskiy V. A. *Rabota shin na lesotransporte* [The work of tires in the forest transport]. M.: Lesnaya promyshlennost', 1970. pp. 96-105 (In Russian).
3. Kazarnovskiy V. D. *Zadachi sovershenstvovaniya teorii i praktiki rascheta i konstruirovaniya dorozhnykh odezhd* [The tasks of improving the theory and practice of calculating and designing pavements]. *Avtomobil'nye dorogi*. 1992. № 3. pp. 11-12 (In Russian).
4. Kaluzhskiy Ya. A., Batrakov O. T. *Uplotnenie zemlyanogo polotna i dorozhnykh odezhd* [Sealing of the roadbed and pavement]. Moscow: Transport, 1970. 160 p. (In Russian)

5. Kolchanov A. G. *Sovershenstvovanie metoda rascheta nezhestkikh dorozhnykh odezhd dlya sverkhtyazhelykh avtomobiley* [Improving the method of calculating non-rigid pavements for super heavy vehicles]. *Promyshlennyy transport*. 1977. № 2. pp. 79-86 (In Russian).

6. Krasikov O. A. *Osobennosti rascheta i otsenki prochnosti nezhestkikh dorozhnykh odezhd na sushchestvuyushchie raschetnye osevye nagruzki* [Features of the calculation and evaluation of the strength of non-rigid pavements on the existing design axial loads]. *Dorogi i mosty*. 2015. Т. 1. № 33. pp. 112-128 (In Russian).

7. Radovskiy B. S., Suprun A. S., Kozakov I. I. *Proektirovanie dorozhnykh odezhd dlya dvizheniya bol'shegruznykh avtomobiley* [Design of pavements for the movement of heavy vehicles]. Kiev: Budivel'nyk, 1989, 168 p. (In Russian).

8. Kharkhuta N. Ya., Vasil'ev Yu. M. *Prochnost', ustoychivost' i uplotnenie gruntov zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog* [Strength, stability and compaction of subgrade soil of highways]. Moscow: Transport, 1975, 288 p. (In Russian).

9. Antoniadu C., Şlincu C., Stan C., Ciobanu V., Ştefan V. Maximum loading heights for heavy vehicles used in timber transportation. *Bulletin of the Transilvania University of Braşov*. 2012, Vol. 5 (54), № 1, pp. 7-12.

10. Greis I., Kontinen K. Forest roads in Finland: Practices for the development of forest roads in Russia. Ideas, practices and tools for the development of wood procurement. Mikkeli university of applied sciences; ed. K. Itkonen. 2014, pp. 35-42.

11. Trzciński G., Sieniawski W., Moskalik T. Effects of Timber Loads on Gross Vehicle Weight. *Folia Forestalia Polonica*. 2013, series A, Vol. 55 (4), pp. 159-167.

12. Palander T., Kärhä K. Potential Traffic Levels after Increasing the Maximum Vehicle Weight in Environmentally Efficient Transportation System: The Case of Finland. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*. 2017, Vol. 5, Issue 3, pp. 417-429.

Сведения об авторе

Савенкова Надежда Владимировна – аспирант очной формы обучения, кафедра лесопромышленных производств и обработки материалов, высшая инженерная школа, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, Российская Федерация; e-mail: ignasheva_92@mail.ru.

Information about the author

Savenkova Nadezhda Vladimirovna – PhD student, higher engineering school, FSAEI HE «Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov», Arkhangelsk, Russian Federation; e-mail: ignasheva_92@mail.ru.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

кандидат технических наук, доцент **А.П. Мохирев**кандидат экономических наук **С.О. Медведев**магистрант **О.Н. Смолина**

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», Лесосибирский филиал, г. Лесосибирск, Российская Федерация

Статья посвящена представлению результатов исследования по актуальной для лесозаготовительной отрасли теме. Одной из важных и проблемных для лесозаготовителей характеристик лесовозных дорог является их пропускная способность. Количество перевозимого груза за определенный период времени зависит от категории и состояния транспортных путей. Чем лучше дороги, тем выше скорость автолесовозов, больший объем перевозит машина. Исследования строились на базе основных технико-экономических данных по вывозке леса на лесозаготовительных участках ЗАО «Новоенисейский лесохимический комплекс» (ЗАО «НЛХК»), а также натурных наблюдений и анализа результатов транспортировки древесины. Также активно использовался экспертный метод и математическая обработка полученных результатов. По результатам исследований выделены наиболее значимые управляемые факторы: грунтово-почвенные условия, рельеф местности и наличие водных преград. Их значимость зависит от периода вывозки древесины в течение года. Так, самым благоприятным периодом считается зимний, когда водные преграды замерзают и превращаются в ледовые переправы, грунт промерзает глубоко, а неровности на дороге скрывает утрамбованный лесовозной техникой снег. Самыми неблагоприятными считаются весенний и осенний периоды, когда производительность заготовки и вывозки сырья падает из-за трудных дорожных и погодных условий. В условиях Красноярского края можно выделить пять периодов: зимний, зимне-весенний, весенний, летний, осенний. Каждый фактор принимает разное значение в разные периоды времени. В результате исследований предложены технологические мероприятия по увеличению пропускной способности. Полученные результаты должны быть использованы при планировании развития сети дорог на лесной территории, выбора способов и методов вывозки древесины, однако, что более важно, при определении пропускной способности дорог на лесной территории. Последнее направление исследования и результаты по нему следует признать наиболее интересными для академической науки и практики.

Ключевые слова: пропускная способность дорог, лесовозная дорога, управляемые и управляемые факторы, скорость движения

FACTORS INFLUENCING THE ACCESSIBILITY OF TIMBER TRANSPORT ROADS

PhD (Engineering), Associate Professor **A.P. Mokhirev**PhD (Economics) **S.O. Medvedev**Master's Degree Student **O.N. Smolina**FSBEI HE Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,
Lesosibirsk branch, Lesosibirsk, Russian Federation

Abstract

The article is devoted to the presentation of research results on a topic relevant to the forestry industry. One of the important and problematic characteristics of timber transport roads for loggers is their carrying capacity. The amount of cargo carried over a certain period of time depends on the category and condition of transport routes. The better the roads, the higher the speed of the truck, the greater the volume of the car is. The studies were based on the basic technical and economic data on forest forwarding at the logging sites of Novoeniseysk Forest-Chemical Complex CJSC (NFCC CJSC), as well as field observations and analysis of the results of timber transportation. The expert method and mathematical processing of the results have been actively used. According to the research results, the most

significant uncontrollable factors have been identified: soil conditions, terrain and the presence of water barriers. Their significance depends on the period of timber transportation during the year. So, winter is considered to be the most favorable period, when water barriers freeze and turn into ice crossings. Soil freezes deeply, and bumps on the road are covered by snow packed by forestry equipment. The most unfavorable are the spring and autumn periods when the productivity of harvesting and transporting raw materials falls due to difficult road and weather conditions. Five periods can be distinguished in the conditions of the Krasnoyarsk Territory: winter, winter-spring, spring, summer, autumn. Each factor takes different meaning at different time periods. Technological measures to increase throughput are proposed as a result of research. The results should be used in road network planning in the forest area, and the choice of timber transportation methods. However, it is more important to use it in determining the capacity of forest roads. The last area of research and the its results should be recognized as the most interesting for academic science and practice.

Keywords: road capacity, timber transport road, controlled and uncontrolled factors, speed

Введение

Лесовозные автодороги могут быть круглогодичного или временного пользования [16]. На данном виде дорог основными транспортными средствами являются лесовозные автопоезда. Основное назначение каждой лесовозной дороги состоит в том, чтобы вывезти в заданные сроки плановый объем древесины при минимизации затрат и эффективном использовании автопарка [13]. В значительном числе исследований [3, 5, 7] выделяется ряд ключевых проблем в данной сфере. Среди них выделяются:

- проблема повышения транспортной доступности лесных ресурсов;
- необходимость учета и нейтрализация негативного воздействия факторов, оказывающих влияние на вывозку заготовленной древесины;
- минимизация расходов на всей цепи поставок.

Такая проблематика выявлена при проведении анализа трудов как отечественных, так и зарубежных ученых.

Следует особо выделить, что теоретические исследования, по большей части, не находят внедрения в практику деятельности лесозаготовительных предприятий. Это обусловлено слабыми связями академической науки с производителями и, как следствие, недостатком информации о реальных проблемах и факторах, оказывающих влияние на транспортировку заготовленной древесины.

Ученые из Петрозаводского государственного университета (Анисимов Г.М., Лукашевич В.М., Шегельман И.Р., Щеголева Л.В.) ведут

исследования в направлении повышения эффективности лесозаготовок. Так, среди наиболее интересных разработок здесь можно выделить серьезное внимание к эффективной организации лесозаготовительных работ. Для этих целей, как отмечается авторами [8], необходимо иметь подробную информацию о природно-производственных условиях мест лесозаготовок. Под последними понимается совокупность всех факторов, определяющих выбор и обоснование комплектов машин и технологического процесса лесозаготовок.

Классификация факторов – крайне сложная задача, особенно с учетом их зависимостей и взаимообусловленностей. Тем не менее, многие современные авторы успешно решают данную задачу и приводят различные примеры систематизации факторов. Одним из выводов, отмечаемым многими исследователями, следует признать необходимость осуществления заготовки и вывозки древесины в зимний период времени при неблагоприятных почвенно-грунтовых условиях.

Обращаясь к одному из вариантов классификации, можно разделить природно-производственные условия на две группы: внутренние и внешние [8]. Первые из них определяются конкретной структурной схемой и организацией ее использования. В частности, ими могут быть: производственные условия, основные параметры и конструктивные особенности машин. Вторые – действием окружающей среды: производственные условия, основные параметры и конструктивные особенности машин.

Очевидно, что внутренние факторы напрямую зависят от способа организации лесосечных

работ. В то же время управление внешними крайне затруднительно, а зачастую и вовсе невозможно. Вследствие этого возникает потребность минимизации их влияния.

Такая постановка вопроса привела к ряду важных последствий для науки и практики. Ключевым из них представляется потребность в дополнительных исследованиях в части пропускной способности лесовозных дорог. Данный термин в научной литературе [1, 7, 13] трактуется как наибольшие объемы грузов, которые могут пройти через определенный участок дороги за единицу времени в одном или двух направлениях при определенных погодно-климатических и дорожных условиях. При вывозке древесины с леса основной поток направлен в одну сторону.

Пропускная способность дорог общего назначения к настоящему моменту времени исследована достаточно подробно. Однако проблематика пропускной способности автолесо-возных дорог представлена в научной литературе недостаточно широко, что обуславливает необходимость дополнительных и целенаправленных исследований в данном направлении.

Среди исследований в данном направлении можно выделить Е. В. Платонову [11]. Она предлагает определять пропускную способность как сумму пропускных способностей дороги и развязов. Однако в своих работах она не учитывает внешние факторы, влияющие на время прохождения по развязам, которые могут иметь разный характер. На время их прохождения влияют множество неуправляемых природно-климатических факторов [4].

Неуправляемые природно-климатические факторы – это природные явления, а также влияние климата на дорожные условия, при которых воздействие человека сводится к минимуму.

Анализируя зарубежные источники по данному вопросу, следует отметить, что ключевая роль в снижении пропускной способности отводится ливневым потокам [14]. Они размывают дороги, тем самым ограничивая движение. При этом авторы приводят рекомендации разнообразных дренажных сооружений для различных видов почв с целью решения проблемы.

Обобщая полученные в ходе анализа литературных данных сведения, следует отметить, что в материалах отечественных и зарубежных исследований встречается множество различных факторов, влияющих на пропускную способность дорог. Однако комплексная оценка влияния неуправляемых факторов в различные сезоны года практически не проводилась.

Целью исследований авторского коллектива является подробное изучение неуправляемых факторов, влияющих на пропускную способность автомобильных лесовозных дорог в различные сезоны года.

Материалы и методы исследований

Исследования строились на базе основных технико-экономических данных по вывозке леса на лесозаготовительных участках (ЛЗУ) ЗАО «Новоенисейский лесохимический комплекс» (ЗАО «НЛХК»), а также натурных наблюдений и анализа результатов транспортировки древесины.

ЗАО «НЛХК» производит лесозаготовки в границах Нижне-Енисейского, Енисейского, Мотыгинского, Гремучинского, Терянского, Невонского и Хребтовского лесничеств, расположенных на территории Енисейского, Мотыгинского и Богучанского муниципальных районов Красноярского края, в соответствии с двенадцатью договорами аренды лесных участков.

Столь обширная территория обуславливает существенное разнообразие лесозаготовительных участков по природно-климатическим условиям, почвенным характеристикам, рельефу местности. На ЛЗУ существует сезонное разграничение существующей лесной инфраструктуры на летние, зимние и объекты круглогодичного использования. При этом выбор сезона и объема вывозки зависит от пропускной способности и работоспособности дороги.

Перечень факторов и их значение определялось экспертным методом. Эксперты выбирались из числа инженерно-технических работников лесозаготовительных участков ЗАО «Новоенисейский ЛХК», связанных с транспортировкой древесины, а также научных сотрудников Лесосибирского филиала СибГУ. Отбор экспертов осуществлялся посредством математического алгоритма «О лидере»,

позволяющего сделать наиболее объективный выбор среди кандидатов в эксперты.

Результаты и обсуждение

В ходе исследования установлено, что пропускная способность в исследуемой сфере зависит от большого числа факторов [18]:

- дорожных условий (ширины проезжей части, продольного уклона, радиуса кривых в плане, расстояния видимости и др.);
- состава потока автомобилей;
- наличия средств регулирования;
- погодных-климатических условий;
- возможности маневрирования автомобилей по ширине проезжей части;
- психофизиологических особенностей водителей;
- конструкции автомобилей и т.д.

Изменение отмеченных факторов ведет к нестабильной пропускной способности в течение суток, месяца, сезона и года. При этом пропускная способность маршрута в значительной степени определяется временем, затрачиваемым на преодоление узких мест отдельных участков дороги [4]. Значимость данных факторов представлена на диаграмме рис. 1.

Анализ полученных результатов позволил выделить факторы:

1. Управляемые, то есть те, что непосредственно связаны с деятельностью человека, – состояние дорожного покрытия, геометрические параметры дороги, пересечения и примыкания дорог [9];

2. Неуправляемые – природно-климатические факторы [12].

Наиболее значимыми неуправляемыми факторами выступают почвенно-грунтовые условия дороги [15], рельеф местности [8] и наличие водных преград [17].

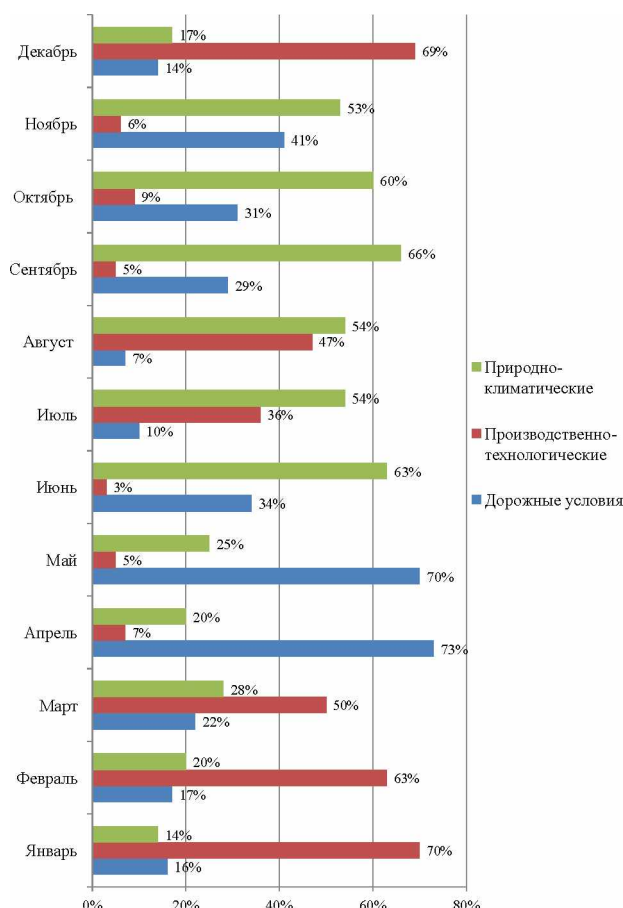


Рис. 1. Влияние факторов на пропускную способность лесовозных дорог, по месяцам года

Почвенно-грунтовые условия (общее состояние почв) выступают важнейшей характеристикой использования дорог. При этом в зависимости от времени года особенности учета данного фактора разнятся. В осенний и весенний (влажные) периоды почвенно-грунтовые условия существенно ниже за счет повышенной влажности. Данный факт ведет к снижению прочности грунта. При проезде лесовозной техники по такому полотну оно сначала прогибается, а затем возвращается в исходное или близкое к исходному состояние.

Общеизвестно, что грунтовые естественные дороги являются наименее благоустроенными дорогами. Они не снабжены технологически верно исполненным поперечным профилем, повышающим качество полотна, водоотводами и боковыми канавами. Зачастую движение лесовозной техники по таким дорогам возможно лишь в летний и, что важно, сухой период. Следует выделить исключение из этого правила. Проезд по дорогам, проходя-

щим по песчаным грунтам, легче во влажные периоды года, нежели в сухие. Это объясняется тем, что легкие суглинки и супеси обладают свойствами оптимальной грунтовой смеси.

Для поддержания надлежащего качества дорожного полотна таких дорог осуществляются следующие мероприятия [6]:

- укрепление каменными материалами;
- обустройство поперечного профиля;
- рытье каналов;
- ограничение или полный запрет движения транспорта в период повышенной влажности;
- возведение разнообразных временных сооружений (мосты и мостики) и т. д.

Все это ведет к существенным затратам для лесозаготовительных предприятий и в целом ведет к ощутимому снижению эффективности их деятельности [5].

Грунты III и IV-й категорий представляют собой серьезную проблему для лесозаготовителей. Их наличие существенно снижает вариативность выбора способов и видов транспорта для перевозки лесоматериалов. Таким образом, для практики лесозаготовителей крайне важной задачей выступает повышение проходимости путем управления несущей способностью дорожного покрытия на цепях поставки древесины. При грамотных мероприятиях в данном направлении возможно существенно повысить производительность лесотранспортных машин [7]. При этом ресурсы для повышения несущей способности путей ограничиваются возможностями древостоя, биологическая продуктивность которого определяется режимом увлажнения и рельефом местности, то есть категорией местности [5].

В условиях, приближенных к идеальным, лесозаготовители выбирают наиболее короткие маршруты доставки [12]. Однако среднее расстояние вывозки в трудных условиях эксплуатации, как правило, больше расстояния вывозки в благоприятных условиях. Это связано с необходимостью объезда проблемных участков дорог: заболоченных, с низкой несущей способностью грунтов, сильно пересеченным рельефом и т. д. Современные лесозаготовительные предприятия действуют в условиях все возрастающего плеча вывозки. Это обуслав-

ливает то, что в реальных условиях эксплуатации лесотранспортная машина движется по местности с различными типами почвогрунтов [4]. На проблематичных участках движения могут возникнуть ситуации с пробуксовкой колес и застреванием техники. Очевидно, что на таких почвах техническая проходимость лесовозной техники существенно снижается. Для ее восстановления необходимо снижение нагрузки на рейс, то есть массы перевозимых лесоматериалов. Следствием данного положения является изменение коэффициента технологической проходимости. Обращаясь же к условиям, приближенным к оптимальным, следует отметить, что при них объем транспортируемых лесоматериалов ограничен лишь возможностями техники, а в реальных условиях даже несколько выше.

Выбор оптимального комплекта лесотранспортных машин, которые будут подходить под требования природно-производственных условий работы, предопределяет необходимость расчета коэффициента технологической проходимости.

В целях недопущения снижения производительности лесотранспортных машин вследствие потери проходимости и увеличения затрат времени на буксование и вытаскивание застрявших лесных машин необходимо проводить укрепление путей первичного транспорта леса древесными материалами, образующимися на лесосеке в ходе лесозаготовок [11]. Укрепление волоков целесообразно при работе в условиях заболоченной местности (на участках с грунтами III и IV-й категории) и при необходимости сохранить подрост (выборочные рубки и рубки ухода). Использование лесосечных отходов в качестве дорожной одежды позволяет более рационально использовать биомассу дерева и снизить затраты на обустройство путей первичного транспорта леса.

В качестве важной дискуссионной проблемы следует отметить исследование О.Н. Галактионова [5]. Им предлагается исследовать процесс взаимодействия хворостяной подушки и почвогрунта при эксплуатации транспортных путей лесосеки, определить объем лесосечных отходов, необходимый для строительства волоков, с учетом имеющегося их объема, ограничиваемого типом леса и условиями его произрастания. При этом основная

задача изысканий – определение взаимосвязи между параметрами древостоя, условиями его место-произрастания и характеристиками транспортной сети лесосеки.

Проведение анализа данных позволило выявить зависимости концентрации лесосечных отходов на волоке от коэффициента возврата несущей способности волока [12]. Данные результаты позволили разработать рекомендации, направленные на сохранение несущей способности волока. Последний определяется числом проходов техники по участку. Также определено, что коэффициент возврата несущей способности волока [16] определяется по следующей схеме: исходный уровень принимается за 1, а после совершения 10 проходов – 0. Для повышения до 0,2 (при этом коэффициент снижения несущей способности равен 0,8) на волок укладываются отходы лесосек с концентрацией $0,02 \text{ м}^3/\text{м}^2$. В свою очередь, для увеличения уровня несущей способности до 0,8 (коэффициент снижения несущей способности равен 0,2) концентрация должна составлять $0,06 \text{ м}^3/\text{м}^2$.

Опираясь на полученные результаты, был произведен расчет площади лесосеки, обеспечивающей расчетный объем отходов на лесной территории. Важно отметить, что результаты получены при учете следующих факторов [2]:

- тип леса;
- уровень возврата несущей способности;
- условия произрастания леса.

Такая постановка вопроса позволила разделить лесосеку на две зоны:

1. Зона летней разработки.
2. Зона зимней разработки.

Также одним из результатов стало то, что появилась возможность оценить потери производительности техники вследствие разрушения волоков. В конечном итоге полученные данные и результаты использовались для выработки рекомендаций по проектированию транспортной сети в лесной территории на лесотипологической основе [10]. Следует особо выделить, что параметры определенной количественной взаимосвязи между несущей способностью волока, типом леса и нагрузкой лесозаготовительной машины позволяют формировать системы пасек и волоков с минимальным воздейст-

вием на экологическую среду лесозаготовительной техники.

Представленные результаты исследований направлены на улучшение почвенно-грунтовых условий и выбор наиболее оптимальных производственно-технологических условий. Однако важнейшее значение для пропускной способности лесовозных дорог также имеют природно-климатические факторы.

Так, фактор дождевых осадков оказывает влияние на скорость движения лесовозной техники и, как следствие, на пропускную способность дорог и дорожного покрытия. Выделяются следующие затруднения при дожде: повышение скользкости дороги, размягчение обочины, ухудшение видимости.

Метеорологическая дальность видимости причисляется к факторам, оказывающим влияние на режим движения через водителя автотранспортного средства. Однако степень ее влияния определяется состоянием дороги. Ключевой фактор при этом – сцепные качества [11]. Расстояние, на котором водитель лесовозной техники различает находящийся на дорожном покрытии предмет, называется дальностью (геометрической) видимости поверхности дороги. Влияние данного фактора на скорость движения техники стабильно на протяжении длительного периода времени. Однако оно действует лишь на ограниченном участке дорожного полотна.

Еще одной дискуссионной и поднимаемой исследователями проблемой является влияние на движение сильного ветра (следует обратить внимание на труды А.П. Васильева [2, 3]). Согласно законам физики, действие бокового ветра приводит к смещению автолесовоза от оптимальной траектории прохождения участка дороги. В целях нейтрализации данного негативного фактора необходимо отслеживание и контроль над машиной. В противном случае на дороге могут возникать аварийные ситуации. При этом самым опасным выступает порывистый ветер, к которому крайне сложно приспособиться. Сила действия ветра напрямую зависит от скорости движения лесовоза и площади его боковой поверхности. Наиболее опасными могут быть ветра при движении по кривой (вхожде-

нии в поворот), когда совмещение центробежной и ветряной сил способно привести к скольжению или даже опрокидыванию техники. В данном случае многое зависит от квалификации и скорости реакции водительского состава.

Другой проблемой, уже отмеченной ранее, является наличие водных преград. Они подразделяются на постоянные водотоки и водотоки периодического действия [10]. В северных районах Красноярского края в основном встречаются такие водные преграды, как малые реки и ручьи. Наибольшая проблема с данным фактором возникает в весенний период, когда существенно возрастает объем талых вод.

Еще одной представленной выше угрозой выступают заболоченные участки. Ее решение зачастую состоит в увеличении несущей способности заболоченного дорожного полотна. На практике в условиях леса укладывают настилы, осуществляют прошпаливание или проминку.

Значимость этих факторов зависит от сезона вывозки древесины. В условиях Красноярского края год предлагается разделить на пять периодов [17]: зимний, зимне-весенний, весенний, летний, осенний.

Зимний период считается наиболее подходящим для транспортировки лесоматериалов, что объясняется отрицательными температурами на протяжении практически всего периода. Период действия данных условий (с незначительными отклонениями) – с 10 ноября по 20 марта. При этом сроки зависят от раннего или позднего наступления как морозов осенью, так и теплого периода весной. Данный период характеризуется самой большой пропускной способностью дорог. Ноябрь и декабрь являются довольно благополучными месяцами для вывозки древесины. Это обусловлено тем, что больших морозов и снегов ещё нет, зимние дороги уже в хорошем состоянии, что позволяет своевременно вывозить заготовленную древесину из лесосек. Временной диапазон зависит от природно-климатических факторов, по статистическим данным его можно спрогнозировать по методике, основанной в ПетрГУ [7].

Зимне-весенний период определяется (также ориентировочно) с 20 марта по 20 апреля. Характе-

ризуется таянием и разрушением зимних дорог. Вследствие данного фактора падает их пропускная способность. Следует отметить, что более быстро разрушаются дороги, проходящие по южным склонам.

Весенний период. Характеристика периода:

- минимальная пропускная способность;
- обилие влаги и даже воды на всей лесной территории.

Вполне объяснимо, что весеннее таяние снега приводит к поднятию грунтовых вод, затопливанию больших лесных территорий, особенно в низменных участках, разрушению временных сооружений и т. д. Осуществление транспортировки древесины происходит лишь на дорогах круглогодичного пользования.

Летний период. Период действия – с июля по сентябрь. Данный период характеризуют следующие факторы:

- устойчивая жаркая погода;
- высыхание дорог;
- снижение уровня грунтовых вод;
- улучшение несущей способности грунтов.

Пропускная способность лесовозных дорог определяется объемом осадков. Вероятностный характер имеющих место быть ливневых дождей не позволяет прогнозировать состояние дорог на длительную перспективу. Дороги после выпадения значительных объемов осадков не пригодны для перевозки грузов. Такая ситуация может сохраняться в течение нескольких дней. В случае же попытки использования дорожного полотна происходит существенное ухудшение его качества.

Осенний период. Период действия в условиях Сибири – с сентября и до середины ноября. Период характеризуется транспортировкой древесины преимущественно по дорогам с твердым покрытием. Это ведет к существенному снижению объемов вывозки. Основная причина – резкое снижение несущей способности грунтов. Вследствие данного фактора проходимость автолесовозов существенно снижается.

Переход к зимнему периоду – организации дорог зимнего действия – определяется природно-климатическими (устойчивые отрицательные температуры), почвенными (тип грунта) и антропо-

генными (величина механических воздействий от техники) факторами. В конечном итоге данные факторы определяют скорость промерзания грунта [17].

Выводы

Условия транспортировки заготавливаемой древесины на дорогах при неблагоприятных природно-климатических условиях существенно хуже, чем в летний сухой период и зимний с устоявшимся дорожным полотном. Дифференциация определяется несколькими важнейшими факторами: сцепные качества дорожного покрытия, особенности механического взаимодействия лесовозной техники с дорогой; ровность покрытия; наличие гололеда и тумана; сопротивление движению дорожного полотна (при наличии грязи, гололеда или снега), метеорологическая видимость (при наличии слепящего солнца, осадков, пыльных бурь, тумана).

По результатам исследований, проведенных на территории ЛЗУ ЗАО «Новоенисейский ЛХК», можно сделать следующие выводы: на маршрутах доставки древесины участки дорог имеют различные пропускные способности; основными неуправляемыми факторами, влияющими на пропускную способность дорог, являются почвенно-грунтовые условия, рельеф местности и наличие водных преград на маршруте движения; значимость факторов в различные периоды года разная; в условиях Красноярского края по пропускной способности дорог целесообразно разделить год на пять периодов; наибольшая пропускная способность дорог, в условиях Красноярского края, – в зимний период года (с ноября по март); возможно увеличивать пропускную способность дорог, проводя мероприятия, влияющие на несущую способность грунта.

Для увеличения пропускной способности рекомендуются следующие мероприятия:

1. Подготавливать в осеннее время временные лесовозные дороги, промораживая их.
2. Южные склоны дорог подсыпать опилками или щепой для наименьшего разрушения в ранние периоды весны.
3. На участках дорог со слабой несущей способностью грунтов устраивать лежневку из порубочных остатков древесины.
4. В разные периоды года следует пользоваться разными маршрутами доставки древесины, выбирая участки с максимальной пропускной способностью.

Полученные результаты должны быть использованы при планировании развития сети дорог на лесной территории, выбора способов и методов вывозки древесины, однако, что более важно, при определении пропускной способности дорог на лесной территории. Последнее направление исследования и результаты по нему следует признать наиболее интересными для академической науки и практики. Данное исследование в целом представляет результаты, систематизирующие накопленные к настоящему времени знания по исследуемым вопросам, а также предлагает ряд новых подходов к оценке пропускной способности лесовозных дорог.

**Исследование выполнено при поддержке Красноярского краевого фонда науки в рамках участия в Международной научно-практической юбилейной конференции «Инновационные направления развития лесного комплекса».*

**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-310-00311.*

Библиографический список

1. База нормативной документации. URL: complexdoc.ru/ntdpdf/482300/rukovodstvo_po_otsenke_propusknoi_sposobnosti_avtomobilnykh_dorog.pdf (дата обращения 13.04.2018)
2. Васильев, А. П. Проектирование дорог с учетом влияния климата на условия движения / А. П. Васильев. – Москва : Транспорт, 1986. – 248 с.
3. Васильев, А. П. Справочная энциклопедия дорожника. Ремонт и содержание автомобильных дорог / А. П. Васильев. – URL: <http://meganorm.ru/Data1/51/51537/index.htm> (дата обращения 13.04.2018)
4. Виногоров, Г. К. Некоторые лесозексплуатационные характеристики почвенно-грунтовых условий и рельефа / Г. К. Виногоров // Вопросы технологии и механизации лесосечных работ. Труды ЦНИИМЭ. – Химки : ЦНИИМЭ, 1982. – С. 5–7.

5. Галактионов, О. Н. Исследование взаимосвязи технологической проходимости лесозаготовительных машин с параметрами лесной среды / О. Н. Галактионов, А. В. Кузнецов // Инженерный вестник Дона. – 2011. – № 4 (1). – URL: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1145> (дата обращения 11.09.2018)
6. Галактионов, О. Н. Формирование структуры лесотранспортных путей лесосеки на лесотипологической основе / О. Н. Галактионов, А. В. Кузнецов // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. – 2011. – № 8 (121). – Петрозаводск : ПетрГУ, 2011. – С. 81–84.
7. Кузнецов, А. В. Обоснование технологических решений, повышающих эффективность операции первичного транспорта леса : специальность 05.21.01 «Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства» : дис. ... канд. техн. наук / Кузнецов Алексей Владимирович. – Петрозаводск. 2003. – С. 31–36.
8. Лукашевич, В. М. Методика планирования освоения лесных ресурсов с учетом сезонности лесозаготовок / В. М. Лукашевич, Л. В. Щеголева // Глобальный научный потенциал. – 2014. – № 8 (41). – С. 134–136.
9. Мохирев, А. П. Методика выбора лесозаготовительных машин под природно-климатические условия / А. П. Мохирев // Лесотехнический журнал. – 2016. – Т. 6. – № 4 (24). – С. 208–215.
10. Мохирев, А. П. Исследование специфики лесозаготовок в Красноярском крае / А. П. Мохирев, П. Ф. Мохирев // Resources and Technology. – 2015. – Т. 12. – № 2. – С. 98–108.
11. Платонова, Е. В. Обоснование пропускной способности лесовозных дорог при различных скоростных режимах и моделях транспортного потока : специальность 05.21.01 «Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства» : дис. ... канд. техн. наук / Платонова Елена Вячеславовна. – Архангельск, 2006. – 151 с.
12. Шегельман, И. Р. Анализ показателей работы и оценка эффективности лесозаготовительных машин в различных природно-производственных условиях / И. Р. Шегельман, В. И. Скрыпник, А. В. Кузнецов // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. – 2010. – № 4. – С. 66–75.
13. Bellman, R. On a routing problem / R. Bellman // Quart. of Applied Mathematics. – 1958. – No. 16. – P. 87.
14. Stream simulation for aquatic organism passage at road-stream crossings / D. Cenderelli, K. Clarkin, R. Gubernick, M. Weinhold // Transportation Research Record. – 2011. № 2203. – С. 36–45.
15. Dependence of filtration coefficient of forest soils to its density / I. V. Grigorev, E. G. Khitrov, A. V. Kalistratov, M. V. Stepanishcheva // Proceedings of the 14th International Multidisciplinary Scientific Geoconferences, Vol. 2 "Water Resources. Marine and Ocean Ecosystems", 16-26 June 2014. – Albena, Bulgaria. – P. 339-344.
16. Luce, Ch. H. Effectiveness of road ripping in restoring infiltration capacity of forest roads / Ch. H. Luce // Restoration Ecology. – 1997. – Т. 5. – № 3. – P. 265–270.
17. 2018. Assessment of availability of wood resources using geographic information and analytical systems (the Krasnoyarsk Territory as an example) / A. P. Mokhitev, M. O. Pozdnyakova, S. O. Medvedev, V. O. Mammadov // Journal of Applied Engineering Science. – 2018. – No 3. – Vol. 16. – P. 313–319. URL: http://www.engineering-science.rs/article/Volume_16_article_534.
18. Wong, J. Y. Soil Failure Beneath Rigid Wheels / J. Y. Wong, A. R. Reece // Proc. 2nd Int. Conf. of the International Society for Terrain Vehicle Systems. – Toronto, Canada : University of Toronto Press, 1966.

References

1. *Baza normativnoj dokumentacii* [Base of normative documentation]. URL: complex-doc.ru/ntdpdf/482300/rukovodstvo_po_otsenke_propusknoi_sposobnosti_avtomobilnykh_dorog.pdf (data obrashcheniya 13.04.2018)

2. Vasil'ev A. P. *Proektirovanie dorog s uchetom vliyaniya klimata na usloviya dvizheniya* [Road Design, taking into account the influence of climate on traffic conditions] M.: Transport, 1986. -248 p.
3. Vasil'ev A. P. *Spravochnaya ehnciklopediya dorozhnika. Remont i sodержanie avtomobil'nyh dorog*. [Reference encyclopedia dorozhnika. Repair and maintenance of roads] URL: <http://meganorm.ru/Data1/51/51537/index.htm>
4. Vinogorov G. K. *Nekotorye lesoehksplutacionnye harakteristiki pochvenno-gruntovyh uslovij i rel'efa. Vo-prosy tekhnologii i mekhanizacii lesosechnyh rabot*. [Some forest exploitation characteristics of soil and soil conditions and relief] Trudy CNIIMEH. Himki: CNIIMEH, 1982. P. 5-7.
5. Galaktionov O. N., Kuznecov A. V. *Formirovanie struktury lesotransportnyh putej lesoseki na lesotipologicheskoy osnove*. [Formation of the structure of forest paths of the forest area on the forest-typological basis]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta*. No 8 (121). Petrozavodsk: PetrGU, 2011. P. 81-84.
6. Galaktionov O. N., Kuznecov A. V. *Issledovanie vzaimosvyazi tekhnologicheskoy prohodimosti lesozagotovitel'nyh mashin s parametrami lesnoj sredy*. [A Study of the relationship of technological patency of logging machines with the parameters of the forest environment]. *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2011. No4 (1). URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1145>
7. Kuznecov A. V. *Obosnovanie tekhnologicheskikh reshenij, povyshayushchih ehffektivnost' operacii pervichnogo transporta lesa: dis. na soiskanie uchenoj stepeni kand. tekhn. nauk. 05.21.01*. [Justification of technological solutions that improve the efficiency of the operation of primary forest transport: dis. on competition of a scientific degree Cand. tech. sciences. 05.21.01]. Petrozavodsk. 2003. No. 31 – 36.
8. Lukashevich V. M., SHCHegoleva L. V. *Metodika planirovaniya osvoeniya lesnyh resursov s uchetom sezonnosti lesozagotovok*. [Methods of planning of development of forest resources taking into account the area of logging]. *Global'nyj nauchnyj potencial*. 2014. No 8 (41). P. 134-136.
9. Mokhitev A. P. *Metodika vybora lesozagotovitel'nykh mashin pod prirodno-klimaticheskie usloviya* [Methods of selecting logging machines for natural and climatic conditions] *Lesotekhnicheskij zhurnal* [Lesotekhnicheskij Journal]. 2016. Vol. 6. No. 4 (24). Pp 208-215. DOI: 10.12737 / 23459
10. Mokhitev A. P., Mokhitev P. F. *Issledovanie specifiky lesozagotovok v Krasnoyarskom krae*. [Study of the specificity of logging in the Krasnoyarsk region]. *Resources and Technology*. 2015. T. 12. No 2. P. 98-108. DOI: 10.15393/j2.art.2015.3061
11. Platonova E. V. *Obosnovanie propusknoy sposobnosti lesovoznyh dorog pri razlichnyh skorost-nyh rezhimakh i modelyah transportnogo potoka: dissertaciya ...kandidata tekhnicheskikh naukpo VAK 05.21.01* [Justification of the capacity of logging roads at different speed regimes and models of traffic flow: thesis ...candidate of technical Sciences VAK 05.21.01]. Arhangel'sk, 2006.- 151 p.
12. SHegel'man I. R., Skrypnik V. I., Kuznecov A. V. *Analiz pokazatelej raboty i ocenka ehffektivnosti lesozagotovitel'nyh mashin v razlichnyh prirodno-proizvodstvennyh usloviyah*. [Analysis of performance indicators and evaluation of efficiency of logging machines in different natural and industrial conditions] *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta*. No 4. Petrozavodsk: PetrGU, 2010. P. 66-75.
13. Bellman R. On a routing problem. *Quart. of Applied Mathematics*, 16, 1958. p.87.
14. Cenderelli D., Clarkin K., Gubernick R., Weinhold M. Stream simulation for aquatic organism passage at road-stream crossings. *Transportation Research Record*. 2011. No 2203. S. 36-45.
15. Grigorev I. V., Khitrov E. G., Kalistratov A. V., Stepanishcheva M. V. Dependence of filtration coefficient of forest soils to its density. *Proceedings of the 14th International Multidisciplinary Scientific Geoconferences*, Vol. 2 "Water Resources. Marine and Ocean Ecosystems", 16 -26 June 2014, Albena, Bulgaria, pp. 339-344.,
16. Luce Ch. H. Effectiveness of road ripping in restoring infiltration capacity of forest roads. *Restoration Ecology*. 1997. T. 5. № 3. S. 265-270.,
17. Mokhitev A. P., Pozdnyakova M. O., Medvedev S. O., Mammatov V. O. (2018). Assessment of availability of wood resources using geographic information and analytical systems (the Krasnoyarsk Territory as an example):

Journal of Applied Engineering Science. No 3, Vol. 16, P. 313-319 URL: http://www.engineeringscience.rs/article/Volume_16_article_534 DOI: 10.5937/jaes16-16908.

18. Wong J. Y., Reece A. R. Soil Failure Beneath Rigid Wheels. Proc. 2nd Int. Conf. of the International Society for Terrain Vehicle Systems. Toronto, Canada: University of Toronto Press, 1966.

Сведения об авторах

Мохирев Александр Петрович – доцент кафедры технологии лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств Лесосибирского филиала ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», кандидат технических наук, доцент, г. Лесосибирск, Российская Федерация; e-mail: ale-mokhirev@yandex.ru.

Медведев Сергей Олегович – доцент кафедры экономических и естественнонаучных дисциплин производств Лесосибирского филиала ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», кандидат экономических наук, г. Лесосибирск, Российская Федерация; e-mail: medvedev_serega@mail.ru.

Смолина Ольга Николаевна – студент магистратуры Лесосибирского филиала ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Лесосибирск, Российская Федерация; e-mail: hon5555@mail.ru.

Information about authors

Mokhirev Alexander Petrovich – Associate Professor, Lesosibirsk branch of FSBEI HE "Reshetnev Siberian State University of Science and Technology", PhD (Engineering), Associate Professor Lesosibirsk, Russian Federation; e-mail: ale-mokhirev@yandex.ru.

Medvedev Sergey Olegovich – Associate Professor, Lesosibirsk branch of FSBEI HE "Reshetnev Siberian State University of Science and Technology", PhD (Economics), Lesosibirsk, Russian Federation; e-mail: medvedev_serega@mail.ru.

Smolina Olga Nikolaevna – Master's degree student, Lesosibirsk branch of FSBEI HE "Reshetnev Siberian State University of Science and Technology", Lesosibirsk, Russian Federation; e-mail: hon5555@mail.ru.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВАРИАНТОВ ВЫПОЛНЕНИЯ ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ОПЕРАЦИЙ ЛЕСОСЕЧНЫХ РАБОТ БЕНЗОПИЛАМИ

аспирант **И.Н. Троянов**¹

кандидат технических наук, доцент **В.В. Абрамов**¹

кандидат технических наук, доцент **Л.Д. Бухтояров**¹

доктор технических наук, профессор **Д.Н. Афоничев**²

кандидат технических наук, доцент **А.С. Черных**¹

кандидат технических наук, доцент **А.И. Максименков**¹

1 – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Российская Федерация

2 – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»,
г. Воронеж, Российская Федерация

В статье предлагается новый комплексный критерий оценки эффективности выполнения обрабатываемых операций лесосечных работ – удельные приведенные энергозатраты, отличающийся возможностью наряду с суммарными затратами энергии на пиление учитывать производительность труда, а также количество задействованных в работе мотористов со своими индивидуальными особенностями. Для достоверного прогнозирования данного показателя по 12 технологическим вариантам выполнения валки деревьев, обрезки их стволов от сучьев и раскряжевки хлыстов на сортименты были разработаны имитационные модели, отличающиеся чувствительностью к изменению в широком диапазоне природно-производственных условий разрабатываемых лесосек, а также учетом квалификации и утомляемости мотористов бензопил. На основе разработанных имитационных моделей была создана программа для ЭВМ в среде Delphi по обоснованию технологических вариантов выполнения обрабатываемых операций бензиномоторным инструментом и получено авторское свидетельство (№ гос. регистрации 2019611250). При ее использовании на стадии технологического проектирования лесосечных работ можно повысить эффективность выполнения обрабатываемых операций бензопилами по критерию удельных приведенных энергозатрат на 5-39,5 % в зависимости от применяемой технологии на предприятии., что было подтверждено на одной из разрабатываемых лесосек (ООО «ЛК Кедр», Владимирская область, Александровское лесничество, май 2018 г.) Проведенная производственная проверка результатов имитационного эксперимента подтвердила их достоверность с расхождением 3-6 %.

Ключевые слова: бензиномоторный инструмент, обрабатываемые операции, лесосечные работы, имитационное моделирование, удельные приведенные энергозатраты

RESEARCH OF TECHNOLOGY OPTIONS FOR THE PERFORMANCE OF LOGGING PROCESSING OPERATIONS USING CHAINSAWS

Post-graduate student **L.N. Troyanov**¹

PhD (Engineering), Associate Professor **V.V. Abramov**¹

PhD (Engineering), Associate Professor **L.D. Bukhtoyarov**¹

DSc (Engineering), Professor **D.N. Afonichev**²

PhD (Engineering), Associate Professor **A.S. Chernykh**¹

PhD (Engineering), Associate Professor **A.I. Maksimenkov**¹

1 – FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation

2 – FSBEI HE "Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I", Voronezh, Russian Federation

Abstract

The article proposes a new comprehensive criterion to evaluate the efficiency of logging processing operations. These are specific reduced energy costs, characterized by the ability to take into account labor productivity along with the total energy consumption for sawing, as well as the number of motor-men involved in the work with their individual characteristics. Simulation models have been developed for reliable prediction of this indicator for 12 technological options for tree felling, trimming their trunks from knots and cutting logs into assortments. The models are sensitive to changes in a wide range of natural production conditions of the developed cutting areas, as well as qualifications and tiredness of chainsaw motor-men. A computer program in the Delphi environment on the justification of technological options for processing operations with a gasoline-powered tool was created based on the developed simulation models. An author's certificate has been obtained (state registration number 2019611250). When using it at the stage of technological design of logging operations, it is possible to increase the efficiency of processing operations with chainsaws by 5-39.5 % according to the criterion of specific reduced energy costs depending on the technology used at the enterprise. This was confirmed at one of the developed cutting areas (LLC LK Kedr, Vladimir Region, Aleksandrovskoe forest district, May 2018). Production verification of the simulation experiment results has confirmed their reliability with a difference of 3-6 %.

Keywords: gasoline-powered tools, processing operations, logging, simulation modeling, specific reduced energy consumption

Введение

В настоящее время на лесозаготовках при выполнении обрабатывающих операций широко используются бензопилы [5]. Особенно это наблюдается на рубках ухода за насаждением, при малообъемном лесопользовании, а также в горной местности и в крупномерном лесу, там, где другие средства ограничены в работе лесоводственно-экологическими требованиями, экономической целесообразностью или по своим техническим возможностям [2, 4]. В таких условиях результаты выполнения валки деревьев, очистки их от сучьев с последующей раскряжкой хлыстов задают ритмичность работы трелевочного средства на ведущей, наиболее затратной операции, оказывая тем самым влияние на эффективность функционирования всей системы машин на лесосеке [1, 3, 18].

Исследованиям в этой области посвящены труды многих известных ученых. Их анализ свидетельствует о сложности прогнозирования работы мотористов с бензопилами при сравнении большого количества различных вариантов по технологии работ, организации труда и комплектованию бензиномоторного инструмента в меняющихся на каждой разрабатываемой лесосеке условиях производства (вид рубки и ее интенсивность, конфигурация лесосеки, ее размеры и захламленность, доля технологических площадей и их параметры, способ трелевки, сезон года) и природной среды (состав насаждения, его таксационные характеристики, наличие подроста) с учетом квалификации и утомляемости исполнителей [8, 12, 17]. При этом современные требования к оценке эффективности выполнения лесосечных работ определяют необходи-

мость многостороннего подхода по целому ряду позиций (энергетическая, технико-экономическая, лесоводственно-экологическая и т. д.). В этой связи проф. Э.Ф. Герц [6] и доц. А.В. Матросов [13] в своих работах рекомендуют использовать несколько следующих критериев: затраты времени на выполнение обрабатывающих операций, производительность, коэффициент использования бензиномоторного инструмента в течение смены, а также комплексную выработку на одного рабочего. В трудах проф. А.Н. Заикина [10, 11] и проф. Ю.А. Ширнина [19] для оценки эффективности технологических операций одновременно с показателем продолжительности их выполнения используются энергозатраты. Во многих работах проф. П.Б. Рябухина [14, 15] проф. И.В. Григорьева [7, 9] уделяется внимание потерям древесного сырья из-за некачественного выполнения обрабатывающих операций по причине низкой квалификации исполнителей, а также обращается внимание на необходимость изучения физического состояния мотористов бензопил и операторов машин в процессе работы. Такое количество часто зависящих и противоречащих друг другу оценочных показателей, используемых совместно, приводит к значительным трудностям моделирования операционных процессов и сложности их достоверного прогнозирования на стадии проектирования лесосечных работ.

Материалы и методы

В этой связи на кафедре лесной промышленности, метрологии, стандартизации и сертификации в Воронежском государственном лесотехническом университете для обоснования технологии обрабатывающих операций лесосечных работ было предложено использовать показатель удельных приведенных энергозатрат в следующем виде:

$$\Theta_{y,0,n} = \frac{\left(\sum_{k=1}^K N_k t_k \right) N_{p,k}}{\Pi_{sm,k}}, \quad (1)$$

где N_k – мощность, затрачиваемая на выполнение k -го элемента одной или нескольких последовательно выполняемых обрабатывающих операций, Вт;

t_k – время, затрачиваемое на выполнение k -го элемента одной или нескольких последовательно выполняемых обрабатывающих операций, с;

$\Pi_{sm,k}$ – сменная производительность бензопилы на одной или нескольких последовательно выполняемых обрабатывающих операциях, состоящих из K элементов, m^3 ;

$N_{p,k}$ – число рабочих, занятых на выполнении одной или нескольких последовательно выполняемых обрабатывающих операций, чел.

Достоинством предлагаемого показателя является возможность одновременного учета суммарных затрат энергии при пилении, количества человек в работе и производительности труда при выполнении обрабатывающих операций различными комплектами бензиномоторного инструмента в любой технологической последовательности лесосечных работ (рис. 1).

При определении удельных приведенных энергозатрат требуется достоверное прогнозирование производительности труда на валке деревьев, очистке их стволов от сучьев и раскряжевке хлыстов в меняющихся условиях производства и природной среды. Для этого предлагается использовать в расчетах метод имитационного моделирования времени лесозаготовительных процессов, реализация которого представлена ниже на блок-схеме модели выполнения обрабатывающих операций по одному из сравниваемых технологических вариантов (рис. 2). При ее создании использовалась следующая символизация параметров:

$t_{n,o}$ – время движения моториста от одного дерева к другому, с;

$t_{n,p}$ – время на подготовку рабочего места, с;

t_n – время на выполнение подпила, с;

$t_{n,n,c}$ – время перехода от подпила к спиливанию, с;

$t_{c,m}$ – время сталкивания дерева с пня и его падения, с;

$t_{o,p}$ – время выполнения основного реза, с;

t_c – время срезания сучьев, с;

$t_{e,o}$ – время движения моториста от комля к вершине дерева и обратно в процессе срезания сучьев и раскряжевки, с;

t_{nn} – время поперечного пиления при раскряжевке хлыста, с;

$t_{ок}$ – время окучивания лесоматериалов, с;

V_{hl} – объем хлыста, м³;

q – запас леса на га, м³/га;

k_1 – доля вырубаемого запаса;

V_{md} – скорость движения моториста от одного дерева к другому, с;

d_c – срезаемый диаметр дерева, м;

p_1 – коэффициент увеличения за счет подпила площади пропила;

Π_{cn} – производительность чистого пиления бензиномоторного инструмента, м²/с;

f – общая площадь срезания всех сучьев на дереве, м²;

l_{hl} – длина дерева, м;

l_b – длина вершины дерева, м;

V_c – скорость движения моториста от комля к вершине дерева и обратно в процессе срезания сучьев и раскряжевки, с;

l_c – длина сортимента, м³;

n_c – среднее количество сортиментов из одного хлыста на раскряжевке;

t_{yc} – время окучивания одного сортимента, с;

M – количество часов в смене;

φ_1 – коэффициент использования времени смены;

$\bar{\varphi}_{и.о.}$ – коэффициент индивидуальных особенностей исполнителей обрабатывающих операций.

Время, затрачиваемое в течение смены на выполнение обрабатывающих операций, суммируется и сравнивается в блоке 21 со временем смены ($3600 \cdot M \cdot \varphi_1 \cdot \bar{\varphi}_{и.о.}$). Использование при этом коэффициента индивидуальных особенностей исполнителей открывает широкие возможности для изучения влияния человеческого фактора на эффективность исследуемых процессов лесосечных работ. Для определения значений этого показателя предлагается следующая формула:

$$\bar{\varphi}_{и.о.} = \frac{\left(\sum_{k=1}^K \bar{t}_k \right) M}{\sum_{m=1}^M \bar{t}_m}, \quad (2)$$

где \bar{t}_k – среднее модельное значение продолжительности k -го элемента одной или нескольких последовательно выполняемых операций при обработке одного дерева, с;

\bar{t}_m – среднее значение фактической продолжительности времени цикла обработки одного дерева в m -й час работы моториста, с.

На основе полученных имитационных моделей выполнения обрабатывающих операций было создано программное обеспечение для ЭВМ в среде Delphi [16]. Разработанная программа позволяет сравнивать 12 вариантов, отличающихся друг от друга составом обрабатывающих операций, местом их выполнения, инструментом, а также количеством мотористов бензопил, задействованных в работе на валке деревьев, обрезке сучьев и раскряжевке хлыстов с учетом их индивидуальных особенностей.

Для реализации разработанного программного обеспечения были проведены хронометражные наблюдения за работой трех мотористов и произведен сбор данных по затратам времени на выполнение всех составляющих элементов обрабатывающих операций в различных технологических последовательностях. Наблюдения проводились отдельно по каждому часу работы в течение смены с 1-го по 4-й и с 6-го по 8-й в ООО «ЛК Кедр» (Александровское лесничество, Владимирская область) при следующих природно-производственных условиях: выборочная рубка; площадь лесосеки $S_l = 20 \text{ га}$; породный состав – 5С3Е1Б1Ос; интенсивность рубки $k_1 = 0,35$; запас леса $q = 188 \text{ м}^3 / \text{га}$; средний объем хлыста $V_{hl} = 0,36 \text{ м}^3$; средняя длина дерева $l_{hl} = 22 \text{ м}$; на обрезке сучьев по технологиям № 2, 4, 5, 10, 11 – бензопила Stihl S 260 ($N_k = 2,4 \text{ кВт}$, $\Pi_{cn} = 0,008 \text{ м}^2 / \text{с}$); на других обрабатывающих операциях по обозначенным технологиям, а также на валке, обрезке сучьев и раскряжевке по технологиям № 1, 3, 6, 7, 8, 9, 12 – бензопила Husqvarna 357 ($N_k = 3,2 \text{ кВт}$,

$\Pi_{сн} = 0,01 \text{ м}^2 / \text{с}$). Статистическая обработка результатов наблюдений показана ниже на примере времени подготовки рабочего места – $t_{н.р}$ в 8-й час работы моториста № 1. Репрезентативность полученных выборок в каждом опыте была подтвер-

ждена расчетом необходимого минимума наблюдений, а гипотеза о близости характера распределения опытных данных к нормальному закону распределения независимых случайных величин – критерием Пирсона (табл. 1, 2; рис. 3).

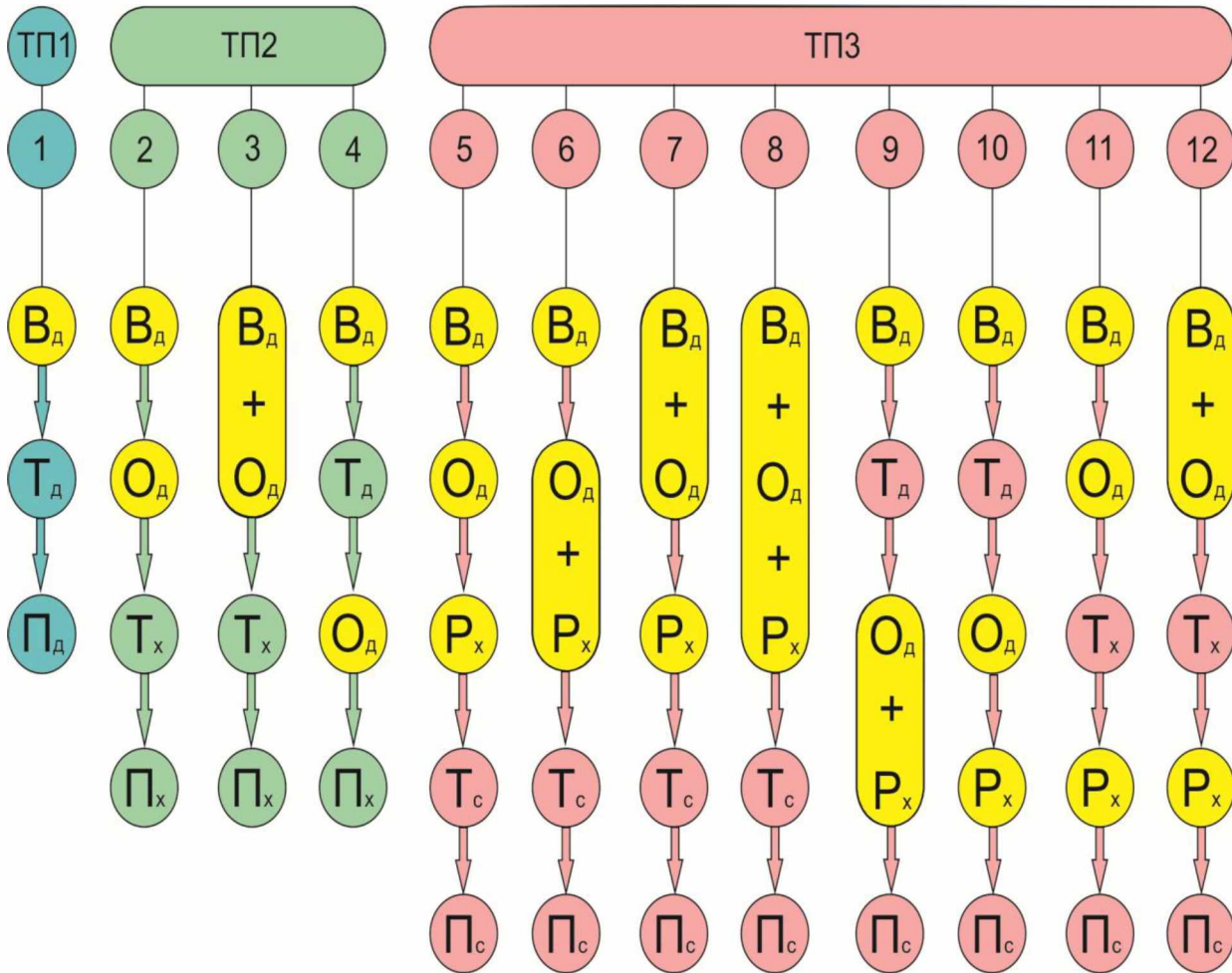


Рис. 1. Варианты выполнения обрабатывающих операций лесосечных работ бензиномоторным инструментом:
 V_d – валка деревьев; O_d – очистка стволов деревьев от сучьев; T_d , $T_{хл}$ и T_c – трелевка деревьев, хлыстов и сортиментов соответственно; P_x – раскряжевка хлыстов на сортименты

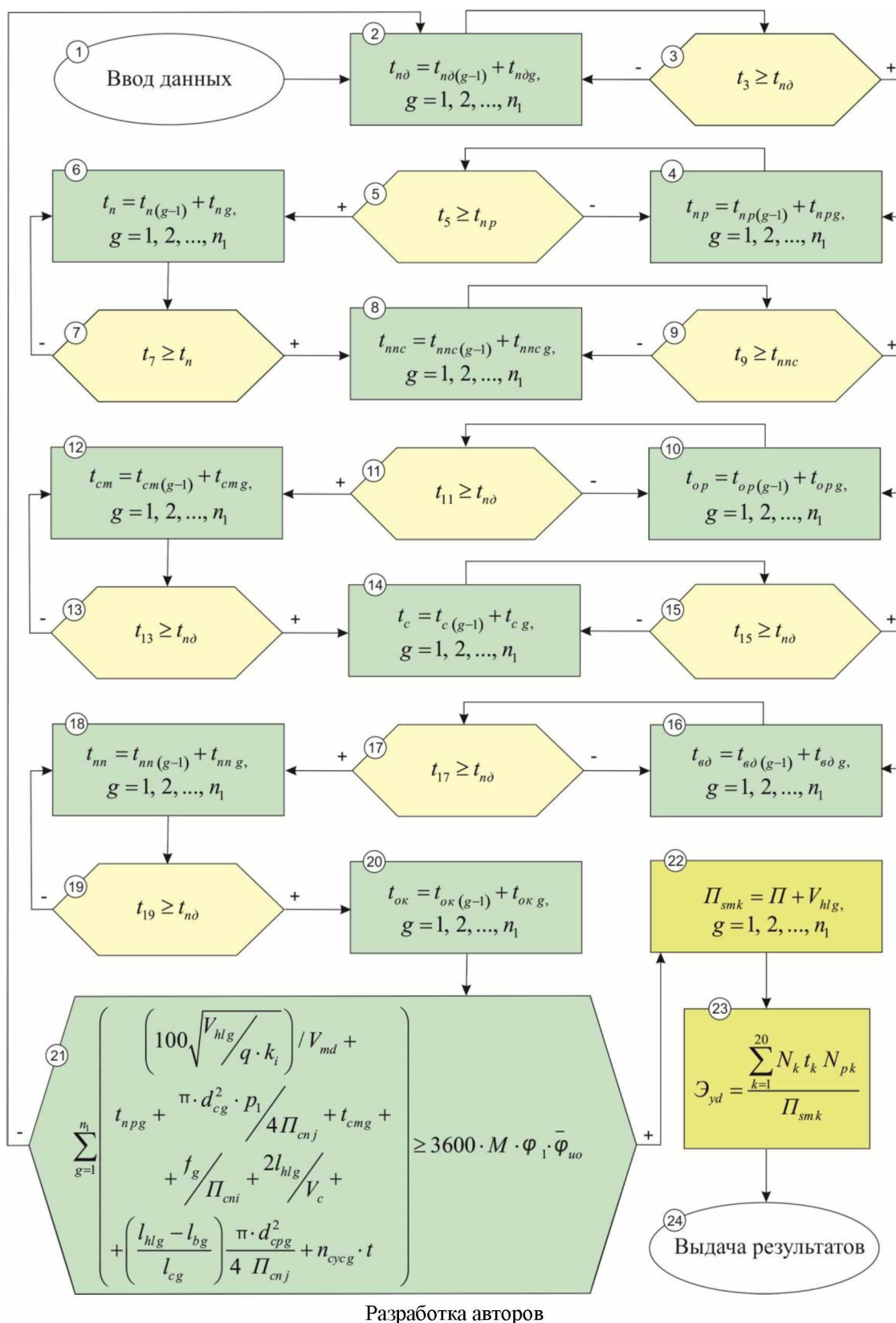


Рис. 2. Блок-схема имитационной модели выполнения лесосечных обрабатывающих операций бензиномоторным инструментом по 8-му технологическому варианту (В_д+О_д+Р_х)

Результаты измерения $t_{n,p}$ при работе моториста № 1

№ опыта	Результаты наблюдений, с				Число замеров	Необходимый минимум наблюдений
1	47; 40; 45; 39; 43; 41; 38; 36; 35; 45; 40; 43; 38; 42; 40				15	10,7
2	53; 51; 54; 57; 49; 51; 52; 51; 50; 51; 48; 47; 46; 52; 45				15	5,935727
3	44; 55; 53; 48; 50; 49; 48; 47; 45; 51; 40; 50; 46; 51; 49				15	9,071074
4	49; 53; 47; 51; 49; 46; 48; 47; 49; 47; 46; 45; 43; 41; 51				15	6,612309
5	42; 49; 45; 42; 44; 43; 45; 43; 42; 41; 40; 47; 36; 42; 38				15	9,048081
6	47; 52; 50; 41; 48; 45; 46; 45; 44; 43; 42; 40; 37; 46; 42				15	11,82894
7	47; 40; 31; 41; 44; 41; 35; 41; 43; 37; 36; 42; 38; 41; 39.				15	15,08205
№ опыта	Среднее арифметическое	Дисперсия	Средне-квадратичное отклонение	Коэффициент вариации	Критерий Пирсона χ^2	
					расчетный	нормативный
1	40,8	11,6	3,405877	0,083477	1,19	9,49
2	50,46667	9,838095	3,136574	0,062151	2,1019839	9,49
3	48,4	13,82857	3,718679	0,076832	1,5923767	11,1
4	47,46667	9,695238	3,113718	0,065598	7,7604627	9,49
5	42,6	10,68571	3,268901	0,076735	3,2356663	9,49
6	44,53333	15,26667	3,907258	0,087738	0,7996444	11,1
7	39,73333	15,49524	3,936399	0,09907	2,8939737	11,1

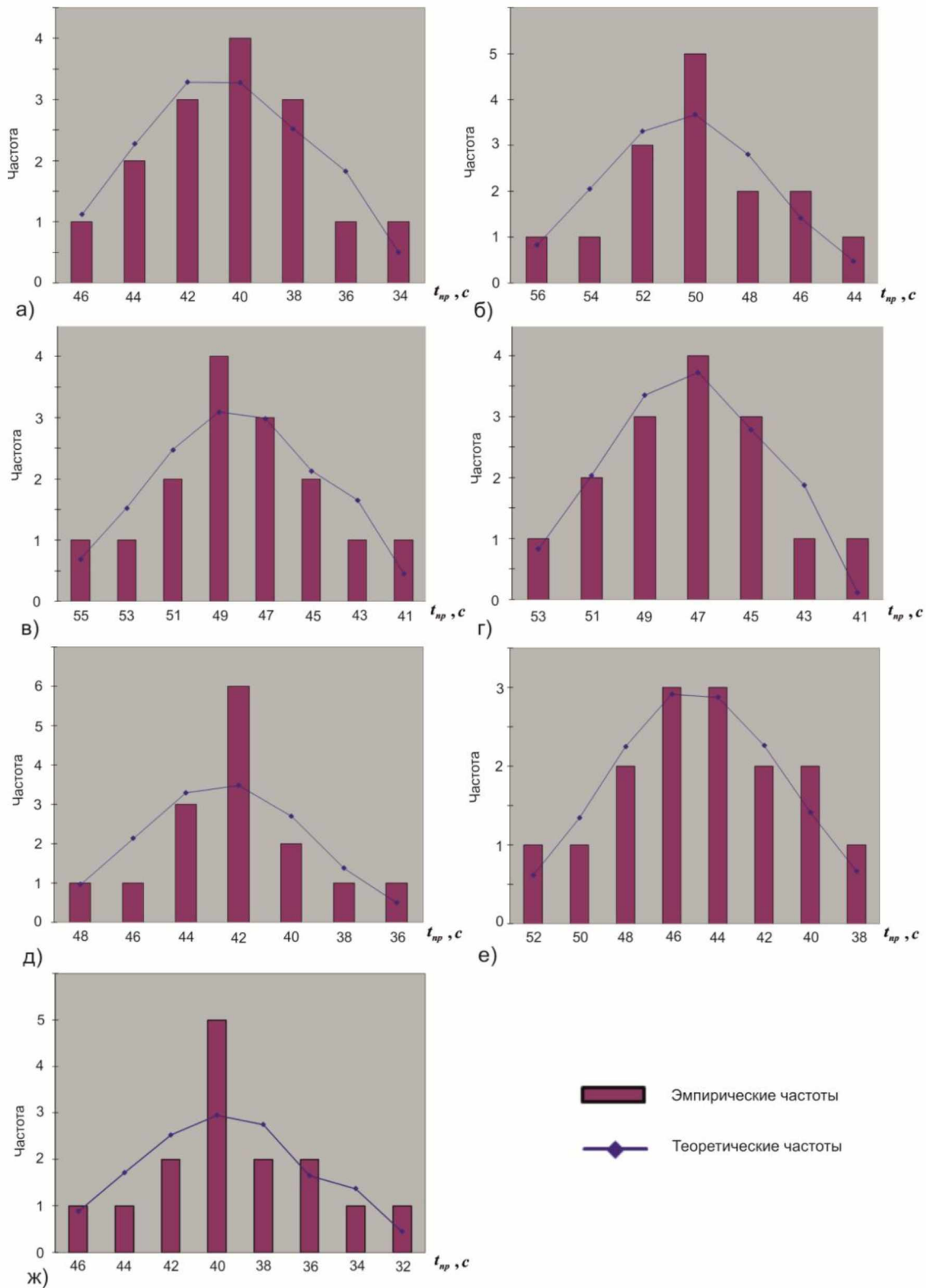
Результаты наблюдений авторов

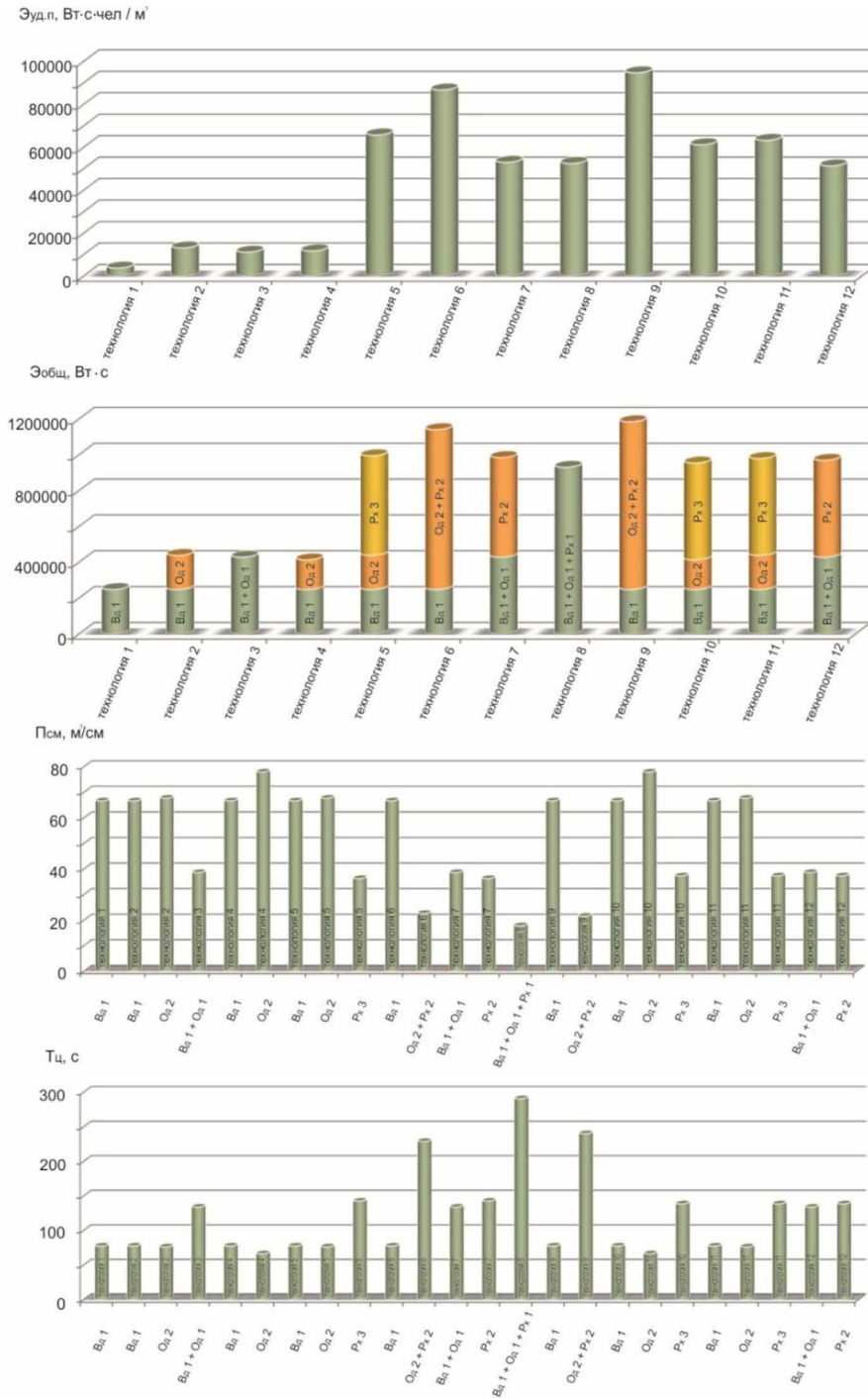
Таблица 2

Результаты вычисления критерия Пирсона χ^2 для опыта № 7 (8-й час работы моториста № 1)

№ интервала	y_i^n	y_i^o	m	z_1	z_2	
1	47	45	1	1,846019	1,33794	
2	45	43	1	1,33794	0,829862	
3	43	41	2	0,829862	0,321783	
4	41	39	5	0,321783	-0,1863	
5	39	37	2	-0,1863	-0,69437	
6	37	35	2	-0,69437	-1,20245	
7	35	33	1	-1,20245	-1,71053	
8	33	31	1	-1,71053	-2,21861	
№ интервала	$\Phi_0(z_1)$	$\Phi_0(z_2)$	P_i	$P_i n$	$(m - P_i n)^2$	$\frac{(m - P_i n)^2}{P_i n}$
1	0,4671	0,4082	0,0589	0,8835	0,01357	0,0153619
2	0,4082	0,2939	0,1143	1,7145	0,51051	0,2977604
3	0,2939	0,1255	0,1684	2,526	0,27668	0,1095313
4	0,1255	-0,0714	0,1969	2,9535	4,18816	1,4180336
5	-0,0714	-0,2549	0,1835	2,7525	0,56626	0,2057243
6	-0,2549	-0,3649	0,11	1,65	0,1225	0,0742424
7	-0,3649	-0,4564	0,0915	1,3725	0,13876	0,1010974
8	-0,4564	-0,4864	0,03	0,45	0,3025	0,6722222
					$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(m - P_i n)^2}{P_i n} =$	2,8939737

Результаты вычислений авторов





Результаты вычислений авторов

Рис. 4. Результаты моделирования исследуемых технологий выполнения обрабатывающих операций применительно к условиям Александровского лесничества (Владимирская область)

Результаты и обсуждение

В дальнейшем на основе полученных данных применительно по одной из лесосек, разрабатываемых лесозаготовительной компанией ООО «ЛК Кедр», был проведен имитационный эксперимент для прогнозирования производительности и показателя удельных приведенных энергозатрат на обрабатываемых операциях (рис. 4).

Результаты расчетов позволили определить для второго типа технологического процесса лесосечных работ ТП-2 (вывозка хлыстов) в качестве наиболее предпочтительного варианта выполнения обрабатываемых операций технологию № 3 ($\varepsilon_{y.o.n} = 11130 \text{ Вт}\cdot\text{с}\cdot\text{чел}/\text{м}^3$), где относительно технологии № 2 ($\varepsilon_{y.o.n} = 13092 \text{ Вт}\cdot\text{с}\cdot\text{чел}/\text{м}^3$) и № 4 ($\varepsilon_{y.o.n} = 11706 \text{ Вт}\cdot\text{с}\cdot\text{чел}/\text{м}^3$) количество задействованных в работе мотористов бензопил оказалось меньше на одного человека, а удельные приведенные энергозатраты снижены на 15 % и 5 % соответственно. Для третьего типа технологического процесса лесосечных работ ТП-3 (вывозка сортиментов) при выполнении всех обрабатываемых операций на лесосеке наиболее предпочтительным вариантом оказалась технология № 8, где количество задействованных в работе мотористов бензопил снижено на два человека относительно технологии № 5 и одного человека относительно технологий № 6 и № 7. При этом удельные приведенные энергозатраты технологии № 8 ($\varepsilon_{y.o.n} = 52465 \text{ Вт}\cdot\text{с}\cdot\text{чел}/\text{м}^3$) в сравнении с технологиями № 5 ($\varepsilon_{y.o.n} = 65753 \text{ Вт}\cdot\text{с}\cdot\text{чел}/\text{м}^3$), № 6 ($\varepsilon_{y.o.n} = 86681 \text{ Вт}\cdot\text{с}\cdot\text{чел}/\text{м}^3$) и № 7 ($\varepsilon_{y.o.n} = 53004 \text{ Вт}\cdot\text{с}\cdot\text{чел}/\text{м}^3$) оказались меньше на 21,2 %, 39,5 % и 1,1 % соответственно. При выполнении на верхнем складе обрезки сучьев и раскряжевки наиболее предпочтительным вариантом оказалась технология № 10 ($\varepsilon_{y.o.n} = 61162 \text{ Вт}\cdot\text{с}\cdot\text{чел}/\text{м}^3$), где в сравнении с технологией № 9 ($\varepsilon_{y.o.n} = 94700 \text{ Вт}\cdot\text{с}\cdot\text{чел}/\text{м}^3$) удельные приведенные энергозатраты оказались на 35,5 % меньше. При выполнении на верхнем складе только операции раскряжевки наиболее предпочтительным вариантом оказалась технология № 12 ($\varepsilon_{y.o.n} = 51330 \text{ Вт}\cdot\text{с}\cdot\text{чел}/\text{м}^3$), где в сравнении с технологией № 11

($\varepsilon_{y.o.n} = 63242 \text{ Вт}\cdot\text{с}\cdot\text{чел}/\text{м}^3$) удельные приведенные энергозатраты оказались на 18,9 % меньше.

Достоверность результатов имитационного эксперимента была подтверждена в ходе производственной проверки на лесозаготовительном предприятии ООО «ЛК Кедр» в мае 2018 г. с расхождением 3...6 % (рис. 5). Разработанный математический аппарат и программное обеспечение к нему позволяет изучить характер и степень влияния основных наиболее значимых факторов на эффективность выполнения обрабатываемых операций лесосечных работ (табл. 3). На примере технологического варианта выполнения обрабатываемых операций № 8 можно видеть, как с увеличением производительности чистого пиления бензопилы (Π_{cn}), коэффициента индивидуальных особенностей мотористов бензопил ($\bar{\varphi}_{u.o.}$), объема хлыста (V_{hl}), запаса леса на га (q) и доли вырубаемого запаса (k_i) сменная производительность труда (Π_{zm}) растет, а удельные приведенные энергозатраты ($\varepsilon_{y.o.n}$) снижаются (рис. 6 и 7). При этом анализ влияния основных факторов на удельные приведенные энергозатраты позволил установить следующие степени их значимости: $\beta / \alpha = 0,8$ для q ; $\beta / \alpha = 0,6$ для k_i ; $\beta / \alpha = 0,4$ для V_{hl} ; $\beta / \alpha = 0,3$ для Π_{cn} ; $\beta / \alpha = 0,25$ для $\bar{\varphi}_{u.o.}$.

Таким образом, разработанный математический аппарат и программное обеспечение позволяет осуществлять в автоматизированном режиме научно обоснованный выбор оптимального комплекта бензиномоторного инструмента, технологии и организации валки деревьев, очистки их от сучьев и раскряжевки хлыстов на сортименты с учетом индивидуальных особенностей мотористов, а также изучать влияние на эффективность выполнения обрабатываемых операций основных факторов влияния в заданных природно-производственных условиях разрабатываемых лесосек. В этой связи представляется целесообразным рекомендовать полученные результаты исследования к использованию на производстве при проектировании лесосечных работ.

План выполнения вычислительного эксперимента по установлению значимости и характера влияния основных факторов на показатели эффективности выполнения обрабатывающих операций

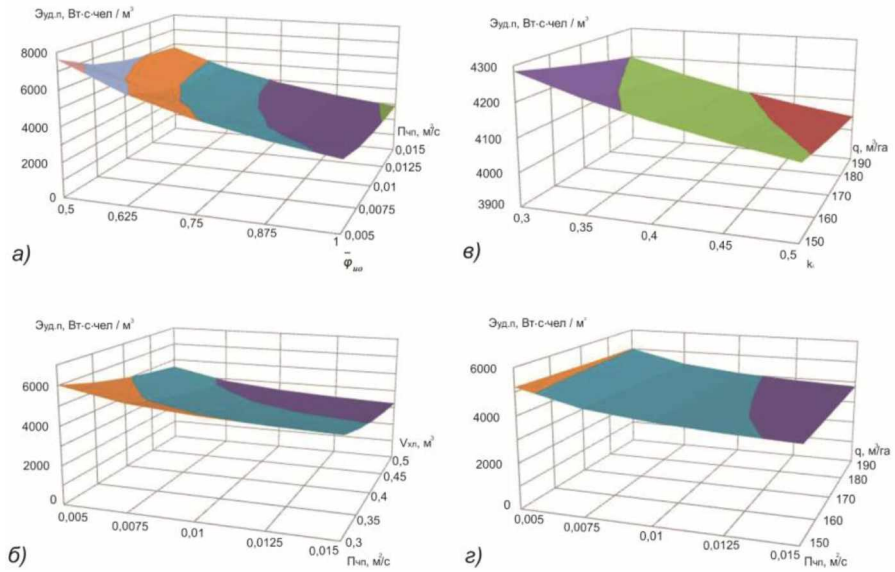
Факторы влияния	Уровни варьирования					Показатели эффективности
	1	2	3	4	5	
$V_{hl}, \text{м}^3$	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	$\mathcal{E}_{y.d.n.}; \Pi_{z.m.}$
$q, \text{м}^3/\text{га}$	150	160	170	180	190	$\mathcal{E}_{y.d.n.}; \Pi_{z.m.}$
k_i	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	$\mathcal{E}_{y.d.n.}; \Pi_{z.m.}$
$\Pi_{en}, \text{м}^2/\text{с}$	0,005	0,0075	0,01	0,0125	0,015	$\mathcal{E}_{y.d.n.}; \Pi_{z.m.}$
$\bar{\varphi}_{к.о.}$	0,5	0,625	0,75	0,875	1	$\mathcal{E}_{y.d.n.}; \Pi_{z.m.}$

Результаты исследований авторов



Результаты наблюдений авторов

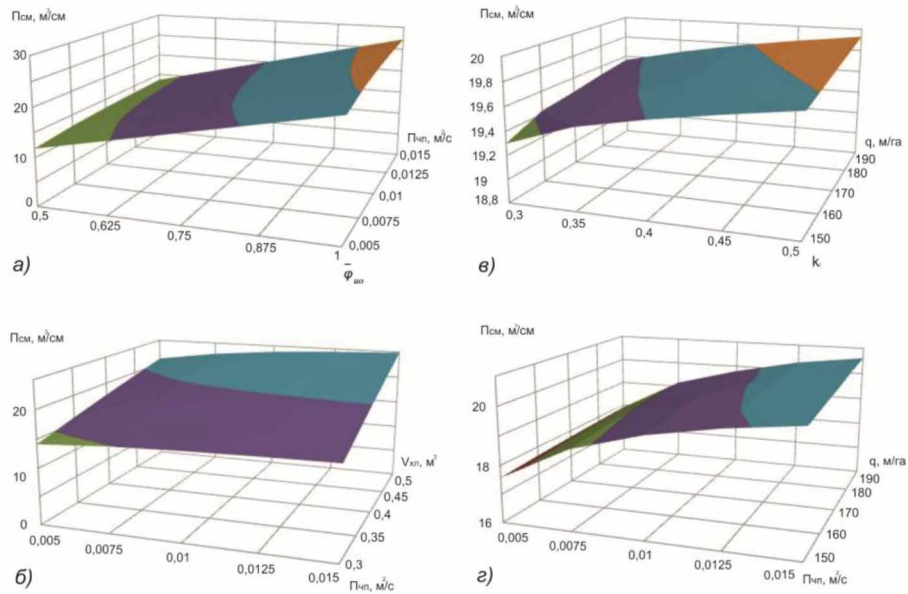
Рис. 5. Производственная проверка результатов имитационного эксперимента на ЭВМ на валке, обрезке сучьев и раскряжке хлыстов в условиях Александровского лесничества (Владимирская область)



Результаты вычислений авторов

Рис.6. Графики зависимости удельных приведенных энергозатрат от основных факторов влияния на примере работы моториста по технологии № 8:

а) $\varepsilon_{y.d.n} = f(\bar{\varphi}_{вo}; P_{чл});$ б) $\varepsilon_{y.d.n} = f(P_{чл}; V_{чл});$ в) $\varepsilon_{y.d.n} = f(k_i; q);$ г) $\varepsilon_{y.d.n} = f(P_{чл}; q)$



Результаты вычислений авторов

Рис. 7. Графики зависимости производительности труда от основных факторов влияния на примере работы моториста по технологии № 8:

а) $P_{см k} = f(\bar{\varphi}_{вo}; P_{чл});$ б) $P_{см k} = f(P_{чл}; V_{чл});$ в) $P_{см k} = f(k_i; q);$ г) $P_{см k} = f(P_{чл}; q)$

Выводы

1. В условиях малообъемного лесопользования результаты выполнения обрабатывающих операций бензопилами во многом определяют ритмичность работы трелевочного средства и оказывают значительное влияние на выработку всей системы машин. Эффективность ее работы можно повысить путем принятия научно обоснованных решений на стадии проектирования лесосечных работ при выборе оптимального комплекта бензиномоторного инструмента, технологии и организации валки деревьев, очистки их от сучьев и раскряжевки хлыстов. При этом существует проблема достоверного прогнозирования работы мотористов с бензопилами из-за: большого количества сравниваемых вариантов в различных условиях производства и природной среды; необходимости учета квалификации и утомляемости исполнителей; а также целесообразности оценки выполнения обрабатывающих операций одновременно с нескольких позиций. Для решения обозначенной проблемы был предложен к использованию новый комплексный показатель оценки эффективности обрабатывающих операций – удельные приведенные энергозатраты, отличающийся возможностью наряду с суммарными затратами энергии на пиление учитывать производительность труда, а также количество задействованных в работе мотористов со своими индивидуальными особенностями.

2. С целью обоснования оптимальной технологии выполнения обрабатывающих операций были определены для сравнения 12 вариантов и методом последовательного информационно-логического и математического моделирования разработаны имитационные модели для прогнозирования показателя удельных приведенных энергозатрат в широком диапазоне изменения природно-производственных условий разрабатываемых лесосек. На основе разработанных имитационных моделей была создана программа для ЭВМ в среде Delphi по обоснованию технологических вариантов выполнения обрабатывающих операций бензиномоторным инструментом и получено авторское свидетельство (№ гос. регистрации 2019611250).

3. Для реализации разработанного программного обеспечения в условиях Александровского лесничества (Владимирская область) были собраны и обработаны данные по затратам времени на выполнение всех составляющих элементов обрабатывающих операций при работе трех мотористов в различных технологических последовательностях. В дальнейшем применительно к одной из разрабатываемых лесосек был проведен имитационный эксперимент для прогнозирования производительности и показателя удельных приведенных энергозатрат на обрабатывающих операциях с учетом индивидуальной квалификации и утомляемости мотористов. Достоверность результатов прогнозирования была подтверждена в ходе производственной проверки на предприятии ООО «ЛК Кедр» в мае 2018 г. с расхождением 3...6 %. Произведенные расчеты позволили определить для третьего типа технологического процесса лесосечных работ ТП-3 (вывозка сортиментов) в качестве наиболее предпочтительного варианта выполнения обрабатывающих операций технологию № 8, где количество задействованных в работе мотористов бензопил снижено на два человека относительно технологии № 5 и одного человека относительно технологий № 6 и № 7. При этом удельные приведенные энергозатраты технологии № 8 ($\varepsilon_{y.o.n} = 52465 \text{ Вт}\cdot\text{с}\cdot\text{чел}/\text{м}^3$) в сравнении с технологиями № 5 ($\varepsilon_{y.o.n} = 65753 \text{ Вт}\cdot\text{с}\cdot\text{чел}/\text{м}^3$), № 6 ($\varepsilon_{y.o.n} = 86681 \text{ Вт}\cdot\text{с}\cdot\text{чел}/\text{м}^3$) и № 7 ($\varepsilon_{y.o.n} = 53004 \text{ Вт}\cdot\text{с}\cdot\text{чел}/\text{м}^3$) оказались меньше на 21,2 %, 39,5 % и 1,1 % соответственно.

Разработанный математический аппарат и программное обеспечение рекомендуется к использованию на стадии проектирования лесосечных работ при выборе оптимального комплекта бензиномоторного инструмента, технологии и организации валки деревьев, очистки их от сучьев и раскряжевки хлыстов на сортименты.

Библиографический список

1. Абрамов, В. В. Разработка и обоснование эффективной технологии трелевки в малолесных районах : специальность 05.21.01 «Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства» : дис. ... канд. техн. наук : защищена 24.04.09 / Абрамов Виталий Викторович. – Воронеж, 2009. – 366 с. – Библиогр.: с. 136–147.
2. Белкин, М. А. Алгоритмы технического обслуживания и ремонта современных бензиномоторных инструментов / М. А. Белкин // Строительные и дорожные машины. – 2017. – № 5. – С. 42–44.
3. Бондаренко, А. В. Моделирование природно-производственных условий в задачах исследования первичного транспорта леса в горной местности / А. В. Бондаренко, В. В. Абрамов, Ф. В. Пошарников // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 2 (40). – URL: www.science-education.ru/102-5518.
4. Современные технологии лесосечных работ / В. Д. Валяжонков, Е. А. Васякин, Ю. И. Беленький, А. А. Коваленко, В. А. Иванов // Системы. Методы. Технологии. – 2012. – № 1 (13). – С. 129–134.
5. Галактионов, О. Н. Бензиномоторные пилы. Устройство и эксплуатация : учеб. / О. Н. Галактионов, Г. Д. Гаспарян, И. В. Григорьев [и др.]. – Санкт-Петербург, 2017. – 206 с.
6. Герц, Э. Ф. Рациональная организация выборочной рубки с использованием бензиномоторной пилы и мини-трактора / Э. Ф. Герц, Н. Н. Теринов // Пермский аграрный вестник. – 2017. – № 4 (20). – С. 152–157.
7. Основные ошибки вальщиков, приводящие к выходу из строя бензиномоторных пил / А. В. Гончаров, И. В. Григорьев, О. А. Куницкая, М. Ф. Григорьев // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2018. – № 10. – С. 17–21.
8. Совместное влияние влажности и температуры древесины сосны на энергоемкость процесса поперечного пиления / И. В. Григорьев, Е. Г. Хитров, В. А. Иванов, В. И. Жданович, М. В. Дербин // Системы. Методы. Технологии. – 2014. – № 2 (22). – С. 157–162.
9. Анализ общих закономерностей влияния стажа работы оператора на производительность технологического процесса производства сортиментов с использованием харвестера / М. Н. Дмитриева, И. В. Григорьев, М. В. Степанищева, И. Н. Дмитриева // Системы. Методы. Технологии. – 2015. – № 1 (25). – С. 157–161.
10. Заикин, А. Н. Методика автоматизированного оперативного планирования лесосечных работ / А. Н. Заикин, И. И. Теремкова // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2017. – № 3 (54). – С. 102–109.
11. Заикин, А. Н. Методика расчета продолжительности и оценки энергозатрат работы лесосечных машин / А. Н. Заикин, Е. Г. Рыжикова // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2015. – № 1 (343). – С. 94–102.
12. Иевлев, А. И. Моделирование и оптимизация лесопромышленных процессов : тексты лекций в 2 частях. Ч. 1 / А. И. Иевлев, И. А. Сидельников. – Воронеж, 1997. – 70 с.
13. Матросов, А. В. Моделирование работы и оценка эффективности системы лесосечных машин / А. В. Матросов, М. А. Быковский // Лесной вестник. – 2013. – № 1. – С. 107–112.
14. Рябухин, П. Б. Как повысить эффективность эксплуатации лесозаготовительных машин / П. Б. Рябухин // Философия современного природопользования в бассейне реки Амур : матер. VII междунар. науч.-практ. конференции. – Хабаровск, 2018. – С. 11–15.
15. Рябухин, П. Б. Математическое моделирование в решении задач предприятий лесопромышленного комплекса / П. Б. Рябухин, А. П. Козорез, А. В. Абузов // Вестник КрасГАУ. – 2012. – № 5. – С. 76–82.
16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019611250. Программа для обоснования технологических вариантов выполнения обрабатывающих операций бензиномоторным инструментом / Л. Д. Бухтояров, А. С. Черных, Д. Н. Афоничев, В. В. Абрамов, И. Н. Троянов, И. А. Марчуков (РФ). – Правообладатель : ФГБОУ ВО Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова (RU). – № 2019611250, заявлено 10.01.2019; зарегистрировано 23.01.2019.

17. Improvement of processing operations of cutting work using gasoline-powered tools / A. S. Chernykh, A. I. Maksimenkov, V. V. Abramov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environment Science. – 2019. – № 226. – P. 1–9.
18. Shegelman I. Optimization of a forest harvesting set based on the Queuing Theory: Case study from Karelia / I. Shegelman, P. Budnik, E. Morozov // Lesnícky časopis - Forestry Journal. – 2015. – № 61(4). – P. 211–220.
19. Shirnin, A. Y. Comparison of system of cars for extreme conditions logging / A. Y. Shirnin, Y. A. Shirnin // Journal of Applied Engineering Science. – 2016. – № 14 (2). – P. 206–212.

References

1. Abramov V. V. *Razrabotka i obosnovaniye effektivnoy tekhnologii trelevki v malolesnykh rayonakh* [Development and justification of efficient technology for skidding in low forest areas Cand. of technical sci. Diss]. Voronezh, 2009, 366 p. (In Russian).
2. Belkin M. A. *Algoritmy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta sovremennykh benzinomotornykh instrumentov* [Algorithms of maintenance and repair of modern gasoline-powered tools]. *Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny* [Construction and road machines]. 2017, no. 5, pp. 42–44. (In Russian).
3. Bondarenko A. V., Abramov V. V., Posharnikov F. V. *Modelirovaniye prirodno-proizvodstvennykh usloviy v zadachakh issledovaniya pervichnogo transporta lesa v gornoy mestnosti* [Modeling of natural and industrial conditions in the tasks of research of primary forest transport in mountainous areas]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and education]. 2012, no. 2 (40). Electronic resource – mode of access: www.science-education.ru/102-5518.
4. Valeozhkov V.D., Vasyakin E.A., Belenky Yu.I., Kovalenko A.A., Ivanov V.A. *Sovremennyye tekhnologii lesosechnykh rabot* [Modern logging technologies]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii.* [Systems. Methods Technology]. 2012, no. 1 (13), pp. 129–134. (In Russian).
5. Galaktionov O. N., Gasparyan G. D., Grigoriev I. V. [et al.]. *Benzinomotornyye pily. Ustroystvo i ekspluatatsiya Gasoline saws* [Gasoline saws. Device and operation]. St. Petersburg, 2017, 206 p. (In Russian).
6. Hertz E. F., Terinov N. N. *Ratsional'naya organizatsiya vyborochnoy rubki s ispol'zovaniyem benzinomotornoy pily i mini-traktora* [Rational organization of selective logging using a gasoline-powered saw and a mini-tractor]. *Permskiy agrarnyy vestnik* [Perm Agrarian Journal]. 2017, no. 4 (20), pp. 152–157. (In Russian).
7. Goncharov A. V., Grigoriev I. V., Kunitskaya O. A., Grigoriev M. F. *Osnovnyye oshibki val'shchikov, privodyashchiye k vykhodu iz stroya benzinomotornykh pil* [The main errors of fellers, leading to failure of gasoline-powered saws]. *Remont. Vosstanovleniye. Modernizatsiya.* [Repair, Reconditioning, Modernization]. 2018, no. 10, pp. 17–21.
8. Grigoriev I. V., Khitrov E. G., Ivanov V. A., Zhdanovich V. I., Derbin M. V. *Sovmestnoye vliyaniye vlazhnosti i temperatury drevesiny sosny na energoyemkost' protsessa poperechnogo pileniya* [The combined effect of temperature and humidity of pine wood on the energy intensity of the transverse sawing process]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii.* [Systems. Methods Technology]. 2014, no. 2 (22), pp. 157–162. (In Russian).
9. Dmitrieva M. N., Grigoriev I. V., Dmitrieva I. N., Stepanischeva M. V. *Analiz obshchikh zakonmernostey vliyaniya stazha raboty operatora na proizvoditel'nost' tekhnologicheskogo protsessa proizvodstva sortimentov s ispol'zovaniyem kharvestera* [Analysis of the general patterns of the influence of operator experience on the productivity of the technological process of production of assortments using a harvester]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii.* [Systems. Methods Technology]. 2015, no. 1 (25), pp. 157–161. (In Russian).
10. Zaikin A. N., Teremkova I. I. *Metodika avtomatizirovannogo operativnogo planirovaniya lesosechnykh rabot* [Methods of automated operational planning of logging work]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Vestnik of Voronezh State Agrarian University]. 2017, no. 3 (54), pp. 102–109. (In Russian).

11. Zaikin A. N., Teremkova I. I. *Metodika rascheta prodolzhitel'nosti i otsenki energozatrat raboty lesosechnykh mashin* [The method of calculating the duration and estimation of the energy consumption of logging machines]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal]. 2015, no. 1 (343), pp. 102-109.
12. Ievlev A. I., Sidelnikov I. A. *Modelirovaniye i optimizatsiya lesopromyshlennykh protsessov* [Modeling and optimization of forestry processes]. Voronezh, 1997, 70 p. (In Russian).
13. Matrosov A. V., Bykovskiy M.A. *Modelirovaniye raboty i otsenka effektivnosti sistemy lesosechnykh mashin* [Modeling of work and evaluation of the effectiveness of the system of logging machines]. *Lesnoy vestnik*. [Forestry Bulletin]. 2013, no. 1, pp. 107-112. (In Russian).
14. Ryabukhin P.B., Kozorez A.P., Abuzov A.V. *Matematicheskoye modelirovaniye v reshenii zadach predpriyatiy lesopromyshlennogo kompleksa* [Mathematical modeling in solving problems of enterprises of the timber industry complex]. *Vestnik KrasGAU*. [the Bulletin of KrasGAU]. 2012, no. 5, pp. 76-82. (In Russian).
15. Ryabukhin P.B. *Kak povysit' effektivnost' ekspluatatsii lesozagotovitel'nykh mashin* [How to increase the efficiency of operation of logging machines]. *Filosofiya sovremennogo prirodopol'zovaniya v bassejne reki Amur : materialy VII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. [Philosophy of Modern Nature Management in the Amur River Basin: Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference]. 2018, no. 5, pp. 11-15. (In Russian).
16. Bukhtoyarov L. D., Chernykh A. S., Afonichev D. N. [et al.]. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM RF* [Certificate of state registration of computer program RU]. *Programma dlya modelirovaniya protsessa pileniya drevesiny benzinomotornym instrumentom* [Program for simulating the process of sawing wood with a gasoline-powered tool]. No. 2018614830, 2018.
17. Chernykh A. S., Maksimenkov A. I., Abramov V. V., Troyanov I. N., Buhtoyarov L. D., Afonichev D. N. Improvement of processing operations of cutting work using gasoline-powered tools. IOP Conference Series: Earth and Environment Science, 2019, no. 226, pp. 1-9.
18. Shegelman I., Budnik P., Morozov E. Optimization of a forest harvesting set based on the Queueing Theory: Case study from Karelia. *Lesnícky časopis - Forestry Journal*, 2015, no. 61(4), pp. 211-220.
19. Shirnin A.Y., Shirnin Y. A. Comparison of system of cars for extreme conditions logging *Journal of Applied Engineering Science*, 2016, no. 14 (2), pp. 206-212.

Сведения об авторах

Троянов Игорь Николаевич – аспирант кафедры лесной промышленности, метрологии, стандартизации и сертификации ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: troyanovi@mail.ru.

Абрамов Виталий Викторович – доцент кафедры лесной промышленности, метрологии, стандартизации и сертификации ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат технических наук, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: vitali1980a@mail.ru.

Бухтояров Леонид Дмитриевич – доцент кафедры лесной промышленности, метрологии, стандартизации и сертификации ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат технических наук, доцент, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: vglta-mlx@yandex.ru.

Афоничев Дмитрий Николаевич – профессор кафедры электротехники и автоматики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», доктор технических наук, профессор, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: dmafonichev@yandex.ru.

Черных Александр Сергеевич – доцент кафедры лесной промышленности, метрологии, стандартизации и сертификации ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат технических наук, доцент, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: as-ummu@mail.ru.

Максименков Алексей Иванович – доцент кафедры лесной промышленности, метрологии, стандартизации и сертификации ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат технических наук, доцент, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: mai-mlx@yandex.ru.

Information about authors

Troyanov Igor Nikolayevich – Postgraduate Student of the Department of Forest Industry, Metrology, Standardization and Certification, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: troyanovi@mail.ru.

Abramov Vitaly Viktorovich – Associate Professor of the Department of Forest Industry, Metrology, Standardization and Certification, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", PhD (Engineering), Voronezh, Russian Federation; e-mail: vitali1980a@mail.ru.

Bukhtoyarov Leonid Dmitrievich – Associate Professor of the Department of Forest Industry, Metrology, Standardization and Certification, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", PhD (Engineering), Associate Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: vglta-mlx@yandex.ru.

Afonichev Dmitriy Nikolayevich – Professor of the Department of Electrical Engineering and Automatics of FSBEI HE "Voronezh State Agricultural University named after Emperor Peter I", DSc (Engineering), Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: dmafonichev@yandex.ru.

Chernykh Alexander Sergeevich – Associate Professor of the Department of Forest Industry, Metrology, Standardization and Certification, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", PhD (Engineering), Associate Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: as-umu@mail.ru.

Maksimenkov Alexey Ivanovich – Associate Professor of the Department of Forest Industry, Metrology, Standardization and Certification, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", PhD (Engineering), Associate Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: mai-mlx@yandex.ru.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ЗАГОТОВКИ И ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ ХВОЙНЫХ ПОРОД

магистрант **В.И. Морозов**

кандидат технических наук, доцент **Н.А. Петрушева**

Лесосибирский филиал ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева», г. Лесосибирск, Российская Федерация

Настоящее исследование посвящено разработке процесса заготовки и переработки древесной зелени хвойных пород при помощи мобильной установки с дальнейшим расчетом ее производительности. Во время исследования были рассмотрены действующие технологии заготовки и переработки древесной зелени хвойных пород. Достоинства данных технологий состоят в том, что они включают в себя комплексную переработку древесной зелени с целью сохранения витаминов и других полезных веществ для производства различной продукции, основными недостатками являются использование стационарного оборудования на территории производителя, что негативно сказывается на сохранении эфирных масел, содержащихся в хвое. В результате анализа было установлено, что при хлыстовой заготовке происходит потеря сырья на этапах валки и трелевки, для заготовки используются стационарные отделители древесной зелени, а ее переработка происходит на заводах – изготовителях продукции из древесной зелени; при сортиментной заготовке отделенные сучья с ветвями, содержащие хвойные побеги, могут собираться как порубочные остатки для формирования куч с последующим сжиганием. На основании данного анализа предлагается технология с использованием разрабатываемой мобильной установки, способной располагаться как на территории лесосеки, так и на погрузочной площадке. Составлены информационно-логическая и математическая модели, исходя из которых была выведена формула производительности установки и выявлена зависимость наиболее значимого фактора, влияющего на производительность установки. Так, при минимальных временных затратах производительность составит $36,1 \text{ м}^3$, при максимальных временных затратах производительность составит $25,3 \text{ м}^3$.

Ключевые слова: древесная зелень, заготовка, переработка, хвоя, мобильность

TECHNOLOGY OF CONIFEROUS FOLIAGE HARVESTING AND PROCESSING

Master's Degree Student **V.I. Morozov**

PhD (Engineering), Associate Professor **N.A. Petrusheva**

Lesosibirsk branch of FSBEI HE "Reshetnev Siberian State University of Science and Technology",
Lesosibirsk, Russian Federation

Abstract

The present study is devoted to the development of harvesting and processing coniferous wood greens using a mobile unit with further calculation of its productivity. During the study, the existing technologies for the preparation and processing of coniferous wood greens were considered. The advantages of these technologies are that they include the integrated processing of wood greens to preserve vitamins and other useful substances for the production of various products. The main disadvantages are the use of stationary equipment for the territory of the manufacturer, which negatively affects the preservation of the essential oils contained in the needles. As a result of the analysis, it was found that there is a loss of raw materials at the stages of felling and skidding during tree-length harvesting. Stationary harvesting of green wood is used for harvesting, and its processing occurs at plants manufacturing wood green products. Separated branches containing coniferous shoots can be collected as chopping residues in cut-to-length to form heaps with subsequent burning. Based on this analysis, we propose a technology using the developed mobile unit that can be located both in the cutting area and at the loading site. The information-logical and mathematical models have been compiled

based on which the formula for the plant performances have been derived and the dependence of the most significant factor affecting the plant performance was revealed. So the productivity is 36.1 m³ at the minimum time costs, the productivity is 25.3 m³ at the maximum time costs.

Keywords: foliage, harvesting, processing, needles, mobility

Введение

М.И. Зайцева (2014) исследовала проблему использования отходов лесозаготовок в виде древесной зелени хвойных пород. В ходе лесозаготовок хвойные деревья и кустарники валятся на землю, и происходит процесс обрубки сучьев с хвоей. Деловую древесину увозят, а сучьями либо устилают трелевочные волокна (на которых они дробятся и превращаются в труху под гусеницами тракторов), либо сжигают [5].

Ф.Т. Солодской (2014) исследовал комплексное использование древесной зелени, которая имеет в составе биологически активные вещества, такие как: эфирные масла, витамины (В₁, В₂, В₆, С, Е, К, Р и др.), провитамин А (каротин), белки, жиры, углеводы, микроэлементы и протеины [10]; получил следующие результаты: при комплексной переработке древесной зелени хвойных пород получают широкий спектр продукции медицинского, парфюмерно-косметического и пищевого назначения, кормовые добавки для сельскохозяйственных животных, хвойно-витаминную муку.

При нынешних технологиях в процессе лесозаготовок от общей биомассы древесины используется стволовая часть, которая составляет до 65 %, оставшиеся 35 % составляют отходы, 17 % из которых составляет древесная зелень, для сосны обыкновенной диаметром 40 сантиметров масса древесной зелени со всего дерева составляет 36 килограмм, в большинстве случаев она остается на лесосеке, что представляет собой потерю в производстве товаров для народного хозяйства.

Под действием солнечной энергии в хвое образуются различные биологически активные вещества: фитонциды, ферменты, витамины и др. Часть этих веществ расходуется на рост дерева, а часть откладывается в запас. Таким образом, хвоя является лабораторией и кладовой, в которой образуются и откладываются ценные вещества.

Цель данной работы заключается в разработке технологии заготовки и переработки древесной

зелени хвойных пород на территории лесосеки. Для решения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

- провести предварительный анализ действующих технологий в настоящее время, выделив достоинства и недостатки;
- описать технологический процесс разрабатываемой технологии по заготовке и переработке древесной зелени хвойных пород;
- вывести формулу производительности и вычислить зависимость производительности от наиболее влияющего фактора.

Материалы и методы

Материалами исследования в процессе работы послужили научные статьи, размещенные в журналах, публикации, диссертации, учебная литература и электронные ресурсы.

Для достижения цели исследования используется системный и комплексный подход. Применительно к научной проблематике использован комплекс современных методов исследований: числового моделирования, математического планирования и статистического анализа.

Рассматривая действующие технологии, было выявлено, что отделение сучьев с хвоей происходит стационарными барабанными отделителями [4]; мобильными отделителями древесной зелени [9] при хлыстовой заготовке. При сортиментной заготовке используются харвестеры и процессоры [6]. Переработка включает в себя стационарное оборудование с целью получения биологически активных и химических компонентов [3, 7, 8, 11, 12, 13].

Сокращение объемов сплошных рубок и расширение применения выборочных и постепенных рубок ставит лесопользователей в условия необходимости применения более совершенной технологии и техники, отвечающей лесоводственным и экологическим требованиям. В связи с этим возрастает интерес к сортиментной технологии лесозаготовок, позволяющей наиболее производительно механизировать эти виды рубок с учетом совре-

менных экологических требований. Одной из основных причин тенденции развития сортиментной технологии в мире являются успехи скандинавских машиностроителей, которые разработали и представили на рынок высокопроизводительные и надежные многооперационные машины для получения сортиментов на лесосеке [9].

В результате проведенного анализа существующих технологий переработки древесной хвой и исследований [2] был разработан технологический процесс заготовки и переработки древесной зелени хвойных пород, включающий в себя мобильную установку.

Результаты и обсуждение

Технологический процесс при заготовке древесной зелени основывается на технологическом процессе заготовки деревьями и включает в себя следующие операции: валка дерева – трелевка деревьев на верхний склад – раскряжевка деревьев – погрузка сучьев в мобильную установку – вывозка сортиментов.

В данном случае валка осуществляется валочно-пакетирующей машиной, затем поваленные деревья трелеются на верхний склад грузовой платформой на базе форвардера. На погрузочном пункте деревья раскряжевываются при помощи процессора, сучья складываются в кучи, а сортименты в штабеля. Сучья и тонкомерные деревья загружают комлем вперед в приемную часть мобильной установки, в узле отделения хвоя отделяется от сучьев и веток, затем измельчается. Под ситом измельчителя древесной зелени расположены пакетодержатель и вакуумная-упаковочная машина.

Принцип работы мобильной установки заключается в отделении хвоя от веток, ее измельчении и вакуумном упаковывании.

Использование мобильной установки возможно, когда наряду с заготовкой деловой древесины при сплошнолесосечной сортиментной технологии осваиваются лесосечные отходы. Операция измельчения древесной зелени может выполняться на делянке, или на погрузочной площадке у лесовозной дороги, или на территории предприятия-потребителя [1].

Рассмотрим работу мобильной установки, если она устанавливается на верхнем складе, за-

грузки ветвей с хвоей осуществляется человеком, переработанная хвоя находится в разгрузочном кузове объемом 60 литров.

Для наглядного рассмотрения операций была составлена информационно-логическая модель технологического процесса мобильной установки, представленная на рис. 1.

На основании информационно-логической модели была составлена математическая модель мобильной установки, представленная на рис. 2. В прямоугольниках отображено время исполнения основных операций, в четырехугольниках отображены переход состояния одной операции в другую при $(t_i \geq t_{i-1})$; количество ветвей с хвоей (n_1); максимально возможное количество ветвей для погрузки (n_2); количество выгруженных порубочных остатков (n_3); количество погруженных порубочных остатков (n_4); время на выполнение основных работ (n_5).

Составим формулу производительности установки:

$$\left(\left(\left((t_3 + t_{11} + t_{13} + t_{15}) \cdot n_{\text{вет}} + t_5 + t_7 + t_9 \right) \cdot n_{\text{ср}} \right) \cdot n_{\text{ц}} \right) + t_{18} + t_{20}. \quad (1)$$

Обозначим цикл операций по загрузке и разгрузке кузова мобильной установки $(t_3 + t_{11} + t_{13} + t_{15})$ как T_1 . Цикл операций на работу установки $(t_5 + t_7 + t_9)$ обозначим как T_2 . Цикл операций на подготовительно-заключительные работы $(t_1 + t_{18} + t_{20})$ обозначим как T_3 .

Тогда формула примет вид

$$\left((T_1 \cdot n_{\text{вет}} + T_2) \cdot n_{\text{ср}} \right) \cdot n_{\text{ц}} + T_3 = T_{\text{см}} \quad (2)$$

$$\left((T_1 \cdot n_{\text{вет}} + T_2) \cdot n_{\text{ср}} \right) \cdot n_{\text{ц}} = T_{\text{см}} - T_3 \quad (3)$$

$$\left(T_1 \cdot n_{\text{вет}} \cdot n_{\text{ср}} + T_2 \cdot n_{\text{ср}} \right) \cdot n_{\text{ц}} = T_{\text{см}} - T_3 \quad (4)$$

$$T_1 \cdot n_{\text{вет}} \cdot n_{\text{ср}} \cdot n_{\text{ц}} + T_2 \cdot n_{\text{ср}} \cdot n_{\text{ц}} = T_{\text{см}} - T_3 \quad (5)$$

$$n_{\text{вет}} \cdot n_{\text{ср}} \cdot n_{\text{ц}} \cdot \left(T_1 + \frac{T_2}{n_{\text{вет}}} \right) = T_{\text{см}} - T_3 \quad (6)$$

$$n_{\text{вет}} \cdot n_{\text{ср}} \cdot n_{\text{ц}} = \frac{T_{\text{см}} - T_3}{T_1 + \frac{T_2}{n_{\text{вет}}}} \quad (7)$$

$$n_{\text{вет}} \cdot n_{\text{ср}} \cdot n_{\text{ц}} = \frac{(T_{\text{см}} - T_3) \cdot n_{\text{вет}}}{T_1 \cdot n_{\text{вет}} + T_2}, \quad (8)$$

где $n_{\text{вет}}$ – среднее количество веток за одну загрузку, шт.;

$n_{\text{ср}}$ – среднее количество веток на один цикл работы, шт.;

$n_{ц}$ – среднее количество циклов за смену, раз.

Левая часть уравнения ($n_{вет} \cdot n_{ср} \cdot n_{ц}$) равна количеству обрабатываемых веток с хвоей за смену, $N_{ср/см}$, шт.

Формула сменной производительности мобильной установки будет иметь вид

$$P_{см} = V_{ср} \cdot \varphi \cdot N_{ср/см}, \quad (9)$$

где $V_{ср}$ – среднее количество хвои на 1 ветви, $м^3$;

φ – коэффициент использования рабочего времени, 0,8.

Для оценки факторов, влияющих на сменную производительность установки, определены

временные диапазоны каждой операции (табл. 1). Количество сучьев сосны сибирской к объему ствола в коре для IV разряда высоты варьируется от 10 до 18 %. Средние и максимальные размеры сучьев при объеме хлыста (в коре), $м^3$ равны 2,5 см, при объеме 0,76 $м^3$ диаметр сучьев равен 4,3 см [1].

По формулам (1) – (9) и минимальным и максимальным значениям времени выполнения операции технологического цикла установки (табл. 1) составлена зависимость сменной производительности от среднего количества хвои (кг) на 1 $м^3$ ствола дерева при благоприятных и неблагоприятных условиях.

Таблица 1

Временные диапазоны каждой операции

Операция	Диапазон времени, с	Влияющие факторы
t_1	1200-2000	Уровень ГСМ, состояние спиц, ножей
t_3	10-20	Погодные условия, длина ветви, удаленность в рабочей зоне
t_5	3-8	Диаметр ветви, влажность, состояние спиц барабана
t_7	1-3	Влажность, насыпная плотность
t_9	180-240	Состояние ножей, влажность, размер хвои
t_{11}	1-2	Погодные условия, сезонные условия
t_{13}	5-10	Погодные условия, положение пакета
t_{15}	1-2	Погодные условия, сезонные условия
t_{18}	360-540	Погодные и сезонные условия
t_{20}	1500-2500	Состояние основных узлов, колесной базы, способ заправки

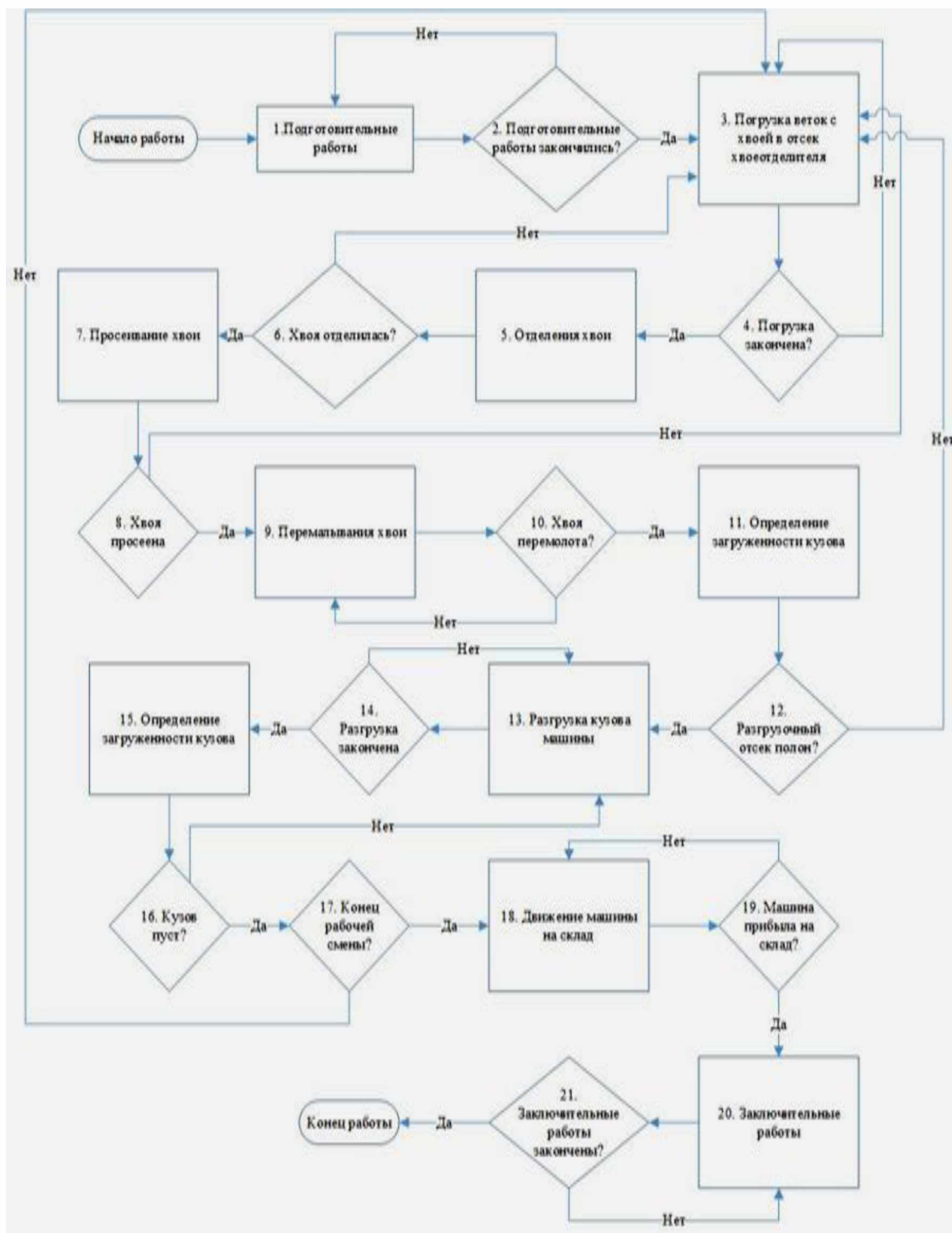


Рис. 1. Информационно-логическая модель технологического процесса мобильной установки

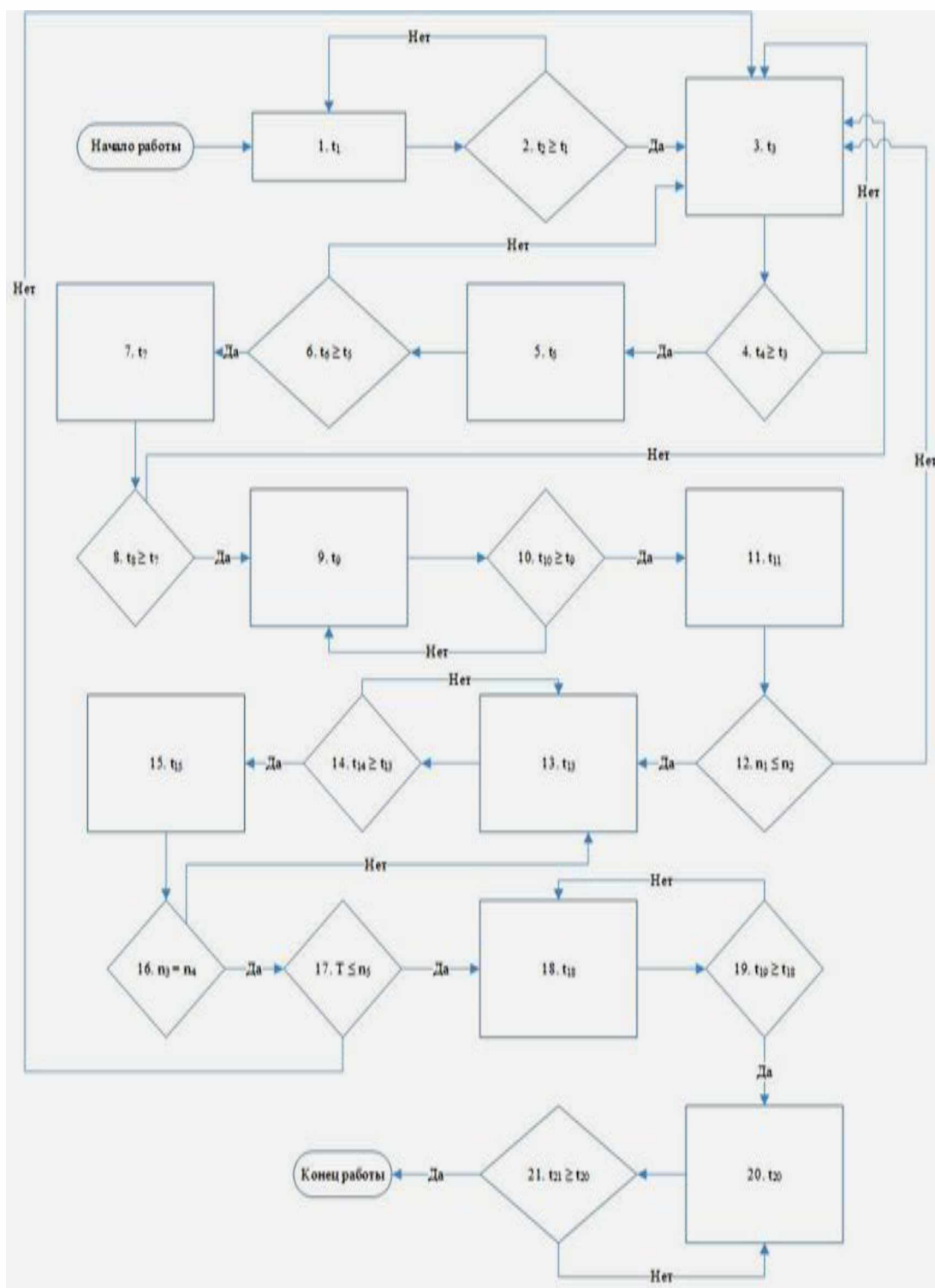


Рис. 2. Математическая модель технологического процесса заготовки и переработки древесной зелени хвойных пород

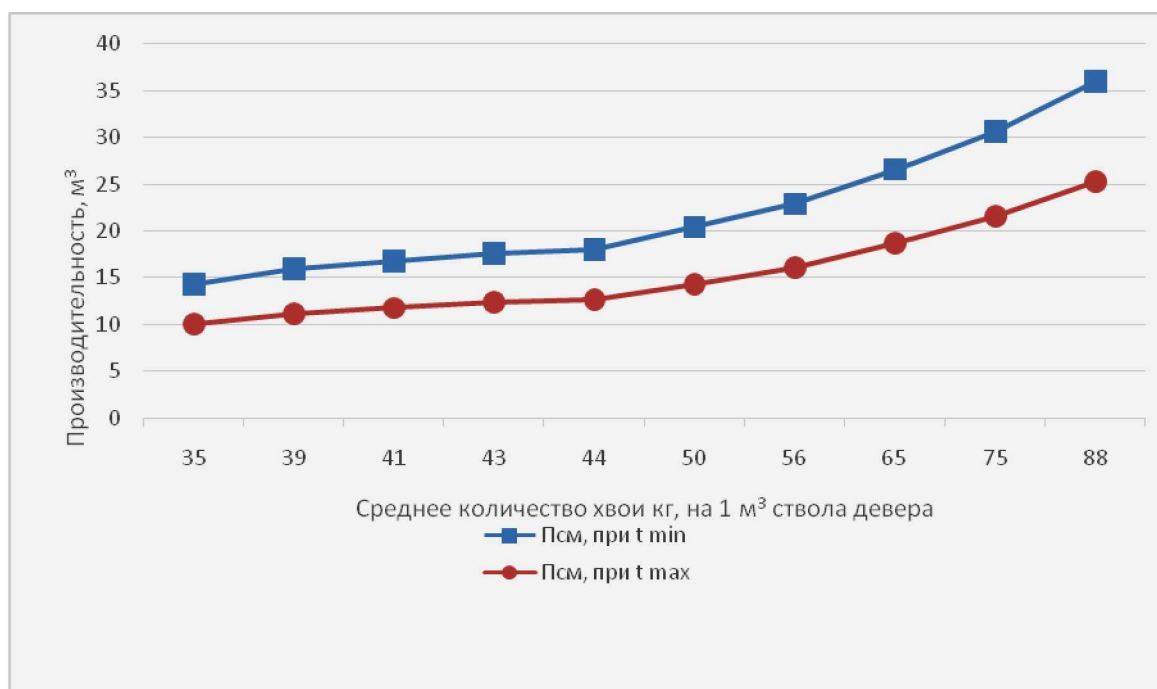


Рис. 3. Зависимость сменной производительности мобильной установки от среднего количества хвои, кг на 1 м³ ствола дерева при благоприятных и неблагоприятных условиях

Выводы

В результате исследований были рассмотрены действующие технологии, с учетом достоинств и недостатков был разработан технологический процесс заготовки и переработки древесной зелени хвойных пород с использованием разрабатываемой мобильной установки, которая способна отделять и перерабатывать древесную зелень на территории лесосеки; выведена формула производительности.

Сменная производительность зависит от среднего количества хвои на 1 м³ ствола дерева, производительность при минимальных временных затратах и минимальном количестве хвои составит 14,3 м³, при минимальном времени и максимальном запасе производительность составит 36,1 м³, при максимальных временных затратах и минимальном запасе составит 10 м³, при максимальных временных затратах и максимальном запасе составит 25,3 м³.

Библиографический список

1. Баранова, Н. Ф. Заготовка, транспортировка и хранение хвойной лапки / Н. Ф. Баранова, В. С. Фуфачева, И. В. Ступина // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2014. – № 10. – С. 155–159.
2. Борин, К. В. Производство хвойной муки в условиях лесосеки / К. В. Борин, Н. А. Петрушева // Материалы научно-практической конференции с международным участием. – 2018. – С. 18-20.
3. Ботенкова, В. П. Устройство для заготовки хвойной лапки / В. П. Ботенкова // Хвойные бореальной зоны. – 2013. – № 1-2. – С. 138–142.
4. Вторичные материальные ресурсы лесной и деревообрабатывающей промышленности : справ. / под ред. А. Е. Юрченко. – Москва : Экономика, 2004. – 226 с.
5. Зайцева, М. И. Отходы переработки хвои сосны обыкновенной, как материал для теплоизоляционных плит / М. И. Зайцева, Г. Н. Колесников // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2014. – № 10. – С. 155–159.

6. Лесосечные машины в фокусе биоэнергетики: конструкции, проектирование, расчет [Текст] : учеб. пособие / В. С. Сяунёв [и др.]. – Москва : НИИ Леса Финляндии METLA, 2011. – 143 с.
7. Матросов, А. В. Технологические процессы малообъемных лесозаготовок и метод их моделирования / А. В. Матросов // Лесной вестник. – 2006. – С. 90-93.
8. Посметьев, В. И. Состояние и пути решения проблемы заготовки древесной зелени на лесных объектах / В. И. Посметьев, И. Ф. Яковенко, О. С. Калашникова // Технология и оборудование деревообработки XXI века : Межвуз. сб. науч. тр. – Вып. 3. – Воронеж : ВГЛТА, 2005. – С. 55–57.
9. Сафина, А. В. Экстракция ценных компонентов из лесосечных отходов / А. В. Сафина // Лесной журнал. – 2018. – № 1. – С. 109–119.
10. Солодской, Ф. Т. Способ комплексной переработки хвои / Ф. Т. Солодской // Комплексное устойчивое управление отходами. – 2014. – № 5. – С. 138–140.
11. Al-Dajani, W. W. Pre-extraction of Hemicelluloses and Subsequent Kraft Pulping. Part I. Alkaline Extraction / W. W. Al-Dajani, U. W. Tschiner // Tappi J. – 2008. – Vol. 7. – Iss. 6. – P. 3–8.
12. Fišerová, M. Hemicellulose Extraction from Beech Wood with Water and Alkaline Solutions / M. Fišerová, E. Opálená // Wood Research. – 2012. – Vol. 57. – No. 4. – P. 505–514.
13. Koptsik, G. N. Pine needle chemistry near a large point so2 source in northern Fennoscandia / G. N. Koptsik, S. V. Koptsik, D. Aamlid // Water, air, & soil pollution. – 2001. – № 1-4 III. – P. 929–934.

References

1. Baranova N. F., Fufacheva V. S., Stupina I. V. *Zagotovka, transportirovka i xranenie xvojnoj lapki* [Preparation, transportation and storage of a waste wood]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2014. №10. pp. 155-159. (In Russian)
2. Borin K. V., Petrusheva N. A. *Proizvodstvo xvojnoj muki v usloviyax leseki* [Production of coniferous flour in a cutting area]. *Materialy' nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodny'm uchastiem*. 2018. pp. 18-20. (In Russian)
3. Botenkova V. P. *Ustrojstvo dlya zagotovki xvojnoj lapki* [Device for harvesting pine waste wood]. *Xvojny'e boreal'-noj zony'*. 2013. №1-2. pp. 138-142. (In Russian)
4. *Vtorichny'e material'ny'e resursy' lesnoj i derevoobrabatyvayushhej promy'shlennosti: spravochnik* [Secondary material resources of forest and woodworking industry: a reference book] / pod red. A.E. Yurchenko. M.: E'konomika, 2004. 226 p. (In Russian)
5. Zajceva M. I., Kolesnikov G. N. *Otxody' pererabotki xvoi sosny' oby'kvennoj, kak material dlya teploizolyacionny'x plit* [Waste processing of pine needles, ordinary, as a material for insulation boards]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2014. №10. pp. 155-159. (In Russian)
6. Syunyov V. S. [i dr.]. *Lesosechny'e mashiny' v fokuse bioenergetiki: konstrukcii, proektirovanie, raschet* [Forest cutting machines in the focus of bioenergy: structures, design, calculation]: учеб. posobie. M. : NII LesaFinlyandii METLA, 2011. 143 p. (In Russian)
7. Matrosov A. V. *Texnologicheskie processy' maloob'emny'x lesozagotovki metod ix modelirovaniya* [Technological processes of low-volume logging and the method of their modeling]. *Lesnoj vestnik*. 2006. pp. 90-93. (In Russian)
8. Posmet'ev V. I., Yakovenko I. F., Kalashnikova O. S. *Sostoyanie i puti resheniya problemy' zagotovki drevesnoj zeleni na lesny'x ob'ektax* [Status and solutions to the problem of harvesting wood greens in forest areas]. *Mezhvuz. sb. nauchn. trudov «Texnologiya i oborudovanie derevoobrabotki XXI veka»*, vy'p. 3. Voronezh : VGLTA, 2005. pp. 55-57 (In Russian)
9. Safina A. V. *E'kstrakciya cenny'x komponentov iz lesosechny'x otxodov* [Extraction of valuable components from logging waste]. // *Lesnoj zhurnal*. 2018. № 1. pp. 109-119. (In Russian)

10. Solodskoj F. T. *Sposob kompleksnoj pererabotki xvoi* [Method for complex processing of needles]. *Kompleksnoe ustojchivoe upravlenie otxodami*. 2014. № 5. S. 138-140 (In Russian).
11. Al-Dajani W. W., Tschiner U. W. Pre-extraction of Hemicelluloses and Subsequent Kraft Pulping. Part I. Alkaline Extraction. *Tappi J.* 2008. Vol. 7, iss. 6. P. 3-8.
12. Fišerová M., Opálená E. Hemicellulose Extraction from Beech Wood with Water and Alkaline Solutions. *Wood Research*. 2012. Vol. 57, no. 4. P. 505-514.
13. Koptsik G. N., Koptsik S. V., Aamlid D. Pine needle chemistry near a large point so2 source in northern Fennoscandia. *Water, air, & soil pollution*. 2001. № 1-4 III. P. 929-934.

Сведения об авторах

Морозов Василий Иванович – магистрант, Лесосибирский филиал ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Лесосибирск, Российская Федерация; e-mail: pga1233890@mail.ru.

Петрушева Надежда Александровна – доцент кафедры «Технологии лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств» Лесосибирского филиала ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», кандидат технических наук, доцент, г. Лесосибирск, Российская Федерация, e-mail: petrusheva-n@mail.ru.

Information about authors

Morozov Vasilij Ivanovich – Master's degree student, Lesosibirsk branch of FSBEI HE "Reshetnev Siberian State University of Science and Technology", Lesosibirsk, Russian Federation; e-mail: pga1233890@mail.ru.

Petrusheva Nadezhda Aleksandrovna – Associate Professor of the Department "Technologies of logging and wood processing industries" of the Lesosibirsk branch of FSBEI HE "Reshetnev Siberian State University of Science and Technology", PhD (Engineering), Associate Professor, Lesosibirsk, Russian Federation; e-mail: petrusheva-n@mail.ru.

МОБИЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСЕКИ

магистрант **К.В. Борин**

кандидат технических наук, доцент **Н.А. Петрушева**

Лесосибирский филиал ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Лесосибирск, Российская Федерация

Настоящее исследование посвящено изучению процесса измельчения древесной зелени хвойных пород и оценки влияния управляемых параметров измельчаемой установки на контролируемые параметры. Во время исследования был спланирован и реализован предварительный эксперимент, нацеленный на определение наиболее эффективного способа измельчения древесной зелени хвойных пород. В результате предварительного эксперимента было установлено, что для измельчения древесной зелени лучше всего подходит универсальная дробилка, которая относится к установкам раскалывающего и разламывающего действия. На основании данных, полученных в результате предварительного эксперимента, был спланирован и реализован активный многофакторный эксперимент, направленный на оценку влияния управляемых параметров универсальной дробилки на контролируемые параметры процесса измельчения. Установлено, что при частоте вращения ротора в диапазоне $n = 2750-3000$ об/мин и размере ячеек сита $b = 1-3$ мм возможно измельчать древесную зелень любой влажности. Это обусловлено тем, что при увеличении частоты вращения ротора будет происходить увеличение линейной скорости ножа, следовательно, и сила, с которой будет происходить удар ножа о древесную зелень, будет увеличиваться, а уменьшение размера ячеек сепаратора приведёт к тому, что измельчаемое сырьё, размеры которого больше размера ячеек сепаратора, не сможет покинуть рабочую камеру установки и будет повторно подвержено ударному воздействию со стороны ножей. Представлена конструкция мобильной установки, способной перемещаться по территории лесосеки и производить операции по отделению и измельчению древесной зелени хвойных пород, а также по упаковке измельченной хвои.

Ключевые слова: древесная зелень, отделение, измельчение, упаковка, мобильность

MOBILE PLANT FOR FOLIAGE MILLING UNDER THE CONDITION OF CUTTING AREA PRODUCTION

Master's degree student **K.V. Borin**

PhD (Engineering), Associate Professor **N.A. Petrusheva**

Lesosibirsk branch of FSBEI HE "Reshetnev Siberian State University of Science and Technology",
Lesosibirsk, Russian Federation

Abstract

The article is devoted to the milling process of coniferous foliage and assessing the influence of the controlled parameters of the milled plant on the controlled parameters. During the study, a preliminary experiment aimed at determining the most effective milling method for coniferous species has been planned and applied. As a result of a preliminary experiment, it was found that universal residue recovery equipment, which has cracking and breaking action, is best suited to chop wood foliage. Based on the data obtained as a result of the preliminary experiment, an active multi-factor experiment has been designed and implemented to assess the influence of the controlled parameters of the residue recovery equipment on the controlled parameters of the grinding process. It is established that at a rotor speed is in the range of $n = 2750-3000$ rpm and a mesh size is $b = 1-3$ mm. It is possible to grind foliage of any moisture content. This is due to the fact that the linear speed of the knife will increase with an increase in the rotor speed. Therefore, the force with which the knife will strike the foliage will increase. A reduction in the size of the separator cells will result as fol-

lows. Grinded raw materials that are larger than the separator cells will not be able to leave the working chamber of the plant and will be re-exposed to the impact force of the knives. The design of a mobile plant that can move around the cutting area and carry out operations to separate and grind coniferous foliage, as well as to pack grinded needles, is presented.

Keywords: foliage, separation, grinding, packaging, mobility

Введение

Древесная зелень – специфический вид лесного сырья, в составе которого преобладают живые клетки хвои, молодых побегов и коры. В этих растительных клетках содержатся белки, углеводы, витамины, ферменты, желтые и зеленые пигменты, стерины, микроэлементы и другие вещества, которые необходимы для обеспечения жизнедеятельности растений, животных и человека [6, 7, 11].

До недавнего времени в лесной промышленности признавался ценным только ствол, а все остальное, в том числе крона, считалось отходами, которые загромождали лесосеки и создавали благоприятную среду для обитания и размножения вредителей леса, а также для возникновения лесных пожаров [2, 4, 12].

В клетках древесной растительности заключены многочисленные необходимые человеку и животным биологически активные вещества – витамины, хлорофилл, фитонциды, микроэлементы и др. направляющие, регулирующие жизненные процессы организма, защищающие его от патогенного микромира, а также пластические и энергетические вещества – углеводы, белки, жиры, т. е. все то, что необходимо для существования человека и животных [4].

Древесная зелень выступает сырьем в лесозаготовительном производстве для получения гранулированного топлива; в лесохимическом производстве для получения хлорофиллокаротиновых паст, хлорофиллина натрия, хвойного лечебного экстракта; в агропромышленном производстве – для получения хвойно-витаминной муки [9].

Для производства витаминной муки должна использоваться древесная зелень, которая может быть собрана с сосны, ели или пихты [5, 10].

Ф. Т. Солодской (2014) рассматривал новый способ получения полезных витаминов при комплексной переработке хвои. Производственные методы извлечения витамина С из хвои основывались на холодной экстракции. Автор установил, что

при настаивании неизмельченной хвои в воде при температуре около 98-100 °С в течение одного часа не менее 50 % витамина С переходит в экстракт. Исходя из этого, по предлагаемому способу хвою настаивают в горячей воде в течение одного часа, после чего водный раствор сливают. Отгонка эфирных масел после извлечения витамина С из хвои происходит путем продувки паром для получения эфирного масла. Для выделения каротина хвою кипятят в течение одного часа в водном растворе щелочи для перевода в эмульсию смолистых веществ хвои [8].

В работе Н.Р. Галяветдинова и А.Е. Ворониной (2014) рассматривался вопрос переработки древесной зелени с последующим получением полезных продуктов. В результате исследования была разработана экспериментальная установка для исследования переработки древесной зелени хвойных пород водяным паром при регулировании давления среды. Так как наиболее ценным продуктом при данном способе переработки сырья является эфирное масло, именно количество и качество данного вещества на выходе будет определяющим фактором при определении эффективности данной технологии при различных режимах. Полученные результаты экспериментов показывают, что температурный диапазон переработки древесной зелени от 110 °С до 130 °С обеспечивает наилучшие показатели по выходу эфирного масла, что подтверждает низкую эффективность существующих установок по переработке древесной зелени водяным паром, работающих при атмосферном давлении, так как в этом случае более 50 % целевого продукта остается в отработанной зелени [1].

Цель исследования

Цель данной работы заключается в разработке конструкции мобильной установки, способной перерабатывать древесную зелень на территории лесосеки. Для решения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

- провести предварительный эксперимент, направленный на определение наиболее эффективного способа измельчения древесной зелени хвойных пород;

- провести активный многофакторный эксперимент, направленный на определение технологических параметров измельчающей установки;

- представить конструкцию мобильной установки для измельчения древесной зелени хвойных пород.

Методика проведения эксперимента

При реализации предварительного эксперимента в качестве сырья для получения полуфабриката использовалась хвоя сосны, отвечающая требованиям ГОСТ 21769-84 «Зелень древесная. Технические условия». Хвоя была высушена до влажности $W = 30\%$. Определение влажности сырья осуществлялось весовым методом. Измельчение осуществлялось на следующем лабораторном оборудовании: роторно-ножевая мельница, мельница сухого измельчения и универсальная дробилка.

Через загрузочный патрубок роторно-ножевой мельницы хвоя массой $m = 50$ г поступает в камеру установки, после чего происходит её запуск. Измельчение происходит в течение $t = 180$ с. Затем установка останавливается, и полуфабрикат извлекается.

Загрузка хвои массой $m = 50$ г в мельницу сухого измельчения осуществляется через загрузочный патрубок. Установка запускается и работает $t = 180$ с. После чего её останавливают и извлекают полуфабрикат.

Хвоя массой $m = 50$ г через загрузочный патрубок поступает в корпус универсальной дробилки. Происходит запуск установки в работу, измельчение происходит в течение $t = 180$ с. Затем установка останавливается, и полуфабрикат извлекается.

После того, как процесс измельчения закончен, происходит замер размеров полученного полуфабриката.

На основании данных, полученных в ходе предварительного эксперимента, планируется активный многофакторный эксперимент, целью которого является определение влияния технологических параметров установки на получаемое сырьё.

Для реализации активного многофакторного эксперимента была подготовлена древесная зелень сосны, треть которой была измельчена в свежесобранном виде ($W = 60\%$), оставшиеся две трети высушены до влажности $W = 30\%$ и $W = 0\%$. Определение влажности сырья осуществлялось весовым методом. Измельчение осуществлялось на универсальной дробилке. В ходе реализации эксперимента измельчались навески массой $m = 50$ г. В каждом случае измельчение проводилось в течение $t = 180$ с. Значения управляемых факторов эксперимента приведены в табл. 1. К контролируемым факторам относятся длина (l , мм) и диаметр (d , мм) измельчённой хвои.

Согласно плану эксперимента (табл. 2), фиксировали значение частоты вращения ротора на нижнем, основном и верхнем уровнях, в каждом случае изменяли значения размера ячеек сита и влажность измельчаемого сырья, согласно выбранному интервалу варьирования данных факторов.

Размерные характеристики полученного полуфабриката анализировались с использованием электронного микроскопа с увеличением 100-1500 крат и линейки, имеющей цену делений 0,01 мм.

Обсуждение результатов исследования

В ходе предварительного эксперимента было установлено, что роторно-ножевые мельницы не способны измельчать хвою (наблюдается изгибание хвои без изменения геометрических размеров). Это обусловлено формой рабочего зазора установки и геометрическими особенностями хвои: большая длина и малый диаметр, в результате чего хвоя может свободно проходить через рабочий зазор между ножом и контрножом установки.

В результате измельчения хвои на мельнице сухого измельчения была получена однородная масса со средним размером частиц 1,5 мм. Ввиду того, что измельчение осуществляется между стальными жерновами установки, хвое требуется многократное прохождение между жерновами, что негативно сказывается на производительности установки.

Измельчение хвои на универсальной дробилке позволяет получать однородную массу со средним размером частиц 1,2 мм. Измельчение

происходит в результате многократного ударного взаимодействия между ножами установки и измельчаемым сырьем. В результате того, что ножи

установки имеют заточку режущих граней, процесс измельчения значительно ускоряется.

Таблица 1

Управляемые факторы эксперимента

Наименование фактора	Обозначения		Интервал варьирования фактора	Уровень варьирования фактора		
	натуральный вид	нормализованный вид		нижний (-1)	основной (0)	верхний (+1)
Частота вращения ротора, об/мин	n	X ₁	750	2000	2750	3500
Размера ячеек сита, мм	b	X ₂	2	1	3	5
Влажность измельчаемого сырья, %.	W	X ₃	30	0	30	60

Таблица 2

Матрица проведения эксперимента

№ опыта	X ₁	X ₂	X ₃	Y ₁	Y ₂
1	2	3	4	5	6
1	-1	-1	-1	0,242	1,046
2	1	-1	-1	0,154	0,792
3	-1	1	-1	0,604	4,668
4	1	1	-1	0,346	2,52
5	-1	-1	1	1,05	65,88
6	1	-1	1	0,182	0,806
7	-1	1	1	1,006	66,762
8	1	1	1	0,594	4,802
9	-1	0	0	0,646	3,8
10	1	0	0	0,286	2,088
11	0	-1	0	0,24	0,934
12	0	1	0	0,832	5,032
13	0	0	-1	0,364	3,586
14	0	0	1	0,994	2,33

В результате анализа данных, полученных в результате предварительного эксперимента, можно сделать вывод, что наиболее эффективным способом измельчения хвои является ударное воздействие на измельчаемое сырье. Таким образом, для реализации активного многофакторного эксперимента выбрана универсальная дробилка.

С целью установления закономерностей влияния управляемых параметров универсальной дробилки на контролируемые параметры измельченной древесной зелени хвойных пород был спланирован и реализован активный многофакторный эксперимент, а для визуализации процесса построены поверхности отклика в виде графических зависимостей (рис. 1).

Из приведенных графических зависимостей видно, что чем выше частота вращения ротора, тем меньше будет размер измельченной хвои. Это обусловлено тем, что при увеличении частоты вращения ротора будет увеличиваться значение линейной скорости ножа, следовательно, и сила, с которой будет происходить удар, будет увеличиваться. Чем больше размер ячеек сепаратора, тем большего размера будет измельченная хвоя. Уменьшение размера ячеек сепаратора приведёт к тому, что измельчаемое сырье, размеры которого больше размера ячеек сепаратора, не сможет покинуть рабочую камеру установки и будет повторно подвержено ударному воздействию со стороны ножей.

Таким образом, из графических зависимостей можно сделать вывод, что для измельчения хвои любой влажности необходимо, чтобы частота вращения ротора составляла $n = 2750-3000$ об/мин. Дальнейшее увеличение частоты вращения ротора приведет к увеличению потребляемой энергии установки, но при этом качество получаемой продукции повысится незначительно. Размер ячеек сита $b = 1-3$ мм позволяет получать полуфабрикат для производства хвойно-витаминной муки, не требующий дальнейшего измельчения.

Данные, полученные в ходе реализации эксперимента, будут использованы при разработке конструкции мобильной установки для измельчения древесной зелени хвойных пород. Предлагается разместить на колесной базе отделяюще-измельчающую установку, состоящую из узла от-

деления и узла измельчения древесной зелени хвойных пород. Узел отделения древесной зелени состоит из корпуса, в котором закреплен вращающийся барабан с шарнирно укрепленными на его обечайке штифтами. Сучья и тонкомерные деревья загружают комлем вперед в приемную часть устройства, после чего они захватываются ребристыми вальцами, которые подают их в рабочую зону барабана. Узел резания состоит из закрепленного на валу ротора. Ротор представляет собой переднюю и заднюю крышки, между которыми пропущены оси. На осях размещаются ступицы с приваренными к ним ножами, расстояние между ножами регулируется с помощью ширины ступиц, к которым приварены ножи. Фиксация осей в роторе осуществляется с помощью концевых шайб. Под ситом измельчителя древесной зелени расположены пакетодержатель и вакуумная-упаковочная машина. Общий вид мобильной установки приведен на рис. 2.

Принцип работы мобильной установки (рис. 3) заключается в следующем: сырье, представленное в виде веток и тонкомерных деревьев, загружается комлем вперед в приемную часть установки, после чего оно захватывается ребристыми вальцами, которые подают его в рабочую зону узла отделения древесной зелени. Под воздействием штифтов, шарнирно укрепленных на обечайке барабана, хвоя отделяется от веток. При дальнейшем движении очищенные ветки выводятся наружу, а хвоя под действием силы тяжести подается в узел резания. Древесная зелень, попавшая в зону резания, отбрасывается вращающимся ротором, который создает воздушный поток, к стенкам рабочей камеры и увлекается ножами в круговое движение. Ножи, перемещаясь в продуктивно-воздушном слое, ударяют частицы своей рабочей поверхностью и измельчают их. Измельченное сырье, размеры которого меньше размера ячеек сита, выводится из зоны резания и по поворотному механизму попадает в мешок, который стоит на весах. Весы рычажно соединены с поворотным механизмом, который определяет, в какой из двух мешков будет поступать измельченная хвоя. Через горловину мешка пропущена лента, соединенная с вакуумно-упаковочной машиной. Когда мешок полностью заполнен, поворотный механизм поворачивается,

и начинается заполнение второго мешка, в это время вакуумно-упаковочная машина первого мешка затягивает ленту, откачивает воздух и запаивает мешок. Полученные мешки транспортируются на верхний склад, откуда направляются к потребителю.

Использование мобильной установки возможно, когда наряду с заготовкой деловой древеси-

ны при сплошнолесосечной сортиментной технологии осваиваются лесосечные отходы. Операция измельчения древесной зелени может выполняться на делянке, или на погрузочной площадке у лесовозной дороги, или на территории предприятия-потребителя [3].

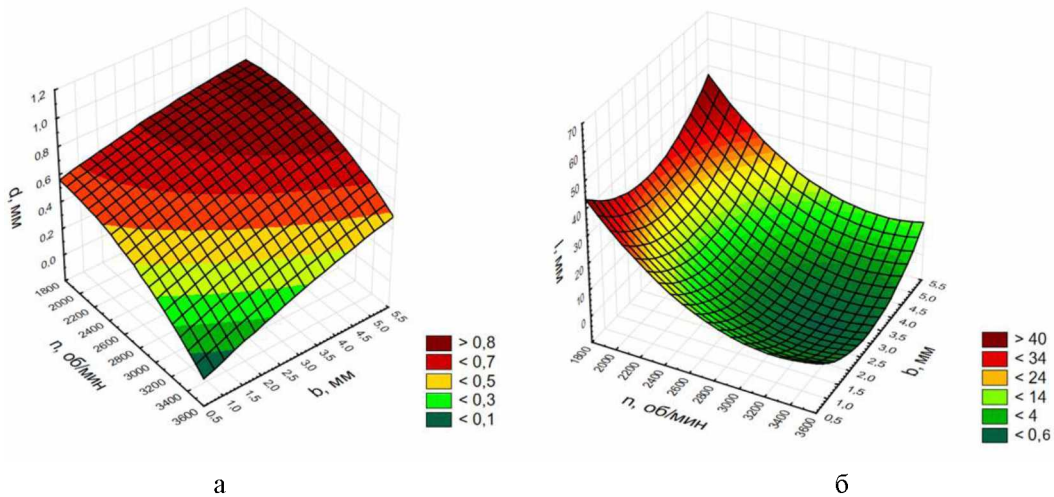


Рис. 1. Зависимость диаметра и длины измельченной хвои от частоты вращения ротора и размера ячеек сита: а – график зависимости диаметра измельченной хвои (d, мм) от частоты вращения ротора (n, об/мин) и размера ячеек сита (b, мм); б – график зависимости длины измельченной хвои (l, мм) от частоты вращения ротора (n, об/мин) и размера ячеек сита (b, мм)

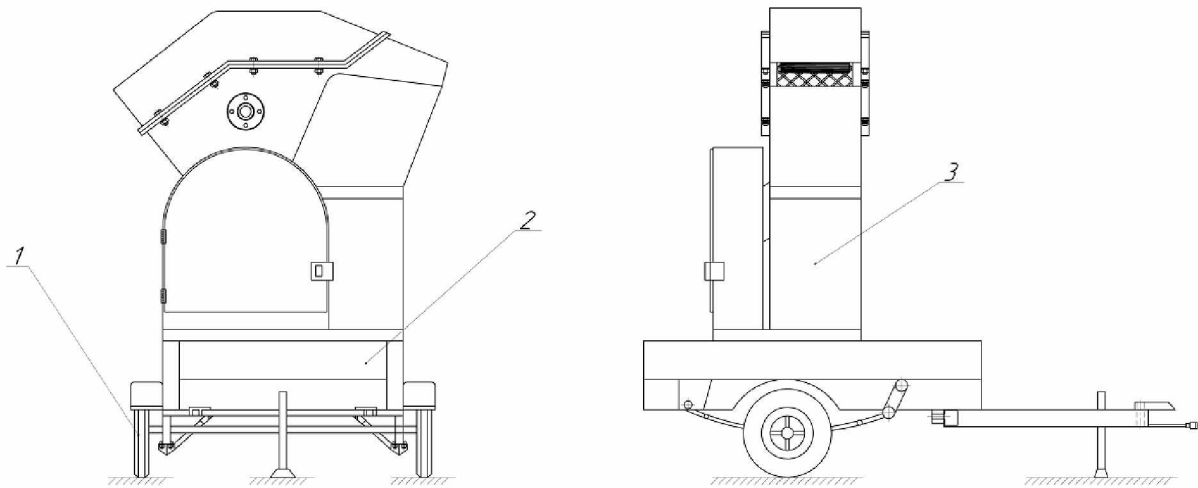


Рис. 2. Общий вид мобильной установки для измельчения древесной зелени: 1 – колесная пара; 2 – сварная рама; 3 – отделяюще-измельчающая установка

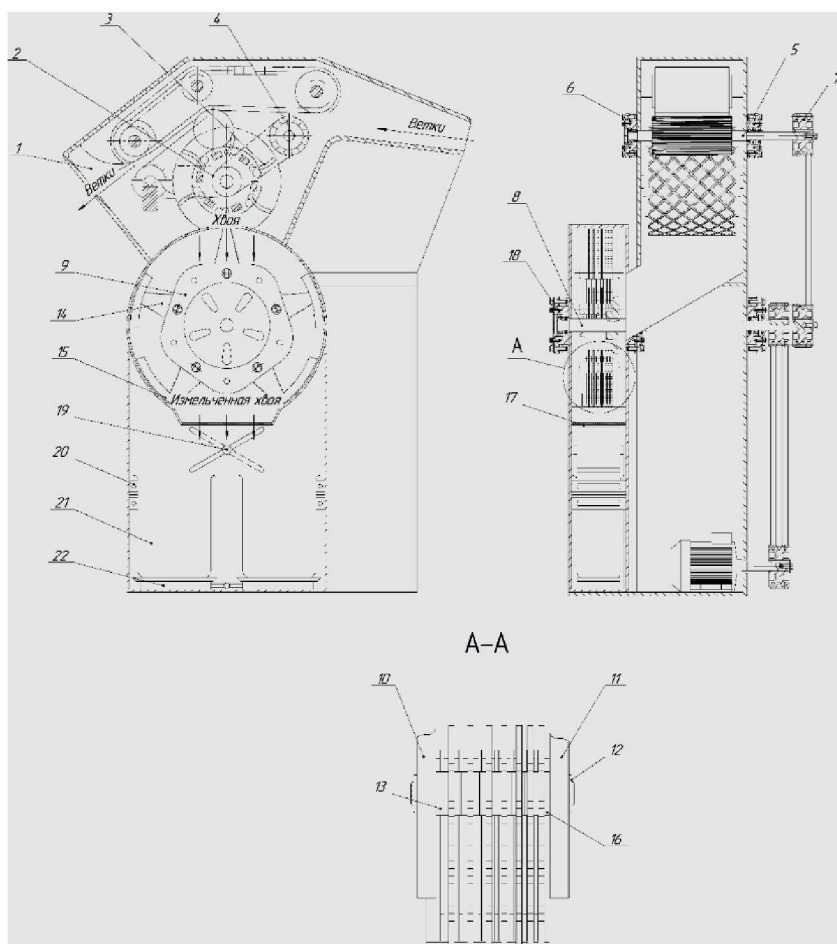


Рис. 3. Схема мобильной установки для измельчения древесной зелени: 1 – корпус; 2 – барабан; 3 – штифты; 4 – подающий валец; 5 – вал барабана отделителя древесной зелени; 6 – подшипниковые узлы отделителя древесной зелени; 7 – шкив отделителя древесной зелени; 8 – вал ротора измельчителя; 9 – ротор измельчителя; 10 – передняя крышка ротора; 11 – задняя крышка ротора; 12 – концевые шайбы осей; 13 – ступица ножа; 14 – нож; 15 – контрнож; 16 – ось; 17 – сменное сито; 18 – подшипниковые узлы измельчителя; 19 – поворотный механизм; 20 – вакуумно-упаковочная машина; 21 – мешок; 22 – весы

Выводы

В ходе выполнения данной работы были спланированы и реализованы два эксперимента – предварительный и основной:

- в результате реализации предварительного эксперимента было установлено, что наиболее эффективный способ измельчения древесной зелени хвойных пород – измельчение в результате ударного воздействия;

- активный многофакторный эксперимент показал, что для измельчения хвои на универсальной дробилке требуется поддерживать частоту вращения ротора на уровне $n = 2750-3000$ об/мин, а размер ячеек сита должен составлять $b = 1-3$ мм.

На основании данных, полученных в результате экспериментов, была представлена конструкция мобильной установки для измельчения древесной зелени хвойных пород на территории лесосеки. Основной особенностью данной установки является то, что она позволяет производить операции по отделению и измельчению хвои от веток и упаковке полученной продукции на территории лесосеки. Конструктивно установка представляет собой совмещенные в одном корпусе узлы по отделению, измельчению древесной зелени и упаковке измельченной хвои, размещенные на колесной базе.

Библиографический список

1. Галиветдинов, Н. Р. Переработка древесной зелени с последующим получением полезных продуктов / Н. Р. Галиветдинов, А. Е. Воронин // Вестник казанского технологического университета. – 2014. – № 5. – С. 138–140.
2. Комплексное использование недревесной продукции леса / под общ. ред. Д. А. Телишевского. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Лесн. пром-сть, 1986. – 261 с.: ил.
3. Лесосечные машины в фокусе биоэнергетики: конструкции, проектирование, расчет : учеб. пособие / В. С. Сюнёв [и др.]. – Москва : НИИ Леса Финляндии METLA, 2011. – 143 с.
4. Некрасова, В. Б. Получение и применение биокорректоров питания из биомассы дерева / В. Б. Некрасова, Т. Г. Безбородова // Известия Санкт-петербургской лесотехнической академии. – 2012. – № 198. – С. 190–201.
5. Петренко, Е. В. Эффективность совместной переработки древесной зелени пихты и ели / Е. В. Петренко, В. Н. Паршикова, Р. А. Степень // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2013. – № 6 (336). – С. 100–106.
6. Повышение эффективности экстракции эфирных масел водяным паром / Р. Р. Сафин, А. Е. Воронин, Ф. В. Назипова, Л. В. Ахунова // Вестник технологического университета. – 2015. – № 8. – С. 151–154.
7. Установка для переработки отходов древесных производств / Р. Р. Сафин, Е. Ю. Разумов, А. Е. Воронин, А. Р. Зиятдинов, А. Т. Сабиров // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2009. – № 5 (19). – С. 82–87.
8. Солодской, Ф. Т. Способ комплексной переработки хвои / Ф. Т. Солодской // Комплексное устойчивое управление отходами. – 2014. – № 5. – С. 138–140.
9. Суровцева, Л. С. Эффективность производства древесных топливных гранул / Л. С. Суровцева, А. В. Старкова // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2011. – № 6(324). – С. 76–80.
10. Huttunen, S. Scots pine and the changing environment - needle responses / S. Huttunen, S. Manninen // Polish botanical studies. – 2005. – № 19. – P. 133–141.
11. Koptsik, G. N. Pine needle chemistry near a large point so2 source in northern Fennoscandia / G. N. Koptsik, S. V. Koptsik, D. Aamlid // Water, air, & soil pollution. – 2001. – № 1-4 III. – P. 929–934.
12. Growth and characterization of pine-needle-shaped nanorods by sputtering and ammoniating process / B. Li, H. Zhuang, C. Xue, S. Zhang // Superlattices and microstructures. – 2008. – № 3. – P. 262–267.

References

1. Galyavetdinov N. R., Voronin A. E. *Pererabotka drevesnoy zeleni s posleduyushchim polucheniyem poleznykh produktov* [Processing of wood greens with the subsequent reception of useful products]. *Vestnik kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. [Bulletin of Kazan technological University.], 2014, no. 5, pp. 138-140. (In Russian).
2. Telishevsky D. A. *Kompleksnoe ispol'zovanie nedrevesnoj produkcii lesa* [Integrated use of non-wood forest products]. Moscow, 1986, 261 p. (In Russian).
3. Syuney V. S., Seliverstov A. A., Gerasimov Yu. Yu., Sokolov A. P. *Lesosechnye mashiny v fokuse bioehnergetiki: konstrukcii, projektirovanie, raschet* [Cutting machines in the focus of bioenergy: design, design, calculation]. Moscow, 2011, 143 p. (In Russian).
4. Nekrasova V. B., Bezborodova T. G. *Poluchenie i primeneniye biokorrektorov pitaniya iz biomassy dereva* [Preparation and application of biocorrectors of food from wood biomass]. *Izvestiya sankt-peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii* [News of the St. Petersburg forestry Academy], 2012, no. 198, pp. 190-201. (In Russian).

5. Petrenko E. V., Parshikova V. N., Stepen R. A. *Ehffektivnost' sovmestnoj pererabotki drevesnoj zeleni pithy i eli* [The effectiveness of joint processing of wood greens of fir and spruce]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal*. [News of higher educational institutions. Forest journal.], 2013, no. 6(336), pp. 100-106. (In Russian).
6. Safin R. R., Voronin A. E., Nazipova F. V., Akhunova, L. V. *Povyshenie ehffektivnosti ehkstrakcii ehfirnyh masel vodyanym parom* [Improving the efficiency of extraction of essential oils with water vapor]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*. [Bulletin of technological University], 2015, no. 8, pp. 151-154. (In Russian).
7. Safin R. R., Razumov E. Yu., Voronin, A. E., Ziatdinov A. R., Sabirov A. T. *Ustanovka dlya pererabotki othodov drevesnyh proizvodstv* [Installation for waste wood processing]. *Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. Universitetim. V.I. Vernadskogo*. [Issues of modern science and practice. University them. V. I. Vernadsky.], 2009, no. 5(19), pp. 82-87. (In Russian).
8. Solodskoy F. T. *Sposob kompleksnoy pererabotki khvoi* [Method of complex processing of needles]. *Kompleksnoye ustoychivoye upravleniye otkhodami*. [Integrated sustainable waste management.], 2014, no. 5, pp. 138-140. (In Russian).
9. Surovceva L. S., Starkova A. V. *Ehffektivnost' proizvodstva drevesnyh toplivnyh granul* [The efficiency of production of wood pellets]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal*. [News of higher educational institutions. Forest journal.], 2011, no. 6(324), pp. 76-80. (In Russian).
10. Huttunen S., Manninen S. Scots pine and the changing environment - needle responses. *Polish botanical studies*. 2005. № 19. P. 133-141.
11. Koptsik G. N., Koptsik S. V., Aamlid D. Pine needle chemistry near a large point so₂ source in northern Fennoscandia. *Water, air, & soil pollution*. 2001. № 1-4 III. P. 929-934.
12. Li B., Zhuang H., Xue C., Zhang S. Growth and characterization of pine-needle-shaped gannanorods by sputtering and ammoniating process. *Superlattices and microstructures*. 2008. № 3. P. 262-267.

Сведения об авторах

Борин Кирилл Викторович – магистрант, Лесосибирский филиал ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Лесосибирск, Российская Федерация; e-mail: borin.95@mail.ru.

Петрушева Надежда Александровна – доцент кафедры «Технологии лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств» Лесосибирского филиала ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», кандидат технических наук, доцент, г. Лесосибирск, Российская Федерация; e-mail: petrusheva-n@mail.ru.

Information about authors

Borin Kirill Viktorovich – Master's degree student, Lesosibirsk branch of FSBEI HE «Reshetnev Siberian State University of Science and Technology», Lesosibirsk, Russian Federation, e-mail: borin.95@mail.ru.

Petrusheva Nadezhda Aleksandrovna – Associate Professor of the Department "Technologies of logging and wood processing industries", Lesosibirsk branch of FSBEI HE "Reshetnev Siberian State University of Science and Technology", PhD (Engineering), Associate Professor, Lesosibirsk, Russian Federation; e-mail: petrusheva-n@mail.ru.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ СЕЯЛКИ ДЛЯ КРУПНОПЛОДНЫХ СЕМЯН НА АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОСЕВА ЖЕЛУДЕЙ

кандидат технических наук **И.В. Казаков**

ФБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства»,
г. Пушкино, Российская Федерация

Важным фактором, влияющим на качество выращиваемого в лесных питомниках посадочного материала, является способ посева семян. При посеве семян необходимо обеспечить оптимальные условия для роста и развития растений путем поштучно-равномерного их распределения в посевной бороздке. Для выполнения такого способа посева предложена конструкция сеялки для крупноплодных семян с высевальным аппаратом, обеспечивающим поштучно-равномерный посев желудей. С целью изучения влияния параметров и режимов работы сеялки для крупноплодных семян на качественные показатели поштучно-равномерного посева желудей проведены исследования процесса ее работы. В результате проведенных исследований обоснованы конструктивно-технологические параметры и режимы работы сеялки с высевальным аппаратом в виде транспортной цепи, снабженной ячейками с подвижными планками для регулирования их глубины. Установлены рациональные конструктивно-технологические режимы работы и параметры сеялки для крупноплодных семян, обеспечивающие поштучно-равномерный посев желудей: скорость движения высевального аппарата 0,12 м/с, поступательная скорость сеялки 0,28 м/с и глубина ячейки высевального аппарата 5 мм. Предложена эмпирическая зависимость влияния глубины ячейки высевального аппарата, скорости его движения и поступательной скорости сеялки на расстояние между желудями в посевной бороздке.

Ключевые слова: сеялка, высевальный аппарат, семена, желуды, питомник, посадочный материал

THE INFLUENCE OF PARAMETERS AND MODES OF OPERATION OF THE SEEDER FOR LARGE SEEDS ON THE AGRONOMIC PERFORMANCE OF CROPS OF ACORNS

PhD (Engineering) **I.V. Kazakov**

FBI "All-Russian Research Institute of Forestry and Mechanization of Forestry", Pushkino, Russian Federation

Abstract

An important factor affecting the quality of planting material grown in forest nurseries is the method of sowing seeds. When sowing seeds, it is necessary to provide optimal conditions for the growth and development of plants by piece-uniform distribution in the sowing groove. To perform such a method of planting the design of a planter for large seed metering apparatus that provides a piece-uniform seeding of acorns. In order to study the influence of the parameters and modes of operation of the seeder for large-fruited seeds on the quality indicators of single-uniform acorn sowing, studies of the process of its work were carried out. As a result of the research, the constructive and technological parameters and operating modes of the seeder, with the sowing apparatus in the form of a conveyor chain equipped with cells with movable bars to regulate their depth, are justified. Installed the rational constructive-technological modes and parameters of seeder for large seeds for a piece-uniform seeding of acorns: the speed of movement of the sowing unit 0.12 m/s, forward speed of the seeder 0.28 m/s and depth of the location of the sowing unit 5 mm. the empirical dependence of the effect of the depth of the cell seeding device, speed of movement and forward speed of the seeder on the distance between the acorns in the seed furrow.

Keywords: seeder, sowing machine, seeds, acorns, nursery, planting material

Введение

Выращивание качественного посадочного материала для лесовосстановления зависит от многих факторов, среди которых существенное влия-

ние оказывает способ посева семян. Для посева желудей в лесных питомниках применяются сеялки с различными высевальными аппаратами, которые из-за их конструктивных недостатков не в полной

мере отвечают предъявляемым к ним требованиям и не обеспечивают равномерное распределение семян в посевных бороздках [1, 3, 4, 5]. Это приводит к излишнему расходу желудей и низкому качеству выращиваемого посадочного материала. Одним из способов решения этой проблемы является обеспечение растениям одинаковых условий для их роста и развития путем поштучно-равномерного посева желудей [8, 9, 10, 11]. В связи с этим разработана и обоснована конструкция и режимы работы сеялки для крупноплодных семян с высевальным аппаратом, обеспечивающим поштучно-равномерное распределение желудей в посевной бороздке, позволит уменьшить расход семян и повысить качество выращиваемого посадочного материала благодаря созданию оптимальных условий для растений.

Материалы и методы

Для проведения исследований влияния параметров и режимов работы сеялки на качественные показатели посева желудей использовался опытный образец сеялки для посева крупноплодных семян СКБ-5-3 с ячеисто-транспортным высевальным аппаратом (рис. 1).

Основными узлами сеялки являются: рама 1, бункер 2, транспортная цепь 3, опорно-приводные колеса 4 цепной передачи 5, выравниватель 6, сошник 7, семяпроводы 8, загортачи 9, прикатывающие катки 10, пружины 11, направляющие 12, ячейки 13, подвижные планки 14, ограничитель 15.

Высевальный аппарат сеялки представляет собой транспортную цепь 3 с ячейками 13, перемещающуюся по расположенным в днище бункера направляющим 12. Ячейки 13 снабжены подвижными планками 14, предназначенными для регулирования их глубины с целью обеспечения поштучного захвата желудей с учетом их размеров. Опорно-приводные колеса 4 предназначены для привода транспортной цепи 3 с помощью цепной передачи 5. Выравниватель 6 установлен в передней части рамы сеялки с возможностью изменения его положения по высоте. Сошники 7 выполнены коробчатой формы и установлены с возможностью изменения глубины их хода. Семяпроводы 8 выполнены из трубы и имеют изогнутую форму, соответствующую траектории полета желудей. Загортачи 9

обеспечивают заделку семян почвой и установлены с обеих сторон бороздки с возможностью изменения угла их установки и глубины хода. Прикатывающие катки 10 расположены по следу посевных бороздок и уплотняют в них почву. Пружины 11 предназначены для обеспечения необходимого давления прикатывающих катков на почву и снабжены устройством для его регулирования. Сеялка для крупноплодных семян СКБ-5-3 является навесной и агрегатируется с трактором МТЗ-80/82.

Технологический процесс работы сеялки СКБ-5-3 заключается в следующем. При поступательном движении агрегата выравниватель 6 производит дополнительную планировку поверхности посевной ленты. Крутящий момент от опорно-приводных колес 4 через цепную передачу 5 приводит в движение транспортные цепи 3 с ячейками 13. При движении транспортной цепи по направляющим 12 ячейки 13 захватывают желуды из бункера, перемещают их в зону сброса. Затем желуды по семяпроводам 8 направляются в бороздки, образованные сошниками 7. Загортачи 9 засыпают посевные бороздки с желудями почвой. Прикатывающие катки 10 уплотняют почву в зоне заделки желудей с обеспечением требуемой ее плотности с помощью пружин 11. Количество захватываемых ячейками желудей обеспечивается путем изменения их глубины с помощью установленных в них подвижных планок 14. Глубина посева желудей регулируется изменением высоты установки сошников относительно опорно-приводных колес от 4 до 10 см. Ограничитель 15 удаляет из ячеек лишние желуды и сбрасывают их в бункер.

Сеялка снабжена пятью высевальными аппаратами для обеспечения 3- и 5-строчных схем посева, с расстоянием между их центрами, соответственно, равным 45 и 22,5 см. Емкость бункера принята равной 100 дм³, с учетом обеспечения запаса желудей для посева гона длиной не менее 100 м. Скорость движения сеялки в агрегате с трактором МТЗ-80/82 принималась равной 0,28 и 0,42 м/с (1 и 1,5 км/ч), с учетом эксплуатации аналогичных средств механизации в лесных питомниках.

Экспериментальные исследования проводились в почвенном канале ФБУ ВНИИЛМ.

Основными факторами, влияющими на количество высеваемых желудей, являются конструктивные параметры ячейки высевашего аппарата, скорость его движения и поступательная скорость агрегата, а также размерные показатели желудей.

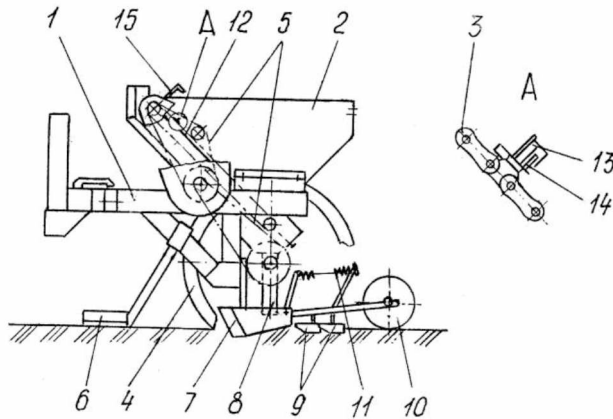


Рис. 1. Схема сеялки для посева крупноплодных семян СКБ-5-3

До начала проведения экспериментальных исследований были определены размерные показатели двух образцов желудей дуба черешчатого. В первом образце были использованы желуди Учебно-опытного лесхоза ВГЛТУ (Правобережное лесничество), средняя масса 1000 шт. которых составила 3666 г, средний поперечный диаметр – 14,7 мм (максимальный диаметр – 18,0 мм) и средняя длина – 33,9 мм (максимальная длина – 39,0 мм). Во втором образце были использованы желуди Новоусманского лесхоза (Яблоченское лесничество), средняя масса 1000 шт. которых составила 2199 г, средний поперечный диаметр – 14,8 мм (максимальный диаметр – 17,0 мм) и средняя длина – 23,7 мм (максимальная длина – 28,0 мм). Как видно из приведенных показателей, размеры желудей, полученных из различных лесничеств, существенно отличаются: так, масса желудей первого образца в 1,7 раза и их длина – в 1,4 раза больше, чем второго образца. Для обеспечения требований поштучно-равномерного посева желудей при проведении исследований были использованы более крупные желуди дуба черешчатого из Правобережного лесничества Учебно-опытного лесхоза ВГЛТУ.

В соответствии с определенными размерами желудей дуба черешчатого, в частности макси-

мальной длины, равной 39 мм, и наибольшего поперечного диаметра, равного 18 мм, и с учетом конструктивных предпосылок, длину и ширину ячейки высевашего аппарата целесообразно принять, соответственно, равной 40 и 20 мм. Для выбора рациональной глубины ячейки необходимо провести исследования.

Основными агротехническими показателями работы сеялок для лесных питомников являются норма высева и равномерность распределения семян в посевной бороздке. Эти показатели зависят от конструктивно-технологических параметров высевашего аппарата, скорости его движения и поступательной скорости агрегата [6, 7, 11, 12, 13, 14].

В процессе проведения исследований скорость движения высеваших аппаратов изменялась с помощью сменных звездочек в их приводе и составляла: 0,12; 0,17; 0,19 и 0,25 м/с. Глубина ячеек высеваших аппаратов изменялась с помощью установленных в них подвижных планок и принималась равной: 5; 7,5; 10; 12,5; 15 и 20 мм. Опыты проводили при поступательной скорости агрегата, равной 0,28 и 0,42 м/с. Посев проводился по 5-строчной схеме с расстоянием между рядками, равным 22,5 см. Глубина хода сошников изменялась от 4 до 10 см при ширине посевных бороздок 6-8 см.

После прохода агрегата определялось количество желудей, высеянных на 1 метре каждой посевной бороздки. Повторность опытов принималась 10-кратной. Данные исследований обрабатывали методами математической статистики [2]. При анализе полученных экспериментальных данных проводили проверку однородности средних арифметических значений с применением t-критерия Стьюдента. Для представления исследуемых зависимостей в аналитическом виде производился подбор уравнений, описывающих результаты эксперимента. Вид уравнений находился на основе экспериментальных данных методом наименьших квадратов. Коэффициенты эмпирических зависимостей определяли с помощью ПЭВМ, для этого была составлена программа на языке «Бейсик».

Обсуждение

В процессе проведения предварительных опытов было установлено, что при глубине ячеек

высевающего аппарата, равной 20 мм, они захватывали из бункера по два желудя и более, что исключало возможность их поштучно-равномерного посева. В связи с этим исследования проводили при изменении глубины ячейки высевающего аппарата от 5 до 15 мм. Скорость движения сеялки в агрегате с трактором МТЗ-80/82 принималась равной от 0,28 до 0,42 м/с (1 и 1,5 км/ч) в соответствии с рекомендациями по эксплуатации средств механизации в лесных питомниках [5]. Полученные экспериментальные данные представлены в табл. 1 и 2.

Исследование влияния глубины ячеек высевающего аппарата на равномерность и норму посева желудей проводили при скорости движения высевающего аппарата, равной 0,12 и 0,19 м/с и поступательной скорости движения агрегата 0,28 м/с. Анализ полученных данных (табл. 1) показывает, что при скорости движения высевающего аппарата, равной 0,12 м/с, и с увеличением глубины ячеек от 5 до 10 мм, т. е. в 2 раза, количество высеянных желудей увеличилось от 13,2 до 15,3 шт./пог. м, т. е. возросло в 1,2 раза, а среднее расстояние между ними уменьшилось от 7,6 до 6,5 см, т. е. снизилось в 1,2 раза. Норма посева желудей увеличилась от 1,61 до 1,73 т/га, т. е. возросла в 1,1 раза.

При увеличении глубины ячейки от 10 до 15 мм, т. е. в 1,5 раза, количество высеянных желудей увеличилось от 15,3 до 17,6 шт./пог. м, т. е. возросло в 1,2 раза, а среднее расстояние между ними уменьшилось от 6,5 до 5,7 см, т. е. снизилось в 1,1 раза. Норма посева желудей увеличилась от 1,73 до 2,15 т/га, т. е. возросла в 1,2 раза. Следует отметить, что норма посева желудей при этих режимах работы сеялки составила 1,61- 2,15 т/га, т. е. была несколько меньше нормы, рекомендуемой при выращивании сеянцев дуба [9]. Такая норма посева желудей может применяться для выращивания укрупненных сеянцев дуба при более длительном сроке (до 4-5 лет) их выращивания с равномерно-разреженным распределением растений в посевной строке [8, 11].

При скорости движения высевающего аппарата, равной 0,19 м/с, количество высеянных желу-

дей при изменении глубины ячейки от 5 до 15 мм увеличилось от 19,4 до 30,6 шт./пог. м, т. е. увеличилось в 1,6 раза, а среднее расстояние между ними уменьшилось от 5,2 до 3,3 см. При этом норма посева желудей увеличилась от 2,37 до 4,4 т/га, т. е. практически соответствовала существующим рекомендациям выращивания сеянцев дуба [8, 9, 11].

Как видно из проведенного анализа, глубина ячейки высевающего аппарата оказывает существенное влияние на показатели работы сеялки, и норма посева желудей при ее величине, равной 5 мм, и скорости движения высевающего аппарата 0,12 м/с составляла 13,2 шт./пог. м, и среднее расстояние между желудями в посевной бороздке находилось в пределах 7,6 см. Таким образом, глубину ячейки высевающего аппарата сеялки для посева желудей целесообразно принять равной 5 мм.

Исследование влияния скорости движения высевающего аппарата (табл. 2) на равномерность и норму посева желудей проводили при глубине ячеек высевающего аппарата 5 и 10 мм и поступательной скорости агрегата 0,28 м/с.

Анализ полученных данных (табл. 2) показывает, что при глубине ячейки 5 мм с увеличением скорости движения высевающего аппарата от 0,12 до 0,17 м/с, т. е. в 1,4 раза, количество высеянных желудей увеличилось от 13,2 до 15,4 шт./пог. м, т. е. возросло в 1,2 раза, и среднее расстояние между ними уменьшилось от 7,5 до 6,5 см, т. е. в 1,2 раза. Норма посева желудей увеличилась от 1,61 до 1,88 т/га, т. е. в 1,2 раза.

При увеличении скорости движения высевающего аппарата от 0,17 до 0,19 м/с, т. е. в 1,1 раза, количество высеянных желудей увеличилось от 15,4 до 19,4 шт./пог. м, т. е. возросло в 1,2 раза. Норма посева желудей увеличилась от 1,88 до 2,37 т/га, т. е. в 1,2 раза. При дальнейшем увеличении скорости движения высевающего аппарата до 0,25 м/с, т. е. в 1,3 раза, количество высеянных желудей увеличилось от 19,4 до 23,3 шт./пог. м, т. е. возросло в 1,2 раза. Норма посева желудей достигла 2,84 т/га.

Таблица 1

Влияние глубины ячейки высевашего аппарата на равномерность и норму посева желудей

№	Глубина ячейки высевашего аппарата, мм	Равномерность и норма посева желудей					
		Скорость движения высевашего аппарата, м/с					
		0,12			0,19		
		Количество высеянных желудей, шт./пог. м	Среднее расстояние между желудями, см	Норма посева, т/га	Количество высеянных желудей, шт./пог. м	Среднее расстояние между желудями, см	Норма посева, т/га
1	5	13,2	7,6	1,61	19,4	5,2	2,37
2	7,5	14,2	7,1	1,73	21,8	4,6	2,66
3	10	15,3	6,5	1,87	24,4	4,1	2,98
4	12,5	16,4	6,1	2,0	27,3	3,7	3,33
5	15	17,6	5,7	2,15	30,6	3,3	4,40

Таблица 2

Влияние скорости движения высевашего аппарата на равномерность и норму посева желудей

№	Скорость движения высевашего аппарата, м/с	Равномерность и норма посева желудей					
		Глубина ячейки высевашего аппарата, мм					
		5			10		
		Количество высеянных желудей, шт./пог. м	Среднее расстояние между желудями, см	Норма посева, т/га	Количество высеянных желудей, шт./пог. м	Среднее расстояние между желудями, см	Норма посева, т/га
1	0,12	13,2	7,5	1,61	15,3	6,5	2,37
2	0,17	15,4	6,5	1,88	18,8	5,3	2,91
3	0,19	19,4	5,2	2,37	24,4	4,1	3,78
4	0,25	23,3	4,3	2,84	29,3	3,4	4,54

Таблица 3

Влияние поступательной скорости движения сеялки на равномерность и норму посева желудей

№	Поступательная скорость движения сеялки, м/с	Равномерность и норма посева желудей		
		Количество высеянных желудей, шт./пог. м	Среднее расстояние между желудями, см	Норма посева, т/га
1	0,28	13,2	7,6	1,61
2	0,42	8,7	11,5	1,12

При глубине ячейки высевашего аппарата, равной 10 мм, с увеличением скорости его движения от 0,12 до 0,17 м/с, т. е. в 1,4 раза, количество высеянных желудей увеличилось от 15,3 до 18,8 шт./пог. м, т. е. возросло в 1,2 раза, а среднее расстояние между ними уменьшилось от 6,5 до 5,3 см, т. е. уменьшилось в 1,2 раза. Норма посева желудей увеличилась от 2,37 до 2,91 т/га, т. е. возросла в 1,2 раза. При увеличении скорости движения высевашего аппарата от 0,17 до 0,19 м/с, т. е. в 1,1 раза, количество высеянных желудей увеличилось от 18,8 до 24,4 шт./пог. м, т. е. возросло в 1,3 раза. Норма посева желудей увеличилась до 3,78 т/га, т. е. возросла в 1,3 раза. При дальнейшем увеличении скорости движения высевашего аппарата до 0,25 м/с, т. е. в 1,3 раза, количество высеянных желудей увеличилось от 24,4 до 29,3 шт./пог. м, т. е. возросло в 1,2 раза. Норма посева желудей достигла 4,54 т/га.

Как видно из проведенного анализа, с увеличением скорости движения высевашего аппарата норма посева желудей увеличивается, однако динамика увеличения нормы посева желудей снижается, причем при увеличении скорости высевашего аппарата от 0,12 до 0,25 м/с, т. е. в 2,1 раза, норма посева увеличилась от 13,2 до 23,3 шт./пог. м, т. е. возросла в 1,7 раза.

Опыты по определению влияния поступательной скорости движения сеялки на показатели посева желудей проводили при глубине ячейки высевашего аппарата, равной 5 мм, и двух поступательных скоростях ее работы – 0,28 и 0,42 м/с (1 и 1,5 км/ч), наиболее характерных для эксплуатации средств механизации в лесных питомниках [4, 5].

Анализ полученных данных (табл. 3) показывает, что с увеличением поступательной скорости движения сеялки от 0,28 до 0,42 м/с, т. е. в 1,5 раза, количество высеянных желудей уменьшилось от 13,2 до 8,7 шт./пог. м, т. е. в 1,5 раза, и среднее расстояние между ними увеличилось от 7,6 до 11,5 см, т. е. также возросло в 1,5 раза. Норма посева желудей уменьшилась от 1,61 до 1,1 т/га. Таким образом, поступательную скорость движения сеялки целесообразно принять равной 0,12 м/с.

В результате обработки экспериментальных данных методом множественной линейной регрес-

сии с применением компьютера получено уравнение, описывающее процесс поштучно-равномерного посева желудей:

$$L = 6,61 + 13,4V_T^2 - 0,44V_{Ц}^2 - 0,01h^2,$$

где L – расстояние между желудями в посевной бороздке, см;

V_T – поступательная скорость движения сеялки, м/с;

$V_{Ц}$ – скорость движения высевашего аппарата, м/с;

h – глубина ячейки высевашего аппарата, мм.

Анализ полученного уравнения показывает, что все эмпирические коэффициенты значимы, так как критерий Стьюдента $t_{\text{табл}}$ для $n = 27$ равен (при $p = 0,99$) 2,472, а полученные расчетные значения критерия значительно больше 3. Полученное уравнение адекватно описывает характер изменения расстояния между желудями в посевной бороздке, т. к. критерий Фишера равен 19,797, а $F_{\text{табл}}(3;24)$ равен 4,72, т. е. $F_{\text{расч}} > F_{\text{табл}}$. Корреляционное отношение $R = 0,72$, что подтверждает тесную связь между независимыми параметрами и расстоянием между желудями в посевной бороздке. Как видно из этого уравнения, расстояние между желудями в посевной бороздке возрастает с увеличением поступательной скорости движения сеялки и уменьшается с увеличением скорости высевашего аппарата и глубины ячейки. Уменьшение расстояния между желудями в посевной бороздке при увеличении скорости движения высевашего аппарата и глубины ячейки можно объяснить увеличением количества проходимых в единицу времени ячеек и увеличением количества желудей в каждой ячейке.

Таким образом, учитывая обоснованную для поштучно-равномерного посева глубину ячейки высевашего аппарата и с учетом нормы посева желудей при выращивании сеянцев дуба, рациональными конструктивно-технологическими режимами работы и параметрами сеялки являются следующие:

- глубина ячейки высевашего аппарата
 $h = 5$ мм;

- поступательная скорость сеялки
 $V_t = 0,28$ м/с;

- скорость движения высевающего аппарата
 $V_{ц} = 0,12$ м/с.

В результате проведенных исследований установлено, что сеялка обеспечивает предусмотренный лесотехническими требованиями поштучно-равномерный посев желудей с нормой посева от 8,7 до 30,6 шт./пог. м (от 1,12 до 4,54 т/га) и расстоянием между ними от 3,4 до 11,5 см. Глубина заделки желудей находилась в пределах от 4 до 5 см при ширине посевной бороздки 6-8 см. Прикатывающие катки обеспечивали уплотнение почвы в зоне заделки желудей с возможностью ее изменения.

Заключение

На основании проведенных исследований влияния параметров и режимов работы сеялки для

крупноплодных семян на агротехнические показатели посева желудей обоснованы рациональные конструктивно-технологические параметры и режимы работы сеялки: скорость движения высевающего аппарата 0,12 м/с, поступательная скорость движения сеялки 0,28 м/с при следующих размерах ячейки высевающего аппарата: глубина 5 мм, длина 40 мм и ширина 20 мм. Полученные результаты исследований использованы при разработке и усовершенствовании конструкции сеялки для посева крупноплодных семян СКБ-5-3, и их рекомендуется использовать при создании новых аналогичных сеялок.

Библиографический список

1. Бартенев И. М. Совершенствование технологий и средств механизации лесовосстановления / И. М. Бартенев, М. В. Драпалюк, В. И. Казаков. – Москва : ФЛИНТА : Наука, 2013. – 208 с.
2. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – Москва : Агропромиздат, 1985. – 351 с.
3. Драпалюк, М. В. Перспективные технологии выращивания посадочного материала в лесных питомниках / М. В. Драпалюк. – Воронеж : Воронеж гос. университет, 2006. – 247 с.
4. Казаков, В. И. Технологии и механизация выращивания посадочного материала в питомниках лесной зоны / В. И. Казаков. – Москва : ВНИИЛМ, 2001. – 186 с.
5. Казаков, И. В. Машины и оборудование для лесных питомников / И. В. Казаков. – Пушкино : ВНИИЛМ, 2004. – 60 с.
6. Кардашевский, С. В. Высевающие устройства посевных машин / С. В. Кардашевский. – Москва : Машиностроение, 1973. – 175 с.
7. Лисенков, А. И. Результаты исследований высевающего аппарата для строчно-луночного посева лесных семян / А. И. Лисенков // Природопользование, ресурсы, техническое обеспечение: межвуз. сб. науч. тр. – Воронеж, 2003. – Вып. 1. – С. 148–155.
8. Наставление по выращиванию посадочного материала древесных и кустарниковых пород в лесных питомниках РСФСР. – Москва, 1979. – 17с.
9. Новосельцева, А. И. Справочник по лесным питомникам / А. И. Новосельцева, Н. А. Смирнов. – Москва : Лесн. пром-сть, 1983. – 280 с.
10. Пошарников, Ф. В. Перспективные технологии выращивания лесопосадочного материала / Ф. В. Пошарников, И. В. Казаков. – Воронеж, 2007. – 290 с.
11. Смирнов, Н. А. Выращивание посадочного материала для лесовосстановления / Н. А. Смирнов. – Москва : Лесн. пром-сть, 1981. – 169 с.
12. Aduov, M. A. Analysis of the drills and seeding systems for resource -saving technologies of cultivation of grain crops in the conditions of Northern Kazakhstan / M. A. Aduov, M. I. Matyushkov, S. A. Nukusheva // Materials of republican scientific – theoretical conference "Seifullin readings 11", Astana, 2015, pp. 31–33.

13. A review on multi-seed sowing machine / A. B. Rohokale, P. D. Shewale, S. B. Pokharkar, K. K. Sanap // *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, Vol 5, Issue 2, February, 2014. – P. 180–186. – ISSN 0976.
14. Toumey, J. W. *Seeding and planting* / J. W. Toumey. – John Wiley and Sons, New York, 1916. – 455 p.

References

1. Bartenev I. M., Drapaljuk M. V., Kazakov V. I. *Sovershenstvovanie tehnologij i sredstv mehanizacii lesvosstanovlenija*. Moscow, 2013, 208 p. (In Russian).
2. Dospel'ov B. A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij)*. Moscow, 1985, 351 p. (In Russian).
3. Drapaljuk M. V. *Perspektivnye tehnologii vyrashhivaniya posadochnogo materiala v lesnyh pitomnikah*. Voronezh, 2006, 247 p. (In Russian).
4. Kazakov V. I. *Tehnologii i mehanizacija vyrashhivaniya posadochnogo materiala v pitomnikah lesnoj zony*. Moscow, 2001, 186 p. (In Russian).
5. Kazakov I. V. *Mashiny i oborudovanie dlja lesnyh pitomnikov*. Pushkino, 2004, 60 p. (In Russian).
6. Kardashevskij S. V. *Vysevajushhie ustrojstva posevnyh mashin*. Moscow, 1973, 175 p. (In Russian).
7. Lisenkov A. I. *Rezul'taty issledovanij vysevajushhego apparata dlja strochno-lunochnogo poseva lesnyh semjan*. Voronezh, 2003, Vol. 1, pp. 148 - 155. (In Russian).
8. *Nastavlenie po vyrashhivaniju posadochnogo materiala drevesnyh i kustarnikovyh porod v lesnyh pitomnikah RSFSR*. Moscow, 1979, 17p. (In Russian).
9. Novosel'ceva A. I., Smirnov N. A. *Spravochnik po lesnym pitomnikam*. Moscow, 1983, 280 p. (In Russian).
10. Posharnikov F. V., Kazakov I. V. *Perspektivnye tehnologii vyrashhivaniya lesoposadochnogo materiala*. Voronezh, 2007, 290 p. (In Russian).
11. Smirnov N. A. *Vyrashhivanie posadochnogo materiala dlja lesvosstanovlenija*. Moscow, 1981, 169 p. (In Russian).
12. Aduov M. A., Matyushkov M. I., Nukusheva S. A. *Analysis of the drills and seeding systems for resource - saving technologies of cultivation of grain crops in the conditions of Northern Kazakhstan. Materials of republican scientific-theoretical conference "Seifullin readings 11"*, Astana, 2015, pp. 31-33.
13. Rohokale A. B., Shewale P. D., Pokharkar S. B., Sanap K. K. *A review on multi-seed sowing machine. International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, ISSN 0976 Vol. 5, Issue 2, February, 2014, pp. 180-186.
14. Toumey J. W. *Seeding and planting*. John Wiley and Sons, New York, 1916, 455 p.

Сведения об авторе

Казakov Игорь Владимирович – заведующий отделом механизации лесохозяйственных работ и стандартизации, ФБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства», кандидат технических наук, г. Пушкино, Российская Федерация; e-mail: igor.kazakov2015@bk.ru.

Information about the author

Kazakov Igor Vladimirovich – Head of the Department of mechanization of forestry works and standardization of FBI "All-Russian Research Institute of Forestry and Mechanization of Forestry", PhD (Engineering), Pushkino, Russian Federation; e-mail: igor.kazakov2015@bk.ru.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЗАДЕЛКИ ПОСЕВНОЙ БОРОЗДКИ ПОЧВОЙ

кандидат технических наук **И.В. Казаков**

ФБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства»,
г. Пушкино, Российская Федерация

Одним из важных требований к качеству посева мелких семян хвойных пород в лесных питомниках является глубина их заделки в бороздках, которая должна быть в пределах от 1 до 2 см и плотностью почвы в зоне размещения семян, равной 1 г/см^3 . Для выполнения этой операции применяются различные рабочие органы, которые не в полной мере соответствуют этим требованиям. Поэтому выбор и обоснование параметров устройства для заделки посевных бороздок почвой представляет научный и практический интерес при разработке сеялок для лесных питомников. На основании разработанной математической модели процесса заделки семян почвой предлагаемой конструкцией загортача проведено ее теоретическое исследование, в котором в качестве исходных параметров загортача и свойств почвы приняты следующие показатели: угол схождения направляющих загортача; длина направляющих загортача; диаметр прутков загортача и коэффициент, характеризующий свойства почвы. Установлено, что свойства почвы не оказывают существенного влияния на качество заделки бороздки почвой, и предложена конструкция загортача, которая обеспечивает эффективную заделку семян на почвах с различными ее свойствами. Получены картограммы оптимизации параметров направляющих загортача, позволяющие оценить эффективность их работы и обосновать оптимальные параметры загортача.

Ключевые слова: сеялка, почва, бороздка, плотность почвы, математическая модель, оптимизация, параметры

SIMULATION RESULTS OF THE PROCESS OF EMBEDDING SEED DRILLS WITH SOIL

PhD (Engineering) **I.V. Kazakov**

All-Russian Research institute for Silviculture and Mechanization of Forestry (VNIILM),
Pushkino, Russian Federation

Abstract

One of the important requirements for the quality of sowing small seeds of conifers in forest nurseries is the depth of their seeding in the drills. It should be in the range of 1 to 2 cm and soil density in the seed distribution area should be 1 g/cm^3 . To perform this operation, various working bodies are used that do not fully comply with these requirements. Therefore, the selection and justification of the device parameters for embedding seed drills with soil is of scientific and practical interest in the development of seeders for forest nurseries. Based on the developed mathematical model of the process of embedding seeds with soil, proposed by the design of the covering device, its theoretical study was carried out, in which the following indicators were taken as the initial parameters of the covering device and soil properties. They are: angle of convergence of the covering device guides; length of the sticking boards, the diameter of rods and the coefficient characterizing the properties of the soil. It was found that the soil properties do not significantly affect the quality of the drill embedment by the soil. The design of the covering device is proposed, which provides an effective embedment of seeds on soils with various properties. Cartograms of optimizing the parameters of the sticking board of covering device have been obtained. They enable to evaluate the effectiveness of their work and justify the optimal parameters of the covering device.

Keywords: seeder, soil, drill, soil density, mathematical model, optimization, parameters

Введение

Одной из важных операций при посеве мелких семян хвойных пород в лесных питомниках является заделка их почвой. Существующие устройства для выполнения этой операции не обеспечивают требуемого качества ее выполнения. Поэтому обоснование оптимальных конструктивных параметров загорточей, обеспечивающих требуемую глубину заделки посевной бороздки почвой с необходимой ее плотностью, является актуальным при разработке сеялок для лесных питомников.

Методы и материалы

Для исследования процесса заделки посевной бороздки почвой разработана математическая модель и составлены компьютерные программы для обоснования оптимальных конструктивно-технологических параметров загортача [1, 4, 7].

Для анализа полученной математической модели и оценки ее эффективности проведено ее теоретическое исследование в соответствии со следующей схемой входных и выходных параметров, представленных на рис. 1. В качестве исходных параметров загортача и свойств почвы приняты следующие показатели:

α – угол между направляющими загортача;

L – длина направляющих загортача;

d – диаметр прутков загортача;

k_0 – коэффициент ограничения взаимодействия шарообразных элементов почвы. Этот показатель определяет ее связность и позволяет воспроизводить в модели почву от рассыпчатой песчаной до связной суглинистой.

При проведении компьютерного эксперимента рассчитывали следующие показатели эффективности работы загортача:

h – высота заделки бороздки почвой. Отсчитывается от первоначального уровня почвы. Отрицательные значения высоты почвы означают, что бороздка не полностью заделана;

ρ – средняя плотность почвы в бороздке. Если бороздка заделана почвой недостаточно эффективно, то плотность почвы в посевной бороздке не превышает ее первоначальной величины, рекомендуемой принимать равной 1 г/см^3 [1, 4, 7, 9];

$\Delta\rho$ – неоднородность плотности почвы в

сечении бороздки. Рассчитывается путем разделения квадратного сечения бороздки на 9 квадратных фрагментов (3×3), подсчета плотности в каждом квадратном сечении и определения разности между максимальной и минимальной локальными плотностями $\Delta\rho = \rho_{\max} - \rho_{\min}$.

Для теоретического исследования принята «звездообразная» схема: входные параметры изменяются поочередно относительно базового набора параметров, априори полагаемых оптимальными ($\alpha = 20^\circ$, $L = 120 \text{ мм}$, $d = 5 \text{ мм}$, $k_0 = 1,003$) [2, 10, 11].

Результаты и обсуждение

Влияние угла схождения направляющих загортача на процесс заделки бороздки. Основным параметром загортача, влияющим на количество сдвигаемой почвы в посевную бороздку, является угол α схождения его направляющих. От угла α схождения направляющих загортача зависит объем сдвигаемой почвы, и бороздка может оказаться как недостаточно засыпанной, так и чрезмерно переполненной по отношению к уровню почвы. Для выбора оптимального угла α схождения направляющих загортача проведена серия компьютерных экспериментов, в которых этот угол изменялся от 10° до 40° с шагом, равным 10° (табл. 1, рис. 2). С увеличением угла между направляющими загортача улучшается заделка посевной бороздки и повышается уровень почвы в ее центре (рис. 2).

При угле α , равном 20° , бороздка заделывается до первоначального уровня почвы (рис. 3, а). Однако с учетом последующего уплотнения почвы катком целесообразно рекомендовать в качестве оптимального больший угол, равный 30° , обеспечивающий превышение почвы над бороздкой. При угле α , равном 16° и более, плотность почвы в бороздке превышает минимально допустимый уровень $0,8 \text{ г/см}^3$ (рис. 3, б). При дальнейшем увеличении угла α плотность достигает значения $1,0 \text{ г/см}^3$ при $\alpha = 27^\circ$ и далее асимптотически стремится к $1,03 \text{ г/см}^3$ [1, 6, 9].

С увеличением угла α схождения направляющих α и, соответственно, улучшением заделки бороздки плотность почвы внутри бороздки становится более однородной, и при α более 25° неоднородность плотности почвы становится незна-

чительной и не превышает $0,02 \text{ г/см}^3$ (рис. 3, в).

Таким образом, при длине направляющих загорточа, равной 120 мм, оптимальный угол их схождения составляет $25...30^\circ$.

Влияние длины направляющих загорточа на процесс заделки бороздки. Управлять уровнем заделки бороздки почвой можно, кроме изменения угла схождения направляющих, длиной самих направляющих. Для изучения влияния длины направляющих L на эффективность заделки семян почвой проведена серия компьютерных экспериментов, в которых L изменялась от 80 до 140 мм с шагом 20 мм при постоянном угле между направляющими $\alpha = 20^\circ$ (табл. 2, рис. 5 и 6).

В результате проведенных исследований установлено, что при увеличении длины направляющих загорточа от 80 до 140 мм высота заделки бороздки увеличивается (рис. 7, а), и при их длине, равной 140 мм, наблюдается заделка бороздки до первоначального уровня почвы ($h = 0$ мм). Плотность почвы в бороздке также приближается к первоначальной величине, равной 1 г/см^3 (рис. 7, б). При длине направляющих в пределах от 80 до 120 мм плотность почвы в бороздке достаточно неоднородна, и составляет, соответственно, $0,079$ и $0,055 \text{ г/см}^3$. С увеличением длины направляющих до 140 мм неоднородность плотности почвы внутри бороздки уменьшается до $0,012 \text{ г/см}^3$, т. е. плотность почвы становится практически однородной (рис. 7, в).

Таким образом, при угле схождения направляющих $\alpha = 20^\circ$ оптимальная длина направляющих составляет около $L = 140$ мм.

Влияние диаметра прутка загорточа на процесс заделки бороздки. С целью изучения влияния диаметра прутка на эффективность заделки бороздки проведена серия компьютерных экспериментов, в которой изменяли диаметр прутка d от 4 до 7 мм с шагом 1 мм (табл. 3, рис. 8 и 9) [1, 3, 8].

Так как диаметр прутка d загорточа определяет величину сдвигаемого в бороздку слоя

почвы, с увеличением d увеличивается высота уровня почвы в бороздке (рис. 10, а) и средняя плотность почвы в бороздке (рис. 10, б). При диаметре прутка загорточа менее 5 мм почва внутри бороздки довольно неоднородная, однако при диаметре d более 6 мм неоднородность плотности почвы (рис. 10, в) пренебрежимо мала (менее $0,02 \text{ г/см}^3$) [1, 3, 8].

Таким образом, при угле схождения направляющих $\alpha = 20^\circ$ и длиной $L = 120$ мм оптимальный диаметр прутка загорточа составляет около 6 мм.

Влияние свойств почвы на процесс заделки бороздки. Для исследования универсальности применения предлагаемого загорточа проведены компьютерные эксперименты с различными свойствами почвы. В первую очередь, проведена проверка работоспособности загорточа на рассыпчатой песчаной почве (коэффициент ограничения взаимодействия элементов почвы $k_o = 1,0007$) и высокосвязной влажной почве (суглинистой, глинистой, черноземной) ($k_o = 1,015$) [1, 3, 8]. Полученные результаты исследования представлены в табл. 4 и на рис. 11.

Несмотря на различное состояние почвы, предложенная конструкция загорточа обеспечивает надежную заделку бороздки почвой. Высота заделки бороздки почвой близка к первоначальному ее уровню: $-2,45$ и $0,27$ мм (табл. 4). Плотность почвы в бороздке оказывается практически одинаковой: $0,895$ и $0,891 \text{ г/см}^3$ и определяется только параметрами α , L , d , определяющими объем сдвигаемой в бороздку почвы. Почва в бороздке оказывается достаточно однородной (неоднородность $\Delta\rho$ составляет, соответственно, $0,017$ и $0,031 \text{ г/см}^3$) и не зависит от типа почвы.

Таким образом, предлагаемая конструкция загорточа обеспечивает одинаково эффективную заделку семян с различными свойствами почв: от рассыпчатых песчаных до высокосвязных влажных суглинистых, а также на глинистых и черноземах.

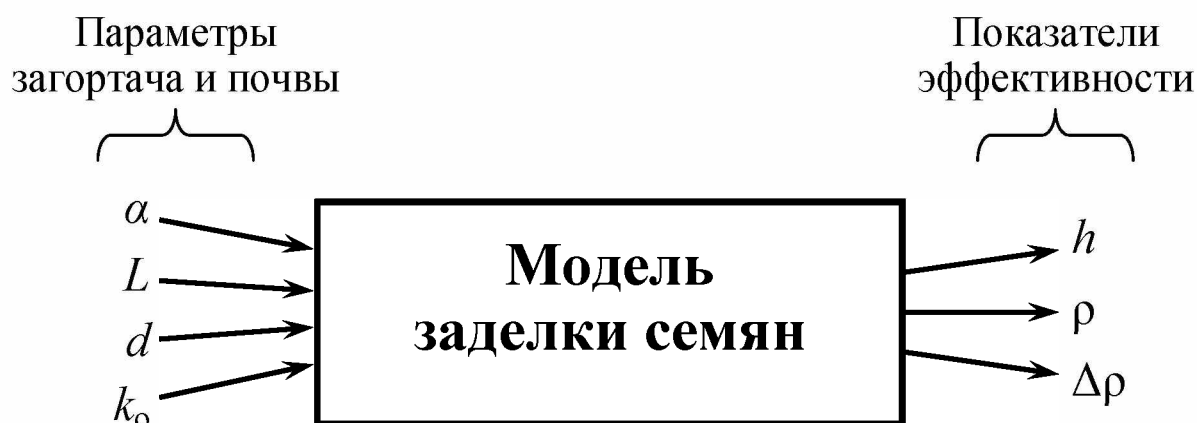


Рис. 1. Постановка задачи на теоретическое исследование процесса заделки бороздки почвой

Таблица 1

Результаты серии компьютерных экспериментов по исследованию влияния угла схождения направляющих загорточ на показатели эффективности его работы

Номер компьютерного эксперимента	Угол схождения направляющих α , градус	Показатели эффективности		
		высота заделки бороздки h , мм	плотность почвы в бороздке ρ , г/см ³	неоднородность плотности почвы в бороздке $\Delta\rho$, г/см ³
1	10	-5,51	0,672	0,098
2	20	-1,92	0,907	0,027
3	30	2,57	1,057	0,003
4	40	6,63	1,062	0,006

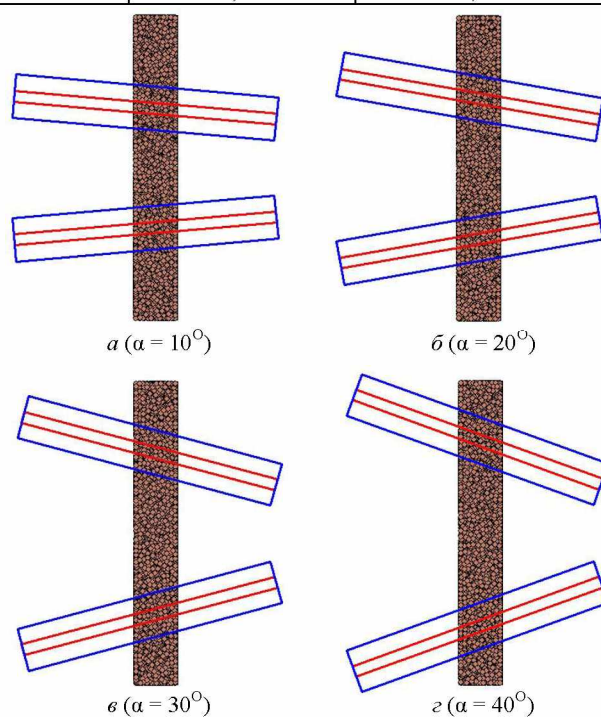


Рис. 2. Моделирование загорточей с различными углами α схождения направляющих

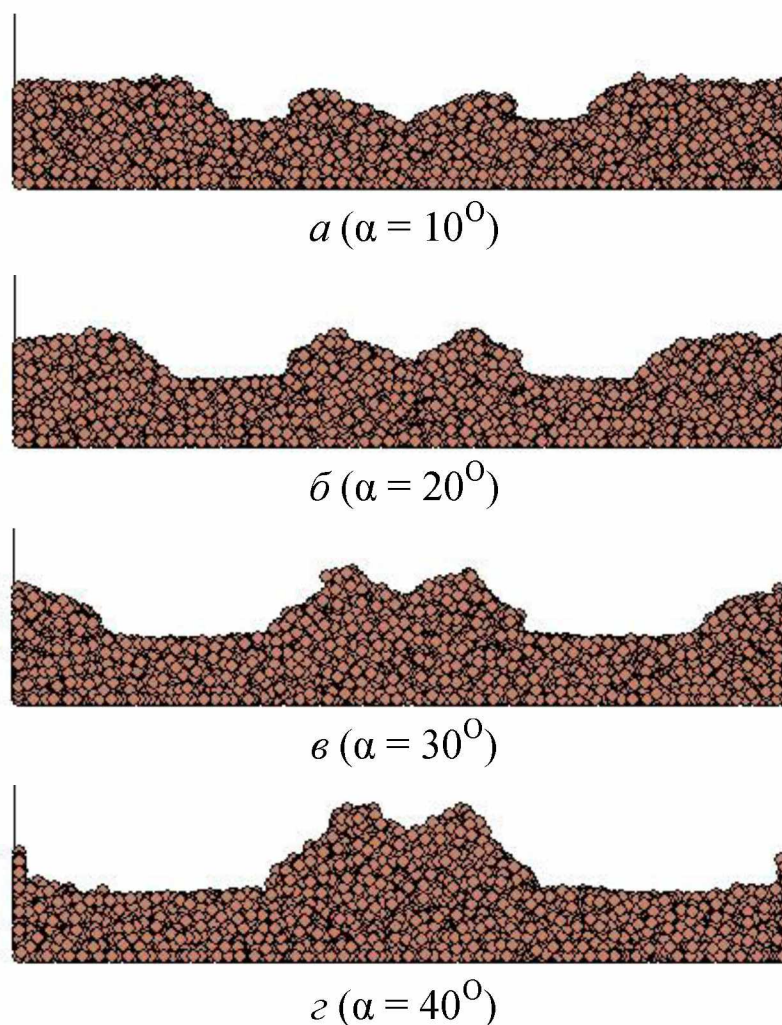


Рис. 3. Профили заделанной бороздки почвой при различных углах α схождения направляющих загортача

Таблица 2

Результаты серии компьютерных экспериментов по исследованию влияния длины направляющих загортача на показатели эффективности заделки бороздки почвой

Номер компьютерного эксперимента	Длина направляющих L , мм	Показатели эффективности		
		высота заделки бороздки h , мм	плотность почвы в бороздке ρ , г/см ³	неоднородность плотности почвы в бороздке $\Delta\rho$, г/см ³
1	80	-4,5	0,744	0,079
2	100	-3,1	0,823	0,055
3	120	-1,9	0,907	0,027
4	140	-0,16	0,993	0,012

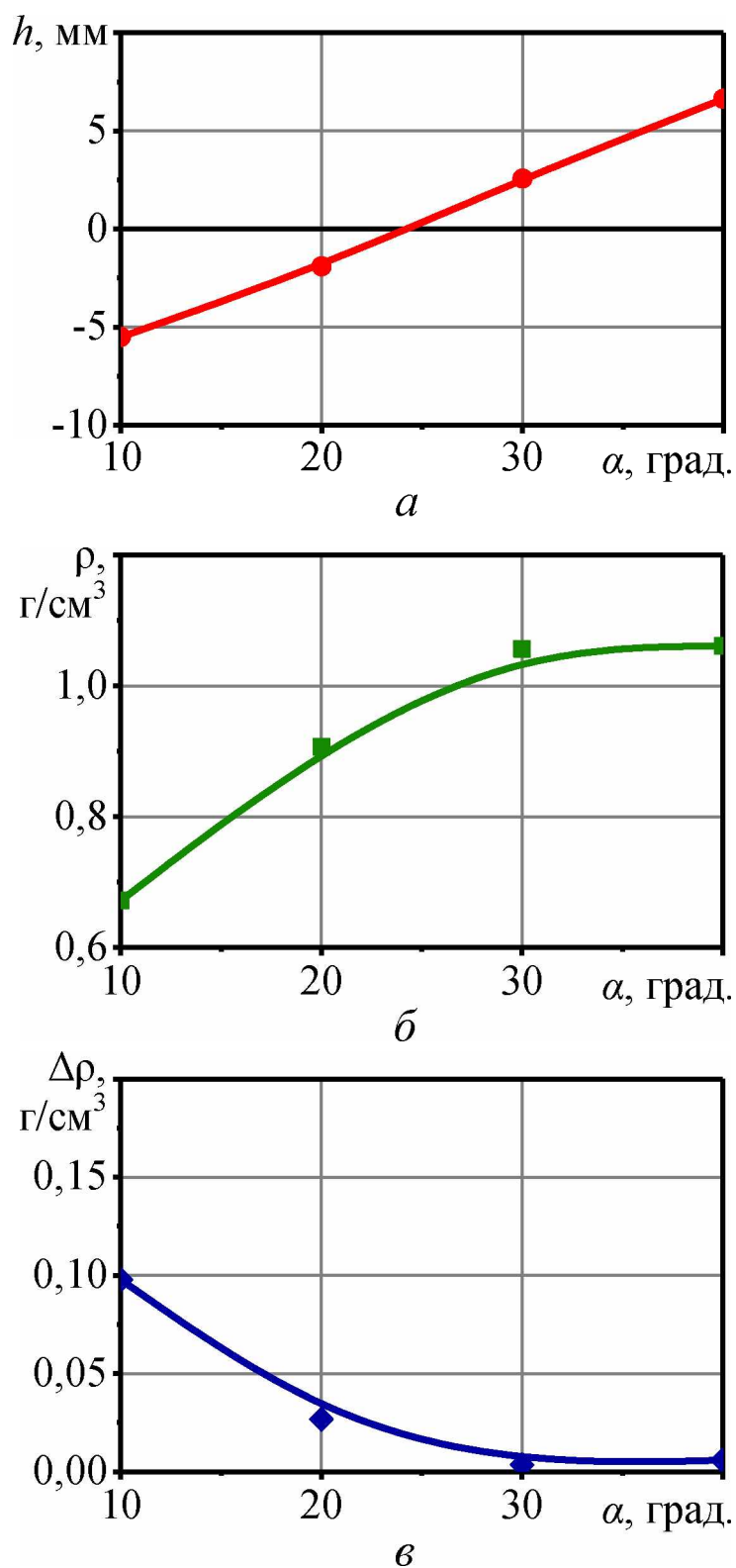


Рис. 4. Влияние угла α схождения направляющих на высоту заделки бороздки h (а), плотность почвы в бороздке ρ (б) и неоднородность плотности почвы $\Delta\rho$ (в)

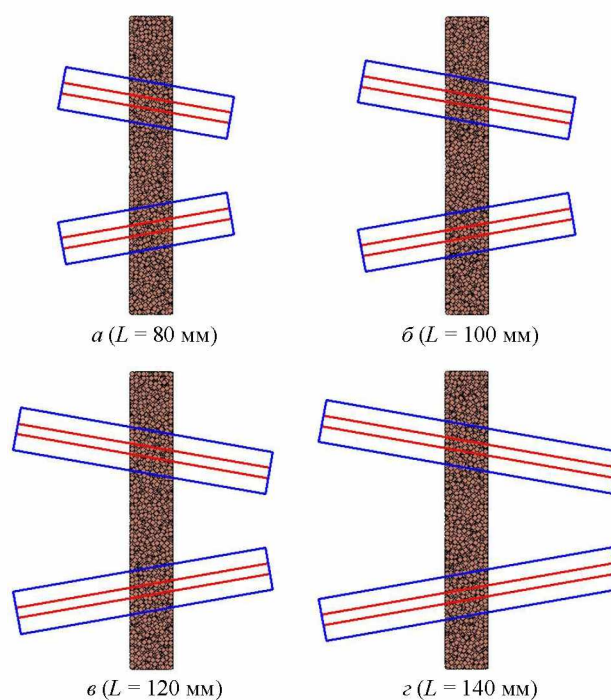


Рис. 5. Моделирование процесса работы загортачей с различной длиной L направляющих

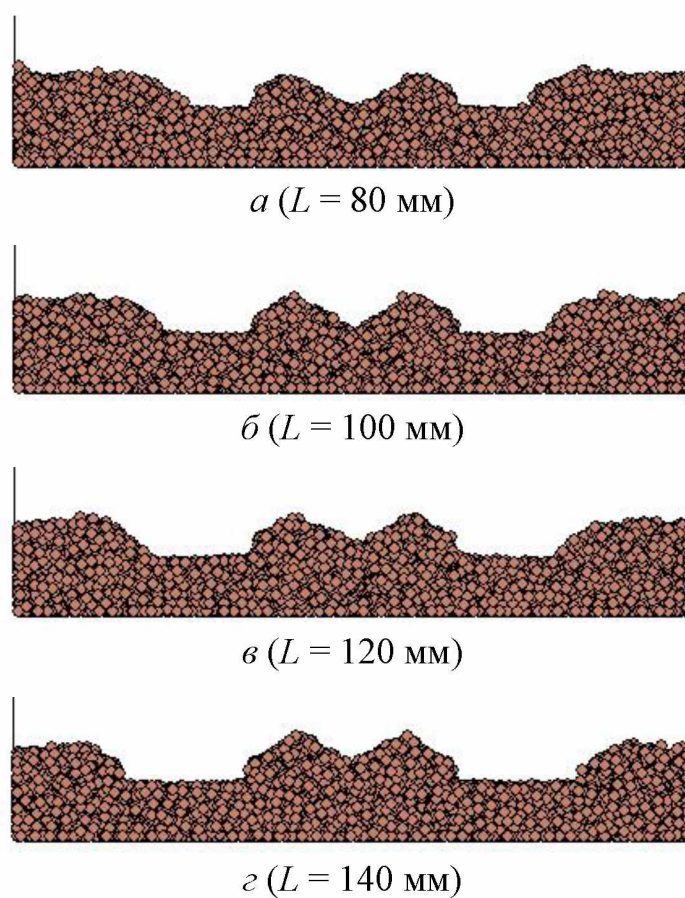


Рис. 6. Профили заделанной бороздки при различной длине L направляющих загортача

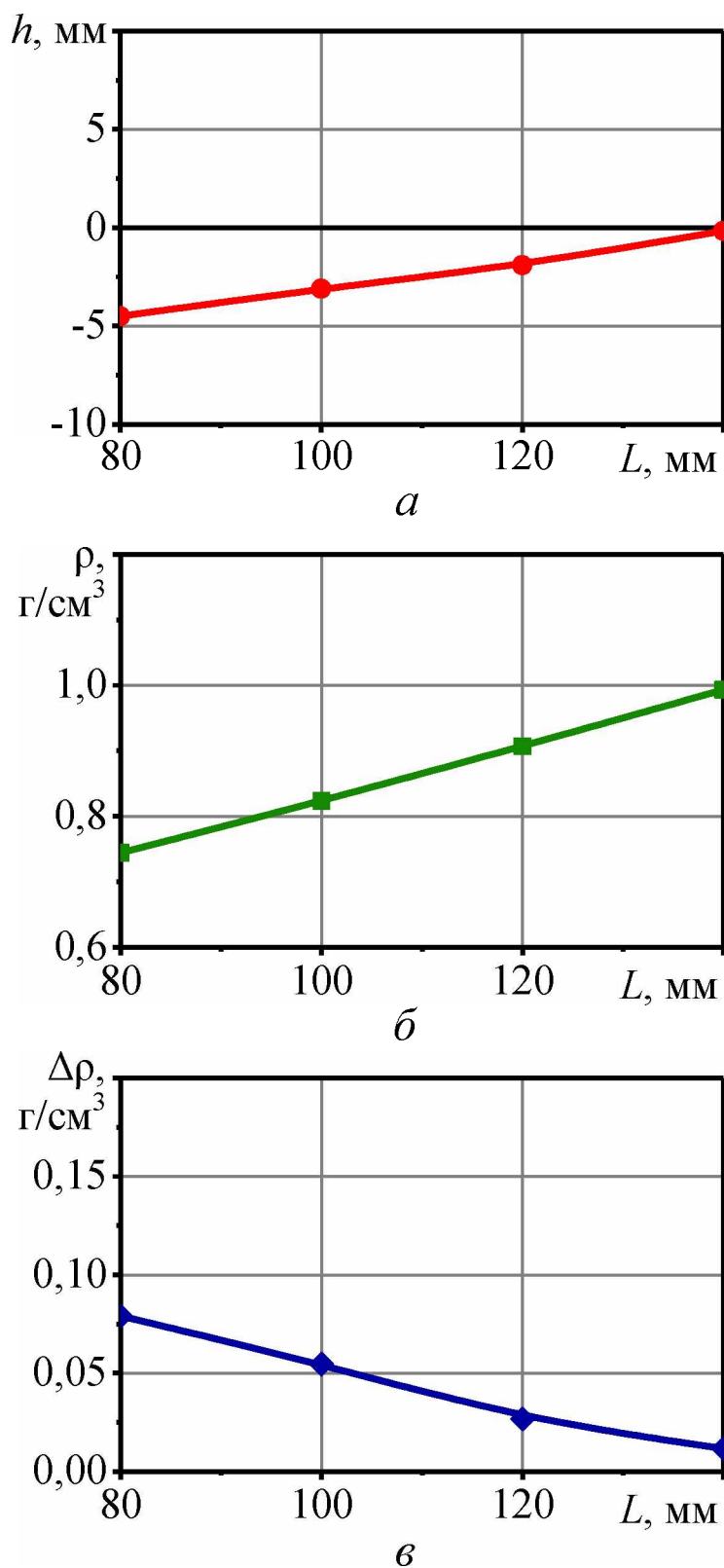


Рис. 7. Влияние длины L направляющих загортачей на высоту заделки бороздки h (а), плотность почвы в бороздке ρ (б) и неоднородность плотности почвы $\Delta\rho$ (в)

Результаты серии компьютерных экспериментов по исследованию влияния диаметра прутка загортача на показатели эффективности

Номер компьютерного эксперимента	Диаметр прутка d , мм	Показатели эффективности		
		высота заделки бороздки h , мм	плотность почвы в бороздке ρ , г/см ³	неоднородность плотности почвы в бороздке $\Delta\rho$, г/см ³
1	4	-3,42	0,813	0,067
2	5	-2,35	0,888	0,030
3	6	-0,48	0,977	0,010
4	7	0,67	1,031	0,007

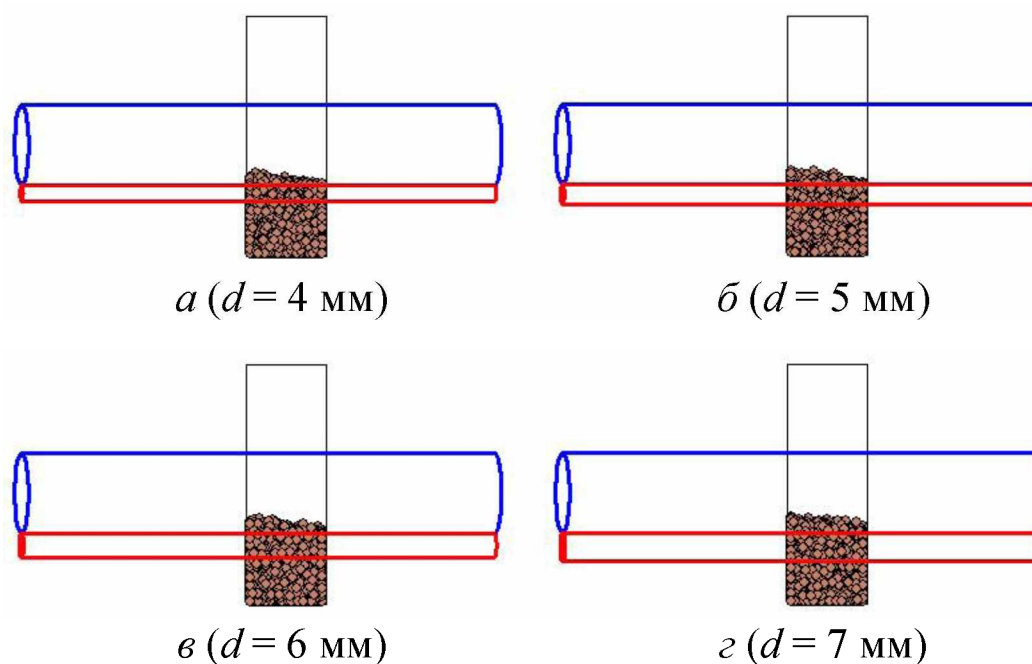


Рис. 8. Моделирование процесса работы загортачей с различными диаметрами d прутков загортача

Результаты серии компьютерных экспериментов по исследованию влияния рассыпчатости почвы

Номер компьютерного эксперимента	Коэффициент ограничения взаимодействия элементов почвы, k_0	Показатели эффективности		
		высота заделки бороздки h , мм	плотность почвы в бороздке ρ , г/см ³	неоднородность плотности почвы в бороздке $\Delta\rho$, г/см ³
1	1,0007	-2,45	0,895	0,017
2	1,015	0,27	0,891	0,031

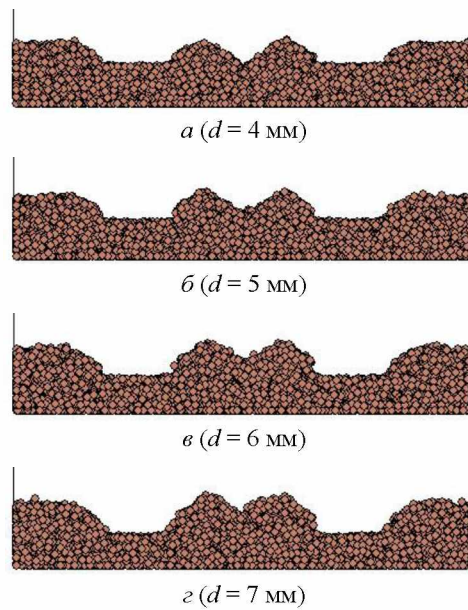


Рис. 9. Профили заделанной бороздки при различных диаметрах d прутков загортача

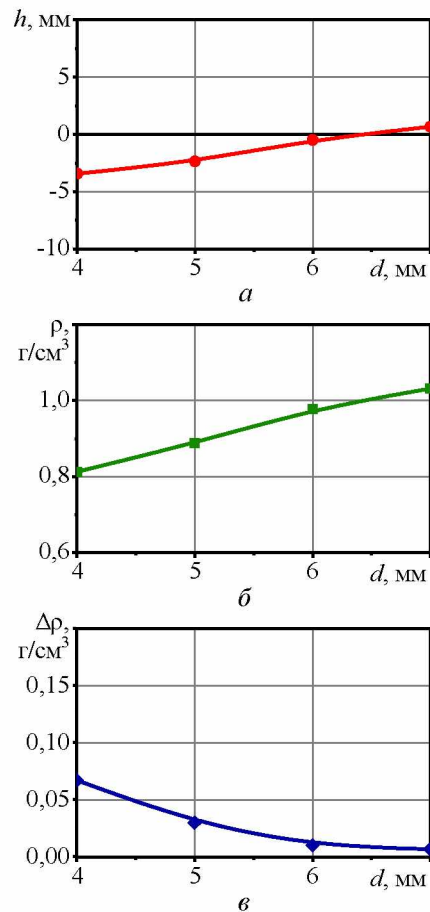


Рис. 10. Влияние диаметра d прутка загортача на высоту заделки бороздки (a), плотность почвы в бороздке ρ ($б$) и неоднородность плотности почвы $\Delta\rho$ ($в$)

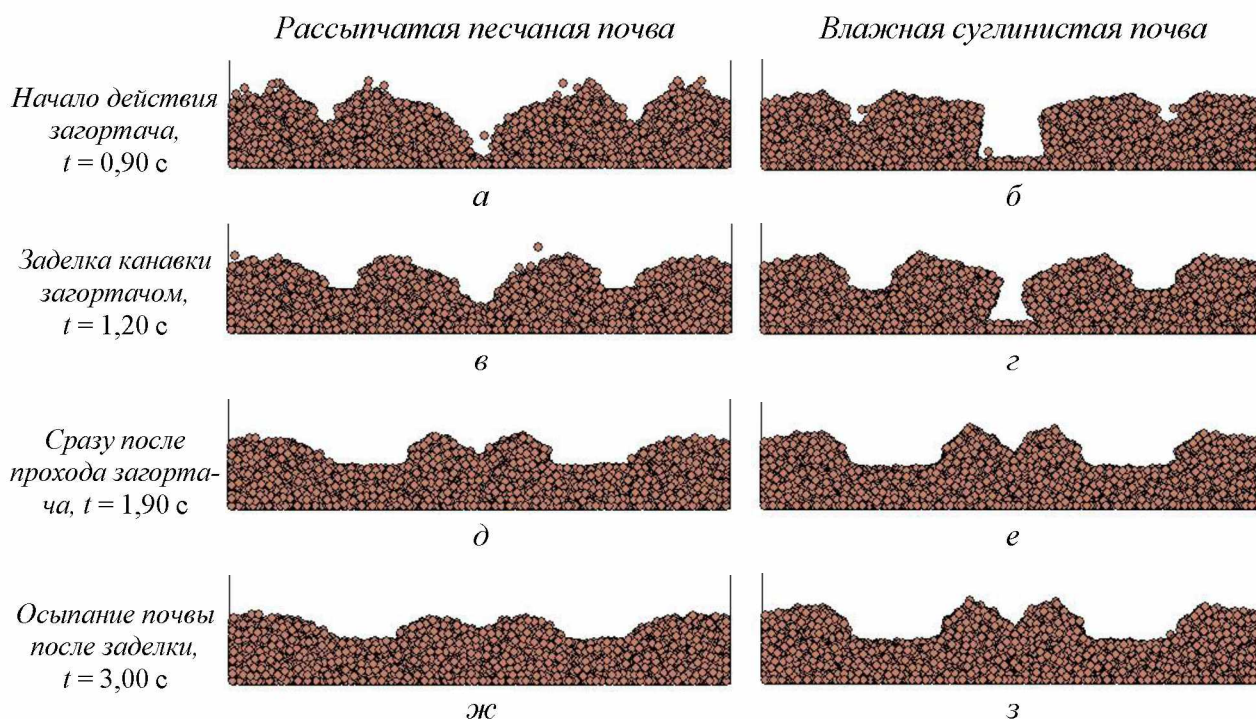


Рис. 11. Профили заделанной бороздки для рассыпчатой песчаной почвы (а, в, д, ж) и суглинистой почвы с высокой влажностью (б, г, е, з) в различные стадии заделки бороздок

Оптимизация параметров загортача и результаты моделирования. Проведенные исследования позволили оценить влияние отдельных параметров загортача на показатели эффективности его работы. Однако большую практическую ценность имеет исследование одновременного влияния нескольких параметров загортача. С этой целью проведена двухфакторная оптимизация параметров L и α направляющих загортача. Решаемую задачу оптимизации параметров загортача можно записать аналитически следующим образом [2, 5, 10]:

$$\begin{cases} h(L, \alpha) \rightarrow 0 \text{ мм}; \\ \rho(L, \alpha) \rightarrow 1 \text{ г/см}^3; \Rightarrow L_{\text{опт}}, \alpha_{\text{опт}}. \\ \Delta\rho(L, \alpha) \rightarrow 0. \end{cases}$$

Для установления взаимосвязи между факторами оптимизации L , α и критериями оптимизации h , ρ , $\Delta\rho$ проведены 16 компьютерных экспериментов, в которых варьировали длину направляющих L на уровнях 80, 100, 120, 140 мм, и угол направляющих α на уровнях 10, 20, 30, 40° (табл. 5).

Полученные результаты обработаны с помощью регрессионного анализа. Для функций $h(L, \alpha)$, $\rho(L, \alpha)$, $\Delta\rho(L, \alpha)$ получены аппроксимирующие выражения в виде полиномов второго порядка для сглаживания разброса результатов компьютерного эксперимента [8, 11, 12].

Графики анализированных функций представлены на рис. 12. Для удобства анализа графики функций $h(L, \alpha)$, $\rho(L, \alpha)$, $\Delta\rho(L, \alpha)$ перестроены в виде картограмм, представляющих собой набор линий уровня на плоскости факторного пространства (L, α) (рис. 13).

На картограммах оптимизации затемнены области благоприятных значений критерия. Для высоты h в качестве благоприятного выбран диапазон от -2 до 2 мм относительно исходного уровня почвы (рис. 13, а); для плотности почвы ρ от $0,8$ до $1,2$ г/см³ (рис. 13, б); для неоднородности плотности почвы $\Delta\rho$ менее $0,02$ г/см³ (рис. 13, в).

Для одновременного учета всех трех критериев оптимизации на рис. 13, г найдено пересечение соответствующих благоприятных областей. Черная область представляет собой общую опти-

мальную область, в которой все критерии h , ρ , $\Delta\rho$ имеют необходимые значения. Общая оптимальная область является достаточно протяженной, что косвенно свидетельствует о высокой устойчи-

вости оптимального режима работы загортача к изменению внешних факторов, неизбежному при их эксплуатации.

Таблица 5

Результаты оптимизационной серии компьютерных экспериментов

Номер компьютерного эксперимента	Параметры направляющих		Показатели эффективности		
	Длина направляющих L , мм	Угол схождения направляющих α , градусы	Высота заделки бороздки h , мм	Плотность почвы в бороздке ρ , г/см ³	Неоднородность плотности почвы в бороздке $\Delta\rho$, г/см ³
1	80	10	-6,19	0,599	0,105
2	80	20	-4,62	0,744	0,079
3	80	30	-1,69	0,892	0,029
4	80	40	1,54	1,030	0,017
5	100	10	-5,87	0,623	0,095
6	100	20	-3,11	0,823	0,055
7	100	30	0,72	1,005	0,006
8	100	40	4,17	1,051	0,007
9	120	10	-5,50	0,672	0,098
10	120	20	-1,92	0,907	0,027
11	120	30	2,57	1,057	0,003
12	120	40	6,63	1,062	0,006
13	140	10	-5,30	0,690	0,095
14	140	20	-0,16	0,993	0,012
15	140	30	4,99	1,064	0,007
16	140	40	6,84	1,080	0,003

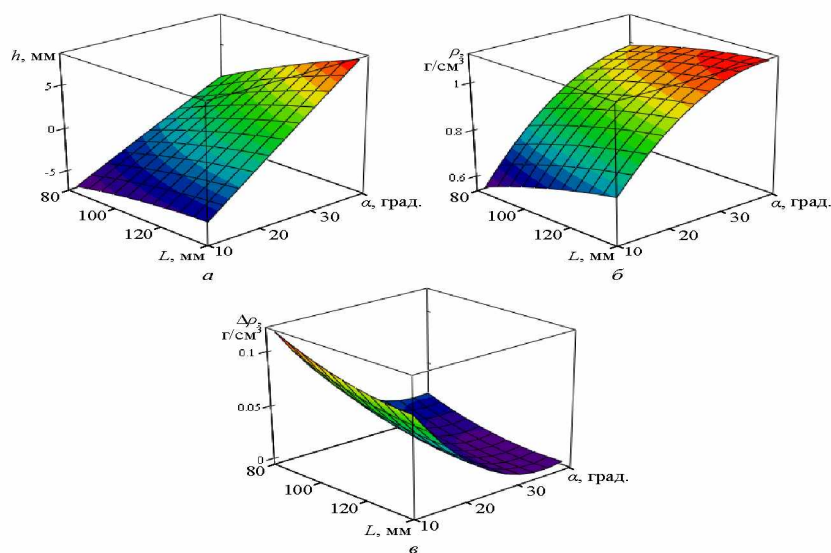


Рис. 12. Графики зависимостей показателей эффективности от параметров направляющих загортача

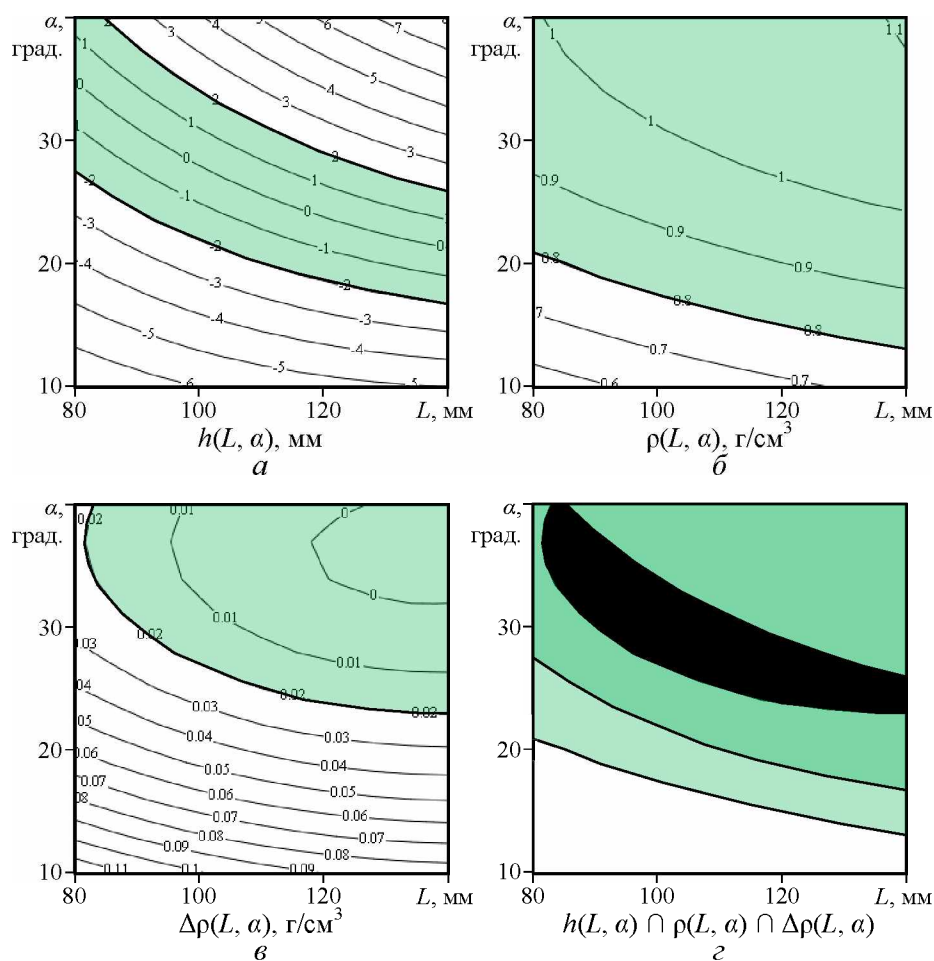


Рис. 13. Картограммы оптимизации параметров направляющих загортача L и α (затемнены благоприятные области факторного пространства, общая оптимальная область выделена черным цветом)

В качестве оптимального выбора параметров L и α можно рекомендовать любую точку из черной области, в частности точку $L = 120$ мм, $\alpha = 28^\circ$, близкую к верхней границе оптимальной области, при которой над бороздкой формируется горка почвы высотой 1...2 мм, подготовленной для последующего прохода уплотняющим катком. При таком оптимальном наборе параметров высота заделки бороздки h составит около 1 мм над исходным уровнем почвы, плотность почвы в бороздке составит около $1,01$ г/см³, неоднородность плотности почвы составит около $0,01$ г/см³.

Таким образом, решена задача двухфакторной оптимизации параметров направляющих загортача и получены картограммы оптимизации для быстрой оценки эффективности работы загортачей с различными их геометрическими параметрами.

В результате разработанной математической модели процесса заделки бороздки с семенами почвой получена модель, позволяющая с высокой детализацией и пространственным разрешением исследовать процесс заделки бороздки почвой.

Разработанная компьютерная программа для моделирования процесса заделки семян позволяет на основе компьютерных экспериментов определить оптимальные конструктивные и технологические параметры загортача:

- при длине направляющих загортача, равной 120 мм, оптимальный угол их схождения составляет $25...30^\circ$;
- при угле схождения направляющих, равном 20° , оптимальная длина направляющих составляет 140...150 мм;
- при угле схождения направляющих,

равном 20° , и их длине, равной 120 мм, оптимальный диаметр прутка составляет 6 мм.

Выводы

1. Предложена оригинальная конструкция загортача, обеспечивающая эффективную заделку бороздки с семенами для различных типов почв от легких песчаных до высокосвязных, тяжелых суглинистых и глинистых.

2. На основании решения задачи двухфакторной оптимизации параметров направляющих загортача получены картограммы оптимизации для быстрой оценки эффективности работы

загортачей с различными геометрическими параметрами.

3. Обоснованы оптимальные параметры загортача: длина направляющих 120 мм, угол схождения направляющих 28° и диаметр прутка загортача 6 мм, обеспечивающие рациональную высоту заделки бороздки 1 мм над исходным уровнем почвы, плотность почвы в бороздке составляет около $1,01 \text{ г/см}^3$, и неоднородность плотности почвы не превышает $0,01 \text{ г/см}^3$.

Библиографический список

1. Василенко, В. В. Расчет рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин : учеб. пособие / В. В. Василенко. – Воронеж : Изд-во ВП, 1994. – 288 с.
2. Гулд, Х. Компьютерное моделирование в физике Ч. 2 / Х. Гулд, Я. Тобочник. – Москва : Мир, 1990. – 400 с.
3. Инженерные расчеты на ЭВМ : справ. пособие / под ред. В. А. Троицкого. – Л. : Машиностроение, 1979. – 288 с.
4. Казаков, И. В. Математическое моделирование процесса заделки семян почвой / И. В. Казаков // Лесотехнический журнал. – 2018. – № 4. – С. 221–229.
5. Полухин, В. А. Компьютерное моделирование динамики и структуры жидких металлов / В. А. Полухин, В. Ф. Ухов, М. М. Дзугутов. – Москва : Наука, 1981. – 323 с.
6. Пошарников, Ф. В. Перспективные технологии выращивания лесопосадочного материала / Ф. В. Пошарников, И. В. Казаков. – Воронеж, 2007. – 290 с.
7. Советов, Б. Я. Моделирование систем : учеб. пособие / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев – Москва : Высш. шк., 1998. – 319 с.
8. Хеерман, Д. В. Методы компьютерного эксперимента в теоретической физике / Д. В. Хеерман. – Москва : Наука, 1990. – 176 с.
9. Allen, M. P. Computer Simulation of Liquids / M. P. Allen, D. J. Tildesley. – Oxford : Clarendon Press, 1987. – 408 p.
10. Hafner, J. Atomic-Scale Computation Materials Science / J. Hafner // Acta Mater. – 2000. – Vol. 48. – P. 71–92.
11. Hoover, W. G. Atomistic Nonequilibrium Computer Simulations / W. G. Hoover // Physica A. – 1983. – Vol. 118. – P. 111–122.
12. Monaghan, J. Smoothed Particle Hydrodynamics / J. Monaghan // Annu. Rev. Astron. Astrophys. – 1992. – Vol. 30. – P. 543–574.

References

1. Vasilenko V. V. *Raschet rabochih organov pochvoobratyvyayushchih i posevnyh mashin* Vasilenko V. V. [Calculation of working bodies of tillage and sowing machines: proc. The Manual. Voronezh: publishing house VP, 1994. 288 p. (In Russian).
2. Gould H., Tobochnik Ya. *Komp'yuternoe modelirovanie v fizike* [Computer simulation in physics. Part 2]. M.: World, 1990. 400 p. (In Russian).

3. *Engineering calculations on a computer* [Engineering calculations on a computer: reference book / Under the editorship of V. A. Troitsky]. L.: Mechanical Engineering, 1979. 288 p. (In Russian).
4. Kazakov I. V. *Matematicheskoe modelirovanie processa zadelki semyan pochvoi* [Mathematical modeling of process covering of seeds]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering Journal]. 2018, vol. 8, no. 4, pp. 221-229. (In Russian).
5. Poluhin V. A., Uhov V. F., Dzugutov M. M. *Komp'yuternoe modelirovanie dinamiki i struktury zhidkih metallov* [Computer simulation of dynamics and structure of liquid metals]. Moscow: Science, 1981. 323 p. (In Russian).
6. Posharnikov F. V., Kazakov I. V. *Perspektivnye tekhnologii vyrashchivaniya lesoposadochnogo materiala*. [Perspective technologies of cultivation of planting stock]. Voronezh, 2007. 290 p. (In Russian).
7. Sovetov B. Ya. *Modelirovanie sistem* [System Modeling : textbook]. M. : Vyssh. SHK., 1998. 319 p. (In Russian).
8. Heerman D. V. *Metody komp'yuternogo eksperimenta v teoreticheskoy fizike* [Methods of computer experiment in theoretical physics]. Moscow: Science, 1990. 176 p. (In Russian).
9. Allen M. P., Tildesley D. J. *Computer Simulation of Liquids*. Oxford: Clarendon Press, 1987. 408 p.
10. Hafner J. *Atomic-Scale Computer Science // Acta Mater.* 2000. Vol. 48. pp. 71-92.
11. Hoover W. G. *Atomistic Nonequilibrium Computer Simulations // Physica A.* 1983. Vol. 118. P. 111-122.
12. Monaghan J. *Smoothed Particle Hydrodynamics // Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 1992. Vol. 30. pp. 543-574.

Сведения об авторе

Казakov Игорь Владимирович – заведующий отделом механизации лесохозяйственных работ и стандартизации, ФБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства», кандидат технических наук, г. Пушкино, Российская Федерация, e-mail: igor.kazakov2015@bk.ru.

Information about the author

Kazakov Igor Vladimirovich – head of the Department of mechanization of forestry works and standardization, FBI "All-Russian research Institute of forestry and mechanization of forestry", PhD (Engineering), Pushkino, Russian Federation, e-mail: igor.kazakov2015@bk.ru.

МНОГОФАКТОРНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ФРЕЗЕРНОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА ЛЕСОПОЖАРНОЙ ГРУНТОМЕТАТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

кандидат технических наук **С.В. Малоков**кандидат технических наук **Д.С. Ступников****А.В. Шаров****А.С. Ступников**ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Российская Федерация

Среди большого количества конструктивных параметров фрезерного рабочего органа лесопожарной грунтометательной машины наиболее существенное влияние на эффективность технологического процесса оказывают параметры длины l_n и ширины h_n лопаток. В данной работе была проведена многофакторная оптимизация этих параметров. В качестве критериев эффективности были выбраны средняя дальность выброса грунта, затрачиваемая мощность и производительность. Задача оптимизации заключалась в поиске таких значений параметров l_n и h_n , при которых средняя дальность выброса грунта L_{cp} и производительность машины P были бы как можно больше, а затрачиваемая лесопожарной грунтометательной машиной мощность N – наименьшей. Для решения поставленной задачи была проведена серия из 16 компьютерных экспериментов разработанной конструкции. В данной серии параметр длины лопатки l_n изменяли на уровнях 170, 200, 230, 260 мм, а параметр ширины лопатки h_n – на уровнях 160, 180, 200, 220 мм. Аппроксимация полученных результатов экспериментальных исследований проводилась при помощи математической программы MathCAD 15 методом наименьших квадратов. Для проведения статистической оценки значимости коэффициентов полиномов использовали F-критерий (критерий Фишера). Полученные аналитические закономерности для удобства восприятия и анализа были отображены в виде графических изображений при помощи поверхностей отклика и линий уровней. Также были получены поверхность отклика и линии уровней, на которых отображена общая оптимальная область всех трех критериев эффективности. Проанализировав полученные зависимости, можем рекомендовать в качестве оптимальных значений длины и ширины лопатки $l_n = 200 \dots 230$ мм, $h_n = 180 \dots 250$ мм.

Ключевые слова: лесопожарная грунтометательная машина, оптимизация, аппроксимация, производительность, затрачиваемая мощность

MULTI-FACTOR OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF THE MILLING WORKING BODY OF A FOREST-FIRE CAMERA MACHINE

PhD (Engineering) **S.V. Malyukov**PhD (Engineering) **D.S. Stupnikov****A.V. Sharov****A.S. Stupnikov**FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh,
Russian Federation

Abstract

Among a large number of design parameters of a milling working body of a forest fire priming machine, the parameters of length l_n and width h_n of blades have the most significant effect on the efficiency of the process. In this paper, multifactor optimization of these parameters was carried out. The following efficiency criteria were chosen: the average distance of the soil release, the power expended and the productivity. The optimization task was to find such values of the parameters l_n and h_n , at which the average distance of the soil release L_{cp} and the productivity of the ma-

chine P would be as large as possible, and the power N spent by the fire-fighting soil-measuring machine - the smallest. To solve the problem, a series of 16 computer experiments of the developed design was carried out. In this series, the blade length parameter l_n was changed at levels 170, 200, 230, 260 mm, and the blade width parameter h_n was changed at levels 160, 180, 200, 220 mm. The approximation of the experimental results obtained was carried out using the mathematical program MathCAD 15 by the method of least squares. To carry out a statistical assessment of the significance of the coefficients of polynomials, the F-criterion was used. The obtained analytical laws for the convenience of perception and analysis were displayed in the form of graphic images using response surfaces and level lines. Also obtained were the response surface and the level lines on which the overall optimal range of all three performance criteria is displayed. After analyzing the obtained dependencies, we can recommend $l_n = 200 \dots 230$ mm, $h_n = 180 \dots 250$ mm as optimal values for the length and width of the blade.

Keywords: forest fire soil spreading machine, optimization, approximation, performance, power consumption

Введение

Леса являются важной частью экосистемы и играют значимую роль в сохранении и поддержании окружающей среды. Главная опасность – лесные пожары, поскольку их последствия наносят серьезный урон природе. Рост количества пожаров связан с глобальными климатическими изменениями на нашей планете. Поэтому необходимо своевременно обнаружить и погасить огонь, прежде чем он распространится [1, 3, 4]. Распространение лесных пожаров – сложный процесс, на который влияют множество факторов. Понимание отношений между этими факторами и тенденцией распространения лесных пожаров имеет жизненно важное значение для прогнозирования быстрого распространения огня.

Материал и методы исследования

Среди большого количества конструктивных и кинематических параметров лесопожарной грунтометательной машины наиболее существенное влияние на эффективность осуществления технологического процесса оказывают параметры лопаток фрезы-метателя, такие как длина лопасти l_n и ширина лопасти h_n . Для того чтобы определить оптимальные показатели параметров l_n и h_n , требуется провести их оптимизацию. Обычно основными критериями оптимизации являются такие параметры, как: производительность разработанной конструкции, качество осуществления технологического процесса, а также экономическая эффективность [2, 5, 6].

Для лесопожарной грунтометательной машины такими критериями являются:

L_{cp} – средняя дальность выброса грунта, м;

P – производительность машины, m^3/c ;

N – мощность, затрачиваемая гидросистемой агрегата на осуществление эффективного рабочего процесса, кВт.

Задача оптимизации заключается в поиске таких значений параметров l_n и h_n , при которых затрачиваемая лесопожарной грунтометательной машиной мощность N была бы наименьшей, а средняя дальность выброса грунта L_{cp} и производительность машины P были бы как можно больше. Задача оптимизации, в нашем случае, может быть записана с помощью, следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} L_{cp}(l_n, h_n) \rightarrow \max; \\ P(l_n, h_n) \rightarrow \max; \\ N(l_n, h_n) \rightarrow \min. \end{cases} \quad (1)$$

Результаты исследования и их обсуждение

Для того чтобы решить поставленную задачу оптимизации и выявить взаимосвязи между необходимыми критериями и параметрами, была проведена серия из 16 компьютерных экспериментов разработанной конструкции (табл. 1) [7, 11, 12, 13, 14].

В данной серии параметр длины лопатки l_n изменяли на уровнях 170, 200, 230, 260 мм, а параметр ширины лопатки h_n – на уровнях 160, 180, 200, 220 мм.

Аппроксимация полученных результатов экспериментальных исследований проводилась при помощи математической программы MathCAD 15 методом наименьших квадратов. После проведения аппроксимации были получены следующие аналитические выражения:

$$L_{cp}(l_n, h_n) = 0,413l_n + 0,173h_n + 1,2 \cdot 10^{-4}l_n \cdot h_n - 9,375 \cdot 10^{-4}l_n^2 - 3,889 \cdot 10^{-4}h_n^2 - 50,032; \quad (2)$$

$$P(l_n, h_n) = -3,715 \cdot 10^{-3}l_n + 3,382 \cdot 10^{-4}h_n + 4,767 \cdot 10^{-6}l_n \cdot h_n + 8,75 \cdot 10^{-6}l_n^2 - 2,222 \cdot 10^{-6}h_n^2 + 0,418; \quad (3)$$

$$N(l_n, h_n) = -0,101l_n + 0,072h_n - 7 \cdot 10^{-5}l_n \cdot h_n + 3,437 \cdot 10^{-4}l_n^2 - 9,722 \cdot 10^{-5}h_n^2 + 33,402; \quad (4)$$

где l_n и h_n – длина и ширина лопатки фрезы-метателя, измеряются в миллиметрах (мм);

L_{cp} – средняя дальность выброса грунта, м;

P – производительность машины, м³/с;

N – затрачиваемая мощность, кВт.

Для проведения статистической оценки значимости коэффициентов полиномов использовали F-критерий (критерий Фишера). Полученные аналитические закономерности $L_{cp}(l_n, h_n)$, $P(l_n, h_n)$,

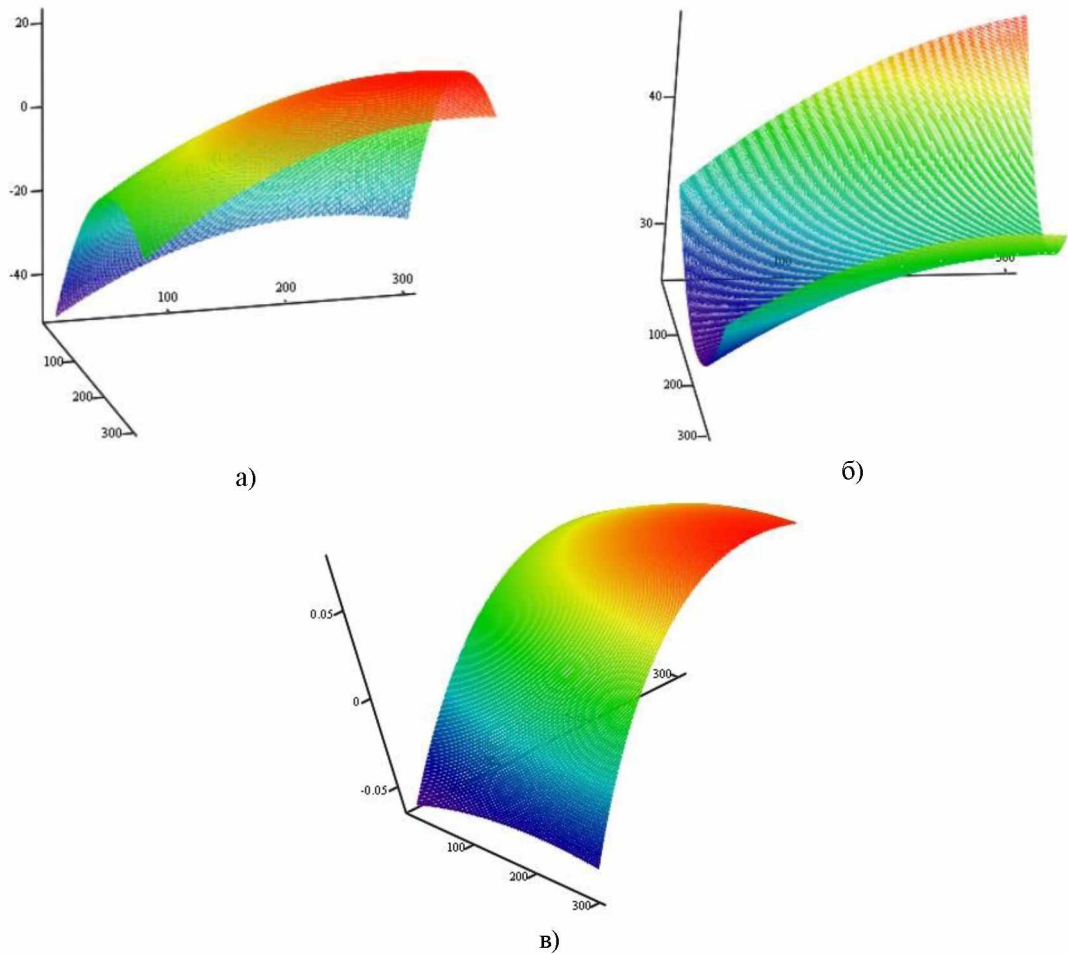
$N(l_n, h_n)$ для удобства восприятия были отображены в виде графических изображений при помощи поверхностей отклика (рис. 1).

Полученные поверхности отклика при дальнейшем количественном анализе были представлены в виде линий уровня (рис. 2). На каждой из полученных линий уровня и поверхности отклика факторное пространство (l_n, h_n) разбито на области: благоприятную (область красного цвета), в которой необходимый параметр оптимизации показывает максимальное или минимальное значение, и неблагоприятную (область фиолетового цвета), в которой нужный нам критерий оптимизации принимает обратное, негативное значение.

Таблица 1

Результаты теоретических экспериментов влияния конструктивных параметров фрезерного рабочего органа ЛГМ на показатели ее эффективности

№	h_n , мм	l_n , мм	N, кВт	L, м	P, м ³ /с
1	160	170	33,2	14,2	0,057
2	160	200	34,5	14,9	0,063
3	160	230	35	15,6	0,066
4	160	260	35,8	16,1	0,067
5	180	170	34,2	15,2	0,058
6	180	200	34,7	17,1	0,064
7	180	230	34,9	17,8	0,068
8	180	260	35	18,4	0,068
9	200	170	34,5	17,7	0,06
10	200	200	34,8	19,7	0,068
11	200	230	35	20,1	0,071
12	200	260	35,4	20,5	0,071
13	220	170	34,4	18	0,06
14	220	200	35,3	19,8	0,069
15	220	230	36,1	21,3	0,072
16	220	260	36,4	20,6	0,072



а – для средней дальности выброса грунта L_{cp} , м; б – для потребляемой мощности N , кВт;
 в – для производительности P , m^3/c ; где ось OX – длина лопатки $l_{л}$, мм, OY – ширина лопатки $h_{л}$, мм,
 OZ – один из показателей эффективности

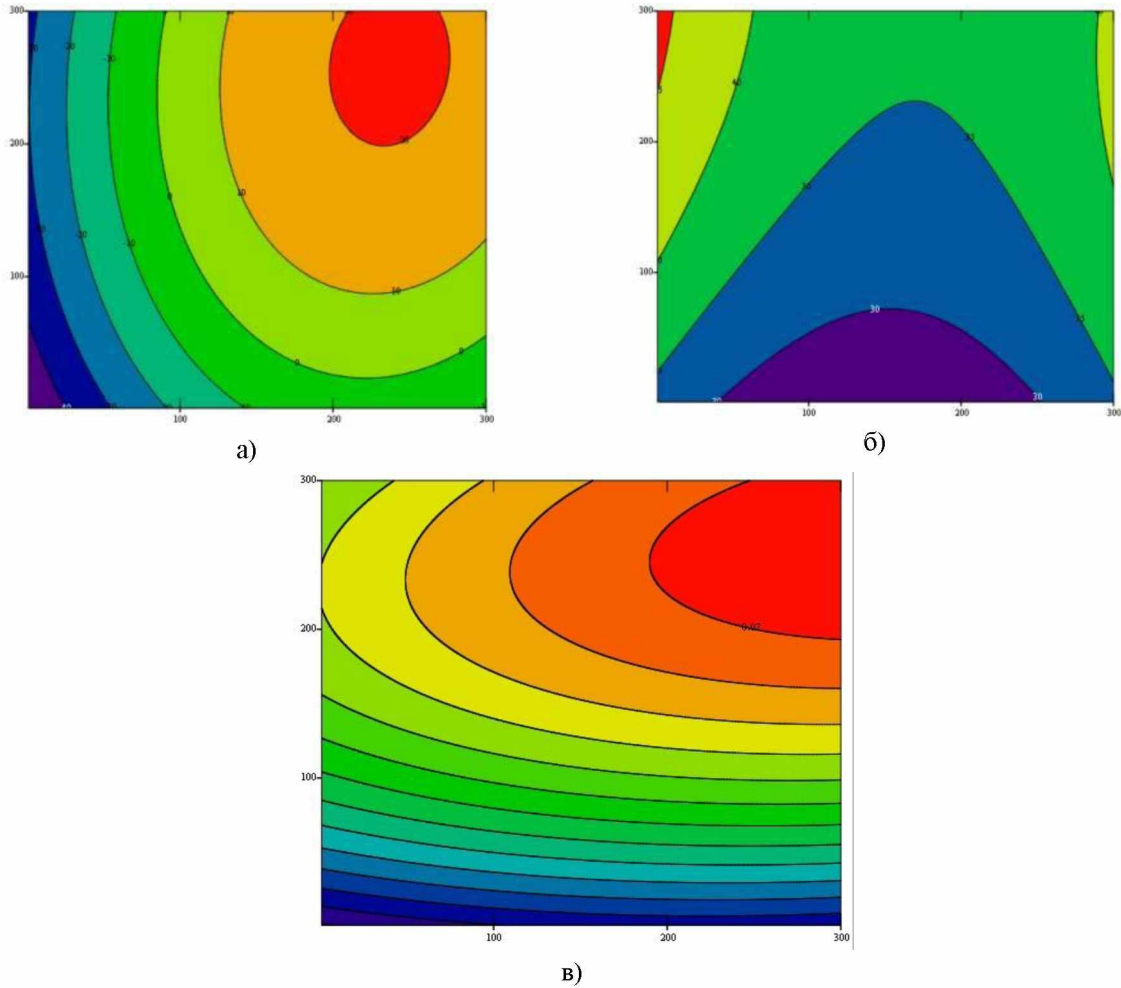
Рис. 1. Частные поверхности отклика при оптимизации конструктивных параметров $l_{л}$ и $h_{л}$

Для того чтобы установить граничные значения необходимых параметров, которые будут делить неблагоприятные и благоприятные области, мы использовали общепринятое правило: благоприятная область должна занимать от 10 до 30 % факторного пространства, при этом не включать в себя области резких перепадов функции, а также должна иметь привязку к нормативным значениям каждого критерия [8, 9, 10].

В качестве границы между неблагоприятной и благоприятной областями для функции $L_{cp}(l_{л}, h_{л})$ была принята изолиния 20 м; для $N(l_{л}, h_{л})$ – изолиния 35 кВт; для $P(l_{л}, h_{л})$ – изолиния 0,07 m^3/c .

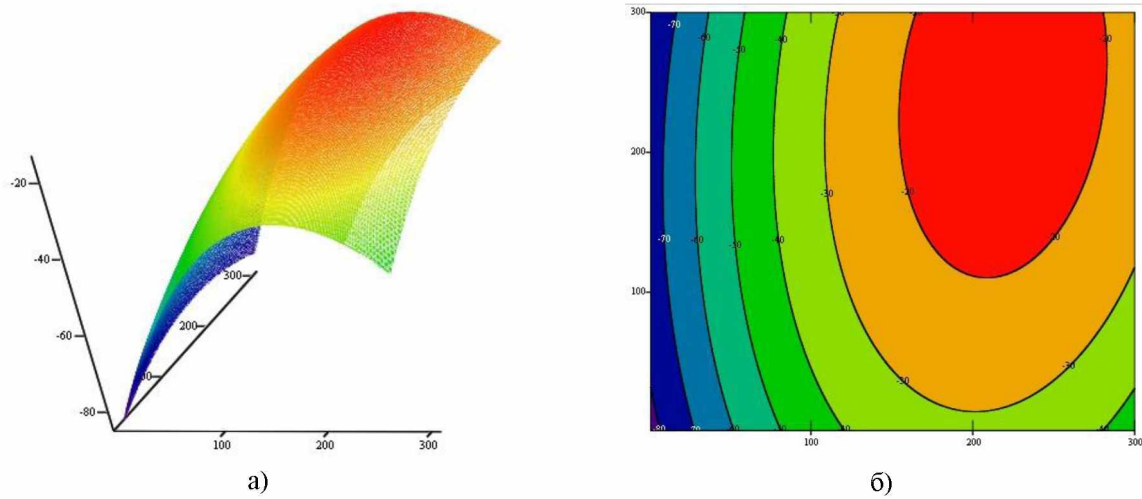
В результате полученные оптимизационные карты позволяют инженеру выбрать такие значения параметров длины и ширины лопаток фрезы грунтомета, при которых показатели эффективности находились бы в наиболее оптимальном диапазоне.

В дальнейшем благоприятные области трех критериев эффективности были наложены друг на друга (рис. 2, а, б, в). В результате получили поверхность отклика и линии уровней, которые являются общими для всех трех параметров. На них отображена общая оптимальная область всех трех критериев эффективности (рис. 3, а, б).



a – для $L_{cp}(l_n, h_n)$; $б$ – для $N(l_n, h_n)$; $в$ – для $P(l_n, h_n)$; где ось OX – длина лопатки l_n , мм, OY – ширина лопатки h_n , мм

Рис. 2. Оптимальные области факторного пространства



a – поверхность отклика; $б$ – линии уровней

Рис. 3. Общая оптимальная область факторного пространства параметров l_n и h_n ; где ось OX – длина лопатки l_n , мм, OY – ширина лопатки h_n , мм

Выводы

Анализ полученного рис. 3 показывает, что наиболее оптимальное сочетание конструктивных параметров длины и ширины лопатки имеет общую оптимальную зону всех трех параметров эффективности.

Проанализировав полученные зависимости, можем рекомендовать в качестве оптимальных значений длины и ширины лопатки $l_d = 200-230$ мм, $h_d = 180-250$ мм.

При этом лесопожарная грунтометательная машина выбрасывает грунт в зону пожара на расстоянии до 21 м, потребляет не более 38 кВт мощности, а производительность составляет, в среднем, $0,07$ м³/с.

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации в рамках научного проекта № МК-6621.2018.8.

Библиографический список

1. Гнусов, М. А. Обоснование параметров комбинированных рабочих органов грунтомета для прокладки минерализованных полос в лесу : специальность 05.21.01 «Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства» : дис. ... канд. техн. наук : защищена 12.09.2014 / Гнусов Максим Александрович. – Воронеж, 2014. – 140 с.
2. Федорченко, И. С. Результаты экспериментальных исследований грунтомета лесопожарного / И. С. Федорченко // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – Красноярск, 2012. – № 9. – С. 162–166.
3. Комбинированный лесопожарный грунтомет и рекомендации по его применению / И. М. Бартенев, М. В. Драпалюк, П. Э. Гончаров [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 84. – С. 174–184.
4. Перспективные конструкции противопожарных грунтометов / П. Э. Гончаров, П. И. Попиков, М. А. Гнусов, Н. А. Шерстюков // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2. – № 2-2 (7-2). – С. 54–59.
5. Кривцов, А. М. Деформирование и разрушение тел с микроструктурой / А. М. Кривцов. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 304 с.
6. Гончаров, П. Э. Лесопатрульный автомобиль на базе тяжелого грузового автомобиля повышенной проходимости / П. Э. Гончаров, П. И. Попиков, М. А. Гнусов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2. – № 2-2 (7-2). – С. 64–69.
7. Обоснование параметров лесного грунтомета с комбинированными рабочими органами / М. В. Драпалюк, П. И. Попиков, П. Э. Гончаров, М. А. Гнусов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2. – № 2-2 (7-2). – С. 77–81.
8. Оптимизация параметров комбинированной машины для тушения лесных пожаров на основе теоретических и экспериментальных исследований / Л. Д. Бухтояров, М. А. Гнусов, М. В. Шавков [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 84. – С. 373–382.
9. Есков, Д. В. Оптимизация параметров и математическая модель процесса выброса грунта комбинированным фрезерным пожарным грунтометом / Д. В. Есков // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2. – № 4-2 (9-2). – С. 208–212.
10. Study of efficiency of soil-thrower and fire-break major on the basis of mathematic simulation / I. M. Bartenev, S. V. Malyukov, M. A. Gnusov, D. S. Stupnikov // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. – 2018. – Vol. 9. – Issue 4. – P. 1008–1018.
11. Three-Dimensional Dynamic Simulation System for Forest Surface Fire Spreading Prediction / J. Li, X. Li, C. Chen, H. Zheng, N. Liu // International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence. – 2018. – Vol. 32. – Issue 8. – DOI: 10.1142/S021800141850026X.

12. Modern designs of forest fires machines for soil extinguishment of fire / I. M. Bartenev, S. V. Malyukov, M. A. Gnusov, D. S. Stupnikov, A. D. Platonov // Engineering and earth sciences: applied and fundamental research (isees 2018). – Grozni, 2018. – P. 48–53.

13. Bartenev, I. M. Research and development of the method of soil formation and delivery in the form of a concentrated flow to the edge of moving ground forest fire / I. M. Bartenev, P. I. Popikov, S. V. Malyukov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science International Jubilee Scientific and Practical Conference "Innovative Directions of Development of the Forestry Complex (FORESTRY-2018)". – 2019. – No. 226 (1) 012052. DOI: 10.1088/1755-1315/226/1/012052.

14. Mikulas, M. Forest fires extinguishing using suitable fire-fighting equipment / M. Mikulas // Advanced Materials Research. – 2014. – Vol. 1001. – P. 318-323. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1001.318.

References

1. Gnusov M. A. *Obosnovanie parametrov kombinirovannykh rabochnykh organov gruntometa dlja prokladki mineralizovannykh polos v lesu* dis. kand. teh. nauk [Substantiation of the parameters of the combined working bodies of the ground meter for laying mineralized strips in the forest. Dis Ph.D. in Engineering]. Voronezh, 2014, 140 p. (In Russian).

2. Fedorchenko I. S. *Rezultaty jeksperimental'nykh issledovanij gruntometa lesopozharnogo* [The results of experimental studies of the soil fireman of the forest fire] *Vestnik krasnojarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University]. Krasnoyarsk, 2012, no. 9, pp. 162-166. (In Russian).

3. Bartenev I. M., Drapalyuk M. V., Goncharov P. E. et al. *Kombinirovannyj lesopozharnyj gruntomet i rekomendacii po ego primeneniju* [Combined forest fire primer paper and recommendations for its use] *Politematicheskij setевой elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polytematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University], 2012, no. 84, pp. 174-184. (In Russian).

4. Goncharov P. E., Popikov P. I., Gnusov M. A., Sherstyukov N. A. *Perspektivnye konstrukcii protivopozharnykh gruntometov* [Perspective designs of fireproof primers] *Aktual'nye napravlenija nauchnykh issledovanij XXI veka: teorija i praktika* [Actual areas of research of the XXI century: theory and practice], 2014, Vol. 2, no. 2-2 (7-2), pp. 54-59. (In Russian).

5. Krivtsov A. M. *Deformirovanie i razrushenie tel s mikrostrukturaj* [Deformation and destruction of bodies with a microstructure]. Moscow, 2007, 304 p. (In Russian).

6. Goncharov P. E., Popikov P. I., Gnusov M. A. *Lesopatrul'nyj avtomobil' na baze tjazhelogo gruzovogo avtomobilja povyshennoj prohodimosti* [Forest patrol vehicle based on a heavy off-road truck] *Aktual'nye napravlenija nauchnykh issledovanij XXI veka: teorija i praktika* [Actual areas of research of the XXI century: theory and practice], 2014, Vol. 2, no. 2-2 (7-2), pp. 64-69. (In Russian).

7. Drapalyuk M. V., Popikov P. I., Goncharov P. E., Gnusov M. A. *Obosnovanie parametrov lesnogo gruntometa s kombinirovannyimi rabochnymi organami* [Justification of the parameters of the forest soil with combined working bodies] *Aktual'nye napravlenija nauchnykh issledovanij XXI veka: teorija i praktika* [Actual areas of research of the XXI century: theory and practice], 2014, Vol. 2, no. 2-2 (7-2), pp. 77-81. (In Russian).

8. Bukhtoyarov L. D., Gnusov M. A., Shavkov M. V. et al. *Optimizacija parametrov kombinirovannoj mashiny dlja tushenija lesnykh pozharov na osnove teoreticheskikh i jeksperimental'nykh issledovanij* [Optimization of parameters of a combined machine for extinguishing forest fires on the basis of theoretical and experimental research] *Politematicheskij setевой elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polytematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University], 2012, no. 84, pp. 373-382. (In Russian).

9. Eskov D. V. *Optimizacija parametrov i matematicheskaja model' processa vybrosa grunta kombinirovannyim frezernym pozharnym gruntometom* [Optimization of parameters and mathematical model of the process of ejection of the soil combined milling fire primer] *Aktual'nye napravlenija nauchnykh issledovanij XXI veka:*

teorija i praktika [Actual areas of research of the XXI century: theory and practice], 2014, Vol. 2, no. 4-2 (9-2), pp. 208-212. (In Russian).

10. Bartenev I. M., Malyukov S. V., Gnusov M. A., Stupnikov D. S. Study of efficiency of soil-thrower and fire-break major on the basis of mathematic simulation. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 2018, Volume 9, Issue 4, pp. 1008-1018.

11. Li J., Li X., Chen C., Zheng H., Liu N. Three-Dimensional Dynamic Simulation System for Forest Surface Fire Spreading Prediction, *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 2018, Volume 32, Issue 8, DOI: 10.1142/S021800141850026X.

12. Bartenev I. M., Malyukov S. V., Gnusov M. A., Stupnikov D. S., Platonov A. D. Modern designs of forest fires machines for soil extinguishment of fire. *Engineering and earth sciences: applied and fundamental research (isees 2018)*, Grozni, 2018, pp 48-53.

13. Bartenev, I. M., Popikov P. I., Malyukov S. V. Research and development of the method of soil formation and delivery in the form of a concentrated flow to the edge of moving ground forest fire. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science International Jubilee Scientific and Practical Conference "Innovative Directions of Development of the Forestry Complex (FORESTRY-2018)"*, 2019, no. 226 (1) 012052, DOI: 10.1088/1755-1315/226/1/012052

14. Mikulas, M. Forest fires extinguishing using suitable fire-fighting equipment. *Advanced Materials Research*, 2014, Volume 1001, pp. 318-323. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1001.318

Сведения об авторах

Малюков Сергей Владимирович – доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат технических наук, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: malyukovsergey@yandex.ru.

Ступников Дмитрий Сергеевич – преподаватель кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат технических наук, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: Neiti1992@mail.ru.

Шаров Андрей Викторович – аспирант кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: androsharo2014@yandex.ru.

Ступников Александр Сергеевич – магистр кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: Praim7@yandex.ru.

Information about authors

Malyukov Sergey Vladimirovich – Associate Professor, Department of Forestry Mechanization and Machine Design, FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», PhD (Engineering), Voronezh, Russian Federation; e-mail: malyukovsergey@yandex.ru.

Stupnikov Dmitriy Sergeevich – Lecturer, Department of Forestry Mechanization and Machine Design, FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», PhD (Engineering), Voronezh, Russian Federation; e-mail: Neiti1992@mail.ru.

Sharov Andrey Victorovich – post-graduate student, Department of Forestry Mechanization and Machine Design, FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, Russian Federation; e-mail: androsharo2014@yandex.ru.

Stupnikov Alexandr Sergeevich – Master, Department of Forestry Mechanization and Machine Design, FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, Russian Federation; e-mail: Praim7@yandex.ru.

ПЕРСПЕКТИВНАЯ КОНСТРУКЦИЯ РЕКУПЕРАТИВНОГО СЕДЕЛЬНО-СЦЕПНОГО УСТРОЙСТВА ЛЕСОВОЗНОГО ТЯГАЧА С ПОЛУПРИЦЕПОМ

доктор технических наук, профессор **В.И. Посметьев**

кандидат технических наук, доцент **В.О. Никонов**

кандидат физико-математических наук, доцент **В.В. Посметьев**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Российская Федерация

Рассмотрена роль совершенствования конструкций седельно-сцепных устройств (ССУ) лесовозных тягачей (ЛТ) с полуприцепами (ПП) для увеличения объемов транспортирования лесоматериалов. Описаны последствия возникающих в ССУ динамических нагрузок при эксплуатации ЛТ с ПП в сложных дорожных условиях. Обоснована перспективность использования рекуперативных механизмов, направленная на снижение расхода топлива и сокращение токсичности выхлопных газов ЛТ с ПП. Представлена схема основных узлов ССУ, описаны два применяемых в зависимости от способа сцепки ЛТ с ПП типа ССУ. Приведены конструктивные особенности наиболее распространенных на российском рынке моделей ССУ, выпускаемых отечественными и европейскими производителями. Особое внимание уделено обеспечению необходимой гибкости между отдельными звеньями ЛТ с ПП, влияющей на возможность возникновения поломок в ССУ и ходовой части ЛТ. Рассмотрены основные нормативные документы, регламентирующие требования к изготовлению, установке, испытанию, эксплуатации и замене конструктивных элементов ССУ. Представлены зависимости влияния замедления и коэффициента распределения тормозных сил на величину продольных усилий в ССУ ЛТ с ПП, влияния максимальных нагрузок в ССУ на силы трения в нем. Предложена перспективная конструкция рекуперативного ССУ ЛТ с ПП, позволяющая накапливать и повторно использовать гидравлическую энергию в технологическом процессе погрузки-разгрузки сортиментов гидравлическим манипулятором. Выявлено, что использование рекуперативного ССУ позволит снизить расход топлива ЛТ с ПП, повысить его надежность и улучшить плавность хода при движении по недостаточно обустроенным дорогам.

Ключевые слова: рекуперативное седельно-сцепное устройство, лесовозный тягач, полуприцеп, рекуперация, гидравлическая энергия, гидравлический манипулятор, пневмогидравлический аккумулятор

PERSPECTIVE DESIGN OF RECOVERABLE FIFTH-WHEEL COUPLING FOR A HAULING TRUCK WITH A SEMI-TRAILER

DSc (Engineering), Professor **V.I. Posmetyev**

PhD (Engineering), Associate Professor **V.O. Nikonov**

PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor **V.V. Posmetyev**

FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov",
Voronezh, Russian Federation

Abstract

The role of improving the design of fifth-wheel coupling (FWC) of hauling trucks (HT) with semi-trailers (ST) to increase the volume of timber transportation has been considered. The consequences of the dynamic loads arising in the FWC during the operation of HT with ST in difficult road conditions have been described. The prospects of using regenerative mechanisms aimed at reducing fuel consumption and reducing the toxicity of HT exhaust gases have been substantiated. A diagram of the main FWC components is presented. Two components, used depending on the method of coupling HT with ST have been described. Design features of the most common FWC models on the Russian market, produced by domestic and European manufacturers, are presented. Particular attention is paid to providing the necessary

flexibility between HT links with ST, which affects the possibility of breakdowns in the FWC and HT chassis. The basic regulatory documents governing the requirements for the manufacture, installation, testing, operation and replacement of structural elements of FWC have been considered. The dependences of the influence of deceleration and brake force distribution coefficient on the magnitude of the longitudinal forces in FWC of HT with ST, the influence of maximum loads in FWC on the friction forces are presented. A promising design of regenerative FWC of HT with ST has been proposed, which allows accumulating and reusing hydraulic energy in the technological process of loading and unloading assortments with a hydraulic manipulator. It has been revealed that the use of recuperative FWC reduces fuel consumption of HT with ST, increase its reliability and improve ride smoothness when driving on underdeveloped roads.

Keywords: recoverable fifth-wheel coupling, hauling truck, semi-trailer, recuperation, hydraulic energy, hydraulic manipulator, pneumohydraulic accumulator

Введение

Важную роль в увеличении объемов перевозок лесоматериалов играют полуприцепы (ПП), эффективность которых в известной мере сдерживается конструктивными недостатками некоторых узлов и агрегатов лесовозных тягачей (ЛТ) и, в частности, седельно-сцепных устройств (ССУ). В процессе трогания ЛТ с ПП, его разгоне, торможении и движении в сложных дорожных условиях в ССУ возникают повышенные динамические нагрузки, которые приводят к снижению скорости ЛТ с ПП, повышению его расхода топлива, и как следствие к ухудшению производительности. Повышенные нагрузки в ССУ способствуют увеличению износа его сопряженных деталей, ухудшают устойчивость ЛТ с ПП при торможении, и при установленных исходных углах между продольными осями ЛТ и ПП являются источником складывания звеньев ЛТ с ПП [1, 2, 5].

Совершенствование ССУ ЛТ с ПП, направленное на снижение расхода топлива ЛТ, требует глубокого изучения и обобщения имеющегося фактического материала по конструкции ССУ, накопленного как у нас в стране, так и за рубежом. Результаты многочисленных исследований подтверждают перспективность направления по сокращению расхода топлива ЛТ с ПП путем использования в его конструкции различных recuperативных механизмов.

В работах [3, 4] авторами для снижения расхода топлива и токсичности выхлопных газов лесовозного сортиментовоза предложена конструкция recuperативного гидропривода, позволяющая также с помощью recuperативных механизмов, установленных в стреле, рукояти, опорно-поворотном

устройстве, гидромоторах колес и подвеске, накапливать в пневмогидравлическом аккумуляторе и повторно использовать энергию сжатой рабочей жидкости в технологическом процессе погрузки и разгрузки лесоматериалов.

В статье [6] авторами для повышения эффективности лесовозного автомобиля с прицепом (ЛАП) за счет снижения расхода топлива, повышения надежности вследствие улучшенных демпфирующих свойств гидросистемы, снижения динамических нагрузок на ЛАП, улучшения плавности хода при движении ЛАП по недостаточно обустроенным дорогам предложена конструкция recuperативного тягово-сцепного устройства.

В работах [7, 8] авторами для снижения расхода топлива многофункционального автомобиля предлагается recuperативный гидропривод с подсистемой аккумулятирования энергии сжатого воздуха, позволяющий также использовать неограниченный объем рабочего тела, уменьшать нагрузки путем демпфирования в пневмогидравлических цилиндрах recuperативного гидропривода энергии сжатого воздуха.

Lianpeng Xia (2018) в своих исследованиях для повышения энергоэффективности экскаватора предлагает использовать recuperативный гидропривод, который позволяет преобразовывать потенциальную энергию стрелы при ее опускании в гидравлическую энергию сжатой рабочей жидкости и накапливать ее в пневмогидравлическом аккумуляторе. Использование предлагаемого recuperативного гидропривода позволяет снизить потребление энергии на 50,1 % [9].

В статье Yunxiao Hao (2018) приводится описание recuperативной гидравлической системы

экскаватора GPER с гидроцилиндром HPES. На основании проведенных экспериментов было выявлено, что при работе экскаватора рекуперативный гидропривод стрелы позволяет восстанавливать около 43,9 % энергии. По сравнению с оригинальной системой энергопотребления гидравлического привода исследуемая система позволяет снизить энергопотребление за тот же рабочий цикл на 26,2 % [10].

Kimihiko Nakano (2004) в своей работе предлагает конструкцию рекуперативного шарико-винтового электромагнитного амортизатора, который включает в себя двигатель постоянного тока, шариковый винт и гайку. Линейные движения системы демпфирования, вызванные наездом колесом на препятствия, преобразуются во вращательное движение с помощью шарикового винта и гайки. Вращательное движение передается двигателю постоянного тока, который генерирует ток и после накапливает его в электрическом конденсаторе [11].

В работе Rafael Rivelino Silvo Bravo (2018) представлена новая рекуперативная система накопления гидравлической и пневматической энергии торможения транспортного средства в пневмогидравлическом аккумуляторе и воздушном ресивере. Результаты исследований, выполненных на основе имитационного моделирования, показали, что предлагаемая рекуперативная система способна восстанавливать 69 % энергии во время полной остановки транспортного средства [12].

Несмотря на простоту конструкций известных рекуперативных механизмов, используемых для снижения расхода топлива транспортных средств, на сегодняшний момент времени все еще отсутствуют удовлетворительные схемные решения рекуперативных ССУ ЛТ с ПП. В этой связи для повышения эффективности ЛТ с ПП представляется важной разработка и исследование его ССУ, позволяющего накапливать и повторно использовать в технологическом процессе погрузки-разгрузки сортиментов непроизводительно рассеиваемую в окружающую среду энергию.

Целью исследования является разработка рекуперативного гидравлического ССУ, обеспечивающего повышение эффективности ЛТ с ПП.

Материалы и методы

Исследование базировалось на принципах системного подхода с использованием методов сбора и анализа информации. Основой выполненного исследования являются научные труды отечественных, зарубежных ученых и специалистов, занимающихся разработкой и исследованием гидрофицированных технологических машин и оборудования с рекуперативными механизмами.

Результаты и обсуждение

ССУ применяются для буксировки ПП, они воспринимают продольные усилия, а также передают на ЛТ значительные вертикальные нагрузки от веса буксируемого ПП, одновременно выполняя функции поворотного механизма. ССУ состоит из: разъемно-цепного механизма, механизма гибкости, механизма амортизации и узла крепления (рис. 1) [1].

В зависимости от способа сцепки ЛТ с ПП находят применение два типа ССУ: у первого фиксации сцепки осуществляется шкворнем, у второго – роликами. Сцепная пара ССУ первого типа формируется захватом и шкворнем. Разъемно-цепные механизмы сцепной пары ССУ первого типа различаются следующими особенностями: видом выполнения сцепки (автоматическая или полуавтоматическая сцепка); количеством захватов (1 или 2); возможностью устранения зазоров (автоматическое устранение зазоров, ручное и без устранения). Сцепная пара ССУ второго типа формируется роликами и крюками. Такая конфигурация ССУ предоставляет возможность выполнения сцепки под различными углами, а также обеспечивает снижение в 2 раза сопротивления сцепки. Тем не менее, ССУ этого типа из-за сложной конструкции испытывают необходимость в более качественном обслуживании и многократных регулировках.

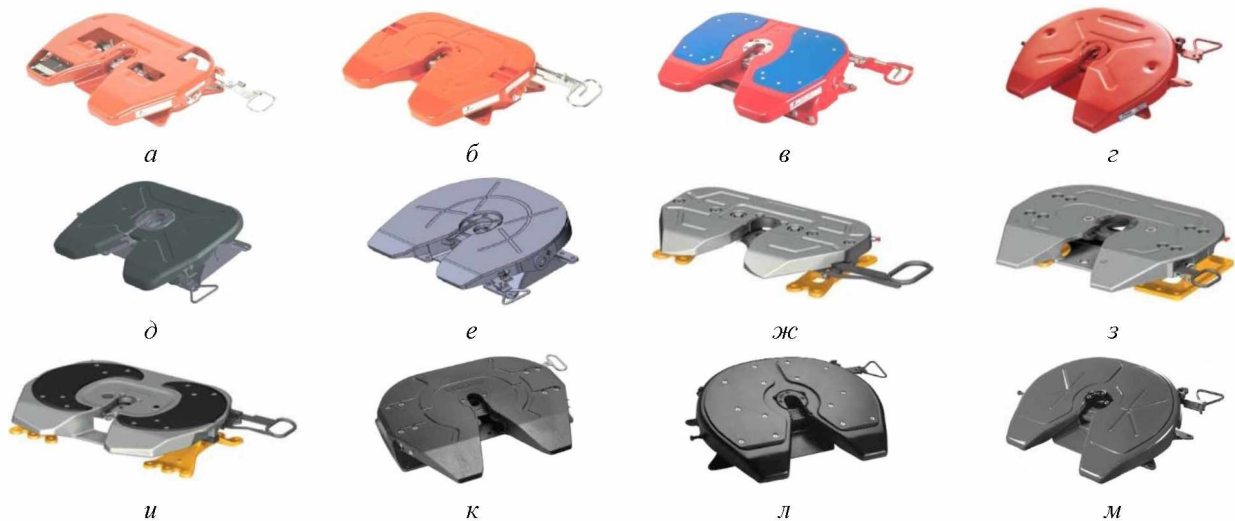
Наиболее широкое распространение на российском рынке нашли ССУ, выпускаемые ОАО «Гидромаш», а также ССУ европейских производителей Auger, ConMet, Jost, Georg, Fisher, Fontaine, Fuwa, Saf-Holland, V.Orlandi, Marshall и др. У каждого производителя имеется широкая номенклатура моделей ССУ под широкую номенклатуру транспортных средств и условия эксплуатации. Наиболее перспективные и самые распространенные модели ССУ, выпускаемые европейскими производителями, представлены на рис. 2.

Свыше 95 % всех современных ССУ имеют шкворневую конструкцию, состоящую из опорной плиты, разъемно-сцепного механизма, воспринимающих совместно с устройством крепления ССУ усилия при движении, ускорении и торможении ЛТ с ПП. Кроме этого конструкция ССУ включает в себя узел обеспечения гибкости. Сцепка ЛТ с ПП осуществляется путем установки шкворня в отверстие опорной плиты с дальнейшей фиксацией шарнирно установленными на пальцах захватами. Опорные плиты

ССУ изготавливают штампованными и литыми. Наиболее распространены литые опорные плиты ССУ, выполненные из чугуна с шаровидным графитом, обладающие малой массой и высокой жесткостью. Материалом для изготовления шкворней ССУ выступают высокопрочные стали. После изготовления поверхностный слой шкворня подвергается специальной термообработке. Срок службы современных ССУ шкворневого типа составляет 1,5-2 млн км [13].



Рис. 1. Основные узлы ССУ



Fontaine: *а* – 150SP, *б* – 163CI, *в* – 3000LM; Fuwa: *г* – FW78Q, *д* – FW79HCQ, *е* – FW79HZ; SafHolland: *ж* – GC6, *з* – SK-S 36.20W, *и* – SK-HD 38.36; V.Orlandi: *к* – RV02/E, *л* – RS08, *м* – MarshallM240

Рис. 2. ССУ, выпускаемые европейскими производителями

Европейские производители Auger, ConMet, Jost, Georg, Fisher, Fontaine, Fuwa, Saf-Holland, V.Orlandi, Marshall и др. для обеспечения высокой безопасности и надежности конструкции ССУ используют в основном однозахватные разъемно-сцепные механизмы, воспринимающие тяговые уси-

лия массивным запорным кулаком и захватом. Также современные конструкции ССУ предусматривают многоточечную систему смазки для уменьшения износа и обеспечения долговечности работы, а также исключают наличие быстро изнашиваемых компонентов, что обеспечивает повышенную надежность

и продлевает срок службы ССУ при эксплуатации в неблагоприятных дорожных условиях.

К ССУ ЛТ с ПП одновременно с такими общими требованиями, как малая стоимость, простота конструкции, небольшой вес, характерными для различных машин и механизмов, дополнительно предъявляются индивидуальные требования, среди которых выделяют обеспечение требуемой гибкости между звеньями ЛТ с ПП, возможность производства быстрых и безопасных для обслуживающего персонала операции по сцепке ЛТ с ПП и надлежущая амортизация нагрузок в ССУ.

Для ЛТ с ПП гибкость (рис. 3) определяется углами горизонтальной и вертикальной поворотливости ССУ ПП по отношению к продольной оси ЛТ.

Углы β и γ характеризуют возможность движения ЛТ с ПП по неровным дорогам со значительными по величине неровностями. Угол α определяет маневренные свойства ЛТ с ПП и его способность совершать крутые повороты и разворачиваться в условиях ограниченной площади. Если параметры гибкости неудовлетворительны, то при движении ЛТ с ПП по неровным дорогам с крутыми поворотами неизбежны серьезные поломки ССУ и деталей ходовой части. Для ЛТ с ПП угол вертикальной гибкости β должен быть не менее $\pm 8^\circ$, а угол горизонтальной гибкости $\alpha = \pm 90^\circ$, угол независимости ходов (поперечная гибкость) $\gamma = \pm 3^\circ$.

В соответствии с техническим регламентом таможенного союза ТР ТС 018/2011, ССУ ЛТ с ПП должно отвечать следующим требованиям: после сцепки ССУ ЛТ с ПП его замок должен закрыться автоматически; самопроизвольное расцепление ЛТ с ПП должно устраняться автоматической или ручной блокировкой ССУ; отсутствие в ССУ деталей, их креплений, дефекты опорной плиты, сцепного шкворня, гнезда шкворня в форме трещин, разрушений, деформаций и разрывов не допускаются; для ПП с максимальной технической допустимой массой до 40 т диаметр сцепного шкворня должен составлять в диапазоне от предельно допустимого, равного 48,3 мм, до номинального – 50,9 мм, а внутренний диаметр рабочих поверхностей захватов ССУ должен составлять от 50,8 мм до 55 мм; для ПП с максимальной технической допустимой массой до 55 т диаметр сцепного шкворня с клино-

вым замком должен составлять в диапазоне от предельно допустимого, равного 49 мм, до номинального – 50 мм, а для ПП с максимальной технической допустимой массой более 55 т диаметр сцепного шкворня с клиновым замком должен составлять в диапазоне от 86,6 мм до 89,1 мм соответственно [14].

Типы, основные размеры и технические требования, предъявляемые к ССУ, регламентируются международными и отечественными стандартами. Подбор ССУ для нового ЛТ с ПП осуществляется также согласно рекомендациям и допускам конкретного автопроизводителя.

ГОСТ 12105-74 регламентирует размеры, определяющие расположение ССУ на ЛТ и сцепного шкворня на ПП, свободное пространство ЛТ и ПП, а также допустимые углы наклона ПП по отношению к ЛТ в продольном (α и β) и поперечном (γ) направлениях. Для обеспечения взаимозаменяемости отечественных ЛТ и ПП ГОСТ 12017-81 регламентирует единые размеры сцепного шкворня и захватов разъемно-сцепного механизма седла. ГОСТ 28247-89 устанавливает типы ССУ в зависимости от типа сцепного шкворня, регламентирует применение ССУ в зависимости от приходящейся на них полной массы ЛТ и ПП, основные размеры ССУ, диапазон поворота ССУ и его маркировку. ГОСТ Р 50586-93 устанавливает технические требования к изготовлению сцепных шкворней и методам их испытаний. ГОСТ Р 41.55-2005 устанавливает требования, которым должны соответствовать ССУ и их элементы, для того чтобы их можно было рассматривать в качестве взаимосовместных с иностранными аналогами [15-19].

Для ССУ ЛТ с ПП, шкворень которых изготовлен по требованиям международного стандарта ISO-337, разработан и применяется международный стандарт ISO-3842, регламентирующий требования к диаметру отверстий креплений ССУ на ЛТ с ПП, их количеству и взаимному месторасположению. Международный стандарт ISO-1726 регламентирует: расстояние между кабиной ЛТ или установленных за ней агрегатов до оси отверстия ССУ для установки сцепного шкворня; расстояние от механизма опорного устройства до сцепного шкворня, радиус габарита передней части ПП и задней части ЛТ; высоту от уровня поверхности

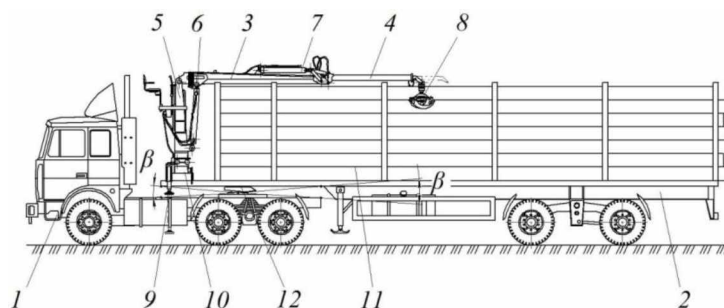
дороги до верхней плоскости ССУ ЛТ под номинальной нагрузкой; угол наклона α в вертикальной поперечной плоскости опорной плиты в обе стороны не более 3° ; угол наклона опорной плиты ССУ вперед-назад в вертикальной продольной плоскости β не менее 8° . ISO 4086 определяет характеристики шкворня ССУ ПП диаметром 89 мм (3,5 дюйма), используемого для сцепления транспортных средств большой грузоподъемности, а также регламентирует размерные характеристики, необходимые для монтажа и взаимозаменяемости [20-23].

Звенья ЛТ с ПП в большинстве случаев не имеют в ССУ упругой связи, и зазоры между шкворнем ПП и захватами седла ЛТ минимальные. Рассмотрим силы, действующие на ЛТ с ПП при торможении (рис. 4)[24].

Сила взаимодействия P_{KP} в ССУ между ЛТ и ПП даже при установившихся режимах движения ЛТ с ПП не сохраняется постоянной. Это связано с тем, что наличие неровностей на дороге и изменение состояния дорожных покрытий способствует изменению сопротивлений качения ЛТ с ПП. При неустановившихся режимах движения ЛТ с ПП в результате изменения тормозных сил происходит появление в горизонтальном продольном направлении перемещения звеньев ЛТ с ПП относительно друг друга. Эти перемещения, имеющие заметно выраженный колебательный характер, оказывают значительное влияние на эксплуатационные свойства ЛТ с ПП.

Я.Х. Закиным на основании проведенных исследований было получено выражение для расчета усилия P_{KP} , возникающего в ССУ при торможении ЛТ с ПП [24]:

$$P_{KP} = \frac{G_{II}}{g} j_{an} \left(1 - \frac{\chi}{m}\right),$$



где G_{II} – сила тяжести ПП, Н; g – ускорение свободного падения, m/s^2 ; j_{an} – ускорение ЛТ с ПП, m/s^2 ; χ – отношение $P_T / (P_T + P_{II})$ (P_T и P_{II} – тормозные силы на колесах звеньев ЛТ с ПП); m – коэффициент весовой характеристики.

Данное выражение указывает на то, что при одном и том же замедлении или ускорении ЛТ с ПП в ССУ может быть как усилие растяжения, так и сжатия. Опыт эксплуатации подтверждает целесообразность поддерживать ЛТ с ПП в несколько растянутом состоянии на тормозном и в режиме движения, так как при этом повышается устойчивость его движения и предотвращается складывание.

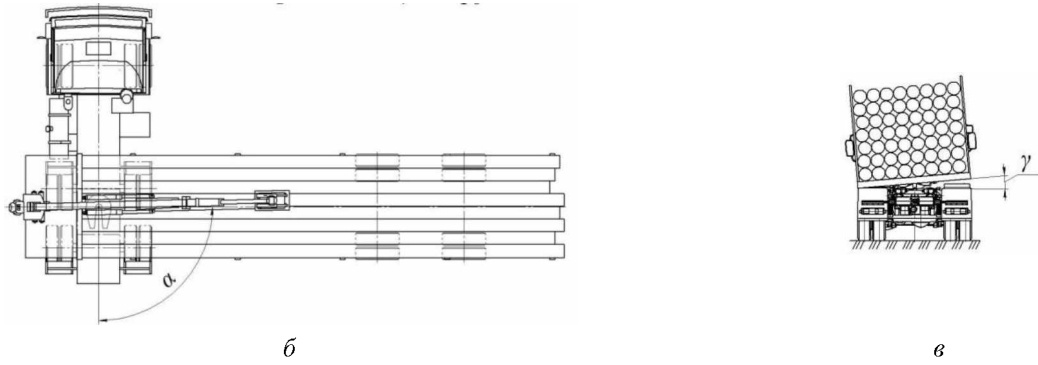
В результате расчетов, выполненных на основании выше приведенного выражения, получена зависимость нагрузки в ССУ ЛТ массой 3870 кг и ПП массой 9525 кг от коэффициента χ для различных значений ускорений торможения j_{an} , представленная на рис. 5. При увеличении значения коэффициента χ при заданном ускорении торможения усилие в ССУ снижается. Для ускорений торможения, не превышающих $j_{an} = 2,72 m/s^2$, усилие в ССУ может менять знак. При ускорениях торможения, больших чем $3,7 m/s^2$, в ССУ рассматриваемого ЛТ и ПП могут быть только усилия сжатия.

Влияние сил трения сказывается на уменьшении амплитуд собственных колебаний. Применительно к ЛТ МА3-504 с ПП это наглядно видно из графика, представленного на рис. 6.

Увеличение коэффициента трения в ССУ от 0 до 0,2 приводит к снижению максимальных нагрузок в среднем на 25-35 %. Однако повышение трения является нежелательным из-за снижения износостойкости и ухудшения условий сцепки ЛТ и ПП.

а

Рис. 3



α – угол складывания; β – угол продольной гибкости; γ – угол поперечной гибкости; 1 – ЛТ; 2 – ПП; 3, 4, 5 – стрела, рукоять и колонна гидроманипулятора; 6, 7 – гидроцилиндры стрелы и рукояти; 8 – челюстной захват; 9 – аутригер; 10 – насосно-аккумуляторный узел; 11 – сортименты; 12 – ССУ
Рис. 3 (окончание). Углы гибкости ЛТ с ПП, оснащенным гидроманипулятором

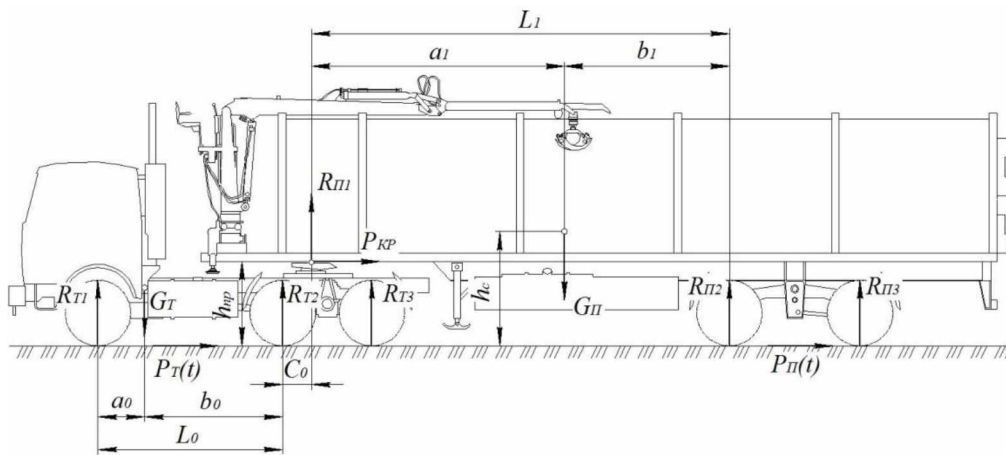
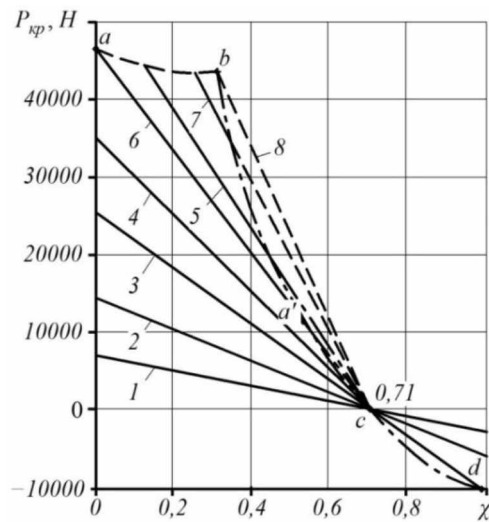


Рис. 4. Схема сил, действующих на звенья ЛТ с ПП при торможении



1 – $j_{ан} = 0,75 \text{ м/с}^2$; 2 – $j_{ан} = 1,50 \text{ м/с}^2$; 3 – $j_{ан} = 2,72 \text{ м/с}^2$; 4 – $j_{ан} = 3,70 \text{ м/с}^2$; 5 – $j_{ан} = 4,85 \text{ м/с}^2$;
6 – $j_{ан} = 5,60 \text{ м/с}^2$; 7 – $j_{ан} = 7,10 \text{ м/с}^2$; 8 – $j_{ан} = 7,85 \text{ м/с}^2$; $G_a = 3870 \text{ кг}$; $G_n = 9525 \text{ кг}$; $h_c = 1,6 \text{ м}$; $h_{np} = 1,2 \text{ м}$;
 $L_1 = 4,34 \text{ м}$; $a_1 = 2,6 \text{ м}$; $m = 0,71$; $\varphi = 0,8$

Рис. 5. Зависимости силы $P_{кр}$ от ускорения торможения $j_{ан}$ и коэффициента распределения тормозных сил χ

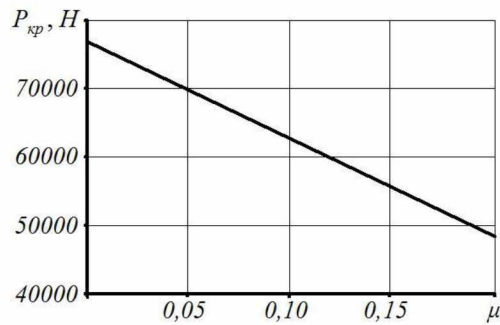


Рис. 6. Зависимость величины максимальных нагрузок в ССУ от сил трения

В эксплуатационных условиях коэффициент трения обычно составляет $\mu = 0,08-0,12$, что дает снижение пиковых нагрузок примерно на 10-15 % [25].

На основании исследований, проводимых на кафедре производства, ремонта и эксплуатации машин ВГЛТУ имени Г.Ф. Морозова, авторами предлагается перспективная конструкция рекуперативного ССУ ЛТ с ПП, схема которого представлена на рис. 7 [3-8].

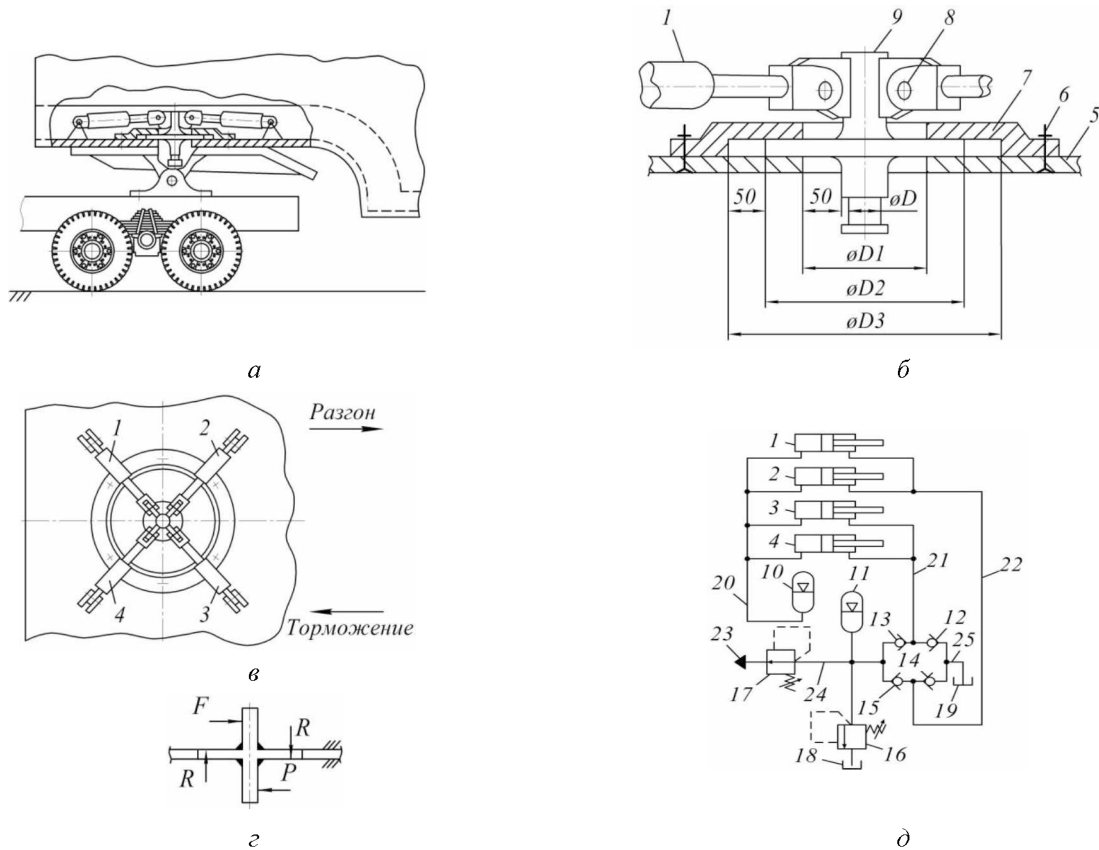
Работа рекуперативного ССУ ЛТ с ПП основана на использовании кинетической энергии, возникающей от силы инерции массы ПП при торможении, разгоне, поворотах, переключении передач и наезде на препятствия в процессе движения. Рекуперативное ССУ позволяет накапливать и повторно использовать гидравлическую энергию в технологическом процессе погрузки-разгрузки сортиментов гидроманипулятором, установленным на ЛТ с ПП.

Рекуперативное ССУ устанавливается в передней части рамы ПП (рис. 7, а). В неподвижном состоянии ЛТ с ПП опорная плита ССУ находится в зацепленном состоянии со шкворневым устройством ПП (рис. 7, а). При этом шкворень 9 установлен в круглое отверстие рамы 5 ПП в положение, при котором между его основанием и контурами отверстия предусмотрительно образован зазор 50 мм, обеспечиваемый демпферным механизмом (рис. 7, б).

При торможении ЛТ с ПП работа рекуперативного ССУ заключается в следующем. ПП перемещается под воздействием силы инерции от своей движущейся массы в сторону тормозящего ЛТ, вследствие этого происходит перемещение влево шкворня с соединенными с ним штоками гидроци-

линдров, штоки гидроцилиндров 2 и 3, перемещаясь влево, сжимают рабочую жидкость в штоковых полостях, которая посредством гидравлических магистралей 21 и 22, обратных клапанов 12-14 и напорного трубопровода 24 поступает в пневмогидравлический аккумулятор 11. Этим обеспечивается рекуперация энергии рабочей жидкости, которая под возросшим давлением поступает либо непосредственно потребителю через гидравлический порт 23, либо в случае полной зарядки пневмогидравлического аккумулятора 11 сбрасывается через предохранительный клапан 16 в гидравлический бак 18. Штоки гидроцилиндров 1 и 4, перемещаясь влево, сжимают рабочую жидкость в поршневых полостях, которая посредством гидравлической магистрали 20 поступает в пневмогидравлический аккумулятор 10, выполняющий функции демпферного механизма.

Возвращение гидравлических цилиндров 1 и 4 в исходное положение после окончания торможения происходит за счет давления рабочей жидкости в пневмогидравлическом аккумуляторе 10 демпферного механизма. Возвращение гидроцилиндров 2 и 3 в исходное положение происходит за счет взаимной связи всех штоков при возвращении в исходное состояние гидроцилиндров 1 и 4, при этом из-за образующегося разрежения в штоковых полостях гидроцилиндров 2 и 3 рабочая жидкость поступает в нее из гидравлического бака 19 посредством гидравлических магистралей 21 и 22, обратных клапанов 12, 13, 15 и всасывающего трубопровода 25.



а, б, в – общий вид ССУ; *г* – силовая схема при разгоне; *д* – рекуперативный гидропривод; *1-4* – гидравлические цилиндры; *5* – плита; *6* – крепления; *7* – крышка, *8* – ось; *9* – шкворень; *10, 11* – пневмогидравлические аккумуляторы; *12-15* – обратные клапаны; *16, 17* – предохранительные клапаны; *18, 19* – гидравлические баки; *20-22* – гидравлические магистрали; *23* – потребители гидравлической энергии; *24* – напорный трубопровод; *25* – всасывающий трубопровод

Рис. 7. Рекуперативное ССУ ЛТ с ПП

При трогании ЛТ с ПП рассмотренные ранее рабочие циклы рекуперативного ССУ повторяются, только рекуперация энергии рабочей жидкости происходит в этом случае в *1* и *4* гидравлических цилиндрах. Далее, при движении ЛТ с ПП с ускорениями и замедлениями, обусловленными многочисленными факторами, воздействующими на ЛТ с ПП, рабочие циклы рекуперативного ССУ ЛТ с ПП чередуются аналогично приведенному выше описанию.

Выводы

В результате проведенного исследования было установлено:

- эффективность использования лесовозных тягачей с полуприцепами зависит от совокупности их свойств и в значительной мере сдерживается конструктивными недостатками некоторых узлов и

агрегатов тягачей, в частности, конструктивным несовершенством ССУ;

- в настоящее время на российском рынке наибольшее распространение получили шкворневые ССУ европейских производителей с однозахватными разъемно-сцепными механизмами, в которых для повышения их срока службы при эксплуатации в неблагоприятных дорожных условиях предусмотрена многоточечная система смазки;

- при несоответствии углов гибкости ЛТ с ПП нормативным значениям неизбежны серьезные поломки ССУ и деталей ходовой части ЛТ;

- при увеличении значения коэффициента распределения тормозных сил ЛТ с ПП при заданном замедлении усилие, возникающее в ССУ при торможении ЛТ с ПП, снижается. Увеличение коэффициента трения в ССУ в диапазоне от 0 до 0,2

приводит к снижению максимальных нагрузок в нем на 25-35 %;

– практическое использование предлагаемого авторами рекуперативного ССУ позволит снизить расход топлива ЛТ с ПП, повысить надежность ЛТ с ПП за счет демпфирующих свойств гидравлического

рекуперативного ССУ, улучшить плавность хода при движении ЛТ с ПП по недостаточно обустроенным дорогам и обеспечить, таким образом, более благоприятные условия труда водителю.

Библиографический список

1. Щукин, М. М. Сцепные устройства автомобилей и тягачей / М. М. Щукин // МАШГИЗ, Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы. – Москва, Ленинград, 1961. – 211 с.
2. Ким, В. А. Математическая модель ударного нагружения шарнирного пальца сцепного устройства седельного автопоезда / В. А. Ким, А. А. Полунгян // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». – 2004. – № 2. – С. 51–61.
3. Посметьев, В. И. Повышение эффективности лесовозного автомобиля с помощью рекуперативного гидропривода / В. И. Посметьев, В. О. Никонов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 131(07).
4. Патент на изобретение № 2668093 РФ, МПК А01G 23/00, В66F 9/22. Рекуперативный гидропривод лесовозного автомобиля / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев, М. А. Латышева ; заявитель ФГБОУ ВО ВГЛТУ имени Г.Ф. Морозова. – № 2017136631 ; заявл. 17.10.2017 ; опубл. 26.09.2018.
5. Разработка принципов повышения устойчивости автопоездов при экстренном торможении на прямолинейном участке и отказе тормозной системы прицепного звена / Г. Г. Анкинович, А. Н. Вержбицкий, М. М. Жилейкин, Г. И. Скотников // Известия высших учебных заведений. Машиностроение, № 5 (674), 2016. – С. 23–29.
6. Никонов, В. О. Анализ конструктивных особенностей тягово-сцепных устройств грузовых автомобилей с прицепами / В. О. Никонов, В. И. Посметьев, Р. В. Журавлев // Воронежский научно-технический вестник. – 2018. – Т. 4, № 4 (26). – С. 13–24. – URL: <http://vestnikvglta.ru/arhiv/2018/4-4-26-2018/13-24.pdf>.
7. Посметьев, В. И. Повышение эффективности гидропривода многофункционального автомобиля для ухода за полезащитными лесными полосами / В. И. Посметьев, В. О. Никонов // Вестник ВГАУ. – 2017. – № 4 (55). – С. 140–149.
8. Posmetev, V. I. Investigation of the energy-saving hydraulic drive of a multifunctional automobile with a subsystem of accumulation of compressed air energy / V. I. Posmetev, V. O. Nikonov, V. V. Posmetev // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering, ISPCIEТ'2018, № 441 (2018) 012041. Article ID 57204207263, 7 pages. DOI : 10.1088/1757-899X/441/1/012041.
9. Energy efficiency analysis of integrated drive and energy recuperation system for hydraulic excavator boom / Lianpeng Xia, Long Quan, Lei Ge, Yunxiao Hao // Energy Conversion and Management, 156, 2018, Article ID 57196457880, pp. 680-687. DOI : 10.1016/j.enconman.2017.11.074.
10. Potential energy directly conversion and utilization methods used for heavy duty lifting machinery / Yunxiao Hao, Long Quan, Hang Cheng [et al.] // Energy, 155(2018), Article ID 57188722118, pp. 242-251. DOI: 10.1016/j.energy.2018.05.015.
11. Kimihiko Nakano. Combined type self-powered active vibration control of truck cabins / Kimihiko Nakano // Vehicle System Dynamics 41.6 (2004), Article ID 7402011387, pp. 449-473. DOI: 10.1080/00423110512331383858.
12. Rafael Rivelino Silva Bravo. Design and analysis of a parallel hydraulic-pneumatic regenerative braking system for heavy-duty hybrid vehicles / Rafael Rivelino Silva Bravo, Victor Juliano De Negri, Amir Antonio Martins Oliveira //

Applied Energy 225 (2018), Article ID 57201819693, pp. 60-77. DOI : 10.1016/j.apenergy.2018.04.102.

13. Васильев, В. Седельно-сцепное устройство (ССУ) Часть 1 / В. Васильев. URL: <https://os1.ru/article/7250-sedelno-stsepnoe-ustroystvo-ssu-sedlat-tyagachi-ch-1>.

14. Технический регламент таможенного союза ТРТС 018/2011. О безопасности колесных транспортных средств. – 465 с.

15. ГОСТ 12105-74. Тягачи седельные и полуприцепы. Присоединительные размеры : издание официальное : дата введения 1975-01-01. – Москва : Государственный комитет СССР по стандартам, 1974. – 5 с.

16. ГОСТ 12017-81. Шкворни сцепные автомобильных полуприцепов. Типы и основные размеры : издание официальное : дата введения 1983-01-01. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1981. – 4 с.

17. ГОСТ 28247-89. Устройства седельно-сцепные седельных тягачей. Типы, основные размеры и технические требования : издание официальное : дата введения 1991-01-01. – Москва : Стандартиформ, 2006. – 4 с.

18. ГОСТ Р 50586-93. Шкворни сцепные автомобильных полуприцепов. Технические требования и методы испытаний : издание официальное : дата введения 1995.01.01. – Москва : Госстандарт России, 1995. – 8 с.

19. ГОСТ Р 41.55-2005 (Правила ЕЭК ООН № 55). Единообразные предписания, касающиеся механических сцепных устройств составов транспортных средств : издание официальное : дата введения 2006-07-01. – Москва : Стандартиформ, 2006. – 55 с.

20. ISO 337-1981. Road vehicles – 50 semi-trailer fifth wheel coupling pin – Basic and mounting / interchangeability dimensions. – Introduced 1981-12-01.

21. ISO 1726. Road vehicles – Mechanical coupling between tractors and semi-trailers – Interchangeability. – Introduced 2000-05-15.

22. ISO 4086. Road vehicles – 90 semi-trailer fifth wheel kingpin – Interchangeability. – Introduced 2001-10-15.

23. ISO 3842. Road vehicles – Fifth wheels – Interchangeability. – Introduced 2006-12-15.

24. Закин, Я. Х. Прикладная теория движения автопоезда / Я. Х. Закин. – Москва: Транспорт, 1967. – 258 с.

25. Конструирование и расчет автомобильных поездов / Я. Х. Закин, М. М. Щукин, С. Я. Марголис, П. П. Ширяев, А. С. Андреев. – Ленинград : Машиностроение, 1968. – 332 с.

References

1. Schukin M. M. *Scepnoe ustroystvo avtomobilei i tyagachei. Konstrukciya, teoriya, raschet* [Coupling car and tractor. Construction, theory, calculation]. MASHGIZ, Gosudarstvennoe nauchno-tehnicheskoe izdatelstvo mashinostroitelnoi literature, Moskva [MASHGIZ, State Scientific and Technical Publishing House of Engineering Literature, Moscow], 1961, 211 p. (In Russian).

2. Kim V. A., Polungyan A. A. *Matematicheskaya model udarnogo nagrujeniya sharnirnogo palcascepnogo ustroystva sedelnogo avtopoezda* [Mathematical model of shock loading of the articulated pin of the fifth wheel coupling]. *Vestnik MGTU im. N. E. Baumana. Ser. «Mashinostroenie»* [Bulletin MGTU them. N. E. Bauman. Ser. "Engineering"], 2004, № 2, pp. 51-61. (In Russian).

3. Posmetev V. I., Nikonov V. O. *Povishenie effektivnosti lesovoznogo avtomobilya s pomoschyu rekuperativnogo gidroprivoda* [Increasing the efficiency of a forest truck with a recuperative hydraulic drive]. *Politematicheski i setevoi elektronii nauchnii jurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University], 2017, № 131(07), 14 p. (In Russian).

4. Posmetev V. I., Nikonov V. O., Posmetev V. V., Latisheva M. A. *Rekuperativni i gidroprivod lesovoznogo avtomobilya* [Recuperative hydraulic drive of a forest truck]. Patent RF, no. 2668093, 2018.

5. Ankinovich G. G., Verjbickii A. N., Jileikin M. M., Skotnikov G. I. *Razrabotka principov povisheniya ustoichivosti avtopoezdov pri ekstremnom tormozhenii na pryamolineinom uchastke i otkaze tormoznoi sistemi pricepnogo* [Development of principles for improving the stability of road trains during emergency braking on a straight section and failure of the brake system of the trailer link] *Izvestiya visshih uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie* [Proceedings of higher educational institutions. Engineering], 2016, № 5 (674), pp. 23-29. (In Russian).
6. Nikonov V. O., Posmetev V. I., Juravlev R. V. *Analiz konstruktivnykh osobennoste i tyagovo-scepnih ustroystv gruzovykh avtomobilei s pricepami* [Analysis of the design features of the trailer coupling of trucks with trailers]. *Voronezhskii nauchno-tekhnicheskii vestnik* [Voronezh Scientific and Technical Gazette], 2018, Vol. 4, №.4 (26).pp. 13-24. (In Russian).
7. Posmetev V. I., Nikonov V. O. *Povishenie effektivnosti gidroprivoda mnogofunktsionalnogo avtomobilya dlya uhoda za polezaschitnymi lesnymi polosami* [Improving the efficiency of the hydraulic drive of a multifunctional vehicle for the care of forest shelter belts]. *Voronezhskii gosudarstvennii agrarnii universitet im. Imperatora Petra I* [Voronezh State Agrarian University. Emperor Peter I], no4 (55), 2017, pp. 140-149. (In Russian).
8. Posmetev V. I., Nikonov V. O., Posmetev V. V. Investigation of the energy-saving hydraulic drive of a multifunctional automobile with a subsystem of accumulation of compressed air energy, IOP Conference Series : Materials Science and Engineering, ISPCIE'2018, № 441 (2018) 012041, Article ID 57204207263, 7 pages; doi : 10.1088/1757-899X/441/1/012041.
9. Lianpeng Xia, Long Quan, Lei Ge, Yunxiao Hao Energy efficiency analysis of integrated drive and energy recuperation system for hydraulic excavator boom, Energy Conversion and Management, 156, 2018, Article ID 57196457880, pp. 680-687 ;doi : 10.1016/j.enconman.2017.11.074.
10. Yunxiao Hao, Long Quan, Hang Cheng et al. Potential energy directly conversion and utilization methods used for heavy duty lifting machinery, Energy, 155(2018), Article ID 57188722118, pp. 242-251 ;doi: 10.1016/j.energy.2018.05.015.
11. Kimihiko Nakano Combined type self-powered active vibration control of truck cabins // Vehicle System Dynamics 41.6 (2004), Article ID 7402011387, pp. 449-473 ;doi: 10.1080/00423110512331383858.
12. Rafael Rivelino Silva Bravo, Victor Juliano De Negri, Amir Antonio Martins Oliveira Design and analysis of a parallel hydraulic-pneumatic regenerative braking system for heavy-duty hybrid vehicles, Applied Energy 225 (2018), Article ID 57201819693, pp. 60-77 ;, doi : 10.1016/j.apenergy.2018.04.102.
13. Vasilev, V. *Sedelno-scepnoe ustroystvo (SSU) Chast 1* [Fifth wheel coupling (SSU) Part 1] Available at : <https://os1.ru/article/7250-sedelno-stsepnoc-ustroystvo-ssu-sedlat-tyagachi-ch-1> (accessed 10 April 2019). (In Russian).
14. *Tekhnicheskii reglament tamojennogo soyuza TRTS 018/2011. O bezopasnosti kolesnykh transportnykh sredstv* [Technical Regulations of the Customs Union TRTS 018/2011. On the safety of wheeled vehicles], 465 p. (In Russian).
15. GOST 12105-74. *Tyagachi sedelnie i polupricepi. Prisoedinitelnye razmeri* [State Standard 12105-74. Truck saddles and semi-trailers. Connecting dimensions]. Moscow, USSR State Committee on Standards, 1974, 5 p. (In Russian).
16. GOST 12017-81. *Shkvorn iscepnie avtomobilnykh polupricepov. Tipi i osnovnye razmeri* [State Standard 12017-81. Pins coupling automobile semi-trailers. Types and main sizes]. Moscow, IPK Publishing house of standards, 1981.4 p. (In Russian).
17. GOST 28247-89. *Ustroystva sedelno-scepnie sedelnykh tyagachei. Tipi, osnovnye razmeri i tekhnicheskie trebovaniya* [State Standard 28247-89. Devices saddle-coupled truck tractor. Types, main dimensions and technical requirements]. Moscow, Standardinform, 2006.4 p. (In Russian).
18. GOST R 50586-93. *Shkvorni scepnie avtomobilnykh polupricepov. Tekhnicheskie trebovaniya i metody ispitaniya* [State Standard R 50586-93. Pins coupling automobile semi-trailers. Technical requirements and test methods]. Moscow, State Standard of Russia, 1995. 8 p. (In Russian).
19. GOST R 41.55-2005 (*Pravila EEK OON № 55*). *Edinoobraznie predpisaniya, kasayushiesya mekhanicheskikh scepnih ustroystv sostavov transportnykh sredstv* [State Standard R 41.55-2005 (UNECE Regulation No.

55).Uniform provisions for mechanical coupling devices of vehicles]. Moscow, Standardinform, 2006. 55 p. (In Russian).

20. ISO 337-1981. Road vehicles – 50 semi-trailer fifth wheel coupling pin – Basic and mounting / interchangeability dimensions. Introduced 1981-12-01.

21. ISO 1726. Road vehicles – Mechanical coupling between tractors and semi-trailers – Interchangeability. Introduced 2000-05-15.

22. ISO 4086. Road vehicles – 90 semi-trailer fifth wheel kingpin – Interchangeability. Introduced 2001-10-15.

23. ISO 3842. Road vehicles – Fifth wheels – Interchangeability. Introduced 2006-12-15.

24. Zakin Ya. H. *Prikladnaya teoriya dvizheniya avtopoezda* [Applied theory of movement of a train]. *Izdatelstvo «Transport», Moskva* [Publishing House "Transport", Moscow], 1967. 258 p.(InRussian).

25. Zakin Ya. H., Schukin M. M., Margolis S. Ya., Shiryaev P. P., Andreev A. S. *Konstrukcii i raschet avtomobilnih poezdov* [Constructions and calculation of car trains]. *Izdatelstvo Mashinostroenie, Leningrad* [Publishing Mashinostroeni, Leningrad], 1968, 106 p. (In Russian).

Сведения об авторах

Посметьев Валерий Иванович – профессор кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», доктор технических наук, профессор, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: posmetyev@mail.ru.

Никонов Вадим Олегович – доцент кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат технических наук, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: 8888nike8888@mail.ru.

Посметьев Виктор Валерьевич – доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат физико-математических наук, доцент, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: victorvpo@mail.ru.

Information about authors

Posmetev Valerii Ivanovich – Professor, department of production, repair and operation of cars, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", DSc (Engineering), Voronezh, Russian Federation; e-mail: posmetyev@mail.ru.

Nikonov Vadim Olegovich – Associate Professor, department of production, repair and operation of cars, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", PhD (Engineering), Voronezh, Russian Federation; e-mail: 8888nike8888@mail.ru.

Posmetev Viktor Valerevich – Associate Professor, department of mechanization of forestry and design of cars, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail:victorvpo@mail.ru.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МОДУЛЬНОЙ МНОГОВАЛЬНОЙ ТОРСИОННОЙ ПОДВЕСКИ ЛЕСОВОЗНОГО АВТОМОБИЛЯ

доктор технических наук, профессор **В.И. Посметьев**

кандидат технических наук, доцент **В.О. Никонов**

доктор технических наук, доцент **В.А. Зеликов**

магистр **И.В. Сизьмин**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Российская Федерация

Обосновано значение повышения эксплуатационных свойств подвески лесовозного автомобиля. Представлена перспективная конструкция лесовозного автомобиля для перевозки сортиментов, оснащенного независимыми торсионными подвесками, выполненными в виде отдельных колесных модулей. Для изучения эффективности новой конструкции торсионной подвески разработана и исследована математическая модель, учитывающая согласованную работу нескольких торсионных валов, движение колеса лесовозного автомобиля и взаимодействие колес с опорной поверхностью. Моделирование в целом основано на методах классической механики. Модель состоит из подсистемы поступательного вертикального движения колеса, соединенного рычагом с торсионной подвеской, и подсистемы вращения тел торсионной подвески. Приведены схемы для описания движения колеса и для составления системы уравнений динамики вращательного движения валов торсионной подвески. Для исследования математической модели и проведения компьютерных экспериментов с модульной торсионной подвеской лесовозного автомобиля разработана компьютерная программа. С ее помощью исследовано влияние параметров модульной торсионной подвески лесовозного автомобиля, рельефа опорной поверхности и условий эксплуатации лесовозного автомобиля на показатели эффективности торсионной подвески. Разработанная программа позволила воспроизвести как безлюфтовые режимы, так и режимы с редкими и частыми случаями люфта в шестеренном соединении торсионной подвески. Получены зависимости вероятности люфта от угла равновесного положения рычага подвески и вероятности люфта от скорости движения лесовозного автомобиля. Обнаружено, что вероятность появления люфта снижается по сигмоидальному закону с увеличением равновесного углового положения рычага торсионной подвески и, следовательно, с увеличением усилия прижатия колеса к поверхности. Также выявлено, что вероятность появления люфта убывает с повышением скорости по S-образной зависимости.

Ключевые слова: лесовозный автомобиль, лесной комплекс страны, вывозка древесины, торсионная подвеска, колесный модуль, математическая модель, имитационное моделирование.

RESULTS OF IMITATION MODELING OF MODULAR MULTI-VERSE TORSION SUSPENSION OF A FORESTRY CAR

DSc (Engineering), Professor **V.I. Posmetev**

PhD (Engineering), Associate Professor **V.O. Nikonov**

DSc (Engineering), Associate Professor **V.A. Zelikov**

Master **I.V. Sizmin**

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov»,
Voronezh, Russian Federation

Abstract

The importance of improving the performance properties of the suspension of a forest truck is substantiated. A perspective design of a timber truck for transportation of assortments, equipped with independent torsion pendants

made in the form of separate wheel modules, is presented. To study the effectiveness of the new torsion suspension design, a mathematical model has been developed and investigated, which takes into account the coordinated work of several torsion shafts, wheel movement of a timber truck and interaction of wheels with a supporting surface. The simulation is generally based on the methods of classical mechanics. The model consists of a subsystem of translational vertical motion of a wheel connected by a lever with a torsion suspension and a subsystem of rotation of bodies of a torsion suspension. Schemes are given for describing the movement of the wheel and for drawing up a system of equations for the dynamics of the rotational movement of the shafts of the torsion suspension. A computer program has been developed to study the mathematical model and conduct computer experiments with a modular torsion suspension of a timber truck. With its help, the influence of the modular torsion suspension parameters of a timber truck, the relief of the bearing surface and the operating conditions of a timber truck on the performance indicators of a torsion suspension has been investigated. The developed program made it possible to reproduce both backlash-free modes, and modes with rare and frequent backlash cases in the gear connection of the torsion suspension. The dependences of the backlash probability on the angle of the equilibrium position of the suspension arm and the backlash probability on the speed of movement of the forest truck are obtained. It was found that the probability of a backlash decreases according to a sigmoidal law with an increase in the equilibrium angular position of the lever of the torsion bar suspension, and therefore with an increase in the force of pressing the wheel to the surface. It was also found that the likelihood of backlash decreases with increasing speed along the S-shaped dependence.

Keywords: timber truck, forest complex of the country, timber hauling, torsion bar suspension, wheel module, mathematical model, simulation modeling.

Введение

Практика эксплуатации лесовозных автомобилей в лесном комплексе страны, а также многочисленные результаты исследований последних лет свидетельствуют о том, что их эксплуатация на лесовозных дорогах низкого качества способствует снижению на 35-45 % средней скорости движения, уменьшению на 15-30 % межремонтного пробега, значительному повышению расхода топлива, утомляемости водителя и снижению уровня безопасности движения. Одной из главных причин, приводящих к такому значительному снижению уровня эксплуатационных свойств лесовозного автомобиля, является низкий уровень совершенства конструкций используемых подвесок, являющихся одним из главных устройств, обеспечивающих защиту лесовозного автомобиля от возникающих динамических воздействий, обусловленных низким качеством лесовозных дорог [1].

Улучшение эксплуатационных свойств подвески представляет наиболее важную роль для лесовозных автомобилей, используемых в лесном комплексе страны. Точное установление параметров поддресоривания и подбор конструкции подвески лесовозного автомобиля позволит снизить количество затрат, прямо или косвенно связанных с

перевозкой лесоматериалов. В данный момент в российской и зарубежной литературе приведены разнообразные перспективные конструкции подвесок для грузовых автомобилей, описаны результаты теоретических и практических исследований их основных показателей эффективности.

Fei Ding и Nong Zhang (2016) в своих исследованиях предлагают новую конструкцию гидравлической подвески, используемую для трехосного грузового автомобиля. На основе математического моделирования выявлено, что предлагаемая конструкция подвески в сравнении с традиционной обладает улучшенными демпфирующими свойствами, способствующими эффективному подавлению крена кузова грузового автомобиля [2].

В статье М.М. Maheyeldein (2018) приведено сравнение на основе имитационного моделирования пневматической и рессорной подвесок с точки зрения ходовых качеств и характеристик сцепления с дорогой. Полученные результаты показали, что использование пневматических подвесок в сравнении с рессорными позволяет увеличить на 10 % ход подвески и на 20 % динамические нагрузки на шины [3].

О.М. Anubi и D.R. Patel (2013) в своей работе провели исследование новой конструкции подвески

с переменной жесткостью, регулируемой путем перемещения точки крепления вертикальной стойки к кузову автомобиля. Полученные теоретические и экспериментальные результаты показали, что новая конструкция подвески с переменной жесткостью имеет лучшие характеристики в сравнении с традиционной подвеской [4].

Работа Gokul Prasad (2019) посвящена инновационной конструкции пневматической подвески с системой управления LQR. Результаты моделирования выявили, что система управления LQR пневматической подвеской позволяет повысить комфортные условия работы водителя при движении по дорогам низкого качества [5].

В статье Miss Abhav Madhuri Vilas, D. S. Galhe и Hredaya Mishra (2018) приведено описание конструкции и работы современной торсионной подвески, используемой в грузовых автомобилях. На основе имитационного моделирования в работе проведены сравнительные исследования торсионных валов, выполненных из различных материалов. Выявлено, что использование углеродного композиционного материала позволит снизить напряжение кручения в 3 раза и уменьшить на 20 % деформацию торсионного вала [6].

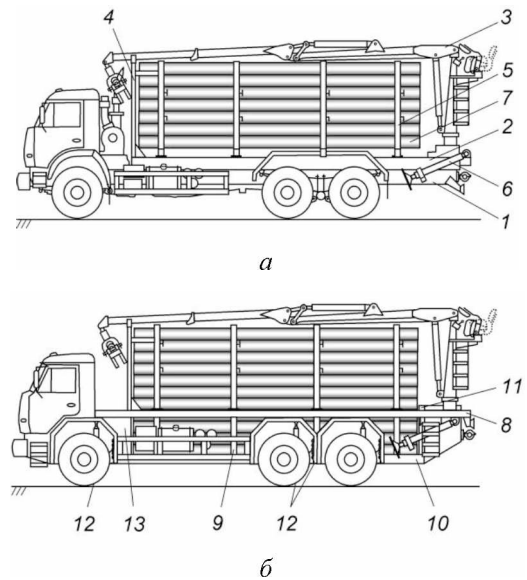
Подвляющее большинство лесовозных полноприводных автомобилей в России и за рубежом осуществляется по схеме с зависимой автономной подвеской передних и задних мостов колесной формулы 4×4 и передних мостов колесной формулы 6×6 (рис. 1, а). В таких подвесках упругими элементами являются цилиндрические винтовые пружины и листовые рессоры. Подвеска задних мостов лесовозных автомобилей колесных формул 6×6 и 8×8 чаще зависимая балансирующая и реже зависимая автономная [7].

Полный ход у зависимых подвесок лесовозных автомобилей как отечественных, так и зарубежных производителей за редким исключением превышает 220-250 мм, что и способствует снижению средних скоростей их движения на лесовозных дорогах низкого качества.

Использование в ходовой части лесовозных автомобилей зависимых подвесок приводит: к снижению боковой устойчивости лесовозного автомобиля, к опрокидыванию в связи с высоким расположением его центра тяжести, к высокому расположению грузо-

вой платформы и невозможности полезного использования подкузовного и межколесного пространства. Следствием использования зависимых подвесок является неоправданно уменьшенный дорожный просвет, а также многочисленные выступающие вниз элементы конструкции узлов ходовой части, снижающие надежность и ухудшающие проходимость лесовозного автомобиля в условиях бездорожья.

С целью устранения отмеченных недостатков лесовозных автомобилей авторами были проанализированы из доступных литературных источников и патентных материалов многочисленные традиционные и оригинальные конструкции подвесок автомобилей. Это позволило предложить конструкцию независимой торсионной подвески, выполненной в виде колесного модуля (рис. 2) [8].

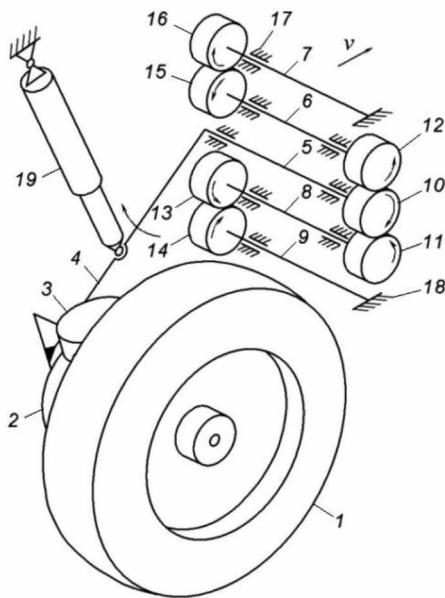


1 – рама; 2 – платформа; 3 – гидравлический манипулятор; 4 и 11 – стенки передняя и задняя; 5 – стойка не откидная; 6 – аутригер; 7 – сортименты; 8 ... 10 – элементы рамы: лонжерон, стойка и брус, соответственно; 12 – модуль колесный; 13 – отсек силового агрегата

Рис. 1. Схемы лесовозных автомобилей колесной формулой 6×6 традиционной (а) и перспективной (б) конструкций для перевозки сортиментов

В качестве примера на рис. 1, б предложена схема лесовозного автомобиля с гидроманипулятором для перевозки сортиментов. Здесь функции независимых передней и задней подвесок выполняют унифицированные колесные модули с независимой торсионной подвеской.

Важным достоинством предлагаемой конструкции является возможность достижения необходимой ее жесткости путем подключения к ведущему зубчатому колесу 10 центрального торсионного вала 5 нескольких зубчатых колес с торсионными валами, параллельно расположенными относительно центрального. Такое компонование торсионных валов позволяет выполнять подвески автономными, компактными и более рационально использовать межколесное пространство транспортного средства по сравнению с традиционными типами подвесок.



1 – колесо; 2 – гидравлический мотор-редуктор; 3 – механизм поворота колеса; 4 – вилка-рычаг; 5-9 – торсионные валы; 10 – ведущее зубчатое колесо; 11-16 – зубчатые колеса; 17 – подшипник; 18 – корпус лесовозного автомобиля; 19 – амортизатор
Рис. 2. Схема устройства колесного модуля с независимой торсионной подвеской

Материалы и методы

Для изучения эффективности новой конструкции торсионной подвески, выполненного в виде колесного модуля, целесообразно использовать математическое моделирование. Современные математические модели позволяют с высокой физической адекватностью воспроизвести исследуемый объект [9-12]. В модели работы торсионной подвески необходимо учесть согласованную работу нескольких торсионных валов, движение колеса лесовозного автомобиля, взаимодействие колеса с опорной поверхностью. Модель должна позволить

сравнить многовальную торсионную подвеску с одновальной, оценить преимущества и недостатки многовальной торсионной подвески. Модель должна учитывать люфт в контактирующих шестернях.

Моделирование в целом основано на методах классической механики. Модель состоит из двух подсистем: подсистема поступательного вертикального движения колеса, соединенного рычагом с торсионной подвеской, и подсистема вращения тел торсионной подвески. В разработанной модели принято допущение, что колесо совершает движение только в вертикальном направлении вдоль оси Z (рис. 3). На колесо действуют сила тяжести, сила со стороны опорной поверхности, сила со стороны рычага подвески. В этом случае уравнение движения колеса можно записать следующим образом.

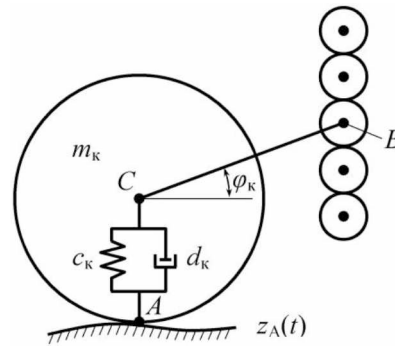


Рис. 3. Расчетная схема для описания движения колеса A

$$m_k \frac{d^2 z_k}{dt^2} = -m_k g + \frac{M_k}{L_p \cos \varphi_k} + \begin{cases} -c_k(z_k - K - z_A) - d_k \left(v_z - \frac{dz_A}{dt} \right), & z_k - R_k < z_A, \\ 0, & z_k - R_k > z_A, \end{cases} \quad (1)$$

где m_k – масса колеса; z_k – вертикальная координата оси колеса; t – время; g – ускорение свободного падения; M_k – момент на рычаге относительно оси центрального вала подвески; L_p – длина рычага (расстояние BC); φ_k – угол отклонения рычага от горизонтали; c_k и d_k – коэффициенты жесткости и демпфирования в рамках вязкоупругого приближения взаимодействия колеса и опорной поверхности; R_k – радиус колеса; z_A – вертикальная координата точки опорной поверхности, контактирующей с нижней точкой колеса в момент времени t .

Данное дифференциальное уравнение решается совместно с уравнениями динамики вращательного движения валов торсионной подвески.

Торсионная подвеска (пятивальный вариант) представлена в модели совокупностью тел вращения, взаимодействующих между собой упруго-вязко (рис. 4).

Для удобства моделирования считается, что все тела вращаются в одном направлении (в реальности для валов чередуются вращение в одну и в другую сторону). Инерционность валов приведена к шестерням, а сами валы характеризуются в модели коэффициентами крутильных упругости и демпфирования c и d . Так как необходимо провести сравнительный анализ одновальной торсионной подвески с многовальной, необходимо с достаточной степенью адекватности описать в модели шестеренчатое соединение валов.

В модели пятивальной торсионной подвески рассматриваются четыре шестеренчатых контакта: между телами 0-1, 0-4, 2-3, 5-6.

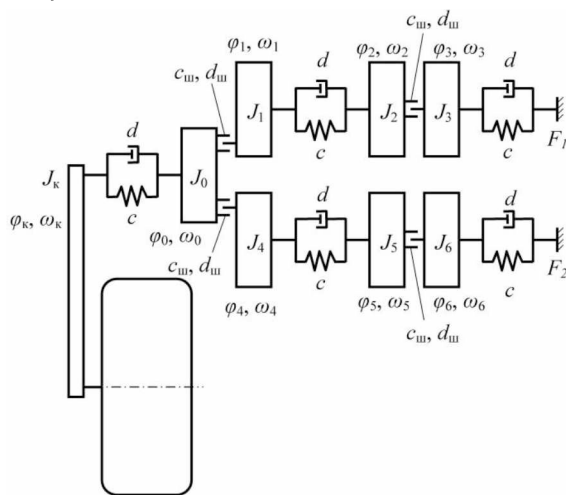


Рис. 4. Расчетная схема для составления системы уравнений динамики вращательного движения валов торсионной подвески

В случае идеального безлюфтового контакта шестерен i и j возникающий момент упруго-вязкой силы M_{ij} может быть записан следующим образом (рис. 5, кривая a):

$$M_{ij} = c_{ш} (\varphi_i - \varphi_j) + d_{ш} (\omega_i - \omega_j), \quad (2)$$

где $c_{ш}$ и $d_{ш}$ – коэффициенты крутильной жесткости и крутильного демпфирования при контакте шестерен; φ_i и φ_j – угловые положения шестерен;

ω_i и ω_j – угловые скорости шестерен.

Однако в данной статье рассматривается контакт шестерен с люфтом, чтобы убедиться, что незначительная величина люфта не приведет к существенному ухудшению эффективности многовальной торсионной подвески по сравнению с одновальной. Для случая с люфтом момент от контакта шестерен может быть в модели равен нулю, если разность углов шестерен $\varphi_i - \varphi_j$ соответствует люфтовому промежутку, и линейно возрастает или убывает, если разность углов шестерен лежит вне люфтового промежутка (рис. 5, кривая b):

$$M_{ij} = \begin{cases} c_{ш} \left(\varphi_i - \varphi_j - \frac{L_{\varphi}}{2} \right) + d_{ш} (\omega_i - \omega_j), & |\varphi_i - \varphi_j| > \frac{L_{\varphi}}{2}, \\ 0, & |\varphi_i - \varphi_j| \leq L_{\varphi}, \end{cases} \quad (3)$$

где L_{φ} – величина люфта, выраженная в единицах измерения угла.

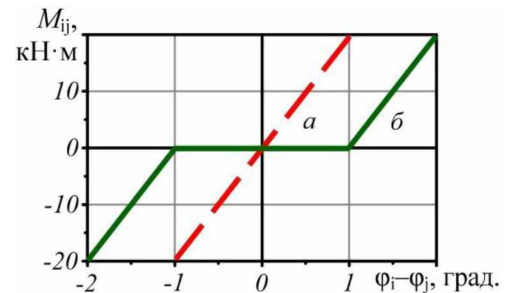


Рис. 5. Зависимость вращающего момента M_{12} при контакте шестерен от разности угловых положений $\varphi_i - \varphi_j$ тел i и j без учета (a) и с учетом углового люфта величиной 2° (b)

Уравнения динамики вращательного движения восьми рассматриваемых тел записываются следующим образом.

$$\begin{cases} J_x \frac{d^2 \varphi_x}{dt^2} = M_x; \\ J_0 \frac{d^2 \varphi_0}{dt^2} = M_x - M_{01} - M_{04}; \\ J_1 \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} = M_{01} - M_{12}; \\ J_2 \frac{d^2 \varphi_2}{dt^2} = M_{12} - M_{23}; \\ J_3 \frac{d^2 \varphi_3}{dt^2} = M_{23} - M_{3F1}; \\ J_4 \frac{d^2 \varphi_4}{dt^2} = M_{04} - M_{45}; \\ J_5 \frac{d^2 \varphi_5}{dt^2} = M_{45} - M_{56}; \\ J_6 \frac{d^2 \varphi_6}{dt^2} = M_{56} - M_{6F2}, \end{cases} \quad (4)$$

где $J_k, J_0 \dots J_6$ – моменты инерции рассматриваемых тел вращения; $\varphi_k, \varphi_0 \dots \varphi_6$ – угловые положения рассматриваемых тел вращения; F_1 и F_2 – обозначения точек жесткой заделки валов; M_{ij} – моменты контакта тел i и j :

$$M_{\kappa} = -c(\varphi_0 - \varphi_{\kappa} - \varphi_p) - d(\omega_0 - \omega_{\kappa}); \quad (5)$$

$$M_{01} = \begin{cases} -c_{ш} \left(\varphi_1 - \varphi_0 - \frac{L_{\varphi}}{2} \right) - d_{ш}(\omega_1 - \omega_0), & |\varphi_1 - \varphi_0| > \frac{L_{\varphi}}{2}; \\ 0, & |\varphi_1 - \varphi_0| \leq L_{\varphi}; \end{cases} \quad (6)$$

$$M_{04} = \begin{cases} -c_{ш} \left(\varphi_4 - \varphi_0 - \frac{L_{\varphi}}{2} \right) - d_{ш}(\omega_4 - \omega_0), & |\varphi_4 - \varphi_0| > \frac{L_{\varphi}}{2}; \\ 0, & |\varphi_4 - \varphi_0| \leq L_{\varphi}; \end{cases} \quad (7)$$

$$M_{12} = -c(\varphi_2 - \varphi_1) - d(\omega_2 - \omega_1); \quad (8)$$

$$M_{23} = \begin{cases} -c_{ш} \left(\varphi_3 - \varphi_2 - \frac{L_{\varphi}}{2} \right) - d_{ш}(\omega_3 - \omega_2), & |\varphi_3 - \varphi_2| > \frac{L_{\varphi}}{2}; \\ 0, & |\varphi_3 - \varphi_2| \leq L_{\varphi}; \end{cases} \quad (9)$$

$$M_{3F1} = -c(0 - \varphi_3) - d(0 - \omega_3); \quad (10)$$

$$M_{45} = -c(\varphi_5 - \varphi_4) - d(\omega_5 - \omega_4); \quad (11)$$

$$M_{56} = \begin{cases} -c_{ш} \left(\varphi_6 - \varphi_5 - \frac{L_{\varphi}}{2} \right) - d_{ш}(\omega_6 - \omega_5), & |\varphi_6 - \varphi_5| > \frac{L_{\varphi}}{2}; \\ 0, & |\varphi_6 - \varphi_5| \leq L_{\varphi}; \end{cases} \quad (12)$$

$$M_{6F2} = -c(0 - \varphi_6) - d(0 - \omega_6); \quad (13)$$

где $\omega_k, \omega_0 \dots \omega_6$ – угловые скорости рассматриваемых тел вращения.

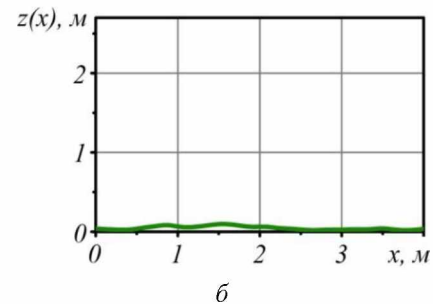
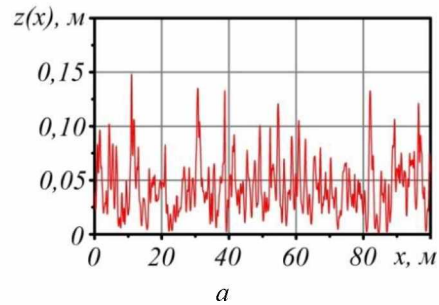
Для воспроизведения в модели работы подвески лесовозного автомобиля необходимо создать интенсивное движение колеса в вертикальном направлении. Для этого используется функция случайной неровной поверхности. Случайные неровности в модели задаются исходя из реальных условий эксплуатации лесовозного автомобиля. Значительная доля пути лесовозного автомобиля приходится на подъездные асфальтированные дороги низкого качества, грунтовые дороги и зимники. Для передачи в модели сложного случайного рельефа поверхности считали, что возмущающая функция колес каждого борта состоит из набора выступов гауссовой формы. Высота и протяженность гауссовых пиков задаются случайным образом и изменяются в широких пределах: от «препятствий» (имитирующих камни, пни, выступающие корни), имеющих малую протяженность (порядка 0,1-0,5 м), до «холмов», имеющих большую протяженность (порядка 2-5 м) (рис. 6).

Опорную поверхность задавали как функцию высоты поверхности от координат точки кон-

такта $z(x, y)$. Функция представляла собой суперпозицию гауссовых пиков с параметрами (x_i, y_i) (положение выступа), H_i (высота выступа) и σ_i (среднеквадратическое отклонение, задающее ширину выступа):

$$z(x) = \sum_{i=1}^{N_X} H_{Xi} \exp\left(-\frac{(x-x_{Xi})^2}{\sigma_{Xi}^2}\right) + \sum_{i=1}^{N_{II}} H_{IIi} \exp\left(-\frac{(x-x_{IIi})^2}{\sigma_{IIi}^2}\right), \quad (14)$$

где N_X и N_{II} – количество холмов и препятствий; H_{Xi} и H_{IIi} – высоты холмов и препятствий; x_{Xi} и x_{IIi} – координаты расположения центра холмов и препятствий; σ_{Xi} и σ_{IIi} – характерная полуширина холмов или препятствий.



а – функция $z(x)$ на исследуемом участке движения длиной 100 м, б – фрагмент неровной поверхности в одинаковом масштабе по осям X и Z

Рис. 6. Пример опорной поверхности для моделирования работы торсионной подвески

Гауссовые пики распределялись по длине контрольного участка 100 м случайным образом по равномерному закону. При этом параметры H_i и σ_i также выбирались случайным образом по равномерному закону из интервалов: от 0 до 0,03 м для H_i и от 0,1 до 0,3 м для σ_i . Число гауссовых пиков, имитирующих холмы и препятствия, рассчитывалось в соответствии с таблицами параметров для различных типов дорожно-грунтовых условий.

Система уравнений поступательного (1) и вращательного (4) движения тел колесного модуля с торсионной подвеской представляет собой систему дифференциальных уравнений второго порядка.

В общем случае такие системы не имеют аналитического решения из-за сложного характера возмущающих функций, как в данном случае функция рельефа поверхности представляет собой линейную комбинацию аналитически-неинтегрируемых гауссовых функций. Поэтому для решения данной системы дифференциальных уравнений используется универсальный численный метод, слабо чувствительный к характеру интегрируемых функций, – метод Рунге-Кутты второго порядка. Метод широко используется для решения задач классической механики с высокой точностью.

Численное решение дифференциальных уравнений заключается в дискретизации времени t на равные шаги величиной Δt , которые нумеруются переменной τ . На каждом шаге интегрирования необходимо рассчитать силы для поступательного движения колеса, а также моменты для вращательного движения восьми тел. После этого по известным координатам и скоростям (либо угловым положениям и угловым скоростям) движения (либо вращения) тел для текущего шага интегрирования рассчитываются координаты и скорости (угловые положения и угловые скорости) тел для следующего шага интегрирования. Например, для произвольного тела вращения i численное интегрирование уравнений движения определенного тела в рамках рассматриваемого метода производится следующим образом:

$$\begin{cases} \varphi_{i\tau+1} = \varphi_{i\tau} + \omega_{i\tau} \cdot \Delta t + \frac{M_{i\tau}}{J_i} \cdot \frac{(\Delta t)^2}{2}, \\ \omega_{i\tau+1} = \omega_{i\tau} + \frac{M_{i\tau}}{m} \cdot \Delta t, \end{cases} \quad (15)$$

где $\varphi_{i\tau}$ и $\omega_{i\tau}$ – угловое положение и угловая скорость тела с моментом инерции J_i на предыдущем шаге интегрирования по времени τ , $\varphi_{i\tau+1}$ и $\omega_{i\tau+1}$ – то же, на последующем шаге интегрирования по времени $\tau + 1$. Аналогично, численное интегрирование выполняется для остальных тел вращения и для вертикально движущегося колеса.

В результате решения дифференциальных уравнений численным методом получают таблицу заданные функции зависимости от времени координаты центра колеса и угловых положений тел вращения. Эти функции анализируются далее для оценки эффективности многовальной торсионной подвески.

Для проведения компьютерных экспериментов и исследования работы торсионной подвески разработана «Программа для моделирования модульной торсионной подвески лесовозного автомобиля» (рис. 7).

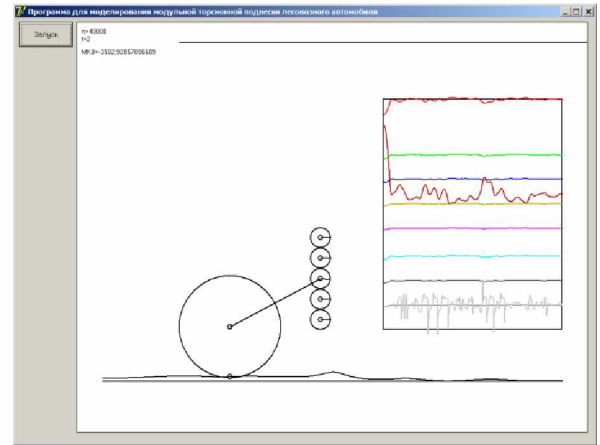


Рис. 7. Интерфейс вывода результатов имитационного моделирования

Программа предназначена для имитационного моделирования движения колеса лесовозного автомобиля по неровной опорной поверхности, связанного с многовальной торсионной подвеской с целью определения характера движения валов подвески, учета люфта, оценки динамической нагруженности подвески, сравнительного анализа одновальной и многовальной торсионной подвесок.

Программа позволяет выполнить имитационное моделирование движения колеса лесовозного автомобиля по неровной опорной поверхности с заданными параметрами неровностей; задание параметров торсионной подвески (инерционные параметры валов, коэффициенты вращательных жесткости и демпфирования); задание параметров лесовозного автомобиля, приведенных к колесу, и условий движения: нагрузки на колесо, скорости движения; вывод в процессе моделирования на экран и в файл на жестком диске компьютера графиков зависимости от времени угловых положений валов, момента на центральном вале, вертикальной координаты оси колеса (рис. 5).

Основные технические ограничения программы: шаг дискретизации опорной поверхности в направлении оси Ox не более 0,05 м; скорость движения лесовозного автомобиля по опорной поверхности не более 100 км/ч.

Разработанная модель является достаточно адекватной и позволяет изменять исследуемые параметры и контролировать эффективность работы подвески по многим критериям (рис. 8).

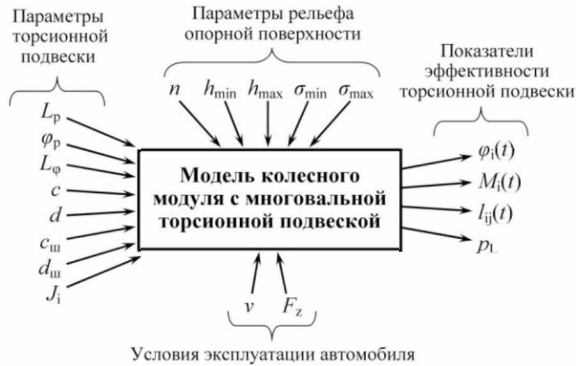


Рис. 8. Основные доступные к изменению параметры модели и показатели эффективности

Переменные модели включают в себя 3 группы входных и 1 группу выходных показателей. К первой группе входных переменных относятся параметры торсионной подвески: L_p – длина рычага подвески; φ_p – угол равновесного положения рычага подвески; L_v – величина люфта между шестернями; c и d – коэффициенты крутильных жесткости и демпфирования для валов; $c_{ш}$ и $d_{ш}$ – коэффициенты крутильных жесткости и демпфирования для контактирующих шестерен; J_i – моменты инерции тел вращения.

Вторая группа переменных задает рельеф опорной поверхности: n – линейная плотность неровностей (количество неровностей на 1 км участка модельной неровной поверхности); h_{min} и h_{max} – минимальная и максимальная высоты неровностей: границы диапазона для выбора по равномерному закону распределения вероятности; σ_{min} и σ_{max} – минимальная и максимальная длины неровностей (т. е. границы диапазона для выбора по равномерному закону распределения вероятности).

Третья группа переменных связана с условиями эксплуатации лесовозного автомобиля: v – скорость движения лесовозного автомобиля; F_z – нагрузка, приходящаяся на колесо.

К показателям эффективности торсионной подвески относятся: $\varphi_i(t)$ – зависимость от времени углового положения i -го тела вращения; $M_i(t)$ – зависимость от времени крутящего момента, дейст-

вующего на i -е тело вращения; $l_{ij}(t)$ – функция люфта для пары шестерен i и j . Функция люфта равна 1, если шестерни находятся в плотном контакте (нет люфта), и равна 0, если шестерни не контактируют (есть люфт); p_L – вероятность люфта (определяется по функции люфта $l_{ij}(t)$ как отношение времени, в которое система находилась в люфтовом состоянии, к общему времени компьютерного эксперимента).

Результаты и обсуждение

Дальнейшее теоретическое исследование заключается в изменении некоторых входных параметров и наблюдении за реакцией показателей эффективности. Люфт в шестеренном соединении возникает при смене направления вращения одной шестерни относительно другой. Если многовальная торсионная подвеска нагружена и лесовозный автомобиль движется по относительно ровной дороге, то все шестеренные соединения испытывают прижимающий момент и не теряют контакт, то есть торсионная подвеска работает в безлюфтовом режиме.

Случаи с люфтом возникают, если колесный модуль недостаточно нагружен, особенно если нагрузка может перераспределяться на расположенные рядом другие колесные модули. Также люфт может возникать при движении по значительно неровной опорной поверхности. Проверка с помощью модели показала, что в обычных условиях эксплуатации лесовозного автомобиля (достаточно нагруженные подвески, средние скорости, достаточно ровная опорная поверхность) реализуется безлюфтовый режим. Поэтому многовальная торсионная подвеска по динамическим характеристикам должна быть идентична соответствующей одновальной подвеске, обладая, однако, большей компактностью. Если же многовальная подвеска недостаточно нагружена или лесовозный автомобиль движется с высокой скоростью по существенно неровной опорной поверхности, то могут часто проявляться случаи люфта. В таком режиме движения одновальная подвеска имеет преимущество перед многовальной.

В модели режим с люфтом можно получить, если уменьшить равновесное угловое положение рычага подвески, чтобы колесо не прижималось или слабо прижималось к опорной поверхности для данного колесного модуля. Второй способ реализа-

ции люфтового режима в модели заключается в движении по существенно неровной опорной поверхности.

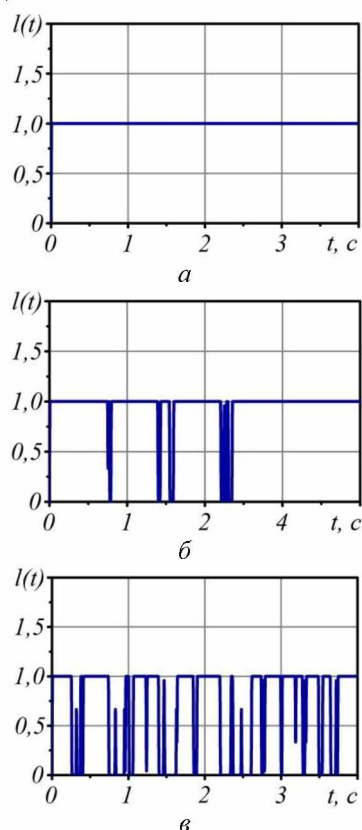


Рис. 9. Функции люфта $l(t)$ между шестернями 0 и 1, полученные в модели для случаев отсутствия люфта (а), редких случаев люфта (б), частых случаев люфта (в)

Разработанная модель позволила воспроизвести как безлюфтовые (рис. 9, а) режимы, так и режимы с редкими случаями люфта (рис. 9, б) и с частыми случаями люфта (рис. 9, в).

Для того чтобы проверить, как редкие единичные случаи люфта сказываются на динамическом поведении торсионной подвески, проведены два компьютерных эксперимента, в одном из которых угловую величину люфта L_0 задали равной 0° (без люфта), во втором равной 2° .

В процессе компьютерного эксперимента реализовались два случая люфта в интервале времени от 1 до 2 с (рис. 10, а). Несмотря на единичные случаи люфта, многовальный механизм проявлял динамическое поведение, практически идентичное безлюфтовому случаю (рис. 10, б). Различие функций $\varphi_0(t)$ наблюдалось только в моменты реализации случаев люфта (около 1,4 и 1,6 с), и после этого зависимость

$\varphi_0(t)$ возвращалась к базовому варианту. Таким образом, редкие единичные случаи люфта, которые могут возникать при недостаточно нагруженных колесных модулях или при движении с высокой скоростью по значительно неровной поверхности, не приводят к практически значимому отличию в динамическом поведении механизма подвески.

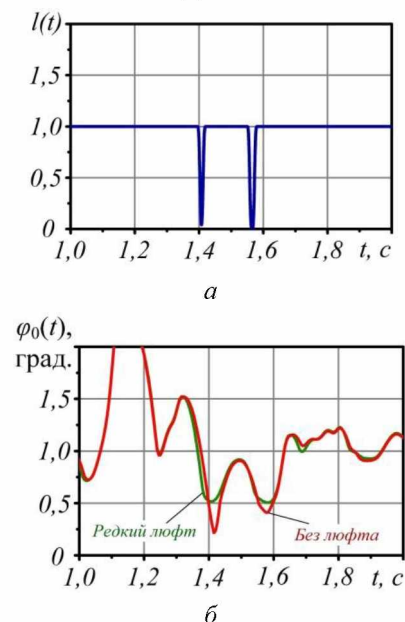


Рис. 10. Для случая редкого люфта (а) зависимость углового положения шестерни 0 $\varphi_0(t)$ практически одинакова для случая редкого люфта и без люфта (б)

Для воспроизведения и исследования режима частых случаев люфта (рис. 9, в) проведена серия компьютерных экспериментов, в которой варьировали угол равновесного положения рычага подвески на уровнях 25, 27, 28, 29, 30, 30,5, 31, 31,5, 32, 33°. Обнаружено, что вероятность появления люфта снижается по сигмоидальному закону с увеличением равновесного углового положения рычага подвески, и, следовательно, с увеличением усилия прижатия колеса к поверхности (рис. 11, а).

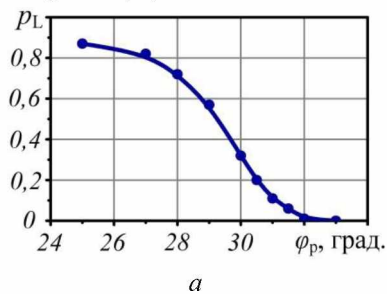


Рис. 11

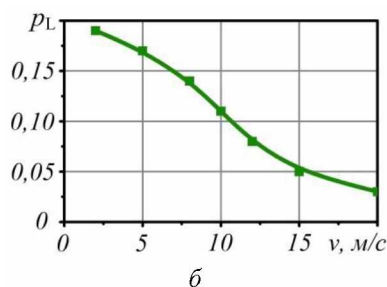


Рис. 11 (окончание). Зависимости вероятности люфта p_L от угла φ_p равновесного положения рычага подвески (скорость движения 10 м/с) – а и вероятности люфта p_L от скорости v движения лесовозного автомобиля (угол равновесного положения рычага подвески 31°) – б

Необходимо заметить, что сильный рост вероятности люфта (от 0,0 до 0,85) происходит в узком угловом диапазоне угла φ_p (от 26 до 32°). Поэтому, чтобы исключить появление режима частых случаев люфта, необходимо, чтобы при эксплуатации диапазон изменения углов рычага торсионной подвески был гарантированно выше уровня появления люфта 32° .

Для исследования влияния скорости движения лесовозного автомобиля на вероятность появления люфта проведена серия компьютерных экспериментов, в которой скорости придавали значения 2, 5, 8, 10, 12, 15, 20 м/с. При этом равновесный угол рычага подвески составлял 31° и был ниже критического уровня 32° появления случаев люфта. Обнаружено, что вероятность появления люфта убывает с повышением скорости по S-образной зависимости (рис. 11, б). Такая зависимость объясняется тем, что с увеличением скорости движения по неровной поверхности колесо (ведомое) на рычажной подвеске все сильнее прижимается к корпусу лесовозного автомобиля набегающими неровностями опорной поверхности. Поэтому шестерни лучше прижимаются друг к другу, несмотря на интенсивное вращение, и вероятность случаев люфта снижается.

Выводы

Совершенство конструкции подвески лесовозного автомобиля имеет первостепенное значение, так как она оказывает большое влияние на тягово-скоростные свойства, проходимость, топливную экономичность, безотказность, долговечность и безопасность лесовозного автомобиля.

Проверка с помощью имитационной модели показала, что в обычных условиях эксплуатации лесовозного автомобиля (достаточно нагруженные подвески, средние скорости, относительно ровная опорная поверхность) реализуется безлюфтовый режим. Поэтому многовальная торсионная подвеска по динамическим характеристикам должна быть идентична соответствующей одновальной подвеске, обладая, однако, большей компактностью. Если многовальная подвеска недостаточно нагружена, или лесовозный автомобиль движется с высокой скоростью по существенно неровной опорной поверхности, то могут часто проявляться случаи люфта. В таком режиме движения одновальная подвеска имеет преимущество перед многовальной.

Редкие единичные случаи люфта, которые могут возникать при недостаточно нагруженных колесных модулях или при движении с высокой скоростью по существенно неровной поверхности, не приводят к значимому отличию в динамическом поведении механизма подвески. Сильный рост вероятности люфта (от 0 до 0,85) происходит в узком угловом диапазоне угла φ_p (от 26 до 32°). Поэтому, чтобы исключить появление режима частых случаев люфта, необходимо, чтобы при эксплуатации диапазон изменения углов рычага торсионной подвески был гарантированно выше уровня появления люфта 32° . С увеличением скорости движения по неровной поверхности колесо (ведомое) на рычажной подвеске все сильнее прижимается к корпусу лесовозного автомобиля набегающими неровностями опорной поверхности. Поэтому шестерни лучше прижимаются друг к другу, несмотря на интенсивное вращение, и вероятность случаев люфта снижается.

Таким образом, в рамках проведенного исследования установлено, что в обычных условиях эксплуатации лесовозного автомобиля многовальная торсионная подвеска не уступает одновальной по динамическому поведению механизма, являясь более компактной. Режим редкого люфта также практически не ухудшает динамические свойства многовальной торсионной подвески по сравнению с одновальной. Изучение режима частого люфта позволило сформулировать рекомендации по выбору свободного угла рычага подвески и убедиться, что с увеличением скорости вероятность люфта уменьшается.

Библиографический список

1. Вывозка леса автопоездами. Техника. Технология. Организация / И. Р. Шегельман, В. И. Скрыпник, А. В. Кузнецов, А. В. Пладов. – Санкт-Петербург : ПРОФИКС, 2008. – 304 с.
2. Dynamics analysis and design methodology of roll-resistant hydraulically interconnected suspensions for tri-axle straight trucks / Fei Ding, Nong Zhang, Jie Liu, Yu Han // *Journal of the Franklin Institute* // Volume 353, Issue 13, November 2016, Article ID 36805538200, pp. 4620–4651. DOI: 10.1016/j.jfranklin.2016.08.016.
3. An analytical study of the performance indices of air spring suspensions over the passive suspension / M. M. Moheyldein, Ali M. Abd-El-Tawwab, K. A. Abd El-gwwad, M. M. M. Salem // *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, Volume 7, Issue 4, December 2018, Article ID 57200857935, pp. 525–534. DOI: 10.1016/j.bjbas.2018.06.004.
4. Anubi O. M. A new variable stiffness suspension system: passive case / O. M. Anubi, D. R. Patel, C. D. Crane // *Mechanical Sciences*, 4, 2013, pp. 139–151. DOI: 10.5194/ms-4-139-2013.
5. Gokul Prasad S. A conterporary adaptive air suspension using LQR control for passenger vehicles / S. Gokul Prasad, K. Malar Mohan // *ISA Transactions* (2019), Article ID 57207116539, 11 p. DOI: 10.1016/j.isatra.2019.02.031.
6. Miss Adhav Madhuri Vilas. Modal analysis and investigation of torsion bar strength based on layer orientation angle using composite material / Miss Adhav Madhuri Vilas, D. S. Galhe, Mishra Hredaya // *International Journal for Research in Applied Science Engineering Technology (IJRASET)*, Volume 6, Issue VII, July 2018, 16 p. DOI: 10.22214/ijraset.2018.7002.
7. Посметьев, В. И. Перспективы использования колесных модулей в грузовых автомобилях / В. И. Посметьев, В. О. Никонов // *Строительные и дорожные машины*. – 2018. – № 10. – С. 37–43.
8. Патент на изобретение № 2676828 РФ, МПК В60G 11/18, В60К 7/00. Торсионная подвеска транспортного средства / В. О. Никонов ; заявитель ФГБОУ ВО ВГЛТУ имени Г. Ф. Морозова. – № 2018124729 ; заявл. 05.07.2018 ; опубл. 11.01.2019.
9. Советов, Б. Я. Моделирование систем : учеб.пособие / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев – Москва : Высш. шк., 1998. – 319 с.
10. Грановский, В. А. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях: учеб. пособие / В. А. Грановский, Т. Н. Сирая. – Ленинград : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 288 с.
11. Горский, В. Г. Планирование промышленных экспериментов (модели динамики): учеб. пособие / В. Г. Горский, Ю. П. Адлер, А. М. Талалай. – Москва : Металлургия, 1978. – 288 с.
12. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных решений : учеб.пособие / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский – Москва : Наука, 1976. – 279 с.

References

1. Shegelman I. R., Skripnik V. I., Kuznecov A. V., Pladov A. V. *Vivozka lesa avtopoezdami. Tehnika. Tehnologiya. Organizaciya* [Removal of the wood by road trains. Equipment.Technology.Organization].Saint-Petersburg, 2008, 304 p. (In Russian).
2. Fei Ding, Nong Zhang, Jie Liu, Yu Han. Dynamics analysis and design methodology of roll-resistant hydraulically interconnected suspensions for tri-axle straight trucks, *Journal of the Franklin Institute*, Volume 353, Issue 13, November 2016, Article ID 36805538200, pp. 4620–4651 ; doi : 10.1016/j.jfranklin.2016.08.016.
3. Moheyldein M. M., Abd-El-Tawwab Ali M., Abd El-gwwad K. A., Salem M. M. M. An analytical study of the performance indices of air spring suspensions over the passive suspension, *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, Volume 7, Issue 4, December 2018, Article ID 57200857935, pp. 525-534 ; doi : 10.1016/j.bjbas.2018.06.004.
4. Anubi O. M., Patel D. R., Crane C. D. A new variable stiffness suspension system: passive case, *Mechanical Sciences*, 4, 2013, pp. 139-151 ;doi : 10.5194/ms-4-139-2013.

5. Gokul Prasad S., Malar Mohan K. A contemporary adaptive air suspension using LQR control for passenger vehicles, *ISA Transactions* (2019), Article ID 57207116539, 11 p. ; doi : 10.1016/j.isatra.2019.02.031.
6. Miss Adhav Madhuri Vilas, Galhe D. S., Hredaya Mishra. Modal analysis and investigation of torsion bar strength based on layer orientation angle using composite material, *International Journal for Research in Applied Science Engineering Technology (IJRASET)*, Volume 6, Issue VII, July 2018, 16 pages ; doi : 10.22214/ijraset.2018.7002.
7. Posmetev V. I., Nikonov V. O. *Perspektivi ispolzovaniya kolesnih modulei v gruzovih avtomobilyah* [Prospects for the use of wheel modules in trucks]. *Stroitelnie i dorojnie mashini* [Construction and road machines], 2018. № 10. p. 37-43. (In Russian).
8. Nikonov V. O. *Patent naizobrenenie* [Patent for invention], № 2676828 of the Russian Federation, IPC B60G 11/18, B60K 7/00. *Torsionnaya podveska transportnogo sredstva* [Torsion vehicle suspension], applicant FGBOU IN VGLTU named after G. F. Morozov. № 2018124729; declare 07.05.2018; publ. 11.01.2019.
9. Sovetov B. Ya., Yakovlev S. A. *Modelirovanie system* [Modeling systems]. M.: High School, 1998. 319 p. (In Russian).
10. Granovskii V. A., Siraya T. N. *Metodi obrabotki eksperimentalnih danih pri izmereniyah* [Methods for processing experimental data in measurements]. L.: Energoatomizdat. Leningr. Otd-ie, 1990. 288 p. (In Russian).
11. Gorskii V. G., Adler Yu. P., Talalai A. M. *Planirovanie promishlennih eksperimentov (modeli dinamiki)* [Planning of industrial experiments (dynamics models)]. M.: Metallurgy, 1978. 288 p. (In Russian).
12. Adler Yu. P., Markova E. V., Granovskii Yu. V. *Planirovanie eksperimenta pri poiske optimalnih reshenii* [Planning an experiment when searching for optimal solutions]. M. : Science, 1976. 279 p. (In Russian).

Сведения об авторах

Посметьев Валерий Иванович – профессор кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», доктор технических наук, профессор, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: posmetyev@mail.ru.

Никонов Вадим Олегович – доцент кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат технических наук, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: 8888nike8888@mail.ru.

Зеликов Владимир Анатольевич – заведующий кафедрой организации перевозок и безопасности движения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», доктор технических наук, доцент, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: zelikov-vrn@mail.ru.

Сизьмин Игорь Валерьевич – магистр кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: igorsizmin96@gmail.com.

Information about authors

Posmetev Valerii Ivanovich – Professor of department of production, repair and operation of cars, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: posmetyev@mail.ru.

Nikonov Vadim Olegovich – Associate Professor of department of production, repair and operation of cars, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: 8888nike8888@mail.ru.

Zelikov Vladimir Anatolevich – head of transportation and traffic safety department, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: zelikov-vrn@mail.ru.

Sizmin Igor Valerevich – master of department of production, repair and operation of cars, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: igorsizmin96@gmail.com.

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ЯВЛЕНИЯ ЦИРКУЛЯЦИИ МОЩНОСТИ В ТРАНСМИССИИ ПОЛНОПРИВОДНОГО АВТОМОБИЛЯ

доктор технических наук, профессор **В.И. Прядкин**¹

кандидат технических наук, доцент **Гудков В.В.**²

аспирант **Сокол П.А.**¹

1 – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Российская Федерация

2 – ФГКВООУ ВО «Военный учебно-научный центр Военно-Воздушных Сил Военно-Воздушная Академия
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Российская Федерация

Статья рассматривает проблемы, связанные с потерями мощности, возникающими при эксплуатации полноприводных автомобилей на различных типах опорных поверхностей, в ней проведен анализ распределения полезной мощности и крутящего момента по ведущим мостам. Проведен анализ факторов, влияющих на потери мощности и снижение тяговой динамики полноприводного автомобиля, а также рассмотрены причины их возникновения в заблокированной трансмиссии полноприводного автомобиля, описаны причины снижения КПД и тяговой мощности, проведен анализ факторов, сопутствующих этим процессам. Проанализирован процесс возникновения явления циркуляции мощности в механических зубчатых передачах и его последствия, влияющие на показатели эффективности применения полноприводного автомобиля. Рассмотрены причины возникновения явления циркуляции мощности в трансмиссии полноприводного автомобиля, проведен анализ потерь, вызывающих снижение его тяговой динамики. Проведен критический анализ исследований ряда авторов по изучению возникновения и влияния явления циркуляции мощности на показатели эффективности применения автомобиля, преждевременный износ узлов и агрегатов, снижение тяговой динамики. Серьезной и актуальной является проблема проведения корректных аналитических расчетов при проектировании и создании полноприводных автомобилей с улучшенной тяговой динамикой для эффективной эксплуатации в различных дорожных условиях и климатических зонах, а также на опорных поверхностях с низкими физико-механическими свойствами. Явление циркуляции мощности до настоящего времени исследовано недостаточно полно, расчеты проводились с принятием допущений и упрощений, снижающих точность результатов. Основной целью проведения дальнейших исследований тяговой динамики и потерь полезной мощности на движение полноприводного автомобиля является корректный учет влияния циркулирующей мощности на появление дополнительных потерь мощности в трансмиссии и ходовой части, без допущений и упрощений, с учетом потерь на сопротивление движению, динамические факторы, способствующие ускоренному износу узлов, механизмов и агрегатов, трансформирующих и передающих крутящий момент к ведущим колесам, а также пневматических шин.

Ключевые слова: мощность, полноприводный, движитель, реакции, циркуляция, трансмиссия.

ANALYSIS OF APPROACHES TO RESEARCH THE PHENOMENON OF POWER CIRCULATION IN A TRANSMISSION OF ALL-WHEEL-DRIVE VEHICLE

DSc (Engineering), Professor **V.I. Pryadkin**¹

PhD (Engineering), Associate Professor **V.V. Gudkov**²

Post-graduate student **P.A. Sokol**¹

1 – FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation

2 – FSOMEI HE "Military Education and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy (Voronezh) the Ministry of Defense of the Russian Federation", Voronezh, Russian Federation

Abstract

The article considers the problems associated with power losses arising from the operation of four-wheel drive vehicles on various types of supporting surfaces. It analyzes the distribution of usable power and torque over drive axles. The analysis of factors affecting power loss and reduction in traction dynamics of an all-wheel drive vehicle has been carried out, as well as the reasons for their occurrence in a locked transmission of an all-wheel drive vehicle. The reasons for the decrease in efficiency and traction power have been described. The analysis of factors associated with these processes has been analyzed. The process of the occurrence of power circulation phenomenon in mechanical gears and its consequences affecting the performance indicators of the use of an all-wheel drive vehicle have been analyzed. The causes of the occurrence of power circulation phenomenon in the transmission of an all-wheel drive vehicle have been considered. The analysis of losses causing a decrease in its traction dynamics has been carried out. A critical analysis of the research of a number of authors has been carried out to study the occurrence and influence of power circulation phenomenon on the car performance indicators, premature wear of components and assemblies, reduction in traction dynamics. The problem of conducting correct analytical calculations in the design and creation of four-wheel drive vehicles with improved traction dynamics for efficient operation in various road conditions and climatic zones, as well as on supporting surfaces with low physical and mechanical properties is serious and urgent. The phenomenon of power circulation has not been fully studied to date. The calculations have been made with the adoption of assumptions and simplifications that reduce the accuracy of the results. The main goal of further studies of traction dynamics and net power losses on the movement of an all-wheel drive vehicle is to take into account the influence of circulating power on the appearance of additional power losses in the transmission and chassis, without assumptions and simplifications. It is also necessary to take into account losses on resistance to movement, dynamic factors contributing to accelerated wear of nodes, mechanisms and assemblies, transforming and transmitting torque to the drive wheels, as well as pneumatic tires.

Keywords: power, four-wheel drive, propulsion, reaction, circulation, transmission.

При проведении лесозаготовок работа транспорта для перевозки леса, и особенно полноприводных лесовозных автопоездов, характеризуется сложными дорожными условиями, значительной протяженностью лесовозных усов, и преимущественно с бездорожьем. Поэтому в качестве лесовозов используют обычные и полноприводные седельные тягачи (рис. 1) с различной колесной формулой, в комплекте с прицепами-ропусками (рис. 2, 3).

Существенные сложности возникают при движении автопоезда, состоящего из автомобиля и роспуска, особенно по криволинейной траектории. При движении по вогнутым переломам профиля дороги в вертикальной плоскости расстояние между

кониками уменьшается, а при движении по выпуклым переломам – увеличивается. Движение автопоезда по криволинейным участкам дорог в горизонтальной плоскости вызывает уменьшение расстояния между кониками и смещение траектории движения колес роспуска внутрь кривой. В процессе движения на автомобиль действуют силы, различные по характеру и величине, которые оказывают сопротивление его качению, и при этом пневматические шины испытывают сложное воздействие изменяющихся вертикальных и горизонтальных нагрузок, пробуксовок, боковых смещений.



а)



б)

Рис. 1. Лесовозы Урал-5557 (а) и Камаз-541121 (б)

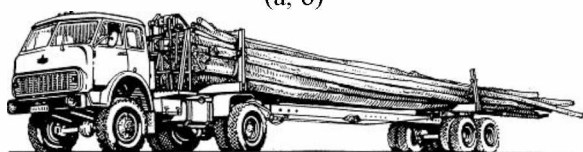


а)

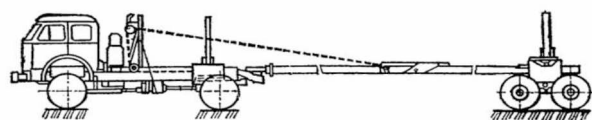


б)

Рис. 2. Лесовозы с прицепами-ропусками (а, б)



а)



б)

Рис. 3. Лесовозный автопоезд МАЗ-5434 и ГКБ-9362 (а) и его схема (б)

Эти факторы оказывают большое влияние на величину и направление возникающих в точках контакта колес с опорной поверхностью (ОП) сил сцепления, ведут к изменению силовых радиусов колес и

в итоге действуют на динамику автомобиля, изменяя КПД колесного движителя. Силовые радиусы ведущих колес всегда различны, т. к. на них действуют неодинаковые вертикальные и горизонтальные реакции ОП, давление воздуха в шинах и износ рисунка протектора также не всегда одинаков. Действуя в комплексе, все эти факторы вызывают возникновение кинематического рассогласования (несоответствия) между ведущими колесами. Наличие кинематического несоответствия между ведущими колесами ухудшает тяговые и динамические показатели автомобиля и вызывает возникновение явления циркуляции мощности, следствием которой являются дополнительные нагрузки на элементы трансмиссии и подвески, повышенный износ шин, узлов и агрегатов, увеличенный расход топлива.

Циркуляция мощности – это явление, которое может возникнуть при наличии замкнутого силового контура и характеризуется тем, что в одной параллельной ветви от ведущего звена к ведомому передается сумма мощностей – передаваемой и циркулирующей [1]. Также под циркулирующей мощностью понимают разность мощностей сил тяги ведущих колес. Негативное действие циркулирующей мощности на узлы и агрегаты трансмиссии и ходовой части автомобиля было замечено достаточно давно, и многие ученые проводили исследования степени ее влияния на тяговую динамику автомобиля. В работе [2] одним из первых исследователей тяговой динамики автомобиля, академиком Е.А. Чудаковым, было отмечено, что у трехосных полноприводных автомобилей при отсутствии дифференциала в приводе ведущих осей наблюдался усиленный износ шестерен и подшипников качения, что указывало на наличие дополнительных нагрузок, передающихся через их главные передачи. Экспериментальным путем было выявлено наличие значительного и возрастающего по величине крутящего момента, передаваемого через ведущие колеса (особенно у двухосных автомобилей) и вызывающего усиленный износ пневматических шин. Также опытным путем автором в работе [2] было установлено, что при движении трехосного автомобиля потери полезной мощности на трение в узлах и агрегатах трансмиссии достигали порядка 25 %, в результате чего происходил достаточно быстрый (ускоренный) износ подшипников главных передач. А самым неблагоприятным режимом движе-

ния оказалось движение автомобиля с малой нагрузкой при наличии большого по величине крутящего момента, передаваемого через ведущие колеса, что способствовало возникновению значительного по величине явления циркулирующей мощности. Было установлено, что при малых и средних значениях суммарной окружной (тяговой) силы, развиваемой на ведущих колесах, происходила обратная передача мощности от ведущих колес к главной передаче, т. е. имела место ее циркуляция.

Рассматривая прямолинейное движение двухосной бездифференциальной тележки с эластичными колесами, Е.А. Чудаков в работе [3] теоретически предположил, что ее оси имеют равные между собой угловые скорости вращения (рис. 4), и принял одну ось ведущей, а другую тормозящей. Автор также предположил, что если колеса осей 2 и 3 имеют одинаковый диаметр, или если в привод к этим колесам введены дифференциальные механизмы, то эти колеса в случае прямолинейного движения и при симметричном расположении центра тяжести ведущей балансирующей тележки всегда имеют одинаковый характер движения по отношению к опорной поверхности (ОП). В соответствии с этим, вертикальные X_2, X_3 и горизонтальные реакции R_2 и R_3 ОП, действующие на ведущую тележку, автор рассматривал как суммарные реакции, действующие на одно колесо.

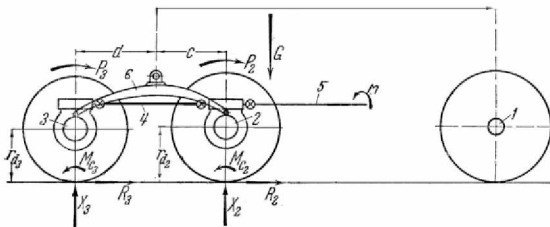


Рис. 4. Схема сил и моментов, действующих на ведущую тележку трехосного автомобиля: 1 – передний ведущий мост; 2 – средний ведущий мост; 3 – задний ведущий мост; 4, 5 – карданные валы; 6 – балансиры; X_2 и X_3 – вертикальные реакции ОП; R_2, R_3 – горизонтальные реакции ОП; P_2, P_3 – окружные силы; M_{c2} и M_{c3} – реактивные силы от действия крутящего момента; G – вес автомобиля; M – подведенный крутящий момент

То же самое относилось и к окружным силам P_2 и P_3 , действующим соответственно на колеса осей 2 и 3 балансирующей тележки. Одновременно с этим было предположено, что колеса обеих осей обладают

значительной тангенциальной эластичностью, в соответствии с чем динамические радиусы колес r_{o2} и r_{o3} осей 2 и 3, а также радиусы их качения $r_{к2}$ и $r_{к3}$ должны изменяться в зависимости от изменения значения окружных сил P_2 и P_3 , нагружающих эти колеса. Далее, автор предположил, что при определенных значениях окружных сил P_2 и P_3 радиусы качения колес осей 2 и 3 могут выровняться, после чего колеса будут иметь «чистое» качение по ОП. Из условия равенства радиусов качения колес ведущей балансирующей тележки автором была получена формула для определения величины циркуляции мощности (когда одно колесо, ведущее, – буксует, а второе колесо, тормозящее, – скользит, т. е. движется сюзом) [2]:

$$N''_3 = N_0 = 0,5\eta_m \left[\frac{c}{\lambda} P_a - f(Z_2 + Z_3) \right]^\times v, \quad (1)$$

где: $\frac{c}{\lambda}$ – тангенциальная эластичность шин, P_a – свободная суммарная окружная сила; f – коэффициент сопротивления качению; Z_2, Z_3 – вертикальные реакции ОП; v – скорость движения машины; η_m – механический КПД главной передачи

Анализируя полученную зависимость (1), автор в работе [2] делает вывод об уменьшении циркуляции мощности при увеличении свободной окружной силы P_a , идущей на совершение работы, (т. е. на движение автомобиля), и при уменьшении величины сопротивления движению автомобиля по ровной ОП потери мощности автор считает максимальными. В то же время автор указывает, что при заблокированном приводе переднее колесо балансирующей тележки, двигаясь по большему радиусу и, соответственно, проходя большой путь, должно иметь меньший диаметр, чем заднее, т. е. двигаться с меньшим силовым радиусом и пройденным путем.

При этом в работе [3] автор, рассматривая движение двухосной тележки в ведущем режиме, считает аналогичным движение бездифференциальной оси с сохранением всех законов и зависимостей, при этом, соответственно, сохраняя зависимости для горизонтальных сил

$$P_2 = 0,5(P_a + \frac{c}{\lambda}) \quad P_3 = 0,5(P_a - \frac{c}{\lambda}) \quad (2)$$

В соответствии с принятыми в работе допущениями, автором радиусы ведущих колес приняты различными, и весь анализ строится на том, что по

какой-либо причине радиусы колес (статические или кинематические) меняются, и анализируется распределение внешних сил, скоростей и, соответственно, мощностей между ведущими осями, но не выявляется причина неравенства силовых радиусов. При этом на автомобиль действует свободная суммарная окружная сила

$$P_a = x_1 + x_2. \quad (3)$$

Анализ силового графика реактивных моментов (рис. 5), однако, показывает, что нагрузка (момент) на переднее ведущее колесо уменьшается, а на заднее – увеличивается, что противоречит формулам (2) [2].

Колеса одной ведущей оси или разных ведущих осей автомобиля, жестко связанные одно с другим (при заблокированном межколесном или межосевом дифференциале), имеют одинаковые угловые скорости вращения. При движении автомобиля могут возникнуть условия, при которых эти колеса стремятся двигаться с различными линейными скоростями, чему противодействует имеющаяся между ними жесткая связь. При прямолинейном движении это может быть вызвано, например, разницей радиусов качения жестко связанных между собой ведущих колес. Качение колес в указанных условиях должно сопровождаться относительным перемещением точек площадки контакта шины по поверхности дороги (режим скольжения или буксования). В работе [3] автором было принято допущение, что если радиусы ведущих колес 2 и 3 (рис. 6) не равны между собой, то при некоторых условиях движения в замкнутом контуре «колесный движитель – опорная поверхность» возникает паразитная мощность, нагружающая главные передачи ведущих осей, также она может возникнуть и в том случае, если одна из осей, например ось 2, является ведущей, а другая (ось 3) – тормозящей (рис. 6). При этом автором было принято допущение, что вертикальные реакции ОП на обоих ведущих колесах равны между собой.

Мощность N_3'' подводится к оси 3 одновременно с мощностью N_e , поступающей от двигателя, и представляет собой паразитную мощность N_0 , и вычисляется автором по формуле

$$N_3'' = \eta_m' N_3' = 0,5 \eta_m' \left[\frac{c}{\lambda} - P_a - f(Z_2 + Z_3) \right] v. \quad (2)$$



Рис. 5. Силовой график реактивных моментов

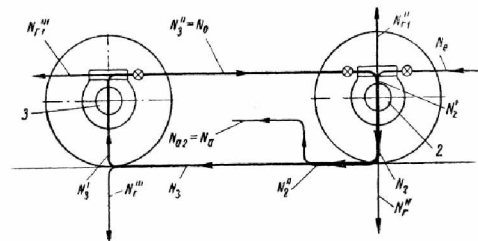


Рис. 6. Схема распределения мощности в системе двухосной ведущей тележки: N_2 – мощность, подведенная от главной передачи к колесам оси 2; N_3 – мощность, подведенная от оси 2 к колесам тормозящей оси 3; N_2' – мощность, переданная через главную передачу оси 2; N_{2I}' – мощность, затрачиваемая на трение в главной передаче; N_2'' , N_2''' – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления качению колес; N_2'''' – мощность, освободившаяся на оси 2; N_{a2} – мощность, передаваемая от оси 2 к автомобилю; N_3' – мощность, поступающая к главной передаче оси 3; N_3'' – мощность, поступающая от оси 3 к оси 2; N_{2I}''' – мощность, теряемая на трение в главной передаче оси 3; N_e – мощность, подведенная к балансирной тележке от двигателя; N_0 – паразитная мощность

Подобное же явление возможно и при одинаковых радиусах качения колес, но при движении по дороге с неровной поверхностью или на повороте. Возникающее в этих условиях скольжение или буксование колес сопровождается увеличенным износом шин, узлов, агрегатов и механизмов трансмиссии, ходовой части, а также и дополнительной затратой мощности двигателя на движение автомобиля [4]. В общем случае движения тангенциальные реакции

ОП могут быть направлены в разные стороны, тогда как момент, создаваемый указанной реакцией, нагружает трансмиссию обоих ведущих мостов (рис. 7), также нагружаются карданные передачи и раздаточная коробка. Определяя горизонтальные реакции колес при разной величине внешних сопротивлений W_a , автор принимает, что они будут равными

$$T_1 = R_1 \varphi \quad \text{и} \quad T_2 = R_1 \varphi - W_a \quad (5)$$

При этом, вводя понятие циркуляции мощности, величину этой мощности автор определяет только из общих принципов, не приводя аналитических выражений [4].

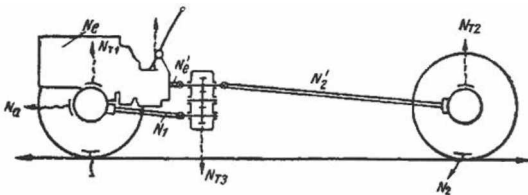


Рис. 7. Схема сил и моментов, вызывающих циркуляцию мощности

Паразитная мощность, или паразитный момент скручивания (когда передний и задний карданные валы скручивает навстречу друг другу), возникает в трансмиссии полноприводных автомобилей, где нет межмостового дифференциала. Это происходит оттого, что передние ведущие колеса проходят большие радиусы при поворотах и расстояния, чем задние. Разность пробега задних и передних ведущих колес компенсируется их юзом или буксованием, т. е. повышенной нагрузкой на раздаточную коробку (способствуя ее динамическому нагружению и возникновению вибрации при вращении валов). Дополнительная нагрузка на элементы трансмиссии может достигнуть значительной величины, а при некоторых условиях эта нагрузка может превысить нагрузку, передаваемую на тот или иной элемент трансмиссии, и способствовать увеличению механических потерь в этих механизмах (рис. 8). В то же время постоянное буксование ведущих колес (в рассматриваемом случае – передних колес) сопровождается ускоренным износом шин буксующих колес, дополнительной затратой мощности двигателя и способствует увеличению расхода топлива [4]. Наличие разных радиусов колес ($Z_1 \neq Z_2$) при большей загрузке задней оси определяет закон движения автомобиля при услови-

ях работы задней оси, которая будет противостоять передней и, следовательно, компенсировать мощность, развиваемую ведущими колесами передней оси. Таким образом, циркулирующая мощность должна рассеиваться в области контакта колеса с дорогой.

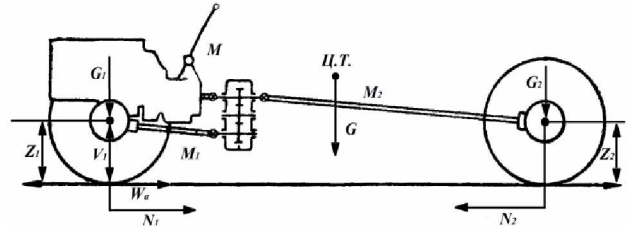


Рис. 8. Распределение мощности по ведущим мостам

В то же время автор, подводя мощность двигателя к ведущим колесам с учетом механических потерь в механизмах, через которые она передается, в каждый данный момент приравнивает ее к мощности, развиваемой на передних ведущих (буксующих) колесах N_b , за вычетом мощности, подводимой от задних (скользящих) колес N_2 к передним ведущим колесам через механизмы силовой передачи. Эта мощность, нагружая механизмы трансмиссии, не принимает участия в преодолении внешних сопротивлений движению автомобиля, вследствие чего является паразитной. От передних колес паразитная мощность передается через дорожное полотно к задним и вновь возвращается к передним колесам. Таким образом, происходит своеобразная циркуляция мощности, сопровождаемая необратимыми потерями части полезной мощности в механизмах трансмиссии, расположенных между обоими ведущими мостами. Заметим, что автор утверждает, что величина паразитной мощности уменьшается по мере возрастания сопротивления движению [4]. Далее, автор для определения величины циркулирующей мощности вывел для нее формулу

$$N_{\eta} = \frac{(R_1 \varphi - W_a) V_2 \eta_1 \eta_2 \eta_3}{75} \quad (6)$$

где R_1 – вертикальная реакция на переднее колесо; η_1 – КПД главной передачи (от раздаточной коробки) до переднего моста; η_2 – КПД главной передачи (от раздаточной коробки) до заднего моста; η_3 – КПД раздаточной коробки; W_a – сопротивление движению; V_2 – скорость задних колес без скольжения и буксования; ν – коэффициент сцепления колеса с дорогой.

А скорость задних ведущих колес автор рассчитывает по формуле

$$V_2 = \frac{\pi \eta_k r_{k2}}{30} \quad (7)$$

Все расчеты и анализ при данном подходе рассматриваются применительно к одиночному колесу. Для многоосной машины со всеми ведущими мостами необходимо рассматривать одновременное взаимодействие всех ведущих колес (осей) при движении. При этом процессы скольжения-буксования в области контакта определяются тангенциальной деформацией шины (закручиванием) и коэффициентом сцепления шины с ОП под каждой осью (колесом). При подобном анализе взаимное качение колес может быть как с буксованием, так и юзом, для разных колес одновременно, и за базовую скорость многоосного автомобиля следует принять именно скорость ее центра тяжести по направлению движения.

Рассматривая движение машины при конструктивном отсутствии межколесного или межосевого дифференциала, одинаковой жесткости приводов к ведущим колесам и равных радиусах качения колес, в работе [5] автор распределяет крутящий момент между ведущими колесами при некоторых частных условиях движения в соответствии с сопротивлениями качению, зависящими от величины нормальных реакций ОП и коэффициентов сопротивления качению, которые не всегда одинаковы для всех колес. В этих условиях максимальная касательная реакция на каждом ведущем колесе может достигнуть его силы сцепления с ОП, и, следовательно, автор приводит формулу [5] для ее вычисления

$$\Sigma X_{M1max} + X_{M2max} \leq (Z\mu\phi)_1 + (Z\mu\phi)_2 = \Sigma Z\mu\phi_1, \quad (8)$$

где X_{M1max} и X_{M2max} – максимальные касательные реакции на передних и задних (правом и левом) колесах автомобиля; $(Z\mu\phi)_1$ и $(Z\mu\phi)_2$ – силы сцепления передних и задних (правого и левого) колес автомобиля.

В действительности радиусы качения ведущих колес могут быть неодинаковыми вследствие разного давления воздуха в шинах и различной остаточной высоты протектора (допуски при изготовлении, износ и т. п.).

В случае отсутствия или блокировки дифференциала ведущие колеса всегда вращаются с одина-

ковой угловой скоростью, тогда как их окружная скорость при неодинаковых радиусах качения будет различна. В результате этого кинематического несоответствия при прямолинейном движении автомобиля по ровной дороге крутящий момент может распределяться между ведущими колесами в различных пропорциях. При этом считается, что большее по радиусу качения колесо всегда остается ведущим, а меньшее может стать ведомым и даже тормозящим, касательная реакция на которых противоположна направлению движения. В то же время величина нагрузок на колесах, определяющая режим движения, автором в работе [5] не учитывается. Указанное кинематическое несоответствие может вызвать буксование ведущих и проскальзывание тормозящих колес и сопровождаться возникновением явления циркуляции мощности в замкнутом контуре колесный движитель – ОП.

На рис. 9 показана схема сил и мощностей, возникающих при движении двухосного полноприводного автомобиля с жесткими колесами, радиусы которых неодинаковы (например, $r_1 > r_2$).

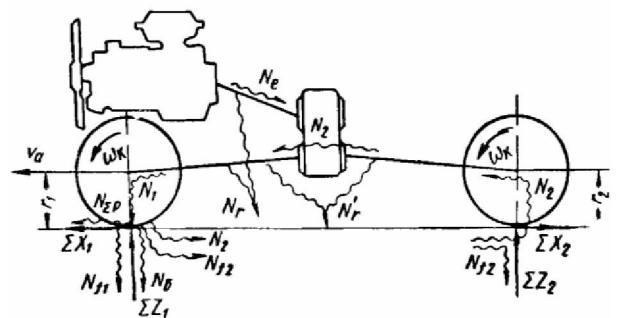


Рис. 9. Схема сил и мощностей, возникающих при движении двухосного полноприводного автомобиля с жесткими колесами

Nf_1 и Nf_2 – мощности, затрачиваемые на преодоление сопротивления качению передних и задних колес; Ne – мощность, затрачиваемая на буксование ведущих колес; $N2$ – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления движению тормозящих колес, где P_w – сила сопротивления воздуха; Pa – сила сопротивления движению от уклона подъема.

В этом случае касательная реакция на передних колесах ΣX_1 будет положительной, т. е. она будет направлена в сторону движения автомобиля, а на

задние колеса $\sum X_2$ может быть положительной либо отрицательной, в зависимости от величины сопротивления движению, что уже может вызвать противоречие, т. к. обычно $\sum X_2 > \sum X_1$.

Если для прохождения одинакового пути колеса меньшего радиуса должны скользить, то они являются тормозящими. По мере роста сопротивления движению касательная реакция на ведущих передних колесах $\sum X_1$ будет увеличиваться, пока не достигнет максимального значения, равного силе сцепления, и вычисляется по формуле

$$P_a = G_a \sin \alpha \quad (9)$$

При этом к ведущим (в данном случае к передним) колесам должна быть подведена мощность

$$N_1 = N_{f1} + N_6 + N_w + N_a + N_{f2} + N_2 \quad (10)$$

Максимальное значение мощности N_6 определяется силой сцепления и скоростью буксования ведущих колес, равной разности окружных скоростей передних и задних колес автомобиля

$$N_6 = \sum Z_1 \varphi (r_1 - r_2) \omega_k, \quad (11)$$

где ω_k – угловая скорость колес.

Мощность N_2 , затрачиваемая на преодоление сопротивления движению тормозящих колес, находится из выражения

$$N_2 = \sum X_2 r_2 \omega_k \quad (12)$$

или

$$N_2 = (\sum X_1 - P_w - P_a) r_2 \omega_k \quad (13)$$

А максимальное значение этой мощности автор определяет по формуле

$$N_{2 \max} = (\sum Z_1 \varphi - P_w - P_a) r_2 \omega_k \quad (14)$$

В данной формуле для циркулирующей в замкнутом контуре «колесный движитель – ОП» мощности $N_{2 \max}$ имеется противоречие, т. к. считается, что мощность образуется от нагрузки на переднее колесо, с силой $\sum Z_1$ и скоростью движения заднего колеса $r_2 \omega_k$. Данное противоречие вызвано некорректной заменой величины нагрузки на заднюю ось $\sum X_2$ в зависимости (12) на зависимость $\sum Z_1$ из формулы (14) [5]. Однако в формуле (12) возникает противоречие между силой, действующей на переднее колесо, и скоростью движения заднего колеса, кото-

рые автор объединяет в одной формуле.

В результате касательного воздействия ОП на тормозящие колеса мощность N_2 возвращается в трансмиссию и вместе с мощностью двигателя N_e вновь подводится к ведущим колесам автомобиля (рис. 5).

Таким образом, в замкнутом контуре, образуемом ведущими колесами и ОП, тормозящими колесами и частью трансмиссии, возникает явление циркуляции мощности. При большой силе сцепления и малых сопротивлениях движению P_w и P_a (хорошая горизонтальная дорога, невысокая скорость) циркулирующая мощность, согласно уравнению (14), может быть весьма значительной по величине. Дополнительно нагружая трансмиссию и шины автомобиля, она вызывает повышенное трение в шестеренчатых приводах и ускоренный износ шин, поэтому является вредной (паразитной). Кроме того, дополнительные потери мощности в трансмиссии N_r и на буксование колес N_6 вызывают увеличение расхода топлива, снижая показатели эффективности применения автомобиля. Следовательно, циркуляция мощности снижает экономичность автомобиля, увеличивает износ узлов и агрегатов, пневматических шин.

Далее автор отмечает, что все указанное выше о буксовании и скольжении ведущих колес различного радиуса, а также о циркуляции мощности, полностью справедливо лишь для жестких колес.

В реальных условиях эксплуатации вследствие тангенциальной упругости шин происходит некоторое уравнивание их радиусов качения, т. к. радиус большего колеса, деформирующегося по окружности под действием крутящего момента, уменьшается, в то время как радиус меньшего колеса, являющегося тормозящим, увеличивается. Поэтому если до начала движения автомобиля различие в радиусах невелико, то считают, что циркуляция мощности может вообще не возникнуть, т. е. все колеса остаются ведущими, но крутящий момент на больших из них по радиусу качения будет больше, чем на меньших.

Кинематическое несоответствие между окружными скоростями ведущих колес и проходимыми ими расстояниями возможно не только вследствие различия в радиусах колес, но и при движении автомобиля на повороте или по неровной дороге. Однако тангенциальная упругость шин и в этих условиях значительно снижает или совсем устраняет циркуляцию мощности, вызывая кратковременные

импульсы крутящего момента.

Автомобили с многоосным бездифференциальным приводом обладают той особенностью, что средние угловые скорости их ведущих осей всегда равны между собой, но в процессе эксплуатации, по ряду причин, имеет место кинематическое несоответствие между угловыми скоростями колес разных ведущих осей, их окружными скоростями и теми расстояниями, которые колеса ведущих осей проходят одновременно [6]. В результате колеса каждой оси приобретают разный характер движения относительно ОП, и одна или несколько ведущих осей будут оказывать тормозящее действие на движение автомобиля, а его трансмиссия будет нагружаться дополнительными усилиями, величины которых могут достигать больших значений. Кинематическое несоответствие между ведущими осями автомобиля имеет место в следующих случаях:

- при наличии неравенства радиусов качения колес разных ведущих осей автомобиля при его прямолинейном движении;
- при криволинейном движении автомобиля (поворот) и даже, при равенстве радиусов качения колес ведущих осей;
- при переезде автомобилем препятствий и неровностей дороги.

Также в работе [6] автор рассмотрел прямолинейное движение автомобиля с колесной формулой 4×4 по ровной дороге при наличии неравенства в радиусах качения ведущих колес, при этом условно принял допущение, что радиус колес передней оси меньше радиуса колес задней оси (рис. 10).

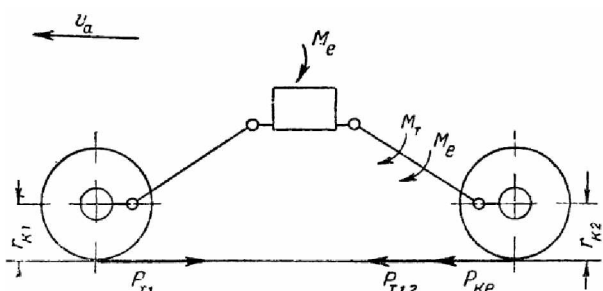


Рис. 10. Схема сил и моментов, действующих на колеса и в трансмиссии автомобиля 4×4 при неравенстве радиусов колес

Но, поскольку колеса ведущих осей связаны жесткой заблокированной трансмиссией, их средние угловые скорости равны между собой, а окружные

скорости различны. Путь же, проходимый колесами за данный промежуток времени, одинаков, и определяется скоростью движения автомобиля. В связи с этим на передних колесах будет возникать тормозная сила, стремящаяся ускорить их вращение.

Так как последнее невозможно, то приводной вал передней ведущей оси будет нагружен моментом, направленным в сторону вращения этого вала. Момент, подводимый к раздаточной коробке от двигателя, будет направляться только к колесам задней оси, поскольку они имеют больший радиус. К той же задней оси будет передан через раздаточную коробку тормозной момент от колес передней оси. При этом часть его будет затрачиваться на механические потери в карданных и главных передачах и в раздаточной коробке. В работе [6] рассматриваются результаты испытаний полноприводного автомобиля с колесной формулой 4×4 и процессы перераспределения реакций ОП при прямолинейном и криволинейном движении. Для определения реакций ОП, действующих на колеса, изначально задается режим, когда переднее колесо имеет меньший радиус ($P_w = 1$ бар), чем заднее ($P_w = 2$ бар). Анализируя описание процесса качения заблокированного движителя от обратного, автор рассматривает возникающую на передних колесах тормозную силу как стремящуюся ускорить их вращение и, соответственно, должен увеличиться подводимый от двигателя крутящий момент. Исходя из анализа рис. 10, тормозная сила передних колес зависит от внешних условий движения и снижается при увеличении внешних сопротивлений в тяжелых дорожных условиях. Соответственно, не рассматривается процесс возникновения тормозной силы на переднем колесе от внутреннего воздействия заблокированного движителя, хотя и утверждается, что колеса имеют разную скорость движения при одинаковой угловой скорости. Поэтому, согласно принятой схеме взаимодействия ведущих осей, паразитная мощность в контуре привода при некоторой величине радиусов колес, изменяемой внутренним давлением воздуха в них, может быть доведена до нуля. В то же время, рассматривая качение машины на повороте или в тяжелых грунтовых условиях, автор делает вывод о переходе передней оси из тормозного режима к ведущему. Хотя это противоречит приведенным графикам, т. е. обе оси по-прежнему сохраняют перераспределение сил в точках контакта с ОП при

повороте или на свежевспаханном грунте.

Также в работе [6] автор делает вывод, что для минимизации отрицательного действия разницы в размерах ведущих колес осей необходимо для каждой модели шины экспериментально подбирать оптимальное отношение давлений в соответствии с весом, приходящимся на ведущие мосты во время движения автомобиля.

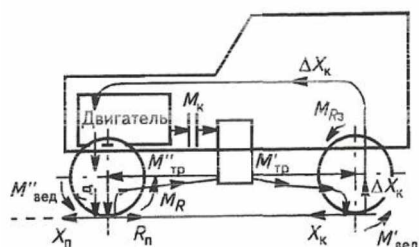


Рис. 11. Распределение крутящих моментов по ведущим мостам

В работе [6] автор указал, что увеличение внутреннего давления воздуха в шинах приводит к неравномерной нагруженности полуосей, что особенно проявляется при заблокированном приводе. При снижении давления воздуха в шинах колес всех мостов максимальные крутящие моменты имеют величины, близкие как при дифференциальном, так и при заблокированном приводе раздаточной коробки. При дифференциальном приводе ведущих колес с увеличением скорости движения и, соответственно, с уменьшением сил тяги на колесах крутящие моменты в приводах к ведущим колесам уменьшаются.

Циркуляцией мощности в работе [7] автор называет процесс, возникающий при нарушении кинематического соответствия в жестком приводе ведущих колес. Когда отстающие колеса начинают перемещаться со скольжением (юзом), в пятне контакта их с ОП возникает реакция R_n (рис. 11), направленная в противоположную сторону, по сравнению с реакцией X_n . В результате этого ведущий момент $M_{вед}$ на отстающих колесах, подводимый от двигателя через трансмиссию, начинает выполнять функцию тормозного по отношению к моменту, создаваемому реакцией почвы, который стремится вращать отстающие колеса с большей скоростью, чем скорость, подводимая к ним от трансмиссии. Как следует из анализа процесса, на образование реакции ОП R_n и реактивного момента от нее M_R затрачивается неко-

торая часть толкающей реакции ΔX_k забегających колес. Момент M_R через передний мост и карданный вал к нему, раздаточную коробку, карданный вал и задний мост передается задним (забегающим) колесам и дополняет ведущий момент $M_{вед}$, передающийся на эти колеса от двигателя. Момент M_{R3} , передаваемый заднему мосту от переднего, меньше момента M_R , который образовался в результате действий реакции ОП R_n , на величину КПД трансмиссии, через которую он передавался. Чем больше кинематическое несоответствие, тем больший момент M_R передается от отстающих колес к забегающим. Так возникает циркуляция момента и мощности в замкнутом контуре: пятно контакта забегających колес с ОП – корпус машины – пятно контакта отстающих колес с ОП – трансмиссия – забегающие колеса. Циркуляция момента и мощности сопровождается дополнительными потерями энергии в трансмиссии и пятне контакта отстающих колес с ОП. Помимо этого, тяговая сила, затрачиваемая дополнительно на создание скольжения отстающих колес, повышает буксование забегających колес. При заблокированном приводе и наличии кинематического несоответствия потери особенно проявляются в тех случаях, когда колеса имеют хорошее сцепление с дорогой и пробуксовка или проскальзывание забегających колес относительно отстающих (или наоборот) требует увеличенного расхода энергии. Потери составляет энергия, затрачиваемая, в основном, на трение протектора шины о поверхность дороги. На эксплуатационных показателях это сказывается через снижение долговечности шин и увеличение расхода топлива.

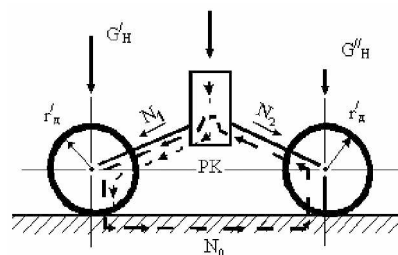


Рис. 12. Схема циркуляции мощности между колесами балансирной тележки

Замкнутые контуры, в которых возникает явление циркуляции мощности, представляют собой не только сочетание переднего и заднего ведущих мостов. На рис. 12 изображены схемы локальной цирку-

ляции мощности в отдельных узлах трансмиссии и ходовой части за счет того, что $r'_\partial \neq r''_\partial, G'_H \neq G''_H$. В работе [7] автором показано, что циркуляция мощности возникает вследствие кинематического несоответствия в их приводе. Общим признаком возникновения явления циркуляции мощности является наличие в замкнутом контуре ведущего и тормозящего колес. При наличии жесткой связи между колесами (кинематической или конструктивной) происходит перераспределение нагрузок и реакций от ОП между осями. Поскольку пневматические шины являются эластичными, то различие в величинах их силовых радиусов является причиной различной их линейной скорости. Разница в линейных скоростях позволяет считать одно из колес более быстрым (ведущим), а второе, соответственно, тормозящим (ведомым). Циркулирующая мощность рассеивается в силовое нагружение колес, зубчатых пар и в проскальзывании колес в области контакта с ОП. При этом автором в работе [7] вводится предположение о рассеянии мощности в области контакта при проскальзывании колес по ОП. Однако процесс образования явления циркулирующей мощности и ее действия для компенсации буксования автор не рассматривает, ограничиваясь только утверждением о наличии режима буксования колес в области контакта. Появление циркуляции мощности заметно при передаче мощности от входного вала к выходному, при этом существенно меняется КПД системы.

Циркулирующая мощность может быть как постоянной, так и переменной, и остается внутри механизма (рис. 13) [10]. Поскольку в системе нет других источников энергии, кроме двигателя, то циркулирующая мощность снижает общую полезную мощность двигателя и КПД машины в целом, а энергия на покрытие потерь идет от внешнего источника (двигателя).

В зубчатых механизмах, к которым относятся и заблокированные балансирные приводы ведущих колес (тандемные мосты) дорожных и лесозаготовительных машин, учитывают следующие виды потерь: потери в полюсах зацепления, связанные со скольжением колес относительно друг друга, потери в опорах валов, потери на взбалтывание масла в картере; потери на трение между зубчатыми элементами шестерен, участвующих в передаче крутящих мо-

ментов, и потери на трение в подшипниках, которые зависят от величины передаваемых моментов и скорости вращения валов трансмиссии.

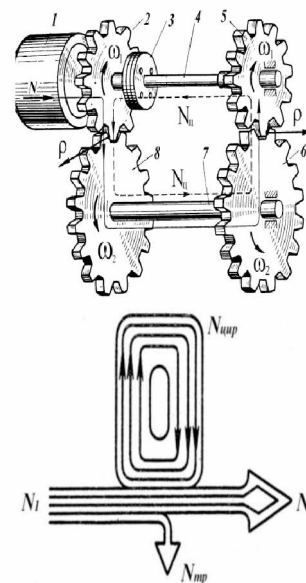


Рис. 13. Баланс мощности в замкнутом механизме и схема: N_1 – мощность, подводимая к механизму; N_2 – мощность, отводимая от механизма; N_{mp} – потери мощности в механизме; $N_{цир}$ – циркулирующая мощность

В замкнутых контурах зубчатых передач балансиров в определенных условиях возможно возникновение циркулирующей мощности. Эта мощность иногда значительно превышает мощность, подводимую от двигателя. Циркулирующая мощность повышает нагрузку на узлы, механизмы, через которые она передается, снижает КПД и увеличивает износ зубьев шестерен. Поэтому при проектировании сложных замкнутых механизмов, особенно планетарных, стремятся избегать контуров с циркулирующей мощностью. В тех случаях, когда невозможно исключить циркулирующую мощность, она должна быть учтена при тяговых и прочностных расчетах [8].

При заблокированной раздаточной коробке и включенном приводе переднего моста во время движения по дорогам с твердым покрытием возникает циркулирующая мощность [12]. Поэтому в таких раздаточных коробках передний мост рекомендуется включать только при преодолении труднопроходимых участков и на скользкой дороге. На полноприводных автомобилях большой грузоподъемности устанавливают двухступенчатые дифференциальные раздаточные коробки с несимметричными межосе-

выми дифференциалами. В этих раздаточных коробках за счет несимметричного дифференциала происходит распределение крутящего момента на передний мост и заднюю тележку в соотношении один к двум. Благодаря этому у автомобиля с полной нагрузкой сцепная масса может быть полностью реализована за счет соответствия подводимых к мостам крутящих моментов и нормальных нагрузок, приходящихся на эти мосты. Кроме того, в дифференциальных раздаточных коробках передний мост имеет постоянно включенный привод, что позволяет за счет полного использования сцепной массы увеличить силу тяги не только на скользких дорогах, но и на дорогах с твердым покрытием. При постоянно включенном приводе переднего моста более равномерно распределяются нагрузки по ведущим колесам мостов, благодаря чему снижается износ шин и уменьшается расход топлива. Наличие дифференциальной связи между мостами в основном исключает возможность возникновения циркулирующей мощности. В то же время дифференциальная связь ведущих колес мостов обеспечивает возможность раздельного их буксования при попадании на скользкие участки дороги. Для преодоления труднопроходимых участков во всех дифференциальных раздаточных коробках предусматривается возможность блокирования дифференциалов путем включения муфт блокировки.

Чтобы исключить возможность циркуляции мощности через зубчатый механизм раздаточной коробки, для некоторых полноприводных автомобилей соосно устанавливают выходные валы [12]. В таком варианте конструкции при включении переднего моста циркулирующая мощность не нагружает зубчатые зацепления, а проходит только через валы привода переднего и заднего мостов и соединяющую их муфту. Однако при соосном расположении выходных валов исключается возможность получения прямой передачи, поэтому зубчатые колеса раздаточной коробки работают под нагрузкой на всех режимах, что приводит к снижению КПД и увеличению вероятности износа зубчатых зацеплений и подшипников. Анализ кинематических схем и конструктивных исполнений раздаточных коробок с заблокированным приводом показывает, что требования, предъявляемые к ним, выполнены не в полной мере. В частности, нельзя считать выполненным такое важное требование, как недопустимость циркуляции мощности в трансмиссии полноприводного автомо-

биля. Основным преимуществом дифференциального привода является исключение возможности появления циркулирующей мощности в трансмиссии автомобиля, а значит, передний мост может быть постоянно включен. При дифференциальном приводе все мосты постоянно являются ведущими, что особенно важно для автомобилей большой грузоподъемности, а также работающих с прицепами. У таких автомобилей передний мост делают ведущим не только для повышения проходимости в сложных дорожных условиях, но и для создания повышенной силы тяги на колесах при движении в обычных дорожных условиях за счет использования всей массы автомобиля в качестве сцепной.

В работе [9], основываясь на обобщенных параметрах качения многоколесных движителей по ОП, автор сформулировал количественные критерии, характеризующие возникновение или прекращение процесса циркуляции мощности в трансмиссиях с заблокированным приводом. Исходя из основных положений в области прикладной механики и анализа результатов исследований, автор установил, что циркуляция мощности в замкнутой механической системе с вращающимися элементами может характеризоваться одним главным признаком – нагружением хотя бы одного силового вращающегося элемента системы (вала, оси, муфты, шестерни и т. п.) со стороны источника механической энергии крутящим моментом, противоположным по знаку угловой скорости данного элемента, а со стороны приемника энергии (рабочего органа) – крутящим моментом одного с угловой скоростью знака. Поскольку возвратный поток мощности в системе привода колесного движителя не может возникнуть, минуя колесо, то в качестве элемента исследования автором было взято одно колесо в системе заблокированного колесного движителя. Автор установил, что если разность обобщенного радиуса качения колесного движителя с заблокированным приводом и радиуса качения какого-либо из его колес в ведомом режиме превышает абсолютную величину приращения обобщенного радиуса качения колесного движителя в данном режиме, то через рассматриваемое колесо проходит поток циркулирующей мощности, величину которого можно определить по формуле

$$r_a^0 - r_{kj}^0 > \lambda_a M_a, \quad (15)$$

где r_a^0 – обобщенный радиус качения колес движителя с несимметричным дифференциальным

приводом; r_{kj}^0 – радиус качения колес движителя; λ_a – обобщенный коэффициент тангенциальной эластичности колес движителя; M_a – полный крутящий момент колесного движителя.

Движитель всякого колесного транспортного средства с приводом на два колеса и более, вследствие дополнительной механической связи колес через ОП, образует замкнутую механическую систему, в результате чего создается возможность появления в системе привод – движитель – дорога циркулирующей мощности. Автор, основываясь, на обобщенных параметрах качения многоколесных движителей и способах их определения, сформулировал количественные критерии, характеризующие возникновение или прекращение циркуляции мощности в системе колесный движитель – ОП. Поскольку возвратный поток мощности в системе привода колесного движителя не может возникнуть, минуя колесо, в качестве элемента исследования было взято само колесо в системе заблокированного движителя.

Необходимо отметить, что из условий прекращения циркуляции мощности в системах заблокированного привода непосредственно не следует, что наряду с этим уменьшаются потери мощности на сопротивление качению. Сопротивление качению транспортных средств с приводом такого типа подчинено закономерностям, общим для транспортных средств с приводом любого типа. Однако параметры, отражающие эти закономерности для заблокированного привода, имеют свои специфические особенности.

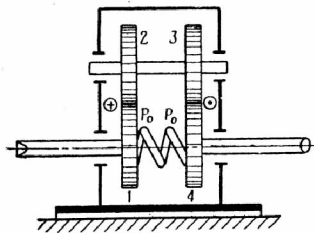


Рис. 14. Замкнутый зубчатый механизм

В работе [10] автором вводится понятие «кинетическая точка преобразования», которая описывает относительный рассеянный поток (рис. 13, 14), который должен описывать потери на трение в подшипниках зубчатой передачи и проскальзывание ведущих колес в области контакта шин с ОП при их взаимодействии.

Однако автор в работах [10] и [11] не дает определения величины циркулирующей мощности. При этом в работе [10] термин «циркулирующая мощность» заменяется на термин «мощностной фактор». В работе [11], рассматривая теорему о циркуляции мощности, автор вводит понятие «трансформаторы крутящего момента» (рис. 15) и коэффициент циркуляции.

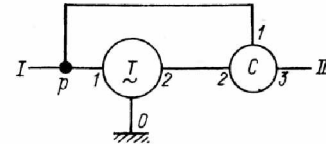


Рис. 15. Циркуляция мощности в замкнутом силовом потоке

Коэффициент циркуляции автор вычисляет по формуле

$$\varepsilon_T = - \frac{M_{2c} \omega_{2c}}{M_{3c} \omega_{3c}} \quad (16)$$

Однако величины горизонтальных реакций ОП и, соответственно, моментов автором определяются из нагрузок на ведущие колеса, как независимых друг от друга при движении, просто учитывая только величину Δr_0 – разность между свободными радиусами колес, и вычисляются по формуле

$$F_1 = \frac{\lambda R_0 - \Delta r_0}{2T}; F_2 = \frac{\lambda R_0 - \Delta r_0}{2T} \quad (17)$$

Таким образом, автор в работе [11] только вводит критерий существования циркуляции мощности, но не рассматривает ее величину в аналитическом виде, что не дает возможности проанализировать влияние параметров движения, конструкции трансмиссии и ходовой части на процесс возникновения циркуляции мощности и способов его минимизации.

В работе [13] авторами рассматривается силовой поток в трансмиссии двухосного автомобиля с заблокированным приводом ведущих колес, а также трехосного автомобиля с балансирной подвеской среднего и заднего ведущих мостов.

Проведя анализ распределения силовых факторов в трансмиссии, было получено условие отсутствия возникновения явления циркуляции мощности:

$$\frac{\Delta r_K^c}{\gamma_1 F} < 1, \quad (18)$$

где $\Delta r_K^c = \Delta r_{K1}^c - \Delta r_{K2}^c$;

$\gamma_1 F$ – коэффициент тангенциальной эластичности колес от действия сил сопротивления F .

Недостатком данной работы является игнорирование наличия силового потока, описывающего циркуляцию мощности между ведущими осями. То есть представленная расчетная схема позволяет только распределять мощность, без анализа ее циркуляции, и поэтому является не совсем корректной.

Автор в работе [14] отметил, что изменение величины подведенного крутящего момента вызывает соответствующее изменение радиусов качения ведущего колеса, а при движении по грунту появляется частичное буксование колесного движителя, при этом уменьшение радиуса качения колеса при увеличении крутящего момента происходит в значительно большей степени.

В работе [15] автор показал, что при использовании дифференциального привода ведущих колес происходит равномерное распределение крутящего момента между осями, который будет определяться только той осью, которая находится в худших условиях по сцеплению с ОП. Следовательно, одна из ведущих осей не полностью использует свои тягово-сцепные свойства, что и является причиной снижения тяговых показателей полноприводных машин. Блокированный привод позволяет максимально реализовать крутящий момент, но при этом возникает кинематическое несоответствие, приводящее к неравномерному распределению касательных сил тяги по сцеплению переднего и задних ведущих мостов. Уменьшение негативного влияния величины кинематического несоответствия в заблокированном приводе позволит улучшить тягово-сцепные свойства, снизить величину буксования, а также повысить производительность машины.

Причиной кинематического несоответствия в заблокированном приводе являются различия статических радиусов колес ведущих осей, которые, в свою очередь, зависят от нормальных реакций на колесах ведущих осей; состояния ОП; величины давления воздуха в шинах; степени их изношенности и производственных допусков. При значительной величине касательной силы тяги нормальные реакции ОП распределяются на заднюю ось больше, чем на переднюю, поэтому уменьшение радиуса качения шин заднего моста происходит более интенсивно, чем радиуса шин переднего моста. Ввиду перераспреде-

ления веса от действия касательной силы тяги вертикальная нагрузка на шины передней оси уменьшается, а на шины задней оси увеличивается. Следовательно, с ростом свободной силы тяги становится больше разность величин начальных радиусов качения шин передней и задней осей, а неравномерное распределение крутящего момента в колесном движителе происходит вследствие различных радиусов шин.

В процессе теоретического анализа тяговой динамики полноприводных машин автором установлено, что изменение давления воздуха в шинах позволяет снизить величину кинематического несоответствия на 15-20 % и повысить силу тяги на крюке на 20 %.

В работе [16] автор провел анализ факторов, влияющих на тягово-сцепные качества колесных машин, и установил, что одним из главных факторов, влияющих на эксплуатационные показатели, являются нормальные реакции ОП на его осях, а изменение нормальных реакций ОП приводит к увеличению сцепного веса и снижению величины буксования. Нормальные реакции ОП на ведущих осях автор предлагает изменять путем использования гидродогрузателей, принцип работы которых основан на создании давления подпора в полости подъема гидроцилиндра. Нормальные реакции ОП на ведущих осях автор представляет в виде функции

$$\left. \begin{aligned} Y_{\text{п}} &= f(G_{\text{п}}; L; l_{\text{кр}}; h_{\text{кр}}; P_{\text{кр}}; \gamma_{\text{кр}}), \\ Y_{\text{з}} &= f(G_{\text{з}}; L; l_{\text{кр}}; h_{\text{кр}}; P_{\text{кр}}; \gamma_{\text{кр}}), \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

где $Y_{\text{п}}$ – нормальные реакции на ведущую ось передних колес; $Y_{\text{з}}$ – нормальные реакции на ведущую ось задних колес; $G_{\text{п}}$ – сила тяжести, действующая на передние колеса; $G_{\text{з}}$ – сила тяжести, действующая на задние колеса; L – продольная база трактора; $l_{\text{кр}}$ – расстояние от центра колеса до крюка; $h_{\text{кр}}$ – расстояние от опорной поверхности до крюка; $P_{\text{кр}}$ – сила тяги на крюке; $\gamma_{\text{кр}}$ – угол действия силы тяги.

Проведенный анализ выражения (19) показывает, что наибольшее влияние на величину нормальных реакций ОП на ведущих осях оказывают оптимальная развесовка машины и сила тяги на крюке.

Догрузку задних ведущих колес и разгрузку управляемых ведущих передних колес под действием

этой силы можно определить из условия равновесия системы.

На основании результата проведенных исследований автор делает выводы:

- основным конструктивным и эксплуатационным фактором, влияющим на тягово-сцепные показатели, являются нормальные реакции ОП на его ведущих колесах;

- максимальное значение касательной силы тяги при использовании заблокированного привода может быть получено при таком распределении нормальных реакций ОП по ведущим колесам, когда каждая ось полностью использует свои тягово-сцепные возможности;

- критерием оптимального перераспределения нормальных реакций ОП по ведущим колесам будет считаться равенство буксования ведущих колес;

- обратное перераспределение нормальных реакций ОП при конструктивных изменениях в трансмиссии на основе новых технических решений существенно повлияет на величину буксования ведущих колес, снижая ее на 10-15 %, кроме того, обратное перераспределение нормальных реакций ОП увеличивает сцепной вес до 10-15 %.

В работе [17] автор предложил один из способов повышения тягово-сцепных свойств колесных тракторов – использование в конструкции полноприводных тракторов шин равного размера. По своим тягово-сцепным свойствам они значительно превышают показатели полноприводных тракторов с разными размерами шин, а на определенных агрофонах приближаются к показателям гусеничных машин. Значительное увеличение тягово-сцепных свойств тракторов 4К4 с колесами равного размера происходит оттого, что колеса задней оси, двигаясь по предварительно уплотненной ОП, имеют при этом меньшее сопротивление качению и больший, на 20-30 %, коэффициент сцепления с ОП, чем колеса передней оси. Но при таком характере движения силовой радиус ведущих колес передней и задней осей различен, что приводит к появлению различных по величине вертикальных реакций ОП и появлению в замкнутой системе колесный движитель – ОП циркулирующей мощности, снижающей тяговые показатели.

Максимальное использование сцепного веса полноприводного автомобиля возможно только при наличии заблокированного привода, т. к. при диффе-

ренциальном приводе полная реализация сцепных свойств возможна только при равномерном распределении сцепного веса по ведущим осям и равенстве величин коэффициентов сцепления ведущих колес с ОП. Теоретически это возможно только при движении по твердой недеформированной ОП и при постоянстве ее нормальных реакций. В реальных условиях эксплуатации эти условия невыполнимы, т. к. под действием силы тяги при любом первоначальном распределении нормальных реакций ОП, происходит их перераспределение между ведущими колесами мостов и бортов машины, а шины передней и задней осей работают в разных условиях и, следовательно, имеют различные коэффициенты сцепления и силовые радиусы. Большим крутящим моментом нагружается ведущая ось, шины которой имеют большой радиус, и, как правило, она имеет меньшие тягово-сцепные показатели.

Причиной неравномерного распределения крутящего момента между ведущими колесами в заблокированном приводе является кинематическое несоответствие, обусловленное различиями силовых радиусов колес ведущих осей. Величина кинематического несоответствия определяет степень неравномерного распределения крутящего момента и позволяет получить такое его распределение, которое бы соответствовало максимальным значениям силы тяги на крюке и тяговому КПД.

Также давление воздуха в шинах и вертикальные реакции ОП, действующие на них, оказывают влияние не только на величину кинематического несоответствия и распределение крутящего момента, но и на пятно контакта единичной шины с ОП, а следовательно, на ее сцепные свойства, сопротивление качению, коэффициенты нормальной и тангенциальной деформации шин. Совокупность этих показателей при изменении нормальных реакций ОП и давления воздуха в шинах может неоднозначно влиять на тяговые и эксплуатационные характеристики.

Автором было предложено техническое решение по использованию гидравлических догрузателей задних ведущих колес для изменения угла действия силы тяги при оптимальном давлении воздуха в шинах, что может привести к дополнительному повышению тягово-сцепных свойств трактора на 10-15 % и производительности на 8-12 % на слабонесущих ОП.

В работе [18] автор при математическом описании динамики прямолинейного движения колесной машины в вертикальной плоскости, проходящей через центр тяжести корпуса, принимает следующие допущения:

- профиль трассы – недеформируемый, кусочно-линейный;
- система симметрична относительно продольной оси, проходящей через центр тяжести корпуса машины (т. е. силовые радиусы ведущих колес всех мостов равны);
- трение в шарнирах и подшипниках пренебрежимо мало и не учитывается в расчетах;
- поперечные (боковые) реакции ОП не влияют на колебание масс колесной машины и характер ее движения;
- контакт шин с ОП – точечный (т. е. деформация шин отсутствует).

Однако если принять, что силовые радиусы ведущих колес всех мостов одинаковы, при отсутствии тангенциальной деформации пневматических шин получить достоверные результаты в расчетах не представляется возможным, более того, на практике такие условия эксплуатации не встречаются.

Рассматривая конструкцию и движение многоосной колесной машины со всеми поддресоренными осями, автор на примере трехосного автомобиля при его движении по разбитой грунтовой дороге определяет величины смещения корпуса автомобиля и величину поворота балансира вокруг своей оси.

Однако неясно, как подводится возмущающая сила от ОП, зависит ли она от скорости движения машины и какими силами или моментами машина приводится в движение. В используемых дифференциальных уравнениях движения присутствует сила инерции, связанная с ускорением, т. е. со второй производной по времени. Следовательно, при движении машины возмущающее воздействие на каждом ведущем колесе при последовательном наезде на препятствие будет сдвинуто по времени. Соответственно, демпфирующий момент, зависящий от скорости, не будет совпадать с упругим моментом и силой инерции, зависящей от ускорения. В то же время отсутствие спектрограммы возмущающего воздействия не позволяет оценить влияние вязко-упругих свойств рессор балансира и характер перераспределения колебаний между мостами. Дополнительно необходимо

было бы учитывать взаимовлияние силовых факторов, обеспечивающих движение машины.

У полноприводных автомобилей с заблокированным приводом при наличии кинематического рассогласования между ведущими колесами потери мощности возрастают, когда ведущие колеса имеют хорошее сцепление с ОП и пробуксовка или проскальзывание забегающих колес относительно тормозящих требует повышенного расхода мощности. В то же время ведущие валы главных передач мостов соединены между собой жесткой кинематической связью и вращаются с одинаковой угловой скоростью. Таким образом, мощность, создаваемая на ведущих колесах, циркулирует по замкнутому контуру: передние ведущие колеса, трансмиссия автомобиля, задние ведущие колеса, а от задних колес она передается на раму автомобиля и обратно к передним ведущим колесам (рис. 16). Циркулирующая мощность не является полезной, нагружает трансмиссию и создает в ней дополнительные механические потери [19].

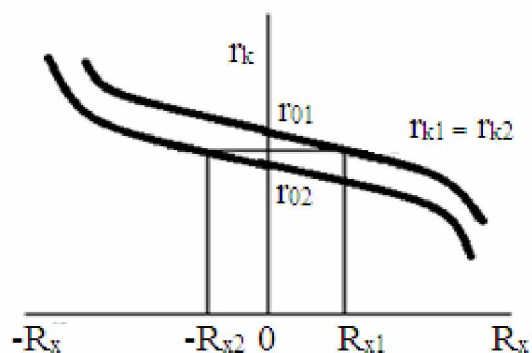


Рис. 16. Характер изменения силовых радиусов качения колес при наличии циркуляции мощности

При этом в процессе циркуляции мощности происходит ее рассеивание в результате буксования – юза ведущих колес и возрастает вероятность аварийного разрушения отдельных элементов трансмиссии. Все процессы в области контакта шины и ОП являются взаимосвязанными, зависящими от внешних факторов, параметров шин и процессов их взаимодействия с ОП.

Автор в работе [20] установил, что момент привода M_n создает в центральной части балки моста напряжения кручения, которые вызваны тем, что крутящие моменты на карданном валу и колесах действуют во взаимно перпендикулярных плоскостях

(рис. 17). Величина напряжений определяется передаточным числом, т. е. включенной передачей коробки передач, и передаточным числом главной передачи, в результате центральная часть балки моста нагружена дополнительным крутящим моментом.

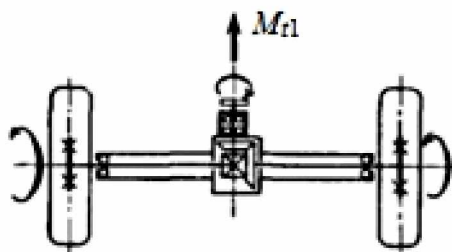


Рис. 17. Действие крутящего момента на ведущий мост

Также автор в работе [20] установил, что наибольшие напряжения в балке моста могут возникнуть при преодолении неровных участков ОП, при движении по деформированной ОП, а также при трогании с места или торможении на уклоне (рис. 18). При равномерном прямолинейном движении изгибающий момент достигает наибольших значений в центральной части балки моста.

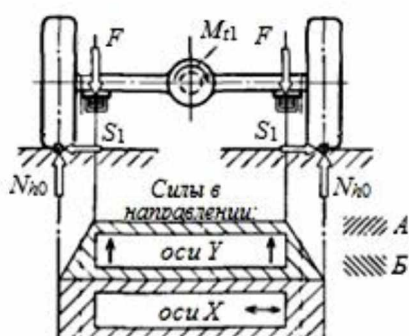


Рис. 18. Схема действия изгибающего момента:

A, B – изгибающие моменты, создаваемые соответственно боковой и вертикальной силами;
 S_1 – боковые силы; $M_{т1}$ – крутящий момент;
 $N_{н0}$ – вертикальные реакции ОП; F – нагрузка на мост

Указанные автором явления ведут к изменениям силовых радиусов ведущих колес, дополнительно нагружая узлы агрегатов трансмиссии и ходовой части, снижая силу тяги, развиваемую ведущими колесами.

В работе [21] автор указал, что использовать всю эффективную мощность двигателя на ведущих колесах не представляется возможным, поскольку

она частично теряется при передаче ее трансмиссией. Эти потери нельзя не учитывать, т. к. они заметно влияют на расход топлива. Потери автор предлагает уменьшить оптимальным распределением передаточных чисел узлов и агрегатов трансмиссии и применением повышающей передачи для обеспечения постоянной оптимальной нагрузки на двигатель.

Другими источниками потерь автор указал шарниры равных угловых скоростей и главные передачи ведущих мостов. В том случае, когда ведущими являются передние колеса, шарниры работают с большими угловыми перемещениями и служат причиной значительных потерь тяговой мощности.

Потери тяговой мощности возрастают, если ведущими являются одновременно передний и задний мосты, в этом случае причиной роста потерь будет увеличение числа шестерен и, соответственно, зацеплений, дифференциалов и шарниров.

Если не применять межосевой и межколесный дифференциалы, то при повороте, различном давлении воздуха в шинах или их неодинаковом износе возникают реактивные внешние силы, дополнительно препятствующие движению, и появляется пробуксовка шин по ОП, вызывая повышенный расход энергии силового двигателя.

По результатам рассмотренных и проанализированных работ можно сделать выводы:

1. Процесс циркуляции мощности в трансмиссии многоприводных автомобилей возникает во многих режимах движения, но, в то же время, до настоящего времени он недостаточно изучен, прежде всего из-за того, что многие авторы не определили ее величину.

2. Циркуляция мощности, как и любая другая мощность, оценивается из скоростного фактора (линейной или окружной скорости) и силового фактора (окружной силы или крутящего момента).

3. Циркуляция мощности по направлению определяется направлением векторов скоростей двух или более осей в ведущем режиме. Силовая часть, в основном, определяется окружной силой или крутящим моментом.

4. Очень важно понимать, что любая мощность (сила тяги) в области контакта ведущих колес с ОП образуется от мощности двигателя с одной стороны и за счет неабсолютного сцепления колеса с поверхностью дороги в области контакта возникает

проскальзывание колеса, т. е. происходит процесс рассеивания мощности с другой стороны. Следовательно, термин «циркуляция мощности» в этом случае просто неадекватен, т. к. эта мощность рассеивается.

5. При работе многоосного колесного движителя в ведущем режиме необходимо учитывать одновременный и совместный режим работы всех ведущих колес. Рассматривать многоосный колесный движитель как сумму независимых колес некорректно.

6. При движении колеса по ОП с препятствиями и неровностями за счет изменения величины пути качения колес при обтекании препятствия будет меняться и величина циркулирующей мощности, причем броски мощности будут резкими и значительными по величине.

7. Наличие разнонаправленных потоков мощности может значительно изменить нагрузку на узлы и агрегаты трансмиссии и ходовой части, особенно в динамических режимах, что приводит к перегрузкам отдельных узлов, агрегатов и их поломкам, особенно в условиях высокого импульсного сцепления ведущих колес с дорогой.

Указанные особенности процесса циркуляции мощности делают задачу его изучения весьма актуальной и востребованной, особенно с учетом роста динамических показателей многоосных полноприводных автомобилей, их грузоподъемности, а также наличия различных климатических и дорожных условий при их эксплуатации. Данная проблема является актуальной и требует дальнейшего изучения.

Библиографический список

1. Большая Советская Энциклопедия / под ред. А. М. Прохорова. – 3-е изд. – Т. 28. Москва : Советская Энциклопедия, 1978. – 616 с.
2. Чудаков, Е. А. Циркуляция паразитной мощности в механизмах бездифференциального автомобиля / Е. А. Чудаков. – Москва : ГНТИ Машиностроительной литературы, 1950. – 72 с.
3. Чудаков, Е. А. Движение бездифференциальной тележки с эластичными колесами / Е. А. Чудаков. – Москва : Изд. Академии Наук СССР, 1946. – 134 с.
4. Зимелев, Г. В. Теория автомобиля / Г. В. Зимелев. – Москва : Машгиз, 1959. – 312 с.
5. Фалькевич, Б. С. Теория автомобиля / Б. С. Фалькевич. – Москва : ГНТИ Машиностроительной литературы, 1963. – 241 с.
6. Левин, И. А. К вопросу о циркуляции мощности в трансмиссии многоприводного автомобиля / И. А. Левин // Научные труды МАМИ. – Вып. 1. – Москва : Научно-техническое издательство автотранспортной литературы, 1954. – С. 76–89.
7. Кутьков, Г. М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства / Г. М. Кутьков. – Москва : КолосС, 2004. – 504 с.
8. Гладов, Г. И. Планетарные передачи транспортных средств : учеб. пособие / Г. И. Гладов. – Москва : МАДИ, 1986. – 66 с.
9. Петрушов, В. А. Соппротивление качению автомобилей и автопоездов / В. А. Петрушов. – Москва : Машиностроение, 1975. – 224 с.
10. Антонов, А. С. Армейские автомобили. Теория / А. С. Антонов. – Москва : Воениздат, 1970. – 523 с.
11. Антонов, А. С. Комплексные силовые передачи. Теория силового потока и расчет передающих систем / А. С. Антонов. – Ленинград : Машиностроение. Ленинградское отд-ние, 1981. – 496 с.
12. Васильченков, В. Ф. Военные автомобили. Конструкция и расчет / В. Ф. Васильченков. – Рыбинск – Рязань : Рыбинский дом печати, 1997. – 661 с.
13. Синицин, С. С. Моделирование силового потока в трансмиссии / С. С. Синицин, А. А. Бойцов // Новые материалы и технологии в машиностроении : Матер. III междунар. науч.-техн. конференции. – Брянск : БГИТА, 2004. – С. 85–89.

14. Котович, С. В. Двигатели специальных транспортных средств. Ч. 1 / С. В. Котович. – Москва : МАДИ (ГТУ), 2008. – 161 с.
15. Зеленев, К. А. Повышение тягово-сцепных свойств колесных полноприводных тракторов регулированием давления воздуха в шинах : специальности 05.20.03 «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве», 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Зеленев Константин Анатольевич; ФГОУ ВПО «СГАУ имени Н.И. Вавилова». – Саратов, 2003. – 22 с.
16. Плужников, С. В. Повышение тягово-сцепных свойств колесных полноприводных тракторов с шинами равного размера путем перераспределения нормальных реакций по ведущим осям : специальности 05.20.03 «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве», 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Плужников Сергей Владимирович; ФГОУ ВПО «СГАУ имени Н.И. Вавилова», г. Саратов. 2003. – 28 с.
17. Коцарь, Ю. А. Повышение тягово-сцепных свойств колесных полноприводных тракторов с шинами равного размера путем перераспределения ведущего момента в двигателе : специальность 05.20.03 «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве» : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Коцарь Юрий Алексеевич; ФГОУ ВПО «СГАУ имени Н.И. Вавилова». – Саратов, 2003. – 42 с.
18. Жилейкин, М. М. Математическая модель прямолинейного движения колесной машины с балансирной подвеской мостов по неровностям пути / М. М. Жилейкин // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2016. № 1(670). – С. 43–49.
19. Агейкин, Я. С. Теория автомобиля : учеб. пособие / Я. С. Агейкин, Н. С. Вольская. – Москва : МГИУ, 2008. – 319 с.
20. Prof. Dipl.-Ing. Jörnßen Reimpell. Fahrwerktechnik: Federung Fahrwerkmechanik. 2. Auflage. Vogel-Buchverlag Würzburg. 1983. – 288 p.
21. Lng. Julius Mackerle. Automobil s lepší účinností. Praha 1985. SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1987. – 320 p.

References

1. Big soviet encyclopedia 3rd edition revision by Prohorov A.M. Vol. 28. M.: Soviet Encyclopedia, 1978, 616 p. (in Russian).
2. Chudakov E. A. Spurious power circulation in the mechanisms of a non-differential car. M.: GNTI engineering literature, 1950, 72 p. (in Russian).
3. Chudakov E. A. Movement of anon-differential trolley with elastic wheels. M.: Academy of science USSR, 1946, 134 p. (in Russian).
4. Zimelev G. V. Car theory. M. Machtiz, 1959, 312 p. (in Russian).
5. Falkevich B. S. Car theory. State scientific and technical publishing house of engineering literature. M., 1963, 241 p. (in Russian).
6. Levin I. A. To the question of the circulation of power in the transmission of a multi-car. *Science works MAMI*, № 1, 1954, p. 98. (in Russian).
7. Kutkov G. M. Tractors and cars. Theory and technological properties. M.: Kolos, 2004, 504. p. (textbook and study guides for university students) (in Russian).
8. Gladov G. I. Planetary vehicle transmissions. Tutorials. M.: MADI. 1986, 66 p. (in Russian).
9. Petrushov V. A. Rolling resistance of cars and road trains. M.: Engineering, 1975, 224 p. (in Russian).
10. Antonov A. S. Military vehicle. Theory. M.: Military publishing house, 1970, 523 p. (in Russian).
11. Antonov A. S. Integrated power train. Power flow theory and calculation of falling systems. L. : Engineering. Leningrad branch. 1981, 496 p. (in Russian).

12. Vasilchenkov V. F. Military vehicles Construction and calculation. Textbook for military university of vehicle profession. Rybinskiy print house Rybinsk-Ryazan, 1997, 664 p. (in Russian).
13. Sinitsin S. S., Boytsov A. A. Simulation of power flow in transmission. Materials of III international scientifically-technical conference "New materials and technologies in engineering". BGITA, Bryansk, 2004. P. 85-89 (in Russian).
14. Kotovich S. V. Propulsion units of special vehicles. Part 1. M.: MADI (GTU), 2008. 161 p. (in Russian).
15. Zelenkov K. A. Increasing traction and coupling characteristics of wheel tractors with all-wheel drive by adjusting the air pressure in tires. The abstract of the thesis for a scientific degree completion of PhD (Engineering). FSEU MPE "SSAU named after N.I. Vavilova", Saratov. 2003. 22 p. (in Russian).
16. Pluzhnikov S. V. Increasing traction and coupling characteristics of wheel tractors with all-wheel drive with tires of equal size through the redistribution of normal reactions on the drive axles. The abstract of the thesis for a scientific degree completion of PhD (Engineering). FSEU MPE "SSAU named after N.I. Vavilova", Saratov. 2003. 28 p.
17. Kotsari U. A. traction and coupling characteristics of wheel tractors with all-wheel drive with tires of equal size through the redistribution drive moment in propulsion unit. The abstract of the thesis for a scientific degree completion of PhD (Engineering). FSEU MPE "SSAU named after N.I. Vavilova", Saratov, 2003. 22 p. (in Russian)
18. Zhileykin M. M. A Mathematical Model of Linear Movement of a Wheeled Vehicle with Centerpoint Suspension over Rough Surfaces. Tidings of higher educational institution. Mechanical engineering No. 1 (670), 2016. BMSTU, Moscow. P. 43–49 (in Russian).
19. Ageikin J. S., Volskaya N. S. Car theory: tutorials. M., MSEU, 2008. 319 p. (in Russian)
20. Prof. Dipl.-Ing. Jornsens Reimpell. Car chassis: suspension component. Part 2. Publishing house Bird Wuryburg. 1983. 288 p.
21. Ing. Julius Mackerle. Modern economy car. Praha 1985. SNTL - Publishing house of technical literature. 1987. 320 p.

Сведения об авторах

Прядкин Владимир Ильич – доктор техн. наук, профессор кафедры автомобилей и сервиса ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация.

Гудков Виктор Владимирович – доцент кафедры автомобильной подготовки ФГКВБОУ ВПО «Военный учебно-научный центр Военно-Воздушных Сил Военно-Воздушная Академия имени Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», кандидат технических наук, доцент, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: gydvik-51@yandex.ru.

Сокол Павел Александрович – соискатель кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: pavsokol@yandex.ru.

Information about authors

Pryadkin Vladimir Iliich – DSc (Engineering), Professor, Department of cars and service, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation.

Gudkov Victor Vladimirovich – PhD (Engineering), Associate Professor of Department of Automotive Training, FSOMEI HE "Military Education and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy (Voronezh) the Ministry of Defense of the Russian Federation", Voronezh, Russian Federation, e-mail: gydvik-51@yadnex.ru.

Sokol Pavel Aleksandrovich – external of the Department of Forestry Mechanization and Machine Design, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: pavsokol@yandex.ru.

ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Научный журнал

2019 г. Том 9 № 3 (35)

Подписано в печать 28.09.2019. Формат 60×90 1/8. Усл. печ. л. 28,25.

Уч.-изд. л. 59,77. Тираж 1000 экз. Заказ 669

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

РИО ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8

Отпечатано в УОП ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». 394087, г. Воронеж, ул. Докучаева, 10

LESOTEKHNICHESKII ZHURNAL

Scientific journal

2019 Vol. 9 № 3 (35)

Sent for press 28.09.2019. Format 60×90 1/8. Conv. pr. 1. 28,25.

Teach. and publ. 1. 59,77. Circulation 1000 copies. Order 669

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov»

EPA of FSBEI HE «VSUFT». 394087, Timiryazeva st., 8, Voronezh

Printed in «VSUFT». 394087, Dokuchaeva st., 10, Voronezh