

## НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В СФЕРЕ ТУШЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

О.И. Григорьева<sup>1</sup>✉, В.А. Савченкова<sup>2</sup>, И.В. Григорьев<sup>3</sup>,  
И.С. Должиков<sup>4</sup>, А.С. Лоренц<sup>5</sup>, О.И. Гринько<sup>6</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», Россия, 194021, г. Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5, лит. У

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет», Россия, 677008, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ш. Сергеляхское, 3 км, д. 3

<sup>4</sup>ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4

<sup>5</sup>ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), 163002, Россия, г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, д. 17

<sup>6</sup>ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», Россия, 665709, Иркутская обл., г. Братск, ул. Макаренко, д. 40

grigoreva\_o@list.ru

Проблема эффективного тушения лесных пожаров очень актуальна для лесного комплекса Российской Федерации, а для Сибири и Дальнего Востока особенно. Помимо оперативного обнаружения очагов лесных пожаров, значительную проблему представляет быстрая доставка воды к их очагам. В статье представлены новые технические и технологические решения для тушения лесных пожаров, прежде всего низовых. Установлена возможность получения необходимой для тушения пожара воды в лесу, при помощи мобильных иглофильтровых установок. Выявлена возможность существенной экономии воды на тушение лесного пожара, за счет использования высокотехнологичной системы пожаротушения тонкораспыленной водой высокого давления («водяной туман») Fire Stop 200/30. Рекомендована предварительная установка иглофильтров в наиболее пожароопасных выделах для повышения оперативности начала пожаротушения после доставки к месту их расположения мобильных иглофильтровых установок. Для обеспечения энергией мобильных иглофильтровых установок рекомендовано использование дизельных генераторов, а также мобильных газогенераторных установок. Показана возможность оперативной доставки сил и средств пожаротушения на место пожара, при помощи колесных и гусеничных тракторов малого класса тяги (мини-тракторов), и выполнения с их помощью ряда необходимых для тушения пожара работ.

**Ключевые слова:** лесные пожары, иглофильтровые установки, системы машин, мини-тракторы, пожарные форвардеры, водяной туман

**Ссылка для цитирования:** Григорьева О.И., Савченкова В.А., Григорьев И.В., Должиков И.С., Лоренц А.С., Гринько О.И. Новые технические и технологические решения в сфере тушения лесных пожаров // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 4. С. 66–77. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-66-77

Лесные пожары оказывают воздействие на лесные экосистемы в масштабе всей планеты, наносят существенный экономический и экологический ущерб лесной отрасли [1–4], поэтому оперативная и эффективная борьба с ними определена как актуальная задача.

«Методика тушения ландшафтных пожаров», утвержденная МЧС России 14.09.2015 г. № 2-4-87-32 ЛБ, описывает различные способы локализации лесных пожаров, в частности тушение горячей кромки водой с помощью огнетушителей, мотопомп, пожарных автоцистерн, ранцевых опрыскивателей [5].

Примеры тушения крупных лесных пожаров с помощью воды [3, 5, 7, 8] свидетельствуют о несовершенстве этого способа в связи с недостаточной локализацией источников воды и трудно-

стью использования водоемов в этих целях. При отсутствии водных источников вблизи кромки пожара воду доставляют тракторными или автоцистернами, а за неимением сети дорог — вертолетами в емкостях (например, П-1.00) или на внешней подвеске.

Данные способы ресурсозатратны и зачастую вследствие большого плеча перевозки занимают значительный временной интервал. При обнаружении лесного пожара, даже в зоне применения наземных сил и средств, может возникнуть некоторая проблема доставки лесопожарной техники к месту пожара по причине его значительной отдаленности [9–11]. Это отдаляет время начала тушения пожара, а следовательно, способствует увеличению площади пожара и возрастанию его силы. Поэтому актуально уменьшение временного интервала доставки воды к местам лесных пожаров, обеспечивающее эффективность их локализации.

## Цель работы

Цель работы — анализ возможностей использования мобильных иглофильтровых установок для тушения лесных пожаров, экономии воды за счет использования высокотехнологичной системы пожаротушения тонкораспыленной водой высокого давления («водяной туман») Fire stop 200/30, оперативной доставки сил и средств пожаротушения на место пожара с помощью колесных и гусеничных мини-тракторов и выполнения с их помощью необходимых при тушении пожара работ.

## Материалы и методы

В сфере строительства зданий и сооружений широко используется методика водопонижения, т. е. применяется комплекс специальных мер для стабилизации водоносного грунта во время строительства объекта. Существует множество видов установок водопонижения, которые используются в зависимости от условий эксплуатации. Поверхностное или открытое водопонижение предполагает выемку грунта для создания котлована или траншеи, в которых при гидроизоляции откосов вода, имеющая возможность поступать только с уровня дна, закачивается насосными установками [12]. Данная методика весьма востребована благодаря простоте технологии и возможности возведения котлована как ручным, так и механизированным способом. Однако получение воды таким способом имеет некоторые недостатки, основным из которых в сфере тушения лесных пожаров является низкая производительность выкачивания грунтовых вод, так как по мере откачки статических запасов жидкости ее приток к котловану уменьшается, и работа насосного оборудования становится малоэффективной.

Для откачки грунтовых вод из подготовленных приемных колодцев применяется подземное или закрытое водопонижение — в отечественной строительной практике в основном иглофильтровым способом.

## Результаты и обсуждение

Технология вакуумного водопонижения является одним из самых эффективных современных способов понижения уровня грунтовых вод, в частности, ее возможно применить в условиях лесополосы, для быстрого получения воды непосредственно у места ее распыления. Современные вакуумные установки для водопонижения обеспечивают более 340 м<sup>3</sup>/ч воды [12]. Данная производительность возможна только при соблюдении определенных требований: при правильном расчете уровня грунтовых вод, необходимом диаметре иглофильтров и их количестве, и т. п.

Суть метода использования иглофильтрационных установок (ИФУ) заключается в погружении иглофильтров в осушаемый грунт преимущественно гидроразмывом или бурением (рис. 1).

В работе [13] приведено значение максимально возможного высокого вакуума, до 70 МПа, который может развиваться в насосе ИФУ. Следовательно, учитывая удельный вес столба воды в иглофильтре и гидравлические потери добываемых вод при прохождении канала от фильтрующего звена иглофильтра непосредственно до рабочего органа насоса, отрицательное давление в фильтровом звене иглофильтра может развиваться до значений не более 20...30 МПа, если фильтровое звено установлено не глубже 4...5 м от земной поверхности.

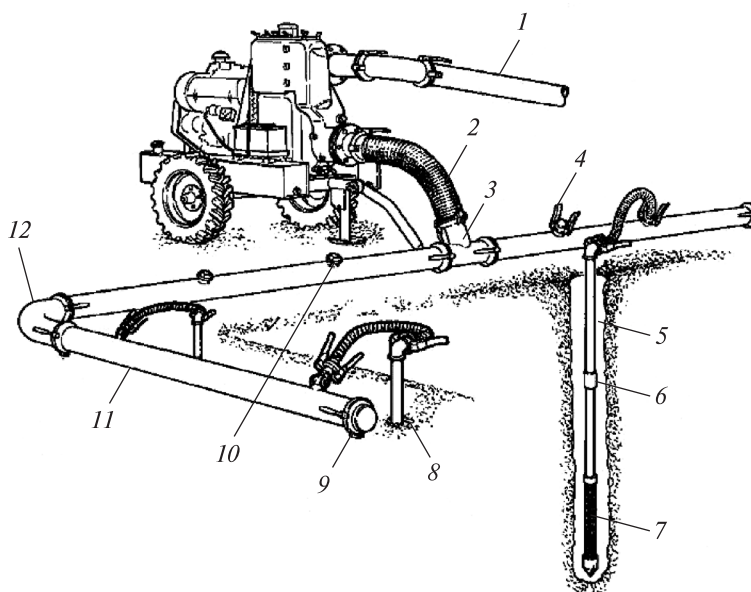
В статье [12] указано, что при уровне залегания грунтовых вод в Северо-Западном регионе на глубине 0,2...2 м от поверхности в фильтровых звеньях иглофильтров может развиваться вакуум большего значения (30...40 МПа). При этом приток воды из грунта усиливается под действием вакуума, благодаря интенсификации откачки воздушной смеси, проникающей в иглофильтр через верхнюю оголенную часть фильтрового звена. По сравнению с водой удельный вес воздушной смеси меньше, соответственно, меньше и общий удельный вес столба воды в водоподъемной трубе. Тогда из развиваемого насосом значения вакуума вычитается удельный вес столба не воды, а водовоздушной смеси. При этом оставшаяся энергия насоса интенсифицирует добычу грунтовых вод. Применение данного способа предусматривает подключение к всасывающему коллектору ИФУ вакуумного насоса для откачки воздуха.

После подключения насоса все иглофильтры подсоединяют к общему водосборному коллектору, в котором с помощью насоса развивается вакуум для добычи грунтовых вод, поступивших в иглофильтры. Вакуумный насос создает пониженное давление в коллекторе и, соответственно, в иглофильтрах. Грунтовая вода под давлением начинает поступать в магистраль. Таким образом происходит постепенное снижение уровня грунтовых вод.

Оборудование ИФУ достаточно компактное, легко перевозится к месту пожара и быстро разворачивается в рабочее состояние. Технически его не сложно использовать в лесу, вдали от обычных источников воды. Наиболее важным является определение глубины залегания грунтовых вод в лесу в целях возможности их получения с помощью ИФУ.

В работе [14] приведено несколько методов определения уровня залегания грунтовых вод:

1) непосредственное разовое измерение уровня грунтовых вод в соответствующие периоды;



**Рис. 1.** Возможная компоновка системы водопонижения: 1 — труба выпускная; 2 — труба гибкая; 3 — муфта тройников; 4 — заглушка накидная; 5 — труба подъемная; 6 — муфта; 7 — иглофильтр; 8 — муфта Trasflex; 9 — заглушка вставная; 10 — пробка резьбовая; 11 — коллектор; 12 — патрубков коленчатый 90

**Fig. 1.** Possible layout of the dewatering system: 1 — outlet pipe; 2 — flexible pipe; 3 — tee coupling; 4 — coupling plug; 5 — lifting pipe; 6 — coupling; 7 — needle filter; 8 — Trasflex coupling; 9 — insertion plug; 10 — threaded plug; 11 — manifold; 12 — crank pipe 90

2) измерение уровня грунтовых вод в сочетании с анализом количества атмосферных осадков;

3) систематическое наблюдение за уровнем грунтовых вод в целях установления закономерностей колебания глубины их залегания.

Непосредственным разовым измерением глубины залегания грунтовых вод в конце мая — начале июня исключается влияние сезонной амплитуды, если в течение 1–2 мес. перед определением количество атмосферных осадков примерно равнялось среднемноголетним значениям, т. е. не было явно выраженного засушливого периода или периода обильного атмосферного увлажнения.

Более точно средняя многолетняя глубина залегания грунтовых вод устанавливается путем систематических наблюдений за уровнем грунтовых вод в специально устроенных скважинах (таблица).

Проанализировав информацию из имеющихся источников, можно полагать, что глубина залегания грунтовых вод в лесу, по усредненным значениям (см. таблицу), не превышает 5 м.

В настоящее время известно большое количество установок водопонижения. Они характеризуются как по типу привода — дизельные, электрические; так и по способу перемещения — стационарные, передвижные. На наш взгляд, наиболее перспективным отечественным вариантом

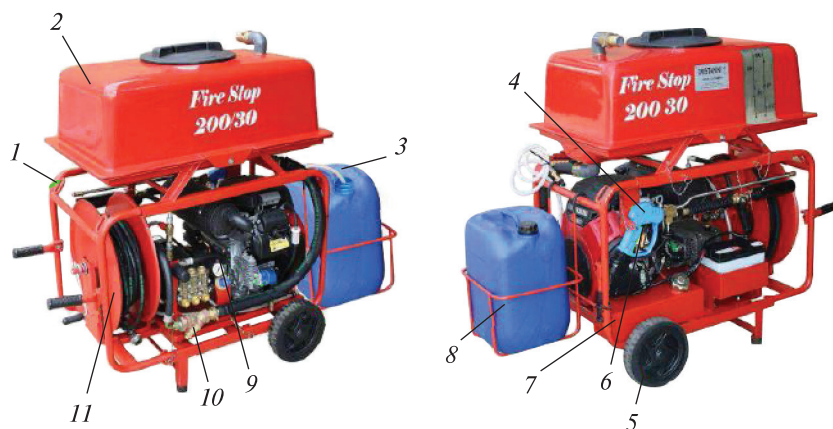
**Усредненные уровни грунтовых вод в зависимости от бонитета**

**Averaged groundwater levels depending on bonitet**

Глубина залегания грунтовых вод, м	Бонитет	Глубина залегания грунтовых вод, м	Бонитет
0,8	III, 7	2,6	II, 0
1,0	II, 8	2,8	III, 7
1,2	I, 4	3,0	III, 4
1,4	I, 6	3,2	III, 2
1,6	I, 5	3,4	III, 0
1,8	I, 2	3,6	IV, 9
2,0	II, 8	3,8	IV, 7
2,2	II, 5	4,0	IV, 6
2,4	II, 3	4,2	IV, 4

является установка понижения грунтовых вод ВПК (водопонижающий комплекс) «Шторм-М» (по ТУ 20.10.20–001–VPC007–20E–2017) производства компании ООО «Грунт-Вакуум» (Ленинградская обл.), которая уже прошла предварительные испытания в условиях леса и показала хорошие эксплуатационные качества.

В условиях леса объективно выгодней использовать дизельные (автономные) передвижные



**Рис. 2.** Компоновка установки Fire Stop 200/30: 1 — рама; 2 — бак для воды; 3 — система всасывания огнетушащего раствора; 4 — распылительный пистолет высокого давления; 5 — колесное шасси; 6 — крепление распылительного пистолета высокого давления; 7 — топливный бак; 8 — бак для огнетушащего раствора; 9 — фильтр линии подачи воды; 10 — фланец крепления распылительного пистолета к шлангу; 11 — шланг

**Fig. 2.** Fire Stop 200/30 installation layout: 1 — frame; 2 — water tank; 3 — fire extinguishing solution suction system; 4 — high-pressure spray gun; 5 — wheeled chassis; 6 — high-pressure spray gun mounting; 7 — fuel tank; 8 — fire extinguishing solution tank; 9 — water supply line filter; 10 — flange of spray gun attachment to the hose; 11 — hose

вакуумные установки водопонижения. При использовании стационарных аналогов в момент погрузки и выгрузки необходимо привлекать подъемно-транспортные средства, что увеличивает временной интервал развертки установки.

Вся система водопонижения состоит из нескольких элементов, их суммарная масса не превышает 1,3 т, что позволяет использовать транспортно-технологическое средство повышенной проходимости с грузоподъемностью до 2 т.

Рассмотренные выше ИФУ, как показывают результаты предварительных испытаний установки ВПК «Шторм-М» в лесу, позволяют извлекать из подземных источников большой объем воды. Водой заправляются пожарные машины (тракторы, форвардеры) или ранцевые огнетушители. При этом есть возможность использовать извлеченную воду для тушения пожара непосредственно от установки благодаря значительному напору. Тем не менее, наиболее эффективное использование воды является важной задачей при тушении лесного пожара, решить которую можно при работе непосредственно от ИФУ, или лесопожарной машины, используя систему пожаротушения Fire Stop 200/30 компании Cristanini (Италия) (рис. 2). Она представляет собой легкое модульное транспортное средство, поддающееся эффективному управлению двух специалистов пожаротушения.

Система пожаротушения Fire Stop 200/30 имеет следующие преимущества:

- высокую мобильность;
- низкие водо- и энергопотребление;

- простоту в использовании;
- многофункциональность;
- высокую производительность;
- безопасность работы;
- возможность транспортировки и применения на труднодоступных участках;
- возможность смешивания воды с огнетушащим раствором в необходимых пропорциях.

Система пожаротушения Fire Stop 200/30 работает от бензинового двигателя, мощностью 14,7 кВт, который приводит в действие насос высокого давления (20 МПа). Насос обеспечивает дальность струи до 17 м. Для автономной работы на системе Fire Stop 200/30 установлены бак для воды емкостью 120 дм<sup>3</sup> и бак для огнетушащего раствора емкостью 30 дм<sup>3</sup>. Расход воды составляет 30 дм<sup>3</sup>/мин, огнетушащего раствора — 3 дм<sup>3</sup>/мин.

При пустых баках система Fire Stop 200/30 имеет массу 175 кг, ее габаритные размеры составляют 1320×700×1200 мм. Система оснащена шлангом длиной 40 м.

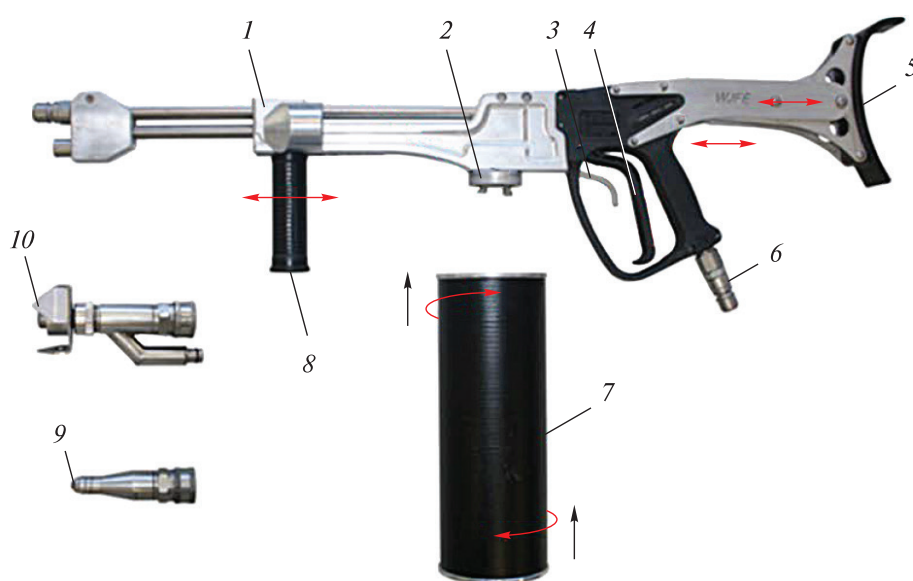
Малые габариты и масса позволяют системе Fire Stop 200/30 перемещаться на компактных транспортных средствах, имеющих высокую проходимость и маневренность под пологом леса (рис. 3), или на лодках.

Эффективность работы системы пожаротушения Fire Stop 200/30 обеспечивает запатентованный распылительный пистолет высокого давления, который создает «водяной туман» за счет чрезвычайного мелкого распыления струи воды (или смеси воды с огнетушащим раствором). В частности, 1 дм<sup>3</sup> тонкораспыленной воды при





**Рис. 3.** Мини-машины высокой проходимости для размещения системы Fire Stop 200/30  
**Fig. 3.** Mini-machines of high cross-country mobility to accommodate the Fire Stop 200/30 system



**Рис. 4.** Распылительный пистолет высокого давления компании Cristanini (Италия): 1 — вакуум; 2 — быстроразъемное соединение абразивного картриджа; 3 — курок для вкл/выкл абразивного действия; 4 — курок для воды высокого давления; 5 — регулируемый плечевой упор; 6 — соединение воды высокого давления; 7 — картридж для абразивных материалов (стрелками показан способ его присоединения); 8 — регулируемая ручка; 9 — распылительная форсунка («водяной туман»); 10 — режущая форсунка

**Fig. 4.** Cristanini high pressure spray gun (Italy): 1 — vacuum; 2 — quick—release connection of the abrasive cartridge; 3 — trigger for on/off abrasive action; 4 — trigger for high—pressure water; 5 — adjustable shoulder rest; 6 — connection of high—pressure water; 7 — cartridge for abrasive materials (arrows show the method of its connection); 8 — adjustable handle; 9 — spray nozzle («water mist»); 10 — cutting nozzle

давлении 20 МПа производит 160 млн капель, которые имеют с атмосферой контактную поверхность 20 м<sup>2</sup>, что в 416 раз больше поверхности, покрываемой давлением 0,1 МПа. Тонкораспыленная вода быстро превращается в пар и эффективно поглощает теплоту, производимую пожаром.

Распылительный пистолет высокого давления, в зависимости от конкретной ситуации, может работать в четырех режимах. В случае необходимости и при добавлении картриджа с абразивом этот пистолет может работать и как резак (рис. 4),

а при работе «в упор» — быстро перерезать, например, мешающие стволы деревьев (система WIFE 300 modular той же компании Cristanini (Италия)). Система WIFE 300 modular сочетает в себе свойства быстрой водяной струи (940 км/ч или 261 м/с), создаваемой за счет высокого давления на выходе из форсунки, с абразивным материалом, который смешивается в распылительном пистолете. В результате обеспечивается мощная резка, позволяющая выполнять перфорации/резку различных материалов большой толщины.



а



б

Рис. 5. Российские мини-тракторы: а — «Нева МТ-1»; б — BAUMECH  
 Fig. 5. Russian mini tractors: а — «Neva MT-1»; б — BAUMECH

Создавать необходимое для работы такого водяного пистолета давление необязательно с помощью штатного насоса (двигателя и насоса системы пожаротушения Fire Stop 200/30). Конструктивно можно обеспечить требуемое давление от системы лесопожарной машины или ИФУ. Опытно-конструкторским путем можно подобрать и оптимальные параметры форсунки для создания «водяного тумана».

Рассмотренные установки для добычи воды в лесу и эффективного пожаротушения обладают очень важным свойством — мобильностью. Они могут перемещаться в нужную точку с помощью компактных транспортных средств, имеющих высокую проходимость и маневренность под пологом леса. К таким машинам относятся колесные и гусеничные-мини тракторы, успешно производимые несколькими машиностроительными заводами в Российской Федерации [15] (рис. 5, а, б). За рубежом машины такой компоновки называют «железным конем».

ЗАО «Красный Октябрь — Нева» (г. Санкт-Петербург) производит мини-тракторы «Нева МТ-1». Производственная компания BAUMECH (г. Новосибирск) производит колесные и гусеничные мини-тракторы, которые легко перемещаются по дорогам общего пользования на простом прицепе к легковому автомобилю.

Серьезным недостатком классических лесопожарных тракторов является сезонность их использования. В непожароопасный сезон они простаивают в боксах, связывая оборотные средства предприятия. С точки зрения эффективности использования базового шасси пожарные форвардеры значительно лучше, поскольку в непожароопасный сезон с них достаточно быстро можно демонтировать пожарное оборудование и использовать для выполнения других работ.

Это же можно отнести и к мини-тракторам, которые можно задействовать для перемещения ИФУ и систем пожаротушения Fire Stop 200/30.

После доставки оборудования в точку борьбы с лесным пожаром эти машины могут выполнять работы по минерализации прилегающих к кромке пожара полос леса, сбору лесных горючих материалов и т. д.

Когда мини-тракторы не задействованы на пожаротушении в лесу, их можно использовать на лесовосстановительных работах, первых рубках ухода, малообъемных лесозаготовках и т. д. [16–19].

Исходя из принципа модульной компоновки универсальной системы машин, для доставки рассмотренного выше противопожарного оборудования следует иметь как колесные, так и гусеничные мини-машины, поскольку колесные машины обеспечивают большую эксплуатационную скорость, а гусеничные — большую проходимость и тяговое усилие, необходимые, например, при работах по минерализации почвы [20, 21].

В наиболее пожароопасных кварталах, оптимальных с точки зрения логистики доставки воды к местам пожаротушения в конкретной местности, иглофильтры установки водопонижения (недорогие) можно заранее заглубить (замыть) в грунт, и тогда при необходимости будет возможность доставить рукава и насос, что позволит оперативно приступить к добыче воды для тушения пожара.

Как указано выше, наиболее приемлема автономная ИФУ с дизельным двигателем. Но в связи с тем, что ИФУ запитывается от электродвигателей, рассмотрим способы получения электроэнергии в лесу от мобильных газогенераторных установок. Этот вопрос подробно раскрыт в работах [22–26] для случая энергоснабжения лесных терминалов.

Перспективным сырьем для работы мобильных газогенераторных установок в рассматриваемых условиях являются порубочные остатки (кроновая часть, вершинная часть хлыстов, отком-

левки), сбор которых эффективно осуществляется с помощью рассмотренных выше мини-тракторов [27–30], а измельчают их мобильными рубильными машинами [31–33].

Получаемую посредством ИФУ воду некоторые авторы [17, 34] считают целесообразно использовать для полива древесно-кустарниковой растительности, например, при создании и эксплуатации лесных плантаций.

В силу специфики сложения и гидротермического режима, недоступным для использования ИФУ будут условия лесов на вечной мерзлоте. Хотя слой сезонной мерзлоты, в рассматриваемых природно-производственных условиях будет оттаивать, но эффекта получения воды, как из водоносного слоя грунтовых вод, получить не удастся [35].

## Выводы

Успешные испытания установки понижения грунтовых вод ВПК «Шторм-М» подтвердили эффективность добычи воды в лесу в оптимальном для борьбы с лесным пожаром месте.

В освоенных лесных массивах защитных и эксплуатационных лесов, в наиболее оптимальных местах лесопожарных кварталов следует заранее устанавливать (заглублять) иглофильтры, что позволяет повысить оперативность начала тушения лесного пожара при доставке к их месторасположению ИФУ.

Перемещение ИФУ, благодаря их компактности и небольшой массе, рационально перемещать на колесных или гусеничных мини-тракторах, в зависимости от природно-производственных условий.

Техническое решение системы Fire Stop 200/30 позволяет существенно повысить эффективность тушения пожара, при одновременной экономии воды.

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

## Список литературы

- [1] Lukina A., Lisyatnikov M., Martinov V., Kunitskaya O., Chernykh A., Roschina S. Mechanical and microstructural changes in post-fire raw wood // *Architecture and Engineering*, 2022, t. 7, no. 3, pp. 44–52.
- [2] Krivoshapkina O., Yakovleva A., Zakharova A., Pavlova A., Eroshenko V., Gogoleva P., Tikhonov E., Kunitskaya O. Environmental safety of residents of Yakutsk and Zhatay: evidence from sociological research // *J. of Environmental Studies and Sciences*, 2022, t. 12, no. 3, pp. 566–576.
- [3] Куницкая О.А., Новгородов Д.В., Марков О.Б. Проблемы эффективной переработки поврежденной лесным пожаром древесины // *Комплексные вопросы аграрной науки и образования. Сборник науч. статей по материалам внутривузовской науч.-практ. конф., посвященной 65-летию высшего аграрного образования Республики Саха (Якутия) и Всерос. студ. науч.-практ. конф. с междунар. участием в рамках «Северного форума – 2021 по устойчивому развитию»*, 30 сент. 2021 г. Якутск. Якутск: Изд-во Арктического государственного агротехнологического университета, 2021. С. 285–291.
- [4] Григорьева О.И., Гринько О.И., Гурьев А.Ю. Перспективная технология лесовосстановления после крупных и катастрофических лесных пожаров // *Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы VIII Всерос. нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием*, 24 мая 2022 г., Петрозаводск. Петрозаводск: Изд-во Петрозаводского государственного университета, 2022. С. 52–54.
- [5] Методика тушения ландшафтных пожаров. Утверждена МЧС России 14 сентября 2015 г. № 2–4–87–32–ЛБ. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71145496/> (дата обращения 05.09.2023 г.)
- [6] Ковалев Р.Н., Еналеева-Бандура И.М., Баранов А.Н., Григорьева О.И., Григорьев И.В. Математическая модель определения оптимального месторасположения лесных пожарно-химических станций с учетом уровня развития транспортных сетей на территории лесного фонда // *Resources and Technology*, 2021. Т. 18. № 4. С. 77–92.
- [7] Коршунов Н.А., Щетинский Е.А. Руководство тушением крупных лесных пожаров // *Лесное хозяйство*, 2013. № 4. С. 39–40.
- [8] Андреев Ю.А., Брюханов А.В. Профилактика, мониторинг и борьба с природными пожарами (на примере Алтае-Саянского экорегиона). Красноярск: Город, 2011. 272 с.
- [9] Елисеев А.А., Тарасова В.А. Использование форвардера John Deere для тушения лесных пожаров // *Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация*, 2021. № 2 (88). С. 78–85.
- [10] Григорьева О.И., Гринько О.И., Николаева Ф.В. Лесопожарные транспортно-технологические комплексы на базе колесных форвардеров // *Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы междунар. науч.-техн. конф. Тюмень*, 15 апреля 2021 г. / отв. редактор Н.С. Захаров. Тюмень: Изд-во Тюменского индустриального университета, 2021. С. 55–58.
- [11] Мартынюк А.А., Котельников Р.В. Использование закона Бенфорда для оценки достоверности сведений о лесных пожарах // *Лесотехнический журнал*, 2018. Т. 8. № 1 (29). С. 28–34.
- [12] Волкова Ю.В., Шкваров А.И., Духопельникова Н.Р., Рудевский В.М. Применение иглофильтровых установок в Санкт-Петербурге // *Неделя науки СПбПУ: Материалы науч. конф. с междунар. участием, Санкт-Петербург, 19–24 ноября 2018 г. СПб.: Политех-Пресс*, 2018. С. 136–138.
- [13] Арутюнян Р.Н. Вакуумное водопонижение в практике строительства. М.: Стройиздат, 1990. 184 с.
- [14] Русаленко А.И. Определение глубины залегания грунтовых вод в лесных фитоценозах. Минск: Изд-во Белорусского государственного технологического университета, 2009. 16 с.
- [15] Михайлова Л.М., Куницкая О.А., Мотовилов А.И. Перспективы систем машин на базе средств малой механизации для малообъемных лесозаготовок и лесохозяйственных работ // *Стратегия и перспективы развития агротехнологий и лесного комплекса Якутии до 2050*



- года: Материалы всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвященной 100-летию образования Якутской АССР и 85-летию Первого президента РС(Я) М.Е. Николаева (Николаевские чтения), Якутск, 17 ноября 2022 г. Якутск: Знание-М, 2022. С. 735–742.
- [16] Morkovina S.S., Kunickaya O., Dolmatova L., Markov O., Nguyen V.L., Baranova T., Shadrina S., Grin'ko O. Comparative analysis of economic aspects of growing seedlings with closed and open root systems: the experience of Russia // *Asian J. of Water, Environment and Pollution*, 2021, t. 18, no. 2, pp. 19–26.
- [17] Kunickaya O., Tanyukevich V., Khmeleva D., Kulik A., Runova E., Savchenkova V., Voronova A., Lavrov M. Cultivation of the targeted forest plantations // *J. of Environmental Treatment Techniques*, 2020, t. 8, no. 4, pp. 1385–1393.
- [18] Куницкая О.А., Давтян А.Б., Помигуев А.В. Транспортно-технологические комплексы для производства топливной щепы // *Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Междунар. науч.-техн. конф., Тюмень, 15 апреля 2021 года / под ред. Н.С. Захарова. Тюмень: Изд-во Тюменского индустриального университета, 2021. С. 141–144.*
- [19] Куницкая О.А., Степанова Д.И., Григорьев М.Ф. Транспортно-технологические системы для сбора и переработки пищевой продукции леса // *Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. Воронеж, 06–07 июня 2018 г. / под ред. В.А. Гулевского. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного аграрного университета имени Императора Петра I, 2018. С. 102–108.*
- [20] Sushkov S.I., Burmistrova O.N., Timokhova O., Burmistrov V.A., Mikhaylenko E., Chemshikova Y. Perfection of decision-making methods in multilevel hierarchical transport systems // *IOP Conf. Series: Materials Sci. and Engineering*. Novosibirsk, 2019, С. 012203.
- [21] Бурмистрова О.Н., Черников Э.А., Пильник Ю.Н., Чемшикова Ю.М. К вопросу совершенствования транспортных грузопотоков лесоматериалов в условиях интеллектуальных транспортных систем // *Лесотехнический журнал*, 2018. Т. 8. № 3 (31). С. 131–138.
- [22] Куницкая О.А., Помигуев А.В. Функциональные возможности и эксплуатационные характеристики средств энергоснабжения лесных терминалов // *Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы VII Всерос. нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Петрозаводск, 25 мая 2021 г. Петрозаводск: Изд-во Петрозаводского государственного университета, 2021. С. 102–103.*
- [23] Куницкая О.А., Помигуев А.В. Эффективная система преобразования тепловой энергии в электрическую для энергоснабжения лесных терминалов // *Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы VII Всерос. нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Петрозаводск, 25 мая 2021 г. Петрозаводск: Изд-во Петрозаводского государственного университета, 2021. С. 104–105.*
- [24] Куницкая О.А., Стородубцева Т.Н., Помигуев А.В. Энерго-ресурсосберегающие технологии электроснабжения лесных терминалов // *Эколого-ресурсосберегающие технологии в науке и технике: Материалы Всерос. науч.-техн. конф., Воронеж 19–20 октября 2021 г. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, 2021. С. 112–117.*
- [25] Куницкая О.А., Помигуев А.В. Перспективы развития систем генерирования и преобразования электрической энергии для лесных терминалов // *Лесоэксплуатация и комплексное использование древесины: сб. статей Всерос. науч.-практ. конф. Красноярск, 10 марта 2021 г. Красноярск: Изд-во Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, 2021. С. 124–128.*
- [26] Kunickaya O., Pomiguyev A., Kruchinin I., Storodubtseva T., Voronova A., Levushkin D., Borisov V., Ivanov V. Analysis of modern wood processing techniques in timber terminals // *Central European Forestry J.*, 2022, t. 68, no. 1, pp. 51–59.
- [27] Трушевский П.В., Куницкая О.А. Современные системы машин для очистки лесосек от порубочных остатков // *Актуальные проблемы лесного хозяйства и деревопереработки: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. Казань, 24–28 апреля 2023 г. / под ред. Ю.М. Казакова. Казань: Изд-во Казанского национального исследовательского технологического университета, 2023. С. 121–126.*
- [28] Трушевский П.В., Куницкая О.А. Влияние технологии и системы машин лесосечных работ на концентрацию порубочных остатков // *Актуальные проблемы лесного хозяйства и деревопереработки: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. Казань, 24–28 апреля 2023 г. / под ред. Ю.М. Казакова. Казань: Изд-во Казанского национального исследовательского технологического университета, 2023. С. 110–113.*
- [29] Трушевский П.В., Куницкая О.А. Способы сбора порубочных остатков для производства биотоплива // *Актуальные проблемы лесного хозяйства и деревопереработки: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. Казань, 24–28 апреля 2023 г. / под ред. Ю.М. Казакова. Казань: Изд-во Казанского национального исследовательского технологического университета, 2023. С. 89–93.*
- [30] Kunickaya O.A., Sleptsova N.A., Ustinova V.V., Shadrin A.A., Burmistrova O.N., Markov O.B., Gasparyan G.D., Davtyan A.B., Lapshina M.L., Kruzhilin S.N. Wood treatment with hydro impact: a theoretical and experimental study // *Bulgarian J. of Agricultural Science*. 2019, t. 25, no. 2, pp. 158–166.
- [31] Трушевский П.В., Куницкая О.А., Григорьева О.И., Давтян А.Б. Эффективное и безопасное использование мобильных рубительных машин // *Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах. 2023. № 4. С. 30–43.*
- [32] Ryabukhin P.B., Kunitskaya O.A., Burgonutdinov A.M., Makuev V.A., Sivtseva T.V., Zadrauskaite N.O., Gerts E.F., Markov O.B. Improving the efficiency of forest companies by optimizing the key indicators of sustainable forest management: a case study of the Far East // *Forest Science and Technology*, 2022, t. 18, no. 4, pp. 190–200.
- [33] Medvedev S.O., Zyryanov M.A., Mokhiev A.P., Kunitskaya O.A., Voronov R.V., Storodubtseva T.N., Grigorieva O.I., Grigorev I.V. Russian timber industry: current situation and modelling of prospects for wood biomass use // *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, 2022, t. 17, no. 5, pp. 745–752.
- [34] Давтян А.Б., Должиков И.С., Куницкая О.А. Обоснование систем машин для создания и эксплуатации энергетических лесных плантаций в различных природно-производственных условиях // *Вестник АГАТУ*, 2022. № 4 (8). С. 49–94.
- [35] Новиков М.С., Куницкая О.А., Рудов С.Е., Каляшов В.А. Методика и аппаратура экспериментальных исследований динамики температур слоев лесного почвогрунта криолитозоны // *Устойчивое развитие сельского хозяйства и агросистем будущего в Арктике: Материалы Всерос. студ. науч.-практ. конф. в рамках Северного форума по устойчивому развитию, 30 ноября 2022 г., Новокузнецк. Якутск: Знание-М, 2022. С. 378–383.*



## Сведения об авторах

**Григорьева Ольга Ивановна**<sup>1</sup> — доцент кафедры лесоводства, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова» (St. Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov), grigoreva\_o@list.ru

**Савченкова Вера Александровна** — д-р с.-х. наук, доцент, гл. науч. сотр. отдела лесной пирологии и охраны лесов от пожаров ФБУ ВНИИЛМ, профессор кафедры «Лесные культуры, селекция и дендрология», ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), v9651658826@yandex.ru

**Григорьев Игорь Владиславович** — профессор кафедры «Технология и оборудование лесного комплекса», ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет» (Arctic State Agrotechnological University). 677007, Республика Саха (Якутия), silver73@inbox.ru

**Должиков Илья Сергеевич** — ассистент кафедры безопасности производств, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering), idolzhikov222@mail.ru

**Лоренц Анатолий Сергеевич** — доцент кафедры инжиниринга транспортно-технологических средств и оборудования, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov), a.lorents@narfu.ru

**Гринько Олег Иванович** — аспирант базовой кафедры воспроизводства и переработки лесных ресурсов, ФГБОУ ВО «Братский государственный университет» (Bratsk State University), goi2@yandex.ru

Поступила в редакцию 28.04.2023.

Одобрено после рецензирования 27.02.2024.

Принята к публикации 02.05.2024.

## NEW TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS TO EXTINGUISH FOREST FIRES

**O.I. Grigor'eva<sup>1</sup>, V.A. Savchenkova<sup>2</sup>, I.V. Grigor'ev<sup>3</sup>,  
I.S. Dolzhikov<sup>4</sup>, A.S. Lorenz<sup>5</sup>, O.I. Grin'ko<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>Saint Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov, 5, Institut'skiy Lane, 194021, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup>BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institut'skaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

<sup>3</sup>Arctic State Agrotechnological University, 3, Sergelyakhskoye sh., 3 km, 677008, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia

<sup>4</sup>Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 4, 2nd Krasnoarmeyskaya st., 190005, Saint Petersburg, Russia

<sup>5</sup>Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 163002, Arkhangelsk, Russia

<sup>6</sup>Bratsk State University, 40, Makarenko st., 665709, Bratsk, Russia

grigoreva\_o@list.ru

The issue of effective forest fires extinguishing is very topical for the forest complex in the Russian Federation, and especially for Siberia and the Far East. In addition to the rapid detection of forest fire foci, a significant problem is the rapid delivery of water to their foci. The article presents new technical and technological solutions for extinguishing forest fires, primarily grassroots ones. The possibility of obtaining the necessary water for extinguishing a fire in the forest using mobile wellpoint filter units has been established. The possibility of significant water savings for extinguishing a forest fire has been identified through the use of a high-tech fire extinguishing system with thinly sprayed high-pressure water («water mist») Fire Stop 200/30. It is recommended to pre-install wellpoint filters in the most fire-hazardous areas to increase the efficiency of fire extinguishing after delivery of mobile wellpoint filter units to their location. The use of diesel generators, as well as mobile gas generator sets, is recommended to provide energy for mobile wellpoint filter installations. The possibility of prompt delivery of fire extinguishing forces and means to the fire site, using wheeled and tracked tractors of small traction class (mini tractors), and using them to perform a number of necessary fire extinguishing works is shown.

**Keywords:** forest fires, wellpoint filter installations, machine systems, mini tractors, fire forwarders, water mist

**Suggested citation:** Grigor'eva O.I., Savchenkova V.A., Grigor'ev I.V., Dolzhikov I.S., Lorenz A.S., Grin'ko O.I. *Novye tekhnicheskie i tekhnologicheskie resheniya v sfere tusheniya lesnykh pozharov* [New technical and technological solutions to extinguish forest fires]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 4, pp. 66–77. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-66-77

## References

- [1] Lukina A., Lisyatnikov M., Martinov V., Kunitskaya O., Chernykh A., Roschina S. Mechanical and microstructural changes in post-fire raw wood. *Architecture and Engineering*, 2022, t. 7, no. 3, pp. 44–52.
- [2] Krivoshapkina O., Yakovleva A., Zakharova A., Pavlova A., Eroshenko V., Gogoleva P., Tikhonov E., Kunickaya O. Environmental safety of residents of Yakutsk and Zhatay: evidence from sociological research. *J. of Environmental Studies and Sciences*, 2022, t. 12, no. 3, pp. 566–576.
- [3] Kunitskaya O.A., Novgorodov D.V., Markov O.B. *Problemy effektivnoy pererabotki povrezhdennoy lesnym pozharom drevesiny* [Problems of effective processing of wood damaged by forest fire]. *Kompleksnye voprosy agrarnoy nauki i obrazovaniya. Sbornik nauchnykh statey po materialam Vnutrivuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 65-letiyu Vysshhego agrarnogo obrazovaniya Respubliki Sakha (Yakutiya) i Vserossiyskoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem v ramkakh «Severnogo foruma – 2021»* [Complex issues of agrarian science and education. Collection of scientific articles based on the materials of the Intra-University Scientific and Practical Conference dedicated to the 65th anniversary of Higher Agrarian Education of the Republic of Sakha (Yakutia) and the All-Russian Student Scientific and Practical Conference with international participation within the framework of the Northern Forum – 2021], September 27 – November 12, 2021. Yakutsk: Arctic State Agrotechnological University, 2021, pp. 285–291.
- [4] Grigor'eva O.I., Grin'ko O.I., Gur'ev A.Yu. *Perspektivnaya tekhnologiya lesovosstanovleniya posle krupnykh i katastroficheskikh lesnykh pozharov* [Promising technology for reforestation after large and catastrophic forest fires]. *Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa. Materialy VIII Vserossiyskoy natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Petrozavodsk, 24 maya 2022 goda* [Improving the efficiency of the forestry complex. Materials of the VIII All-Russian National Scientific and Practical Conference with International Participation]. Petrozavodsk, May 24, 2022. Petrozavodsk: Petrozavodsk State University, 2022, pp. 52–54.
- [5] *Metodika tusheniya landshaftnykh pozharov. Utr. MChS Rossii 14 sentyabrya 2015 g.* [Methods for extinguishing landscape fires. Approved Ministry of Emergency Situations of Russia September 14, 2015]. Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71145496/> (accessed 05.09.2023).
- [6] Kovalev R.N., Enaleeva-Bandura I.M., Baranov A.N., Grigor'eva O.I., Grigor'ev I.V. *Matematicheskaya model' opredeleniya optimal'nogo mestoraspolozheniya lesnykh pozharno-khimicheskikh stantsiy s uchetom urovnya razvitiya transportnykh setey na territorii lesnogo fonda* [Mathematical model for determining the optimal location of forest fire-chemical stations taking into account the level of development of transport networks on the territory of the forest fund]. *Resources and Technology*, 2021, v. 18, no. 4, pp. 77–92.
- [7] Korshunov N.A., Shchetinskiy E.A. *Rukovodstvo tusheniem krupnykh lesnykh pozharov* [Management of extinguishing large forest fires]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 2013, no. 4, pp. 39–40.
- [8] Andreev Yu. A., Bryukhanov, A. V. *Profilaktika, monitoring i bor'ba s prirodnyimi pozharami (na primere Altae-Sayanskogo ekoregiona)* [revention, monitoring and control of natural fires (on the example of the Altai-Sayan ecoregion)]. Krasnoyarsk: City, 2011, 272 p.
- [9] Eliseev A.A., Tarasova V.A. *Ispol'zovanie forvardera John Deere dlya tusheniya lesnykh pozharov* [Using a John Deere forwarder to extinguish forest fires]. *Sotsial'no-ekonomicheskie i tekhnicheskie sistemy: issledovanie, proektirovanie, optimizatsiya* [Socio-economic and technical systems: research, design, optimization], 2021, no. 2 (88), pp. 78–85.
- [10] Grigor'eva O.I., Grin'ko O.I., Nikolaeva F.V. *Lesopozharnye transportno-tekhnologicheskie komplekсы na baze kolesnykh forvarderov* [Forest fire transport-technological complexes based on wheeled forwarders]. *Transportnye i transportno-tekhnologicheskie sistemy. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Transport and transport-technological systems. Materials of the International Scientific and Technical Conference]. Ed. N.S. Zakharov. Tyumen, April 15, 2021. Tyumen: Tyumen Industrial University, 2021, pp. 55–58.
- [11] Martynyuk A.A., Kotelnikov R.V. *Ispol'zovanie zakona Benforda dlya otsenki dostovernosti svedeniy o lesnykh pozharakh* [Using Benford's law to assess the reliability of information about forest fires]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Journal], 2018, v. 8, no. 1 (29), pp. 28–34.
- [12] Volkova Yu.V., Shkvarov A.I., Dukhopel'nikova N.R., Rudevskiy V.M. *Primenenie iglofil'trovnykh ustanovok v Sankt-Peterburge* [Application of wellpoint installations in St. Petersburg]. *Nedelya nauki SPbPU: mater. nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, Sankt-Peterburg, 19–24 noyabrya 2018 g.* [Science Week SPbPU: material. scientific conference with international participation], St. Petersburg, November 19–24, 2018. St. Petersburg: Polytech-Press, 2018, pp. 136–138.
- [13] Arutyunyan R.N. *Vakuumnoe vodoponizhenie v praktike stroitel'stva* [Vacuum water reduction in construction practice]. Moscow: Stroyizdat, 1990, 184 p.
- [14] Rusalenko A.I. *Opredelenie glubiny zaleganiya gruntovykh vod v lesnykh fitotsenozakh* [Determination of the depth of groundwater in forest phytocenoses]. Minsk: Belarusian State Technological University, 2009, 16 p.
- [15] Mikhaylova L.M., Kunitskaya O.A., Motovilov A.I. *Perspektivy sistem mashin na baze sredstv maloy mekhanizatsii dlya maloob'emnykh lesozagotovok i lesokhozyaystvennykh rabot* [Prospects for machine systems based on small-scale mechanization for low-volume logging and forestry work]. *Strategiya i perspektivy razvitiya agrotekhnologii i lesnogo kompleksa Yakutii do 2050 goda: mater. Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy 100-letiyu obrazovaniya Yakutskoy ASSR i 85-letiyu Pervogo prezidenta RS(Ya) M.E. Nikolaeva (Nikolaevskie chteniya)* [Strategy and prospects for the development of agricultural technologies and the forestry complex of Yakutia until 2050: material. All-Russian scientific and practical conference with international participation, dedicated to the 100th anniversary of the formation of the Yakut Autonomous Soviet Socialist Republic and the 85th anniversary of the First President of the Republic of Sakha (Yakutia) M.E. Nikolaev (Nikolaev Readings)], Yakutsk, November 17, 2022. Yakutsk: Znanie-M, 2022, pp. 735–742.
- [16] Morkovina S.S., Kunickaya O., Dolmatova L., Markov O., Nguyen V.L., Baranova T., Shadrina S., Grin'ko O. Comparative analysis of economic aspects of growing seedlings with closed and open root systems: the experience of Russia. *Asian J. of Water, Environment and Pollution*, 2021, t. 18, no. 2, pp. 19–26.

- [17] Kunickaya O., Tanyukevich V., Khmeleva D., Kulik A., Runova E., Savchenkova V., Voronova A., Lavrov M. Cultivation of the targeted forest plantations. *J. of Environmental Treatment Tech-niques*, 2020, t. 8, no. 4, pp. 1385–1393.
- [18] Kunitskaya O.A., Davtyan A.B., Pomiguyev A.V. *Transportno-tekhnologicheskie komplekxy dlya proizvodstva toplivnoy shchepy* [Transport-technological complexes for the production of fuel chips]. *Transportnye i transportno-tekhnologicheskie sistemy: mater. Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Transport and transport-technological systems: material. International Scientific and Technical Conference, Tyumen, April 15, 2021]. Ed. N.S. Zakharov. Tyumen: Tyumen Industrial University, 2021, pp. 141–144.
- [19] Kunitskaya O.A., Stepanova D.I., Grigor'ev M.F. *Transportno-tekhnologicheskie sistemy dlya sbora i pererabotki pishchevoy produktssii lesa* [Transport and technological systems for the collection and processing of forest food products]. *Energoeffektivnost' i energosberezhenie v sovremennom proizvodstve i obshchestve: mater. Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Energy efficiency and energy saving in modern production and society: material. International Scientific and Practical Conference]. Ed. V.A. Gulevsky, Voronezh, June 06–07, 2018. Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, 2018, pp. 102–108.
- [20] Sushkov S.I., Burmistrova O.N., Timokhova O., Burmistrov V.A., Mikhaylenko E., Chemshikova Y. Perfection of decision-making methods in multilevel hierarchical transport systems. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Novosibirsk, 2019, C. 012203.
- [21] Burmistrova O.N., Chernikov E.A., Pil'nik Yu.N., Chemshikova Yu.M. *K voprosu sovershenstvovaniya transportnykh gruzopotokov lesomaterialov v usloviyakh intellektual'nykh transportnykh sistem* [On the issue of improving transport cargo flows of timber in the conditions of intelligent transport systems]. *Lesotekhnicheskyy zhurnal* [Forestry Journal], 2018, v. 8, no. 3 (31), pp. 131–138.
- [22] Kunitskaya O.A., Pomiguyev A.V. *Funktsional'nye vozmozhnosti i ekspluatatsionnye kharakteristiki sredstv energosnabzheniya lesnykh terminalov* [Functional capabilities and operational characteristics of power supply means for forest terminals]. *Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa: mater. VII Vserossiyskoy natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Improving the efficiency of the forestry complex: material. VII All-Russian National Scientific and Practical Conference with International Participation]. Petrozavodsk, May 25, 2021. Petrozavodsk: Petrozavodsk State University, 2021, pp. 102–103.
- [23] Kunitskaya O.A., Pomiguyev A.V. *Effektivnaya sistema preobrazovaniya teplovooy energii v elektricheskuyu dlya energosnabzheniya lesnykh terminalov* [An effective system for converting thermal energy into electrical energy for power supply of forest terminals]. *Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa: mater. VII Vserossiyskoy natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Improving the efficiency of the forestry complex: material. VII All-Russian National Scientific and Practical Conference with International Participation]. Petrozavodsk, May 25, 2021. Petrozavodsk: Petrozavodsk State University, 2021, pp. 104–105.
- [24] Kunitskaya O.A., Storodubtseva T.N., Pomiguyev A.V. *Energo-resursoberegayushchie tekhnologii elektrosnabzheniya lesnykh terminalov* [Energy-resource-saving technologies for power supply to forest terminals]. *Ekologo-resursoberegayushchie tekhnologii v nauke i tekhnike: mater. Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Ecological and resource-saving technologies in science and technology: material. All-Russian Scientific and Technical Conference], Voronezh October 19–20, 2021. Voronezh: Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozova, 2021, pp. 112–117.
- [25] Kunitskaya O.A., Pomiguyev A.V. *Perspektivy razvitiya sistem generirovaniya i preobrazovaniya elektricheskoy energii dlya lesnykh terminalov* [Prospects for the development of systems for generating and converting electrical energy for forest terminals]. *Lesoekspluatatsiya i kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny: sb. statey Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Forest exploitation and complex use of wood: collection. articles of the All-Russian Scientific and Practical Conference]. Krasnoyarsk, March 10, 2021. Krasnoyarsk: Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetneva, 2021, pp. 124–128.
- [26] Kunickaya O., Pomiguyev A., Kruchinin I., Storodubtseva T., Voronova A., Levushkin D., Borisov V., Ivanov V. Analysis of modern wood processing techniques in timber terminals. *Central European Forestry J.*, 2022, t. 68, no. 1, pp. 51–59.
- [27] Trushevskiy P.V., Kunitskaya O.A. *Sovremennye sistemy mashin dlya ochistki lesosek ot porubochnykh ostatkov* [Modern systems of machines for cleaning cutting areas from logging residues]. *Aktual'nye problemy lesnogo khozyaystva i derevopererabotki: mater. Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Current problems of forestry and wood processing: material. All-Russian Scientific and Practical Conference]. Ed. Yu.M. Kazakov, Kazan, April 24–28, 2023. Kazan: Kazan National Research Technological University, 2023, pp. 121–126.
- [28] Trushevskiy P.V., Kunitskaya O.A. *Vliyaniye tekhnologii i sistemy mashin lesosechnykh rabot na kontsentratsiyu porubochnykh ostatkov* [The influence of technology and systems of logging machines on the concentration of logging residues]. *Aktual'nye problemy lesnogo khozyaystva i derevopererabotki: mater. Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Current problems of forestry and wood processing: material. All-Russian Scientific and Practical Conference]. Ed. Yu.M. Kazakov, Kazan, April 24–28, 2023. Kazan: Kazan National Research Technological University, 2023, pp. 110–113.
- [29] Trushevskiy P.V., Kunitskaya O.A. *Sposoby sbora porubochnykh ostatkov dlya proizvodstva biotopliva* [Methods for collecting logging residues for biofuel production]. *Aktual'nye problemy lesnogo khozyaystva i derevopererabotki: mater. Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Current problems of forestry and wood processing: material. All-Russian Scientific and Practical Conference]. Ed. Yu.M. Kazakov, Kazan, April 24–28, 2023. Kazan: Kazan National Research Technological University, 2023, pp. 89–93.
- [30] Kunickaya O.A., Sleptsova N.A., Ustinova V.V., Shadrin A.A., Burmistrova O.N., Markov O.B., Gasparyan G.D., Davtyan A.B., Lapshina M.L., Kruzhilin S.N. Wood treatment with hydro impact: a theoretical and experimental study. *Bulgarian J. of Agricultural Science*. 2019, t. 25, no. 2, pp. 158–166.
- [31] Trushevskiy P.V., Kunitskaya O.A., Grigor'eva O.I., Davtyan A.B. *Effektivnoe i bezopasnoe ispol'zovanie mobil'nykh rubitel'nykh mashin* [Efficient and safe use of mobile chippers]. *Bezopasnost' i okhrana truda v lesozagotovitel'nom i derevobrabatvayushchem proizvodstvakh* [Safety and labor protection in logging and woodworking industries], 2023, no. 4, pp. 30–43.



- [32] Ryabukhin P.B., Kunitskaya O.A., Burgonutdinov A.M., Makuev V.A., Sivtseva T.V., Zdrauskaite N.O., Gerts E.F., Markov O.B. Improving the efficiency of forest companies by optimizing the key indicators of sustainable forest management: a case study of the Far East. *Forest Science and Technology*, 2022, t. 18, no. 4, pp. 190–200.
- [33] Medvedev S.O., Zyryanov M.A., Mokhirev A.P., Kunitskaya O.A., Voronov R.V., Storodubtseva T.N., Grigorieva O.I., Grigorev I.V. Russian timber industry: current situation and modelling of prospects for wood biomass use. *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, 2022, t. 17, no. 5, pp. 745–752.
- [34] Davtyan A.B., Dolzhikov I.S., Kunitskaya O.A. *Obosnovanie sistem mashin dlya sozdaniya i ekspluatatsii energeticheskikh lesnykh plantatsiy v razlichnykh prirodno-proizvodstvennykh usloviyakh* [Justification of machine systems for the creation and operation of energy forest plantations in various natural production conditions]. *Vestnik AGATU* [Bulletin of AGATU], 2022, no. 4 (8), pp. 49–94.
- [35] Novikov M.S., Kunitskaya O.A., Rudov S.E., Kalyashov V.A. *Metodika i apparatura eksperimental'nykh issledovaniy dinamiki temperatur sloev lesnogo pochvogrunta kriolitozony* [Methods and equipment for experimental studies of the dynamics of temperatures in layers of forest soil in the permafrost zone]. *Ustoychivoe razvitie sel'skogo khozyaystva i agrosistem budushchego v Arktike: mater. Vserossiyskoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii v ramkakh «Severnogo foruma – 2022»* [Sustainable development of agriculture and agricultural systems of the future in the Arctic: material. All-Russian student scientific and practical conference within the framework of the Northern Forum – 2022]. Novokuznetsk, November 30, 2022. Yakutsk: Znanie-M, 2022, pp. 378–383.

*The work was carried out within the framework of the scientific school «Innovative developments in the field of logging industry and forestry». The research was carried out under the grant of the Russian Science Foundation No. 23-16-00092, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>.*

## Authors' information

**Grigor'eva Ol'ga Ivanovna**  — Associate Professor of the Forestry Department of the Saint Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov, [grigoreva\\_o@list.ru](mailto:grigoreva_o@list.ru)

**Savchenkova Vera Aleksandrovna** — Dr. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Chief Researcher of the Department of Forest pyrology and fire protection of forests at the Federal Budget Institution All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, [v9651658826@yandex.ru](mailto:v9651658826@yandex.ru)

**Grigor'ev Igor' Vladislavovich** — Professor of the Department Technology and Equipment of the Forest complex of the Arctic State Agrotechnological University, [silver73@inbox.ru](mailto:silver73@inbox.ru)

**Dolzhikov Il'ya Sergeevich** — Assistant of the Department of Industrial Safety of the Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, [idolzhikov222@mail.ru](mailto:idolzhikov222@mail.ru)

**Lorents Anatoliy Sergeevich** — Associate Professor of the Department of Engineering of Transport and Technological Means and Equipment of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov), [a.lorents@narfu.ru](mailto:a.lorents@narfu.ru)

**Grin'ko Oleg Ivanovich** — pg. of the Basic Department of Reproduction and Processing of Forest Resources of the Bratsk State University, [goi2@yandex.ru](mailto:goi2@yandex.ru)

Received 28.04.2023.

Approved after review 27.02.2024.

Accepted for publication 02.05.2024.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article  
The authors declare that there is no conflict of interest