

Научная статья

УДК 628.92:69:614.843.4

DOI: 10.37482/0536-1036-2025-5-68-80

Применение модульных иглофильтров для аккумуляции грунтовых вод при тушении лесных пожаров

*А.С. Лоренц*¹✉, канд. техн. наук; ResearcherID: [HDM-5909-2022](https://orcid.org/0000-0002-0906-8779),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0906-8779>

*О.И. Григорьева*², канд. с.-х. наук, доц.; ResearcherID: [AAC-9570-2020](https://orcid.org/0000-0001-5937-0813),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5937-0813>

*И.В. Григорьев*³, д-р техн. наук, проф.; ResearcherID: [S-7085-2016](https://orcid.org/0000-0002-5574-1725),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5574-1725>

¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; a.lorents@narfu.ru✉

²Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021; grigoreva_o@list.ru

³Арктический государственный агротехнологический университет, 3-й км, д. 3, ш. Сергеляхское, г. Якутск, Россия, 677007; silver73@inbox.ru

Поступила в редакцию 11.03.24 / Одобрена после рецензирования 03.06.24 / Принята к печати 05.06.24

Аннотация. Исследование направлено на разработку инновационных конструкций иглофильтров, которые могут быть использованы для борьбы с лесными пожарами в составе мобильных установок для получения грунтовых вод непосредственно у мест проведения противопожарных мероприятий. Иглофильтры являются эффективными средствами понижения уровня грунтовых вод, что способствует тушению и предотвращению распространения пожара. Подробно описывается новое конструктивное решение модульного иглофильтрационного звена установки водопонижения, разработанного с учетом особенностей и требований работы в условиях участков лесного фонда. Основными ключевыми характеристиками решения являются высокий уровень фильтрации; модульная конструкция, позволяющая быстро и гибко адаптировать иглофильтр к различным пожарным ситуациям; высокая мобильность, обеспечивающая возможность быстрого развертывания и перемещения иглофильтров на лесопожарных участках. Также представлены новые материалы и технологии, применяемые при производстве иглофильтров, нацеленные на повышение их эффективности и экологической безопасности. Подчеркивается важность использования новых конструкций модульных иглофильтров в лесопожарной деятельности, обсуждаются возможности их дальнейшего усовершенствования для развития методов борьбы с лесными пожарами и защиты лесных ресурсов. Примерами здесь могут служить применение более эффективных материалов для фильтрации, увеличение мощности системы вакуумного всасывания, изменение конструкции для повышения мобильности иглофильтров и разработка транспортно-технологических средств для их оперативного перемещения.

Ключевые слова: модульный иглофильтр, вакуумное водопонижение, лесной пожар

Благодарности: Работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства». Часть материалов исследования получена за счет гранта РНФ № 23-16-00092, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>.

Для цитирования: Лоренц А.С., Григорьева О.И., Григорьев И.В. Применение модульных иглофильтров для аккумуляции грунтовых вод при тушении лесных пожаров // Изв. вузов. Лесн. журн. 2025. № 5. С. 68–80. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-5-68-80>

Original article

Application of Modular Wellpoints for Groundwater Accumulation during Forest Fire Extinguishing

Anatolii S. Lorents^{1✉}, Candidate of Engineering; ResearcherID: [HDM-5909-2022](https://orcid.org/0000-0002-0906-8779),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0906-8779>

Olga I. Grigoreva², Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.; ResearcherID: [AAC-9570-2020](https://orcid.org/0000-0001-5937-0813),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5937-0813>

Igor V. Grigorev³, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [S-7085-2016](https://orcid.org/0000-0002-5574-1725),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5574-1725>

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; a.lorents@narfu.ru✉

²Saint-Petersburg State Forest Technical University, per. Institutskiy, 5, Saint Petersburg, 194064, Russian Federation; grigoreva_o@list.ru

³Arctic State Agrotechnological University, sh. Sergelyakhskoe, 3rd km, 3, Yakutsk, 677007, Russian Federation; silver73@inbox.ru

Received on March 11, 2024 / Approved after reviewing on June 3, 2024 / Accepted on June 5, 2024

Abstract. The research has been aimed at developing innovative wellpoint designs that can be used to fight forest fires as part of mobile installations for obtaining groundwater directly at the sights of fire-fighting activities. Wellpoints are effective means of lowering the groundwater level, which helps to extinguish and prevent the spread of fire. A new design solution for a modular wellpoint unit for a dewatering system developed taking into account the specific features and requirements of work in forest areas, has been described in detail. The key characteristics of the solution are a high filtration level, a modular design that allows for quick and flexible adaptation of the wellpoint to various fire situations and high mobility which ensures the ability to quickly deploy and move wellpoints in forest fire areas. New materials and technologies used in the production of wellpoints aimed at improving their efficiency and environmental safety have also been presented. The importance of using new designs of modular wellpoints in forest fire prevention activities has been emphasized, and the possibilities of their further improvement for the development of methods for fighting forest fires and protecting forest resources have been discussed. Examples here include the use of more efficient filtration materials, increasing the capacity of the vacuum suction system, changing the design to increase the mobility of wellpoints, and developing transport and technological means for their rapid movement.

Keywords: modular wellpoint, vacuum dewatering, forest fire

Acknowledgements: The work was carried out within the framework of the scientific school “Innovative Developments in the Field of Logging Industry and Forestry”. Some of the research materials were obtained through the Russian Science Foundation grant no. 23-16-00092, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>.

For citation: Lorents A.S., Grigoreva O.I., Grigorev I.V. Application of Modular Wellpoints for Groundwater Accumulation during Forest Fire Extinguishing. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2025, no. 5, pp. 68–80. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-5-68-80>

Введение

Лесные пожары являются источником серьезных разрушений и представляют угрозу для экосистем, животных, растительности и населения. Каждый год по всему миру горят тысячи гектаров лесных площадей, что приносит значительный экологический, экономический и социальный ущерб [7, 10, 18–20]. Борьба с лесными пожарами – сложная и опасная задача, требующая применения различных методов и ресурсов.

В данной статье рассмотрено использование модульных иглофильтров в составе вакуумных установок водопонижения как новый метод и его потенциальное применение в борьбе с лесными пожарами. Необходимость разработки новых методов водопонижения в данной сфере обусловлена несколькими факторами, такими как распространение лесных пожаров, ограничения классических методов, экологическая безопасность, эффективность.

Лесные пожары способны быстро распространяться и охватывать большие территории. Используемые методы борьбы с ними несовершенны, что связано с недостаточностью количества водоемов, необходимостью получать воду из удаленных и труднодоступных районов, а также с высокой стоимостью эксплуатации самолетов и вертолетов [11, 16]. Сброс химических веществ или применение больших объемов воды могут негативно влиять на окружающую среду. Кроме того, классические методы зачастую оказываются ограничены погодными условиями, например, сильным ветром или низкой видимостью. Соответственно, существующие методы бывают недостаточно эффективны для быстрой остановки фронта огня. Необходимо разрабатывать новые методы для более эффективного контроля и тушения пожаров, гибкие и приспособленные к различным условиям, экологически безопасные и имеющие минимальное негативное воздействие на экосистему леса.

В свете этих факторов разработка новых методов использования вакуумных установок водопонижения становится крайне важной для повышения эффективности и безопасности борьбы с лесными пожарами, сохранения природной среды [4, 5, 8, 9].

Целью данного исследования является анализ особенностей разработки и теоретических расчетов новых конструкций модульных иглофильтров для предотвращения распространения лесных пожаров и защиты лесных экосистем.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования стали новые конструкции модульных иглофильтров, которые разрабатываются для использования в лесопожарной деятельности. Методология включала литературный обзор, теоретическое моделирование, сравнительный анализ, а также оценку практической применимости. Комбинация указанных методов позволяет провести всеобъемлющее изучение новых конструкций модульных иглофильтров в лесопожарной деятельности и получить релевантные и достоверные результаты, которые могут быть использованы для разработки новых технологий и обеспечения безопасности в борьбе с лесными пожарами.

Основные преимущества иглофильтра по сравнению с классическими методами водопонижения:

1. Экологическая безопасность. Иглофильтр не требует использования химических веществ или больших объемов воды, что позволяет избежать возможного негативного влияния на окружающую среду.

2. Гибкость и мобильность. Иглофильтры могут быть установлены и использованы в различных условиях и на различных территориях, эффективны как на открытом ландшафте, так и в гористых и лесистых районах, где доступность воды ограничена.

3. Эффективность. Иглофильтры способны быстро и надежно получать грунтовую воду в условиях отсутствия открытых водоемов, что помогает останавливать пожар и предотвращать его возобновление.

4. Снижение стоимости и количества необходимых ресурсов. Использование самолетов или вертолетов для сброса воды требует значительных расходов и ресурсов. Иглофильтры – это более экономически эффективное решение, дающее возможности для масштабирования.

Использование вакуумных установок для понижения уровня грунтовых вод широко распространено. Оно основано на создании вакуума на водоприемных устройствах. Метод применяется в мелкозернистых, пылеватых и глинистых песках, супесях и легких суглинках с коэффициентом фильтрации от 0,01 до 2 м/сут. С помощью установок вакуумного водопонижения можно опустить уровень грунтовых вод до 9 м от поверхности. Вакуумирование усиливает эффект понижения воды и ускоряет формирование депрессионной воронки в непроницаемых грунтах. При использовании вакуума также можно осушить капиллярную зону насыщения водой, которая обычно остается недоступной в случае других методов. Для проведения водопонижения в грунт погружают иглофильтры, вокруг которых устраивается обсыпка из песка с размером частиц от 0,5 до 2 мм. В безнапорных слоях с коэффициентом фильтрации от 2 до 0,5 м/сут. высота обсыпки должна быть от 2,5 до 3,5 м от забоя скважины, в остальных вариантах обсыпка выполняется до поверхности земли [14].

Все представленные на текущий момент конструкции иглофильтров имеют существенные недостатки для использования в условиях леса: сложность в изготовлении конструкции, невозможность варьировать высоту иглофильтрационного звена и способ заглубления для качественного водопонижения [15].

Проанализировав информацию из источников, возможно полагать, что глубина залегания грунтовых вод в лесу по усредненным значениям не превышает 5 м. С опорой на труды М.И. Смородинова [14] необходимо выделить подходящие методики применения систем водопонижения (см. таблицу).

Ориентировочная область применения систем водопонижения
An approximate scope of dewatering systems' application

Глубина понижения уровня грун- товых вод, м	Суглинок	Супесь	Песок					Гравий		Галеч- ник чи- стый	Многослойная водоносная толща (чередование пород различной водо- проницаемости)
			мелко- зерни- стый	мел- кий	сред- ний	круп- ный	круп- ный граве- листый	с пес- ком	чистый		
Коэффициент фильтрации, м/сут.											
0,005–0,4	0,2–0,7	1–2	2–10	10–25	25–50	50–100	75–150	100–200	>200	–	
До 5	Электроосуше- ние, вакуумиро- вание (ЛИУ, ЭИ, ЕВВУ, УВВ-1м, УВВ-2)	Установки с легкими иглофильтрами ЛИУ (1-ярусные)				Откачка воды из скважин центро- бежным способом и насосами		Поверх- ностный водоотлив	Поверхностный водоотлив, ЛИУ, УВВ, соче- тание ЛИУ с поверхностным водоотливом		

Результаты исследования и их обсуждение

Разработанное модульное иглофильтрационное звено установки водопонижения [12] позволяет упростить конструкцию иглофильтра при более качественном водопонижении за счет извлечения грунтовых вод созданием разрежения методом вакуумирования. Это достигается использованием аддитивных технологий изготовления, с применением материалов на основе полилактида – биоразлагаемого, термопластичного алифатического полиэфира. Такой способ изготовления обеспечивает дальнейшую минимизацию отрицательных экологических аспектов применения установки. При этом возможно получать элементы сложной геометрической формы и варьировать параметры создаваемого образца [6]. Модульная конструкция иглофильтрационного звена позволяет непосредственно перед установкой смонтировать иглофильтрационное звено необходимой длины и использовать потенциал водоносного горизонта в полном объеме, что положительно сказывается на мобильности установки и качестве работ. Модульная система также дает возможность применять различные виды наконечников, варьируя способы заглубления (рис. 1).

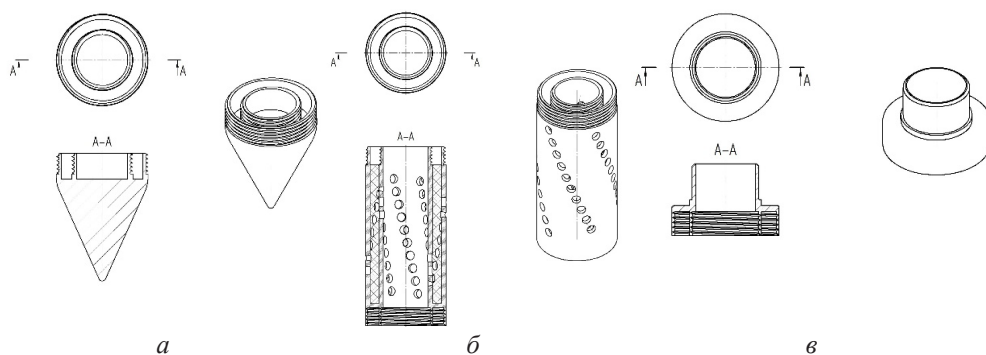


Рис. 1. Модульные элементы иглофильтрационного звена установки водопонижения
а – наконечник; б – основание; в – переходной элемент

Fig. 1. The modular elements of the wellpoint unit of the dewatering system:
а – tip; б – base; в – transition element

В отличие от аналогов, предлагаемое иглофильтрационное звено создано единым элементом, состоящим из внешнего и внутреннего перфорированных цилиндров, имеющих общую перегородку в нижней части, разделяющую модули иглофильтрационного звена на отдельные независимые емкости. При рабочем режиме водопонижения для применяемых конструкций иглофильтрационных элементов не исключена возможность засорения фильтрующего элемента частицами грунта. При попадании в 1 секцию иглофильтрационного звена частицы грунта не могут перемещаться по всей длине основания иглофильтрационного звена, и, следовательно, остальные секции будут работать в прежнем режиме. Фильтрующий элемент располагается в полости между перфорированными цилиндрами, что уменьшает вероятность снижения пропускной способности иглофильтрационного звена вследствие засорения. Использование аддитивных технологий при изготовлении секций фильтрующего звена позволяет изготавливать элементы с разной степенью перфорации как наружной, так и внутренней трубы, что положительно сказывается при работе на грунтах с различным коэффициентом фильтрации (рис. 2).

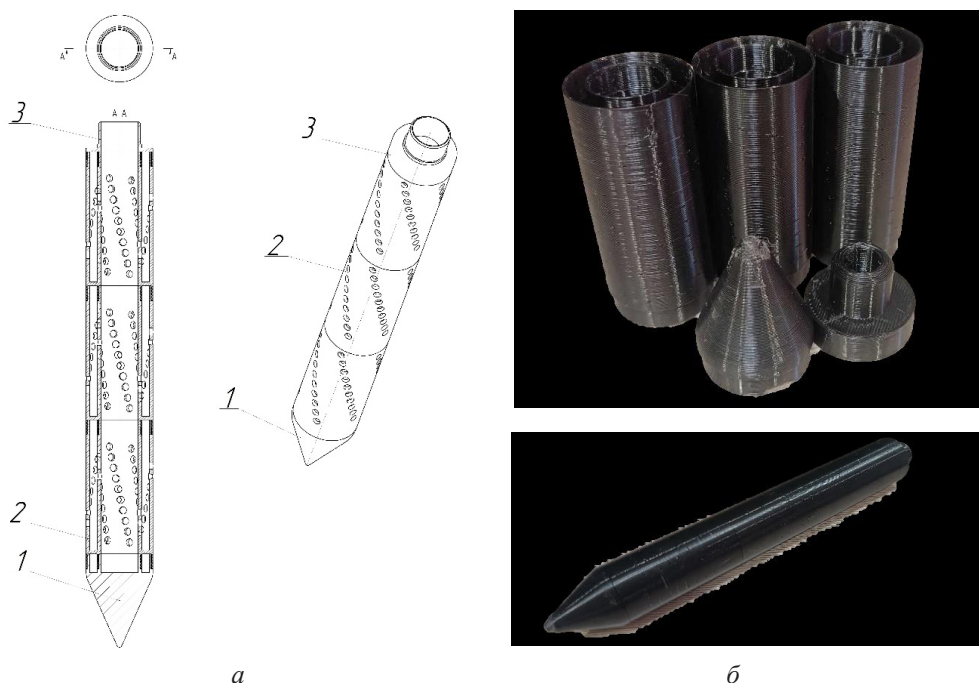


Рис. 2. Модульное иглофильтрационное звено установки водопонижения
 а – схема сборки (1 – наконечник; 2 – основание; 3 – переходный элемент);
 б – экспериментальный образец

Fig. 2. The modular wellpoint unit of the dewatering system: а – assembly diagram
 (1 – tip; 2 – base; 3 – transition element); б – experimental sample

Основание иглофильтрационного звена имеет наружный цилиндр фильтрового звена, выполненный с перфорацией, фильтрующий элемент, располагающийся в пространстве между наружным и внутренним цилиндрами фильтрового звена, также с перфорацией. Трубы в нижней части соединены перегородкой, придающей жесткость элементу и предотвращающей перемещение попадающих с водой частиц грунта по всей площади фильтрующего элемента игл фильтрационного звена. На концах основания иглофильтрационного звена выполнена резьба для модульного соединения элементов. Количество элементов варьируется в зависимости от заданных условий эксплуатации, что дает возможность задействовать весь водоносный горизонт для качественного процесса вакуумирования. К нижней части основания иглофильтрационного звена на резьбовое соединение монтируется наконечник конусообразной формы, увеличивающий продольную жесткость иглофильтрационного звена и позволяющий использовать вибрационный метод заглубления. В верхнюю часть основания иглофильтрационного звена крепится переходный элемент, используемый для коллекторного соединения всех установленных иглофильтрационных модулей с последующим подключением к вакуумному ресиверу.

В зависимости от типа грунта и от глубины залегания водоносного горизонта применяются различные методики установки иглофильтров: гидравлическим замыканием реверсной струей воды, предварительным бурением скважин с последующим погружением и обсыпкой крупнозернистым песком или мелким гравием, вибропогружением.

Извлечение грунтовых вод созданием разрежения методом вакуумирования возможно непосредственно после погружения необходимого количества иглофильтрационных модулей и их коллекторного монтажа с вакуумным ресивером [3].

Методика использования иглофильтрационных установок для водопонижения в лесном биотопе включает следующие шаги:

1. Идентификация оптимальных мест для размещения иглофильтрационных установок. Необходимо провести тщательное исследование лесного участка для определения наиболее подходящих мест для иглофильтров – мест с наличием водоносных пластов, доступных для техники и безопасных для пожарных бригад.

2. Установка иглофильтров. Это могут быть мобильные установки, размещаемые на специально подготовленных площадках, или стационарные установки, интегрированные в систему полевой пожарной инфраструктуры.

3. Подготовка и подключение водоснабжения. Для работы иглофильтров необходимо обеспечить подачу воды за счет подключения к водоносным пластам, использования ручных или механизированных насосов, а также создания водоемов или емкостей для хранения воды.

4. Активация и регулировка иглофильтров. После подключения водоснабжения следует активировать иглофильтры и настроить их для эффективной работы. Регулирование процесса водопонижения происходит с помощью специальных клапанов и систем контроля.

5. Мониторинг и обслуживание. В процессе использования иглофильтров необходимо непрерывно контролировать их работу, что включает в себя измерение давления, объема воды, а также регулярные техническую проверку и обслуживание установок.

6. Система управления и координация. Для эффективного использования иглофильтров в борьбе с лесными пожарами необходима хорошо организованная система управления и координации: оперативное информирование пожарных бригад о расположении и работе иглофильтровых установок, продумывание системы приоритетов и взаимодействия с другими методами тушения пожаров.

Использование вакуумных водопонижающих систем в лесопожарной деятельности является перспективным и малоисследованным направлением, поэтому для подтверждения эффективности необходимо произвести теоретические исследования и натурные испытания.

Расчет параметров системы водопонижения с использованием легких иглофильтров основывается на решении 2 уравнений. Одно из них описывает гидравлические характеристики иглофильтровой установки, а другое определяет условия фильтрации воды через грунт при работе этой установки. При расчете системы, включающей несколько установок, используется расчет только одной установки [1, 2, 17].

Первое уравнение представляется в виде:

$$y_{hr} = y_r - h_{pac} + \frac{\varepsilon q_{fh}}{(kn_{fh})} + 1,34^{-7} \theta Q_p^2,$$

второе уравнение с учетом фильтрационного сопротивления иглофильтров имеет вид:

для контурной системы

$$y_{hr} = H - S \left[1 + \frac{\Phi_{fh} T}{(n_p n_{fh} \Phi)} \right],$$

для линейной системы

$$y_{hr} = H - \frac{S(R + \sigma \Phi_{fh} T)}{\Phi},$$

где y_{hr} – высота от водоупора до сниженного уровня воды у иглофильтра, м; y_r – высота расположения оси насосного агрегата над водоупором; h_{pac} – понижение уровня воды, создаваемое одной иглофильтровой установкой; ε – коэффициент потерь напора в иглофильтре, принимаемый при продолжительности эксплуатации установки на 1 объекте до 1 мес., от 1 до 6 и более 6 мес. соответственно 0,3; 0,4 и 0,5 м³; q_{fh} – приток подземных вод к 1 иглофильтру, м³/сут., $q_{fh} = \frac{Q_p}{n_{fh}} < q_{fh.as}$, Q_p – приток подземных вод к 1 установке, м³/сут.; n_{fh} – число иглофильтров в установке, шт.; $q_{fh.as}$ – допускаемый приток к 1 иглофильтру, м³/сут.; k – коэффициент фильтрации грунта в прифильтровой зоне или песчано-гравийной обсыпке, $k = 15 \dots 25$ м/сут.; θ – коэффициент потерь напора во всасывающем коллекторе установки, сут./м³; H – напор подземных вод в водоносном слое, м; S – понижение уровня подземных вод в расчетной точке; Φ – внешнее фильтрационное сопротивление; Φ_{fh} – фильтрационное сопротивление 1 иглофильтра, принимаемое при расстоянии между иглофильтрами 0,75; 1,5; 2,25 и 3 м соответственно 1; 0,8; 0,7 и 0,65 м³; T – глубина водного потока на линии иглофильтров, м (при напорном режиме фильтрации $T = h$, при безнапорном $T = y_i$, i – гидравлический градиент); n_p – число установок в системе, шт.; R – радиус дисперсной воронки; σ – коэффициент пропорциональности между понижением уровня воды и притоком воды к системе иглофильтров.

Используя линейную систему установки иглофильтров, приведем уравнение к следующему виду:

$$H - \frac{S(R + \sigma \Phi_{fh} T)}{\Phi} = y_r - h_{pac} + \frac{\varepsilon q_{fh}}{(k n_{fh})} + 1,34^{-7} \theta Q_p^2.$$

Необходимым для исследования параметром является приток подземных вод к 1 иглофильтру

$$q_{fh} = \frac{(k n_{fh}) \left(H - \frac{S(R + \sigma \Phi_{fh} T)}{\Phi} - y_r + h_{pac} - 1,34^{-7} \theta Q_p^2 \right)}{\varepsilon}.$$

Так как для конкретного случая установка водопонижения используется вне сферы строительства, в которой варьируемые факторы исследованы более широко, в процессе проведения эксперимента также необходимо найти оптимальные число иглофильтров в установке, приток подземных вод к 1 установке, фильтрационное сопротивление 1 иглофильтра [13, 22].

Приток подземных вод к установке возможно определить по формуле

$$Q_p = \frac{khS}{\Phi},$$

где h – средняя глубина потока, равная $\frac{(H + y)}{2}$ при безнапорной фильтрации; y – напор подземных вод в расчетной точке, м [21].

Внешнее фильтрационное сопротивление (рис. 3) системы с линейным несовершенным дренажем в слое, содержащим безнапорные воды, определяется как

$$\Phi = \frac{2h}{l \left[\frac{S_c}{R} + \frac{1}{\frac{R}{2y_c} + \frac{1}{\pi} \ln \frac{y_c}{\pi r_h}} \right]},$$

где S_c – динамический уровень воды; y_{hr} – высота от водоупора до сниженного уровня воды у иглофильтра; r_h – диаметр иглофильтра; l – расстояние между иглофильтрами, м.

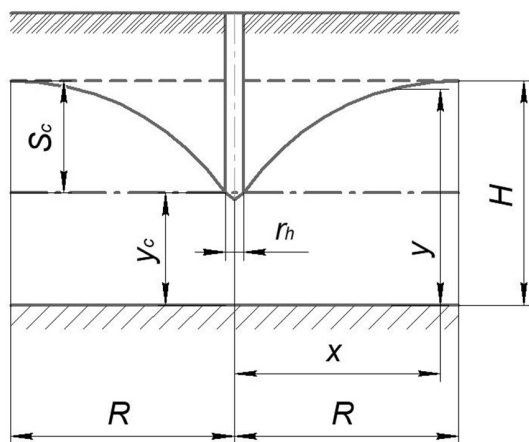


Рис. 3. Внешнее фильтрационное сопротивление системы с линейным несовершенным дренажем в слое, содержащим безнапорные воды

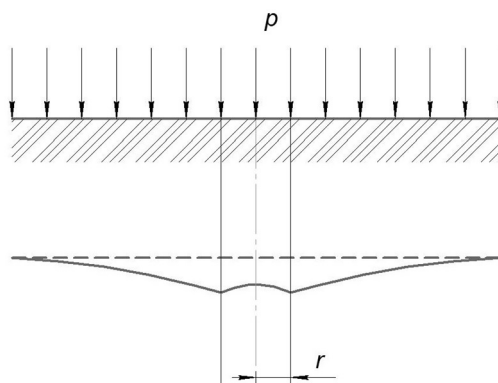
Fig. 3. The external flow coefficient of a system with linear imperfect drainage in a layer containing free groundwater

Определение радиуса депрессии (рис. 4) на неограниченном водоносном слое, питание которого происходит путем инфильтрации поверхностных вод с интенсивностью p , осуществляется по формуле

$$R = r + H \sqrt{\frac{k}{2p}}.$$

Рис. 4. Радиус депрессии
на неограниченном водоносном слое

Fig. 4. The depression radius
on an unconfined aquifer



Принимая коэффициент фильтрации грунта в прифильтровой зоне или песчано-гравийной обсыпке равный $k = 20$ м/сут.; число установок в системе $n_p = 1$ и коэффициент потерь напора в иглофильтре $\varepsilon = 0,3$ м, получим:

$$q_{fh} = \frac{20n_{fh} \left(H - \frac{IS \left(r + H \sqrt{\frac{20}{2p}} + \sigma \Phi_{fh} T \right) \left(\frac{S_c}{R} + \frac{1}{\frac{R}{2y_c} + \frac{1}{\pi} \ln \frac{y_c}{\pi r_h}} \right)}{2h} - y_r + h_{pac} - 1,34^{-7} \theta Q_p^2 \right)}{0,3}.$$

На основании этого уравнения возможно определить основные данные, необходимые для качественного анализа перспективности использования модульных иглофильтрационных установок в лесопожарной деятельности.

Заключение

Использование иглофильтрационных установок для водопонижения в лесном биотопе является важным инструментом при борьбе с лесными пожарами. Тем не менее, при разработке и реализации данной методики необходимо учитывать особенности конкретного региона, климатических условия и доступность водных ресурсов.

Применение новых конструкций модульных иглофильтров в лесопожарной деятельности играет важную роль в повышении эффективности борьбы с лесными пожарами и защите лесных ресурсов. Модульные иглофильтры представляют собой инновационное решение для предотвращения распространения огня и ограничения его воздействия на окружающую среду.

Одно из основных преимуществ модульных иглофильтров заключается в их мобильности и гибкости. Они могут быть быстро перемещены транспортно-технологическими комплексами на базе легких вездеходов, мини-тракторов, развернуты и смонтированы в нужных участках леса и целенаправленно перемещаться в зависимости от потребностей. Это особенно важно в условиях развития лесных пожаров с большой скоростью, когда необходимо немедленно принять меры для их тушения и предотвращения дальнейшего распространения.

Возможно и дальнейшее повышение эффективности модульных иглофильтров для лучшей борьбы с лесными пожарами, например, применение более эффективных материалов для фильтрации, увеличение мощности системы

воздушного всасывания, изменение конструкции для улучшения мобильности иглофильтров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Богомолов А.Н., Богомолова О.А., Иванов А.А. Инженерный метод расчета несущей способности однородного основания щелевого фундамента // Вестн. Волгоград. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер.: Строительство и архитектура. 2013. № 33(52). С. 23–40.

Bogomolov A.N., Bogomolova O.A., Ivanov A.A. Engineering Method for Calculating the Bearing Capacity of a Homogeneous Base of a Trench Foundation. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura* = Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture, 2013, no. 33(52), pp. 23–40. (In Russ.).

2. Горбунов-Посадов М.И., Ильичев В.А., Крутов В.И., Коновалов П.А., Смородинов М.И., Сорочан Е.А., Бахолдин Б.В., Валеев Р.Х., Вронский А.В., Игнатова О.И., Мариупольский Л.Г., Смолин Б.С., Снарский А.С., Токин А.Н., Трофименков Ю.Г., Федоров Б.С., Юшки А.И., Демидов В.К., Иванов Л.И., Казанцев В.М., Коньков Н.К., Лабзов Ю.В., Лаш Е.Ф., Лешин Г.М., Михальчук В.А., Моргулис М.Л., Ханин Р.Е., Фомин Б.Н., Шапиро А.В. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под общ. ред. Е.А. Сорочана и Ю.Г. Трофименкова. М.: Стройиздат, 1985. 480 с.

Gorbunov-Posadov M.I., Il'ichev V.A., Krutov V.I., Konovalov P.A., Smorodinov M.I., Sorochan E.A., Bakholdin B.V., Valeev R.Kh., Vronskij A.V., Ignatova O.I., Mariupol'skij L.G., Smolin B.S., Snarskij A.S., Tokin A.N., Trofimenkov Yu.G., Fedorov B.S., Yushki A.I., Demidov V.K., Ivanov L.I., Kazantsev V.M., Kon'kov N.K., Labzov Yu.V., Lash E.F., Leshin G.M., Mikhal'chuk V.A., Morgulis M.L., Khanin R.E., Fomin B.N., Shapiro A.V. *Foundations, Bases and Underground Structures*. Under the gen. ed. by E.A. Sorochan and Yu.G. Trofimenkov. Moscow, Strojizdat Publ., 1985. 480 p. (In Russ.).

3. Григорьева О.И., Гринько О.И., Давтян А.Б., Григорьев И.В. Технология получения воды в лесу при помощи иглофильтров // Повышение эффективности управления устойчивым развитием лесопромышленного комплекса: материалы Всерос. науч. конф., посвящ. 90-летию Воронежск. гос. лесотехн. ун-та им. Г.Ф. Морозова. М.: Знание-М, 2020. С. 444–449.

Grigoreva O.I., Grin'ko O.I., Davtyan A.B., Grigorev I.V. Technology for Obtaining Water in the Forest Using Wellpoints. *Povyshenie effektivnosti upravleniya ustojchivym razvitiem lesopromyshlennogo kompleksa*: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference Dedicated to the 90th Anniversary of the Voronezh State Forest Engineering University named after G. F. Morozov. Moscow, Znanie-M Publ., 2020, pp. 444–449. (In Russ.).

<https://doi.org/10.38006/907345-73-7.2020.444.449>

4. Григорьева О.И., Лоренц А.С., Григорьев И.В. Охрана труда и техника безопасности при эксплуатации иглофильтрационной установки для тушения лесных пожаров // Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах. 2023. № 1. С. 37–43.

Grigoreva O.I., Lorenz A.S., Grigorev I.V. Occupational Health and Safety during Operation of the Needle Filter Unit for Forest Fire Extinguishing. *Bezopasnost' i okhrana truda v lesozagotovitel'nom i derevoobrabatybayushchem proizvodstvakh* = Occupational Health and Safety in Logging and Woodworking Industries, 2023, no. 1, pp. 37–43. (In Russ.).

5. Данилова С.С., Николаева В.М. Обнаружение лесных пожаров. Методы тушения лесных пожаров // Аллея науки. 2018. Т. 3, № 10(26). С. 380–383.

Danilova S.S., Nikolaeva V.M. Forest Fire Detection. Forest Fire Extinguishing Methods. *Alleya nauki*, 2018, vol. 3, no. 10(26), pp. 380–383. (In Russ.).

6. Комиссаров П.И. Применение аддитивных технологий для мониторинга уровня грунтовых вод в лесных массивах // Ломоносовск. науч. чтения студентов, аспиран-

тов и молодых ученых – 2023: сб. материалов конф.: в 2 т. Т. 2. Архангельск: Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова, 2023. С. 339–341.

Komissarov P.I. Application of Additive Technologies for Monitoring Groundwater Levels in Forest Areas. *Lomonosovskie nauchnye chteniya studentov, aspirantov i molodykh uchennykh* – 2023: Collection of Conference Materials in 2 Volumes. Arkhangelsk, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 2023, vol. 2, pp. 339–341. (In Russ.).

7. Куницкая О.А., Новгородов Д.В., Марков О.Б. Проблемы эффективной переработки поврежденной лесным пожаром древесины // Комплексные вопросы аграрной науки и образования: сб. науч. ст. по материалам Внутривуз. науч.-практ. конф., посвящ. 65-летию Высш. аграр. образования Респ. Саха (Якутия) и Всерос. студенческой науч.-практ. конф. с междунар. участием в рамках «Северного форума – 2021». Якутск: Арктич. гос. агротехнол. ун-т, 2021. С. 285–291.

Kunitskaya O.A., Novgorodov D.V., Markov O.B. Problems of Efficient Processing of Forest Fire Damaged Timber. *Kompleksnye voprosy agrarnoy nauki i obrazovaniya*: Collection of Scientific Articles Based on the Materials of the Intra-University Scientific and Practical Conference Dedicated to the 65th Anniversary of Higher Agricultural Education in the Republic of Sakha (Yakutia) and the All-Russian Student Scientific and Practical Conference with International Participation in the Framework of the “Northern Forum – 2021”. Yakutsk, Arctic State Agrotechnological University, 2021, pp. 285–291. (In Russ.).

8. Лоренц А.С. Применение установок водопонижения в лесных районах // Ломоносовск. науч. чтения студентов, аспирантов и молодых ученых – 2022: сб. материалов конф.: в 2 т. Т. 2. Архангельск: Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова, 2022. С. 278–281.

Lorents A.S. Application of Water Level Lowering Plants in Forested Areas. *Lomonosovskie nauchnye chteniya studentov, aspirantov i molodykh uchennykh* – 2022: Collection of Conference Materials in 2 Volumes. Arkhangelsk, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 2022, vol. 2, pp. 278–281. (In Russ.).

9. Лоренц А.С., Григорьев И.В. Перспективы использования установок водопонижения при тушении лесных пожаров // Лесозащита и комплексное использование древесины: сб. ст. IX Всерос. науч.-практ. конф. Красноярск: Сиб. гос. ун-т науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнёва, 2022. С. 83–87.

Lorentz A.S., Grigoriev I.V. The Perspective of Water-Reduction Installations for Extinguishing Forest Fires. *Lesozashchita i kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny*: Collection of Articles of the IX All-Russian Scientific and Practical Conference. Krasnoyarsk, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 2022, pp. 83–87. (In Russ.).

10. Мануковский А.Ю., Зорин М.В., Григорьева О.И., Гринько О.И., Куницкая О.А., Григорьев И.В. Возможности использования садово-парковой техники для борьбы с низовыми лесными пожарами // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сб. науч. ст. по итогам 6-й Междунар. науч. конф. Казань, 2020. С. 144–146.

Manukovskij A.Yu., Zorin M.V., Grigoreva O.I., Grinko O.I., Kunitskaya O.A., Grigorev I.V. The Possibilities of Using Gardening Equipment to Combat Ground Forest Fires. *Prioritetnye napravleniya innovatsionnoy deyatel'nosti v promyshlennosti*: Collection of Scientific Articles Based on the Results of the 6th International Scientific Conference. Kazan, 2020, pp. 144–146. (In Russ.).

11. Никитин А.В., Королесов Д.А., Давыдов А.С. Стратегия тушения лесных пожаров // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2018. № 1(9). С. 333–336.

Nikitin A.V., Korolesov D.A., Davydov A.S. Forest Fire Extinguishing Strategy. *Sovremennye tekhnologii obespecheniya grazhdanskoj oborony i likvidatsii posledstvij chrezvychajnykh situatsij*, 2018, no. 1(9), pp. 333–336. (In Russ.).

12. Патент 2 797 754 РФ, МПК E02D 19/10 (2006.01), B33Y 80/00 (2015.01). Модульное иглофильтрационное звено установки водопонижения: № 2022128696: заявл. 07.11.2022; опубл. 08.06.2023 / А.С. Лоренц.

Lorents A.S. *Modular Wellpoint Unit for a Dewatering Installation*. Patent RF, no. RU 2 797 754 C1, 2023. (In Russ.).

13. Пособие по проектированию защиты горных выработок от подземных и поверхностных вод и водопонижения при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений (к СНиП 2.06.14-85 и СНиП 2.02.01-83). Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294850/4294850584.htm> (дата обращения: 03.09.25).

Manual on Designing Protection of Mine Workings from Underground and Surface Waters and Dewatering during the Construction and Operation of Buildings and Structures (for Building Code 2.06.14-85 and Building Code 2.02.01-83). (In Russ.).

14. Справочник по общественным работам. Основания и фундаменты / под общ. ред. М.И. Смородинова. М.: Стройиздат, 1974. 372 с.

Public Works Handbook. Foundations and Bases. Under the gen. ed. by M.I. Smorodinov. Moscow, Strojizdat Publ., 1974. 372 p. (In Russ.).

15. Рыбалкина А.В., Мамонтов И.А., Бабаскин Е.С., Скряпник М.Э. иглофильтровый способ понижения грунтовых вод // Интеллектуальный потенциал общества как драйвер инновационного развития науки: сб. ст. Междунар. науч.- практ. конф. Тюмень: МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2019. С. 65–67.

Rybalkina A.V., Mamontov I.A., Babaskin E.S., Skrypnik M.E. Wellpoint Method for Lowering Groundwater. *Intellectual'nyj potentsial obshchestva kak drajver innovatsionnogo razvitiya nauki*: Collection of Articles of the International Scientific and Practical Conference. Tyumen', International Centre of Innovation Studies "Omega Science", 2019, pp. 65–67. (In Russ.).

16. Brassington F., Preene M. The Design, Construction and Testing of a Horizontal Wellpoint in a Dune Sands Aquifer as a Water Source. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 2003, vol. 36, iss. 4, pp. 355–366.

<https://doi.org/10.1144/1470-9236/03-002>

17. Chu J., Varaksin S., Klotz U., Mengé P. Construction Processes. *Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2009, pp. 3006–3135. <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-031-5-3006>

18. Grigorev V.M. Calculation of Complete Interception of Groundwater Inflow to "Perfect" Trenches by Light Wellpoint Installations. *Hydrotechnical Construction*, 1983, vol. 17, pp. 618–626. <https://doi.org/10.1007/BF01427527>

19. Krivoshapkina O., Yakovleva A., Pavlova A., Eroshenko V., Zakharova A., Gogoleva P., Tikhonov E., Kunickaya O. Environmental Safety of Residents of Yakutsk and Zhaytay: Evidence from Sociological Research. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 2022, vol. 12, pp. 566–576. <https://doi.org/10.1007/s13412-022-00764-y>

20. Lukina A., Lisatnikov M., Martinov V., Kunitskaya O., Chernykh A., Roschina S. Mechanical and Microstructural Changes in Post-Fire Raw Wood. *Architecture and Engineering*, 2022, vol. 7, no. 3, pp. 44–52. <https://doi.org/10.23968/2500-0055-2022-7-3-44-52>

21. Sagintayev Z., Yarikuly Z., Zhaparkhanov S., Panichkin V., Miroshnichenko O., Mashtayeva S. Groundwater Inflow Modeling for a Kazakhstan Copper Ore Deposit. *Journal of Environmental Hydrology*, 2015, vol. 23, pp. 9–22.

22. Tang Y., Zhou J., Yang P., Yan J., Zhou N. Wellpoint Dewatering in Engineering Groundwater. *Groundwater Engineering*. Singapore, Springer Natural Hazards, 2017, pp. 183–261. https://doi.org/10.1007/978-981-10-0669-2_5

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest

Вклад авторов: Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article