

Научная статья

УДК 502.36, 502.5

DOI: 10.21209/2227-9245-2023-29-3-8-15

**Исследование деформирования фильтровальных мембран
из волокнистых полимерных материалов
в устройствах осветления оборотной воды горных предприятий**

Виктор Михайлович Герасимов¹, Евгений Иванович Нижегородцев²

^{1,2}*Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия*

¹gerasimovvm@zabgu.ru, ²dj_world@mail.ru

Информация о статье

Статья поступила
в редакцию 04.04.2023

Одобрена после
рецензирования 10.08.2023

Принята к публикации
14.08.2023

Ключевые слова:

*экология, горные
предприятия, отстойники,
оборотная вода,
осветление, фильтры,
механический способ, напор,
фильтровальная мембрана,
предельное состояние*

Сохранение экологической чистоты природных горно-таёжных территорий Сибири и Дальнего Востока при освоении месторождений полезных ископаемых остаётся важной задачей. Технологические процессы на горных выработках сопряжены с использованием большого количества чистой воды, поступающей из горных рек, ручьев, подземных источников. Значительные объёмы водоподготовки используются при открытом способе разработки месторождений полезных ископаемых, особенно на гидромеханизированных полигонах по добыче россыпного золота. Загрязнённая вода после прохождения в промышленных приборах извлечения золота перемещается в отстойники, образованные дамбами и плотинами. В каскадах отстойников горных предприятий накапливаются большие объёмы загрязнённой технологической воды, которую следует очистить. Гравитационный способ осаждения твёрдых веществ из загрязнённой воды является основным и долгосрочным. Осветление воды механическим методом с использованием механических фильтров более эффективно. Имеется большой класс фильтровальных материалов, используемых в механических фильтрах. В последние годы из этого класса выделяются нетканые материалы из синтетических волокон, изготовленные по иглопробивной технологии. Под действием напора очищаемой оборотной воды мембраны из волокнистых материалов в фильтрах деформируются, имеется опасность их разрыва. Объект исследования – фильтровальная мембранная перегородка фильтра круглой формы, нагруженная статическим давлением жидкости. Методы исследования – экспериментальные измерения максимального перемещения точек мембраны при значительном растяжении, теоретические расчёты перемещений на основании закономерностей теории упругости. Цель исследования – определить предельные напоры очищаемой жидкости при деформировании свободных мембран круглой формы из волокнистых материалов. Выявлены предельные значения напора жидкости, при которых прочность мембран будет обеспечена без дополнительного подкрепления металлическими решетками. Характеристики предельного давления зависят от объёмной плотности волокнистого материала, высоты слоя и диаметра фильтра. В случаях использования фильтров диаметрами более 20 см необходимо устанавливать дополнительные поддерживающие решётки опирания мембранной перегородки.

Investigation of the Deformation of Filter Membranes Made from Fibrous Polymeric Materials in Devices for Clarification of Recycling Water of Mining Enterprises

Viktor M. Gerasimov¹, Evgeny I. Nizhegorodtsev²

^{1,2}Transbaikal State University, Chita, Russia

¹gerasimovvm@zabgu.ru, ²dj_world@mail.ru

Information about the article

Received 4 April, 2023

Approved after review
10 August, 2023

Accepted for publication
14 August, 2023

Keywords:

ecology, mining enterprises, settling tanks, recycled water, clarification, filters, mechanical method, pressure, filter membrane, limit state

Preserving the ecological cleanliness of the natural mountain-taiga territories of Siberia and the Far East during the development of mineral deposits remains an important task. Technological processes in mine workings are associated with the use of a large amount of clean water coming from mountain rivers, streams, underground sources. Significant volumes of water treatment are used in the open-cast mining of mineral deposits, especially at hydromechanized landfills for the extraction of alluvial gold. Polluted water, after passing through industrial devices for extracting gold, moves to settling tanks formed by dams. Large volumes of contaminated process water accumulate in the cascades of sedimentation tanks of mining enterprises, which must be treated. The gravitational method of sedimentation of solids from polluted water is the main and long-term one. Water clarification by mechanical method using mechanical filters is more efficient. There is a large class of filter materials used in mechanical filters. In recent years, nonwoven materials made of synthetic fibers made using needle-punched technology have been distinguished from this class. Under the action of the pressure of the treated circulating water, the membranes from fibrous materials in the filters are deformed; there is a danger of their rupture. *The object of study* is a filter membrane baffle of a round-shaped filter loaded with static pressure of a liquid. *The research methods* are as follows: experimental measurements of the maximum displacement of membrane points with significant stretching, theoretical calculations of displacements based on the laws of the theory of elasticity. *The purpose of the work* is the determination of limiting pressures of the liquid to be purified during the deformation of free round-shaped membranes made of fibrous materials. *The following results* are obtained: the limiting values of the liquid pressure have been determined, at which the strength of the membranes will be ensured without additional reinforcement with metal gratings. The characteristics of the ultimate pressure depend on the bulk density of the fibrous material, the height of the layer and the diameter of the filter. In cases where filters with a diameter of more than 20 cm are used, it is necessary to install additional supporting grids to support the membrane partition.

Введение. В XXI в. происходит наращивание потенциала горных производств в наибольшей степени в Сибири, на Дальнем Востоке. Расширяется добыча полезных ископаемых действующих предприятий, открываются новые месторождения, внедряются новые способы извлечения ценных компонентов: кучное и подземное выщелачивание. Преобладающей технологией остаётся разработка месторождений полезных ископаемых открытым способом. Многочисленные горные предприятия ведут извлечение россыпного золота на гидромеханизированных полигонах [9].

Технологическая вода, выходящая из промывочных машин, представляет собой крайне загрязнённую суспензию. Для её осветления строится каскад отстойников. Размеры отстойников должны учитывать степень загрязнения технологической воды и условия ландшафта; вместимость отстойников со-

ставляет 2÷20 тыс. м³, высота плотин отстойников 3÷10 м [2; 9].

Концентрация твёрдых веществ в составе технологической воды, поступающей в первый отстойник составляет 40–50 г/л. В процессе длительного осаждения твёрдой фазы в отстойниках концентрация снижается до 20 г/л [Там же].

Состав твёрдой фазы в отстаивающейся технологической воде можно представить по гранулометрическому составу: грубодисперсные вещества 45...55 % размерами более 5 мкм, тонкодисперсные частицы 30–38 % размерами 1...5 мкм. Также фиксируется наличие полуколлоидных частиц, размерами 0,1...1 мкм [Там же]. Твёрдые частицы включают породообразующие минералы: полевой шпат, кварц, окислы, карбонаты, гидроксиды железа, глинистые и органические вещества [9].

Актуальность. Практика показывает недостаточное осветление воды гравитационным способом, необходима дополнительная очистка воды, как для оборотного водоснабжения промприборов, так и для сброса излишек воды в природные водоёмы [4; 6]. В комплексные переходы осветления оборотной воды включают физико-химический, электрический и механический способы [9].

Механическое разделение суспензий на твёрдую фазу и дисперсную жидкость с помощью мембранных фильтрующих перегородок является экологически чистым процессом и имеет тенденцию к совершенствованию благодаря использованию разнообразных пористых сред [7; 10; 12; 13]. Из многообразия пористых материалов предпочтение отдаётся средам, обладающим насыщенностью пор, долговечностью, прочностью, устойчивостью к химическим, биологическим и температурным воздействиям, гидрофобностью, низкой стоимостью [2; 7; 10]. К таким средам относятся волокнистые полимерные материалы, сформированные и скрепленные по иглопробивной технологии [11–13]. Основой таких материалов являются синтетические волокна из полиэфира, полиамида, полипропилена, имеющие разрывные напряжения 400...600 мН/м², длину 50...100 мм, диаметр 10...30 мкм. В процессе изготовления на иглопробивных машинах создаётся из волокон многослойная гетеропористая структура материала с размерами пор 40...150 мкм в одном слое [2; 11]. Благодаря высокой задерживающей способности такие материалы нашли применение в жидкостных и воздушных фильтрах [10; 11].

Объектом исследования является фильтровальная мембранная перегородка фильтра круглой формы из волокнистого полимерного материала, нагруженная статическим давлением жидкости.

Цель – определить предельные напоры очищаемой жидкости при деформировании свободных мембран круглой формы из волокнистых материалов.

Задачи исследования: экспериментально определить перемещения в мембранах 70 кг/м³, 90 кг/м³ и 110 кг/м³; получить выражение для определения прогиба в центре мембраны в зависимости от диаметра мембраны и объёмной плотности волокнистой среды.

Методы исследования: экспериментальные исследования проведены на специально разработанной установке, аналитические расчёты проведены с учётом нелинейной динамики оболочек.

Результаты исследований. Волокнистым полимерным материалам можно задать любую форму (одно и многослойные мембраны, цилиндры и т. д.) в зависимости от конфигурации фильтровального устройства.

Благодаря высокой производительности фильтры с мембранными перегородками более предпочтительны. По форме наружного контура такие фильтры могут иметь круглое или прямоугольное очертание с жёстким закреплением по краям. Формируя фильтр с набором мембранных кассет, создается высокоэффективное фильтровальное устройство для промышленных горных предприятий [2; 14; 15].

В процессе фильтрования напор технологической воды на горизонтально расположенную мембранную перегородку можно считать равномерно распределённым по площади. Под давлением фильтрующейся жидкости волокнистый полимерный материал растягивается, образуя криволинейную деформированную поверхность. При высоком напоре жидкости возможен разрыв фильтровальной перегородки, что приведёт к выбросу загрязнённой воды в осветленный отстойник. Поэтому для обеспечения длительной эффективной работы фильтровальной перегородки следует знать предельное значение напора жидкости, поступающей в фильтр.

Если напор жидкости превышает предельные значения, которые определены по параметрам деформации фильтрующего материала, то необходимо устанавливать в фильтр сетчатую или сотовую пластину, обеспечивающую подкрепление мембраны.

Для определения предельных значений напора жидкости исходя из прочностных характеристик фильтровальной мембраны необходимо было провести экспериментальные и теоретические исследования деформирования перегородки с нахождением максимальных вертикальных перемещений W_{\max} , по значениям которых вычисляются растягивающие напряжения [3].

Учитывая, что наиболее распространённым контуром крепления мембраны является круглая форма, исследования проводились на цилиндрических фильтрах.

Экспериментальный метод исследования перемещений основан на статическом нагружении мембраны и определении максимальных перемещений с помощью индикатора часового типа с ценой деления 10^{-5} м.

Самостоятельно разработанная установка для проведения испытаний включала

стальной цилиндр, закреплённый на опорах. Нижний торец цилиндра перекрывался фильтровальной мембраной, крепление которой к цилиндру обеспечивало фасонное кольцо с винтовым регулированием усилия прижатия волокнистого слоя (рис. а).

Индикатор часового типа устанавливался в нижнем положении, ножка индикатора через пластину опиралась в центре мембраны. Фильтровальные волокнистые материалы обладают высокой водопроницаемостью, поэтому для чистоты эксперимента распределённой нагрузкой, действующей на мембрану, являлся слой песка. В качестве

фильтровальных мембран использовались образцы волокнистых материалов объёмной плотностью 70 кг/м³, 90 кг/м³ и 110 кг/м³ высотой 5 мм по 10 шт. каждого типа.

Испытания проводились путём статического нагружения фильтровальной перегородки интенсивностью q и измерения перемещений W_{\max} по показаниям индикатора.

Результаты испытаний обрабатывались статистически, коэффициент вариации отклонений при определении перемещений составил 0,058. Значения перемещений $W_{\text{эксп.}}$ по результатам испытаний на установке диаметром цилиндра 0,1 м представлены в таблице.

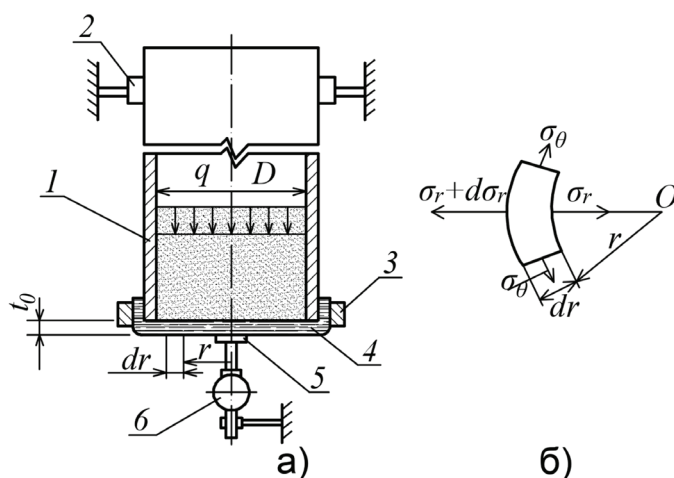


Схема установки для исследования деформирования фильтровальных перегородок: 1 – цилиндр; 2 – опора; 3 – прижимное кольцо; 4 – волокнистая мембрана; 5 – пластина; 6 – индикатор / Installation for studying the deformation of filtering baffles: 1 – cylinder; 2 – support; 3 – pressure ring; 4 – fibrous membrane; 5 – plate; 6 – indicator

Максимальные перемещения в мембранах плотностью 70 кг/м³, 90 кг/м³ и 110 кг/м³ / Maximum displacements in membranes with density 70 kg/m³, 90 kg/m³, 110 kg/m³

Интенсивность нагрузки, q , МПа / Load intensity q , МПа	$\rho=70 \text{ кг/м}^3 / \rho=70 \text{ kg/m}^3$		$\rho=90 \text{ кг/м}^3 / \rho=90 \text{ kg/m}^3$		$\rho=110 \text{ кг/м}^3 / \rho=110 \text{ kg/m}^3$	
	$W_{\text{эксп.}} \cdot 10^{-3} \text{ м} / W_{\text{эксп.}} \cdot 10^{-3} \text{ м}$	$W_{\text{теор.}} \cdot 10^{-3} \text{ м} / W_{\text{теор.}} \cdot 10^{-3} \text{ м}$	$W_{\text{эксп.}} \cdot 10^{-3} \text{ м} / W_{\text{эксп.}} \cdot 10^{-3} \text{ м}$	$W_{\text{теор.}} \cdot 10^{-3} \text{ м} / W_{\text{теор.}} \cdot 10^{-3} \text{ м}$	$W_{\text{эксп.}} \cdot 10^{-3} \text{ м} / W_{\text{эксп.}} \cdot 10^{-3} \text{ м}$	$W_{\text{теор.}} \cdot 10^{-3} \text{ м} / W_{\text{теор.}} \cdot 10^{-3} \text{ м}$
0,005	11	12,5	7	7,23	5,3	5,8
0,01	14	15,4	8,7	9,11	7,12	7,7
0,015	16,2	17	9,8	10,4	9,2	8,8
0,02	19,1	18,3	11,1	11,7	9,3	9,9
0,03	-	-	13,5	13,1	11,7	11,1
0,04	-	-	15,5	14,5	13	12,2
0,05	-	-	16,2	15,6	13,7	13,1
0,075	-	-	18,5	18	15,5	15
0,1	-	-	-	-	17	16,6
0,125	-	-	-	-	18,2	17,8
0,15	-	-	-	-	19,2	18,9
0,175	-	-	-	-	20,3	19,9

Упругая зона деформирования определялась путём последовательного разгружения из разных значений напора и составила 12 % деформации растяжения мембран. Принято считать безопасный предельный напор в соответствии с верхней границей упругой зоны. Так, для мембран объёмной плотности 70 кг/м³ предельная интенсивность давления составила 0,012 МПа, для мембран плотностью 90 кг/м³ – 0,08 МПа, а для мембран плотностью 110 кг/м³ предельная интенсивность давления – 0,17 МПа.

Таким образом, применяя волокнистые материалы высокой плотности, можно существенно повысить диапазон нагружения фильтровальных перегородок без использования опорных пластин.

С увеличением диаметра цилиндра фильтра повышается производительность фильтра, поэтому следовало выявить влияние изменения диаметра фильтровальной перегородки на степень деформирования волокнистого материала. С этой целью проводились измерения перемещений волокнистого материала плотностью 70 кг/м³, 90 кг/м³ и 110 кг/м³ под действием распределённой нагрузки, установленного на торцы конусных насадок диаметрами 0,2 м и 0,3 м, которые крепились к нижней части цилиндра.

Результаты испытаний показали, что перемещения существенно выросли для больших диаметров мембран, так для волокнистого материала плотностью 110 кг/м³ и давления 0,01 МПа перемещения мембраны диаметром 0,2 м увеличились в 1,8 раза, а для мембраны диаметром 0,3 м увеличились в 3,2 раза. Поэтому в фильтрах с диаметрами более 0,2 м следует использовать подкрепленные перфорированные пластины.

Теоретические исследования деформации фильтровальных мембран из волокнистых материалов проводились после анализа теорий расчёта гибких пластин, мягких оболочек. Теория расчёта мембран исключает изгибные напряжения, а деформации обеспечиваются упругим растяжением и изменением прямолинейной формы поверхности на криволинейную. Напряжения в мембране равномерно распределены по высоте, а поверхность мембраны при деформации подчиняется гипотезе прямых нормалей [5; 8].

Напряжённо-деформированное состояние элемента, выделенного из круглой мембраны при осесимметричном нагружении (рис. б) представлено системой уравнений [1]

$$\frac{t_0}{r} \cdot \frac{d\varphi}{dr} \cdot \frac{dw}{dr} = -\psi; \quad (1)$$

$$\frac{d}{dr} (\nabla^2 \varphi) = -\frac{E_{\text{нр}}}{2 \cdot r} \left(\frac{dw}{dr} \right)^2, \quad (2)$$

где t_0 – высота слоя мембраны;

φ – функция напряжений;

ψ – функция нагрузки;

∇^2 – оператор Лапласа;

$E_{\text{нр}}$ – приведённый модуль упругости мембраны зависит от объёмной плотности материала.

Функция напряжений связана с радиальными σ_r и окружными напряжениями формулами [1]

$$\sigma_r = \frac{1}{r} \cdot \frac{d\varphi}{dr}; \quad \sigma_\theta = \frac{d^2\varphi}{dr^2}. \quad (3)$$

Функция нагрузки определяется из выражения

$$\psi = \frac{1}{r} \int_0^r q \cdot r \cdot dr. \quad (4)$$

Оператор Лапласа находится по формуле

$$\nabla^2 \varphi = \frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dr} \left(r \cdot \frac{d\varphi}{dr} \right). \quad (5)$$

Граничные условия мембраны:

– на контуре: $w=0$; $\frac{dw}{dr} = 0$;

– в центре: $\frac{dw}{dr} = 0$.

Решение системы уравнений (2) и (3) с учётом граничных условий, функций напряжений (4) и функций нагрузки (5) позволяет получить выражение для определения прогиба в центре мембраны [1]

$$W_{\text{max}} = 0,662 \cdot t_0 \cdot \sqrt[3]{\frac{q}{E_{\text{нр}}} \left(\frac{D}{2 \cdot t_0} \right)^4}. \quad (6)$$

Результаты выполненных расчётов максимальных перемещений в мембранах $W_{\text{теор}}$ диаметром 0,1 м приведены в таблице. Сходимость теоретических значений перемещений с экспериментальными значениями, полученными при испытаниях материалов плотностью 70 кг/м³, 90 кг/м³ и 110 кг/м³ достаточно хорошая, расхождение не превышает 9 %.

Анализ формулы (6) показывает, что значительное влияние на деформацию растяжения мембран из волокнистых полимерных материалов оказывают диаметр мембраны и объёмная плотность волокнистой среды. Уве-

личение диаметра мембраны существенно повышает значение вертикальных перемещений, это подтверждается экспериментальными исследованиями мембран диаметрами 0,1 м, 0,2 м, 0,3 м. Повышение объёмной плотности волокнистого фильтровального материала с 70 кг/м^3 до 110 кг/м^3 ведёт к значительному снижению перемещений, что подтверждается экспериментальными исследованиями и теоретическими расчётами, приведёнными в таблице.

Выводы. Обеспечение экологических требований по высококачественной очистке оборотных и сточных вод горных предприятий ставит задачу применения разных методов осветления, в том числе и механическим способом при вертикальном или наклонном движении очищаемой воды через фильтровальные устройства.

Для определения предельных значений напора жидкости, проходящей через воло-

нистую мембрану разработана экспериментальная установка, имитирующая давление и позволяющая определить вертикальные перемещения фильтровального слоя вплоть до разрыва. В процессе испытаний выявлена упругая зона деформирования волокнистой среды в пределах 12 %, по которой определены предельные интенсивности давления осветляемой жидкости из условия прочности фильтровальной перегородки: для мембраны плотностью 70 кг/м^3 – 0,012 МПа, для мембраны плотностью 90 кг/м^3 – 0,08 МПа, для мембраны плотностью 110 кг/м^3 – 0,17 МПа.

Экспериментальные и аналитические исследования деформирования свободных мембран круглой формы из волокнистых материалов показали, что при диаметрах фильтров больше 0,2 м желательнее устанавливать опорные подкрепляющие металлические сетки или решетки для предотвращения разрыва мембран.

Список литературы

1. Вольмир А. С. Нелинейная динамика пластинок и оболочек. М.: Юрайт, 2023. 439 с.
2. Герасимов В. М. Высокоэффективная очистка оборотных вод золотодобывающих предприятий с помощью волокнистых материалов // Горный журнал. 2019. № 12. С. 94–97. DOI: 10.17580/gzh.2019.12.20.
3. Герасимов В. М. Особенности деформирования фильтровальных материалов из волокнистых полимерных сред // Фундаментальные основы механики. 2022. № 10. С. 82–84. DOI: 10.26160/2542-0127-2022-10-82-84.
4. Зеньков И. В. Обзор зарубежных исследований в области горнодобывающего производства // Горный журнал. 2016. № 10. С. 96–99. DOI: 10.17580/gzh.2016.10.20.
5. Кусков А. Ш. Моделирование композитных пластин и оболочек: монография. Пермь: Пермский гос. нац.-исслед. ун-т, 2020. 188 с.
6. Остапенко С. П. Методический подход к характеристикам загрязнения природных водоемов по спутниковым данным с учетом агрегации тонкодисперстных отходов переработки минерального сырья // Горная промышленность. 2021. № 6. С. 110–116. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-6-110-116.
7. Рафиенко В. А. Совершенствование фильтротканей для горной промышленности // Горная промышленность. 2021. № 2. С. 86–89. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-2-86-89.
8. Стельмашук Д. О. Исследование механических свойств при растяжении геотекстильных полотен и георешеток, используемых в гражданском строительстве // Молодой ученый. 2017. № 1. С. 82–87.
9. Субботин Ю. В., Гриб Н. Н., Павлов С. С. Открытая разработка месторождений полезных ископаемых. Прага: Sociosféra-CZ, 2013. 451 с.
10. Тагибаев Д. Д. Осветление воды фильтрованием // Инновационная наука. 2017. № 1–2. С. 92–95.
11. Трещалин Ю. М. Анализ структуры и свойств нетканых материалов. М.: Гостехиздат, 2016. 758 с.
12. Houari B., Louhibi S., Tizaoui K., Boukli-Hacene L., Benguella B., Thierry Roisnel, Dorcet V. New synthetic material removing heavy metals from aqueous solutions and wastewater // Arabian journal of chemistry. 2016. Vol. 9. DOI: 10.1016/Arabic.2016.11.010.
13. Sabino De Gisi, Giusy Lofrano, Grassi M., Notarnicola M. Characteristics and adsorption capacities of low-cost sorbents for wastewater treatment: A review // Sustainable Materials and Technologies. 2016. Vol. 9. P. 10–40. DOI:10.1016/j.susmat.2016.06.002.
14. Lin C., Zhang X., Han J. Comprehensive material characterizations of pavement structure installed with wicking fabrics. Текст: электронный // Journal of materials in Civil Engineering. 2019. No. 31. URL: https://www.researchgate.net/publication/330073626_Comprehensive_Material_Characterizations_of_Pavement_Structure_Installed_with_Wicking_Fabrics (дата обращения: 21.03.2023).
15. Wang F., Han J., Zhang X., Guo J. Laboratory tests to evaluate effectiveness of wicking geotextile in soil moisture reduction // Geotextiles and Geomembranes. 2017. No. 45. P. 8–13.

References

1. Volmir A. S. Flexible plates and shells. Moscow: Gostehizdat, 1956. (In Rus).
2. Gerasimov V. M. Highly efficient purification of circulating waters of gold mining enterprises using fibrous materials. Mining magazine, no. 12, pp. 94–97, 2019. DOI: 10.17580/gzh.2019.12.20. (In Rus).
3. Gerasimov V. M. Peculiarities of deformation of filter materials from fibrous polymer media. Fundamentals of mechanics. no. 10. pp. 82–84, 2022. DOI: 10.26160/2542-0127-2022-10-82-84. (In Rus).
4. Zenkov I. V. Review of foreign research in the area of mining production. Mining magazine, no. 10, pp. 96–99, 2016. DOI: 10.17580/gzh.2016.10.20. (In Rus).
5. Kuskov A. S. Modeling of composite plates and shells: monograph. Perm: Perm state university, 2020. (In Rus).
6. Ostapenko S. P. Methodological approach to characterizing pollution of natural water bodies using satellite data with account of aggregation of finely dispersed mineral processing waste. Mining, no. 6, pp. 110–116, 2021. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-6-110-116. (In Rus).
7. Rafienko V. A. Improvement of filter-fabrics for mining industry. Mining, no. 2, pp. 86–89, 2021. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-2-86-89. (In Rus).
8. Stelmashuk D. O. Study of tensile mechanical properties of geotextiles and geogrids used in civil engineering. Young scientist. no. 1, pp. 82–87, 2017. (In Rus).
9. Subbotin Yu. V. Open pit mining of mineral deposits. Prague: Sociosféra-CZ, 2013. (In Rus).
10. Tagibaev D. D. Water clarification by filtration. Innovative science, no. 1–2, pp. 92–95, 2017. (In Rus).
11. Treshhalin Yu. M. Analysis of the structure and properties of nonwoven materials. Moscow: Gostehizdat, 2016. (In Rus).
12. Houari B., Louhibi S., Tizaoui K., Boukli-Hacene L., Benguella B., Thierry Roisnel, Dorcet V. New synthetic material removing heavy metals from aqueous solutions and wastewater. Arabian journal of chemistry, vol. 9, 2016. DOI: 10.1016/Arabic.2016.11.010. (In Eng.).
13. Sabino De Gisi, Giusy Lofrano, Grassi M., Notarnicola M. Characteristics and adsorption capacities of low-cost sorbents for wastewater treatment: A review. Sustainable Materials and Technologies, vol. 9, pp. 10–40, 2016. DOI:10.1016/j.susmat.2016.06.002. (In Eng.).
14. Lin C., Zhang X., Han J. Comprehensive material characterizations of pavement structure installed with wicking fabrics. Journal of materials in Civil Engineering, no. 31, 2019. Web. 21.03.2023. https://www.researchgate.net/publication/330073626_Comprehensive_Material_Characterizations_of_Pavement_Structure_Installed_with_Wicking_Fabrics. (In Eng.).
15. Wang F., Han J., Zhang X., Guo J. Laboratory tests to evaluate effectiveness of wicking geotextile in soil moisture reduction. Geotextiles and Geomembranes, no. 45, pp. 8–13, 2017. (In Eng.).

Информация об авторах

Герасимов Виктор Михайлович, д-р техн. наук, профессор кафедры строительства, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия; gerasimovvm@zabgu.ru. Область научных интересов: геоэкология, механика волокнистых сред, обратное водоснабжение горных предприятий, фильтровальные мембраны.

Нижегородцев Евгений Иванович канд. техн. наук, доцент кафедры строительства, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия; dj_world@mail.ru. Область научных интересов: геоэкология, механика волокнистых сред, обратное водоснабжение горных предприятий, фильтровальные мембраны.

Information about the authors

Gerasimov Viktor M., doctor of technical sciences, professor, Construction department, Transbaikal State University, Chita, Russia; gerasimovvm@zabgu.ru. Research interests: geoecology, mechanics of fibrous media, circulating water supply of mining enterprises, filter membranes.

Nizhegorodtsev Evgeny I., candidate of technical sciences, associate professor, Construction department, Transbaikal State University, Chita, Russia; dj_world@mail.ru. Research interests: geoecology, mechanics of fibrous media, circulating water supply of mining enterprises, filter membranes.

Вклад авторов в статью

В. М. Герасимов – разработка методик испытаний и расчётов, экспериментальные и теоретические исследования.

Е. И. Нижегородцев – обработка результатов испытаний и расчётов, построение таблиц и графиков, оформление работы.

The authors` contribution to the article

V. M. Gerasimov – creation of test and calculation methods, experimental and theoretical studies.

E. I. Nizhegorodtcev – processing of test and calculation results, construction of tables and graphs, paperwork.

Для цитирования

Герасимов В. М., Нижегородцев Е. И. Исследование деформирования фильтровальных мембран из волокнистых полимерных материалов в устройствах осветления оборотной воды горных предприятий // Вестник Забайкальского государственного университета. 2023. Т. 29, № 3. С. 8–15. DOI: 10.21209/2227-9245-2023-29-3-8-15.

For citation

Gerasimov V. M., Nizhegorodtcev E. I. Investigation of the deformation of filter membranes made from fibrous polymeric materials in devices for clarification of recycling water of mining enterprises // Transbaikal State University Journal. 2023. Vol. 29, no. 3. P. 8–15. DOI: 10.21209/2227-9245-2023-29-3-8-15.