

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья

УДК 66/544.032

DOI: <https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2023-66-07>

Разработка конструкции намывного фильтра с вибропатронными насыпными перегородками

Сергей Дмитриевич Руднев¹, Александра Игоревна Крикун², Вероника Вячеславовна Феоктистова³

¹ Кемеровский государственный медицинский университет Минздрава России, Кемерово, Россия

² Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия

³ Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

¹ sdrudnev@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2506-6121>

² aleksa13@list.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9330-2555>

³ feonika13@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7680-2611>

Аннотация. Настоящая статья содержит основные результаты многолетней научно-исследовательской деятельности авторов, направленной на совершенствование процессов и оборудования для фильтрования дисперсных суспензий (в частности, морской воды). Исходя из этого основной целью исследований являлась разработка конструкции намывного фильтра с вибропатронными насыпными перегородками, ориентированная на повышение основных показателей процесса фильтрования: повышение пропускной способности фильтровального устройства и обеспечение высокого качества фильтрата, эффективности процесса фильтрования в целом. Для достижения поставленной цели были произведены следующие виды деятельности: подбор и анализ научных работ (статей, диссертаций, авторефератов, монографий и др.) ведущих ученых в области фильтрования (в частности, насыпного, намывного фильтрования и с применением вибрации), действующей нормативно-технической документации, патентный поиск по конструкциям насыпных и намывных фильтрующих устройств; теоретические и практические наработки авторов в области фильтрования дисперсных суспензий (в том числе морской воды на насыпных зернистых фильтрах в лабораторных и промышленных условиях); ряд сопутствующих экспериментальных работ. Результатом послужила разработка патентно-чистой конструкции намывного фильтра с вибропатронными насыпными перегородками (подана заявка на изобретение).

Ключевые слова: разработка, конструкция, фильтр, патронные насыпные перегородки, насыпное и намывное фильтрование, суспензия, морская вода, вибрация, цикл работы фильтра, вибромеханоактивация

Для цитирования: Руднев С.Д., Крикун А.И., Феоктистова В.В. Разработка конструкции намывного фильтра с вибропатронными насыпными перегородками // Научные труды Дальрыбвтуза. 2023. Т. 66, № 4. С. 56–63.

FOOD SYSTEMS

Original article

DOI: <https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2023-66-07>

**Development of a precoat filter design
with vibro-cartridge granular partitions**

Sergey D. Rudnev¹, Aleksandra I. Krikun², Veronika V. Feoktistova³

¹ Kemerovo State Medical University of the Ministry of Health of Russia, Kemerovo, Russia

² Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia

³ Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

¹ sdrudnev@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2506-6121>

² aleksa13@list.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9330-2555>

³ feonika13@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7680-2611>

Abstract. This article contains the main results of the authors' long-term research activities aimed at improving processes and equipment for filtration of dispersed suspensions (sea water in particular). Based on this, the primary goal of the research was to develop a design for a washable filter with vibro-cartridge granular partitions, aimed at enhancing the fundamental indicators of filtration process: increasing the throughput of the filter device and ensuring high-quality filtrate – the efficiency of the filtration process as a whole. To achieve this goal, the following activities were undertaken: selection and in-depth analysis of scientific works (articles, dissertations, abstracts, monographs, etc.) by leading scientists in the field of filtration (specifically, granular and precoat filtration, and vibration-assisted filtration), examination of technical and regulatory documentation, patent search for designs of granular and precoat filtering devices; theoretical and practical developments by the authors in the field of filtering dispersed suspensions (including seawater on granular filters in laboratory and industrial conditions); a series of related experimental works. The result was the development of a patent-pure design of a pre-coated filter with vibro- cartridge granular partitions (a patent application has been filed).

Keywords: development, design, filter, cartridge granular partitions, granular and precoat filtration, suspension, seawater, vibration, filter operating cycle, vibration-mechanical activation

For citation: Rudnev S.D., Krikun A.I., Feoktistova V.V. Development of a precoat filter design with vibro-cartridge granular partitions. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2023; 66(4):56–63. (in Russ.).

Введение

С активным развитием одной из основных отраслей пищевой промышленности – рыбоперерабатывающей – растет и научный интерес к совершенствованию процессов и оборудования для водоподготовки, ключевой стадией которой является фильтрование. Нами проведен обширный поиск и анализ научных работ ведущих ученых в области насыпного и

намывного фильтрования, таких как: Варданян М.А. [1], Тихомиров С.Г. [2], Тимошук И.В. [3], Крикун А.И. [4], Адельшин А.Б. [5] и многих других, а также действующей нормативно-технической в области водоподготовки и патентной документации по конструкциям насыпных и намывных фильтров.

В настоящее время одним из самых популярных типов фильтрующей техники, особенно на береговых рыбоперерабатывающих предприятиях, являются насыпные фильтры, представляющие собой вертикальные аппараты с разделительной перегородкой, на которую насыпаны зернистые материалы искусственного и/или естественного происхождения (гравий, песок и/или др.). К их наиболее существенным недостаткам, в традиционном классическом исполнении, можно отнести высокое гидравлическое сопротивление и неравномерность загрязнения фильтрующего материала. В качестве современной альтернативы традиционным насыпным фильтрам могут рассматриваться намывные фильтры, которым не свойственны данные недостатки [6]. Поэтому в данной работе акцентировали внимание на намывных фильтрах.

Намывное фильтрование осуществляется через слой порошка, предварительно нанесенного на фильтрующие элементы. Авторы Лескова Е.К., Фролова К.Д., Шукин И.С. в своей статье довольно точно описывают механизм данного вида фильтрования: «<...> при этом на поверхности образуется микропористый слой, в структуре которого содержится большое количество каналов очень малого диаметра, что обеспечивает получение фильтрата высокого качества. Размер частиц намываемого фильтрующего материала меньше размера щели фильтрующих элементов, однако, физика процесса такова, что частицы задерживаются на поверхности фильтрующего элемента, образуя тонкий (несколько миллиметров) фильтрующий слой» [7].

Данный вид фильтрования целесообразен для очистки больших объемов воды, позволяя до 98 % извлекать взвешенные вещества (TDS) и до 50 % органические, предотвращая процесс необратимого загрязнения фильтрующих элементов. Поэтому в результате развития оно оправдало свою эффективность в следующих отраслях пищевой промышленности: пивоваренной, винодельческой, производстве соков, молочной, сахарной, кондитерской, масложировой [8, 9].

При анализе информационных источников и технической литературы применение технологий намывного фильтрования на предприятиях мясной и рыбоперерабатывающей промышленности не имеет такого распространения, как при вышеуказанных отраслях промышленности. Однако на определённых технологических этапах мясная и рыбоперерабатывающая промышленности требуют не менее тщательной водоподготовки, которая должна соответствовать всем требованиям, предъявляемым к технологической воде, и, кроме того, отличаться более высокой степенью бактериологической чистоты, невысокой жесткостью и отсутствием веществ, которые даже в минимальных количествах могут вызвать нежелательные изменения запаха и вкуса изделий [10].

Исходя из этого, вопросы разработки оборудования для разделения и очистки жидкости, обладающего широкой областью применения для многих отраслей и видов промышленности (в частности для пищевой), является актуальной темой исследования.

Материалы и методы

Приоритетным направлением для авторов являлась разработка конструкции намывного фильтра, обладающего широкой областью применения, которая могла бы быть использована во всех отраслях и видах промышленности, в частности, в пищевой промышленности: при пресной и морской водоподготовке, очистке пищевых продуктов (масло, пиво, вино и другие алкогольные и безалкогольные напитки) и сточных вод (в том числе от нефтепродуктов и угольной взвеси).

Проведен патентный поиск и анализ конструкций намывных фильтров глубиной свыше 20 лет. В ходе исследования выявлены общие и частные критерии по нахождению конструктивных особенностей данного типа устройств, в которые входила идентификация:

- отрасли промышленности и области применения фильтра;
- загрязнителей, на которые непосредственно направлена работа фильтра;
- характерная особенность работы фильтра, отличающая его от аналогов;
- рекомендуемый намывной материал.

Существует множество вариаций типов конструкций намывных фильтров. Нами были рассмотрены нижеследующие.

Намывной патронный фильтр [11] относится к оборудованию для разделения и очистки жидкости и может быть использовано в промышленном водоснабжении для тонкой очистки воды. Намывной патронный фильтр содержит фильтрующий элемент с очищающими материалами, установленный внутри корпуса на трубной доске, разделяющей корпус на камеры исходной среды и фильтрата. Фильтрующий элемент содержит четыре слоя очищающих материалов, первый из которых толщиной 1–4 мм выполнен из фильтроперлита, или кизельгура, или диатомита с размерами частиц 1–150 мкм. Второй слой толщиной 5–15 мм выполнен из зерен размерами 0,1–4 мм катионитной или анионитной смолы или их смеси. Третий слой толщиной 10–20 мм выполнен из активированного угля или цеолитов, или целлюлозы, или пенополиуретана с размерами частиц 0,5–3,5 мм. Четвертый слой толщиной 0,5–1 мм выполнен из фильтроперлита, или кизельгура, или диатомита с размерами частиц 0,01–150 мкм. Предлагается вариант намывного патронного фильтра, отличительной особенностью которого является то, что фильтрующий элемент содержит два слоя очищающих материалов, первый из которых толщиной 1–4 мм выполнен из фильтроперлита, или кизельгура, или диатомита с размерами частиц 1–150 мкм. Второй слой толщиной 10–35 мм выполнен из катионитной или анионитной смолы с размером зерен 0,1–4 мм или их смеси, а также активированного угля или цеолитов, или целлюлозы, или пенополиуретана с размерами частиц 0,5–3,5 мм и фильтроперлита, или кизельгура, или диатомита с размерами частиц 0,01–150 мкм. Предлагается вариант намывного патронного фильтра, отличительной особенностью которого является то, что фильтрующий элемент содержит один слой толщиной 10–45 мм из смеси очищающих материалов: катионитной или анионитной смол с размерами зерен 0,1–4 мм или их смеси, а также активированного угля или цеолитов, или целлюлозы, или пенополиуретана с размерами частиц 0,5–3,5 мм и фильтроперлита, или кизельгура, или диатомита с размерами частиц 0,01–150 мкм. Технический результат: повышение качества очистки от растворенных и нерастворенных веществ, упрощение конструкции, расширение области использования.

Основными *недостатками* данного фильтра являются: низкая производительность и эффективность процесса фильтрования вследствие роста сопротивления, вызванного забиванием накопленными загрязнениями намывных слоев и потерей их фильтрующих свойств; высокая себестоимость процесса, связанная с продолжительностью необходимой замены намывных очищающих материалов и повышенного расхода промывной воды.

Намывной патронный фильтр [12], принятый нами за прототип, предназначен для тонкой очистки воды в промышленном водоснабжении и очистке оборотной воды плавательных бассейнов, содержащий вертикальный цилиндрический корпус, размещенную в верхней части корпуса горизонтальную трубную доску с закрепленными в ней фильтрующими патронами, подводящие и отводящие патрубки, патрубок сброса осадка. Фильтр выполнен с двумя патрубками подвода исходной суспензии, установленными на корпусе тангенциально попарно диаметрально противоположно под углом 180°, один в верхней и другой в нижней части корпуса фильтра. Технический результат: повышение эффективности очистки воды, увеличение производительности фильтра и снижение расхода фильтровального вспомогательного вещества путем обеспечения равномерного нанесения на фильтрующие патроны вспомогательного фильтрующего вещества.

Прототип обладает следующими *недостатками*: низкая производительность и эффективность процесса, недостаточная надежность конструкции патрона, связанные с недолговечностью ресурса его фильтрующего тканевого рукава и невысоким фильтроциклом; высокая себестоимость процесса вследствие повышенного расхода промывной воды, продолжительность промывки и повторного намыва фильтрующих вспомогательных веществ, сложность замены тканевого рукава.

Результаты и их обсуждение

На основании проведенного анализа видов фильтров намывного типа, конструкций намывных патронных фильтров, данных, полученных в результате экспериментальной деятельности, разработана конструкция намывного фильтра с вибропатронными насыпными перегородками (рис. 1). В 2021 г. подана заявка на изобретение.

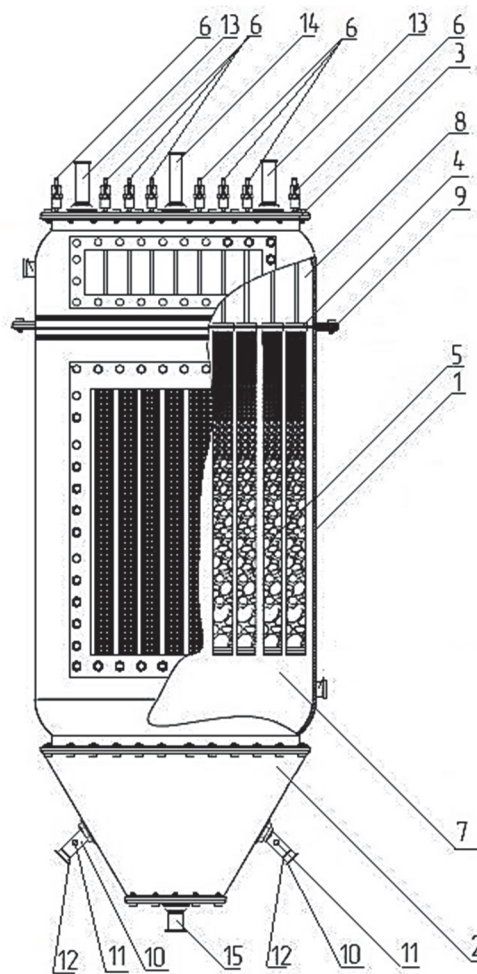


Рис. 1. Намывной фильтр с вибропатронными насыпными перегородками
 Fig. 1. Precoated filter with vibro-cartridge granular partitions

Фильтр содержит вертикальный цилиндрический корпус (1) с коническим дном (2) и верхней плоской крышкой (3). В верхней части корпуса (1) установлена горизонтальная трубная доска (4), в которой закреплены намывные-насыпные вибропатроны (5), жестко связанные с пневмовибраторами (6), разделяющая фильтр на две зоны: нижнюю – исходной суспензии/эмульсии (7) и верхнюю – фильтрации (8) и расположенная на специальных резиновых элементах (9). В нижней зоне (7) в коническом дне (2) установлены патрубки подвода

исходной суспензии/эмульсии (10), снабженные инжекторами (11) для подачи концентрированной суспензии порошкообразных фильтрующих материалов на внешнюю поверхность вибропатронов (5). Вибромеханоактиваторы (12) установлены в патрубках (10). Патрубки для отвода фильтрата (13) установлены на верхней плоской крышке (3). Для промывки и регенерации в фильтре предусмотрены патрубки подвода (14) и отвода (15) промывочной воды.

Цикл работы фильтра: каждый вибропатрон предварительно заполняется зернистыми материалами 1...n слоев, при этом $A_0, f_0 = 0$ (рис. 2, а).

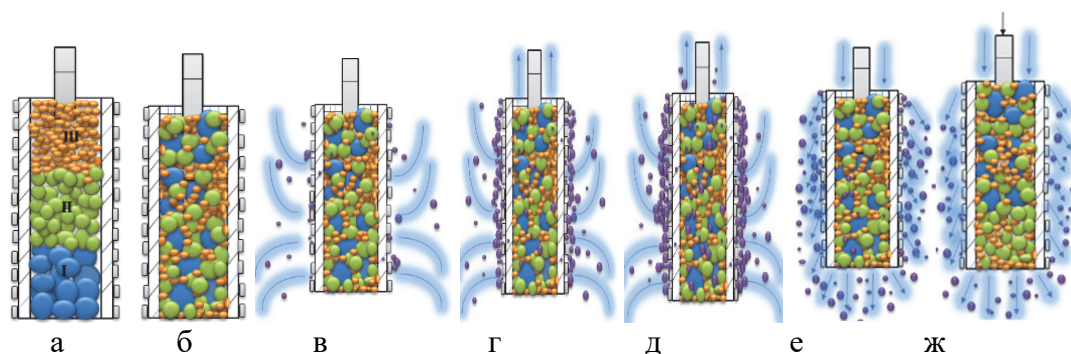


Рис. 2. Схема цикла работы фильтра: а, б – естественное уплотнение и виброуплотнение; в – намыв; г – рабочий режим; д – недопустимая ΔP ; е, ж – промывка и вибропромывка
Fig. 2. Scheme of the filter operation cycle: а, б – natural seal and vibration seal; в – alluvium; г – operating mode; д – unacceptable ΔP ; е, ж – flushing and vibration flushing

В режиме I (рис. 2, б) каждому патрону передается вибрационное воздействие A_1, f , которое ускоряет уплотнение материалов и повышает насыпную плотность сыпучей среды. В режиме II ($A_2, f = 0$) в фильтр начинает поступать исходная суспензия/эмульсия с добавленными в нее порошкообразными материалами в виде концентрированной суспензии посредством инжекторов и подвергается воздействию вибромеханоактиваторов с целью снижения вязкости и поверхностного натяжения (рис. 2, в). В рабочем режиме III (A_3, f) исходная суспензия/эмульсия фильтруется, при этом инжекторами порционно подаются фильтрующие порошкообразные материалы (рис. 2, г). При недопустимой разности давлений ΔP (рис. 2, д) процесс фильтрования останавливается, из нижней зоны частично сбрасывается жидкость и загрязненный намывной слой. Затем подключается режим промывки IV (рис. 2, е). Для улучшения качества промывки и регенерации – режим V (рис. 2, ж), при котором, не останавливая процесс промывки, каждому вибропатрону от пневмовибраторов повышают амплитуду вибрации A_5 . После окончания промывки снова включается режим I и т.д.

Ожидаемый результат разработки намывного фильтра с вибропатронными насыпными перегородками состоит в повышении производительности и качества фильтрата, а также промывки и регенерации без применения реагентов, сокращения расхода промывочной воды и фильтрующих материалов: порошкообразных и насыпных зернистых.

Заключение

Полученные в ходе теоретических и экспериментальных исследований данные о намывном фильтровании, о конструкциях фильтров и т.д. позволили определить направления в достижении эффективного решения исследовательских задач, поставленных коллективом авторов в рамках проблемы совершенствования процессов и оборудования фильтрования морской воды.

Результаты патентного поиска стали фундаментом для сравнительной характеристики особенностей намывных фильтрующих устройств патронного типа и определения прототипа конструкции фильтра.

Закономерным этапом данной работы планируется воплощение конструктивных идей в экспериментальную промышленную установку и последующее проведение исследований (в лабораторных и промышленных условиях).

Список источников

1. Варданян М.А. Доочистка нефтесодержащих сточных вод сорбционным методом на вспученном перлите и разработка технологии: дис. ... канд. техн. наук: 05.00.00 / Варданян Маргарит Андраниковна. Ереван, 2001. 144 с.
2. Тихомиров С.Г. Повышение эффективности фильтрующего оборудования для предотвращения загрязнения моря с судов: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.36 / Тихомиров Сергей Георгиевич. СПб., 2006. 209 с.
3. Тимощук И.В. Формирование качества продуктов питания на основе разработки и применения адсорбционных процессов в технологиях очистки природных вод: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.15 / Тимощук Ирина Вадимовна. Кемерово, 2014. 326 с.
4. Крикун А.И. Совершенствование процесса фильтрования воды на рыбоперерабатывающих предприятиях: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12 / Крикун Александра Игоревна. Кемерово, 2017. 219 с.
5. Адельшин, А.Б. Очистка технологической воды плавательного бассейна на намывных фильтрах / А.Б. Адельшин, С. Леонтьева, К.А. Ежова // Изв. Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2009. № 1(11). С. 206–210.
6. Иванов М. Намывные фильтры: статья. 2009. ИД «Аква-Терм», 2001–2023 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://aqua-therm.ru/articles/articles_55.html.
7. Лескова, Е.К. Перспективные технологии в области тонкой механической фильтрации / Е.К. Лескова, К.Д. Фролова, И.С. Щукин // Современные технологии в строительстве: теория и практика: материалы III регион. науч.-практ. конф. 2012. Вып. 1. С. 5–10 [Электронный ресурс] // РЦИ ПНИПУ, ПРЕСС-СЛУЖБА ПНИПУ, 1998–2023. Режим доступа: <http://sbornikstf.pstu.ru/de/?n=&s=27>.
8. Техника намывного фильтрования [Электронный ресурс] // Amafilter. Оборудование промышленной фильтрации, 2014–2023. Режим доступа: <http://www.amafilter.su/stati/tehnika-namivnogo-filtrovaniya/>.
9. Инженерное оборудование зданий и сооружений. Фильтр намывной [Электронный ресурс] // Библиотекарь.Ру, 2006–2023. Режим доступа: <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-144-4/63.htm>.
10. Капсына Е.Н. Сорбционная доочистка воды для предприятий пищевой промышленности (на примере Мурманской области): дис. ... канд. техн. наук: 05.23.04 / Капсына Елена Николаевна. Пенза, 2011. 122 с.
11. Пат. RU № 2587714 С1. Намывной патронный фильтр (варианты) / А.П. Горинов, П.Н. Отставнов. Изобретение, 20.06.2016 г., бюл. № 17.
12. Пат. RU № 2469767 С2. Намывной патронный фильтр / А.Б. Адельшин, С.В. Леонтьева, А.С. Селюгин, А.В. Бусарев. Изобретение, 20.12.2012 г., бюл. № 15.

References

1. Vardanyan M.A. Post-treatment of oily wastewater by sorption method on expanded perlite and technology development: dis. ... Candidate of Technical Sciences: 05.00.00 / Vardanyan Margarit Andranikovna. Yerevan, 2001. 144 p.
2. Tikhomirov S.G. Improving the efficiency of filtering equipment to prevent marine pollution from ships: dis. ... Candidate of Technical Sciences: 25.00.36 / Tikhomirov Sergey Georgievich. St. Petersburg, 2006. 209 p.

3. Tymoshchuk I.V. Formation of food quality based on the development and application of adsorption processes in natural water purification technologies: dis. ... Candidate of Technical Sciences: 05.18.15 / Tymoshchuk Irina Vadimovna. Kemerovo, 2014. 326 p.
4. Krikun A.I. Improvement of the water filtration process at fish processing enterprises: dis. ... Candidate of Technical Sciences: 05.18.12 / Krikun Alexandra Igorevna. Kemerovo, 2017. 219 p.
5. Adelshin A.B. Purification of technological water of a swimming pool on alluvial filters / A.B. Adelshin, S. Leontieva, K.A. Yezhova // Proceedings of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2009. № 1(11). P. 206–210.
6. Ivanov M. Alluvial filters: article. 2009 [Electronic resource] // Publishing house "Aqua-Term", 2001–2023. Access mode: https://aqua-therm.ru/articles/articles_55.html.
7. Leskova, E.K. Promising technologies in the field of fine mechanical filtration / E.K. Leskova, K.D. Frolova, I.S. Shchukin // Modern technologies in construction. theory and practice: materials of the III regional scientific and practical conference. 2012. Issue 1. P. 5–10: [Electronic resource] // RCI PNRPU, PNRPU PRESS SERVICE, 1998–2023. Access mode: <http://sbornikstf.pstu.ru/de/?n=&s=27>.
8. Technique of alluvial filtration [Electronic resource] // Amafilter. Industrial filtration equipment, 2014–2023. Access mode: <http://www.amafilter.su/stati/tehnika-namyvnogo-filtrovaniya>.
9. Engineering equipment of buildings and structures. Alluvial filter [Electronic resource] // Librarian.<url>, 2006–2023. Access mode: <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-144-4/63.htm>.
10. Kapsina E.N. Sorption water purification for food industry enterprises (on the example of the Murmansk region): dis. ... Candidate of Technical Sciences: 05.23.04 / Kapsina Elena Nikolaevna. Penza, 2011. 122 p.
11. Pat. RU No. 2587714 C1. Alluvial cartridge filter (variants) / A.P. Gorinov, P.N. Otstanov. Invention, 06/20/2016, byul. No. 17.
12. Pat. RU No. 2469767 C2. Alluvial cartridge filter / A.B. Adelshin, S.V. Leontieva, A.S. Selugin, A.V. Busarev. Invention, 20.12.2012, byul. No. 15.

Информация об авторах

- С.Д. Руднев – профессор, доктор технических наук, профессор кафедры медицинской, биологической физики и высшей математики, SPIN-код: 6389-7238, AuthorID: 423406;
 А.И. Крикун – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологические машины и оборудование», SPIN-код: 6217-9103, AuthorID: 946577;
 В.В. Феоктистова – аспирант, SPIN-код: 4146-3970, AuthorID: 998024.

Information about the authors

- S.D. Rudnev – Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Medical, Biological Physics and Higher Mathematics, SPIN-code: 6389-7238, AuthorID: 423406;
 A.I. Krikun – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technological Machines and Equipment, SPIN-code: 6217-9103, AuthorID: 946577;
 V.V. Feoktistova – Postgraduate student, SPIN-code: 4146-3970, AuthorID: 998024.

Статья поступила в редакцию 28.11.2023; одобрена после рецензирования 30.11.2023; принята к публикации 01.12.2023.

The article was submitted 28.11.2023; approved after reviewing 30.11.2023; accepted for publication 01.12.2023.