

Научная статья
УДК 628.32
doi: 10.28983/asj.y2023i8pp117-122

Обоснование рациональных режимов эксплуатации фильтра для очистки жидкостей

Константин Викторович Кулаков, Александр Витальевич Ферыбков, Дмитрий Васильевич Щекин
ФГБОУ ВО РГАЗУ, Московская обл., г. Балашиха, Россия
e-mail: aferyabkov@rgazu.ru

Аннотация. В статье приведены результаты лабораторных исследований фильтра для очистки моющих растворов и сточной воды для выявления рациональных режимов его эксплуатации. В результате проведённых экспериментов было выявлено влияние плотности загрузки фильтрующего материала на пропускную способность фильтра. Полученные результаты предполагается использовать для дальнейших исследований.

Ключевые слова: очистка; моющий раствор; фильтр; фильтрующий материал; перепад давлений; пропускная способность.

Для цитирования: Кулаков К. В., Ферыбков А. В., Щекин Д. В. Обоснование рациональных режимов эксплуатации фильтра для очистки жидкостей // Аграрный научный журнал. 2023. № 8. С. 117–122. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i8pp117-122>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Justification of rational modes of operation of the filter for cleaning liquids

Konstantin V. Kulakov, Aleksandr V. Feryabkov, Dmitri V. Shehekin
Russian State Agrarian Correspondent University, Moscow region, Balashikha, Russia,
e-mail: aferyabkov@rgazu.ru

Abstract. The article presents the results of research on a filter for cleaning cleaning solutions and waste water in order to identify rational modes of its operation. As a result of the experiments, the influence of the density of the filter material loading on the throughput of the filter was revealed. The revealed regimes are supposed to be used for further research.

Keywords: cleaning; washing solution; filter; filter material; pressure drop; throughput.

For citation: Kulakov K.V., Feryabkov A.V., Shehekin D.V. Justification of rational modes of operation of the filter for cleaning liquids // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(8):117–122. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i8pp117-122>.

Введение. Фильтрование – это задерживание загрязняющих частиц фильтрующим материалом. Актуальным направлением является внедрение в различных отраслях народного хозяйства фильтров для эффективной очистки жидкостей, в которых в качестве фильтрующего материала применяются древесные опилки и стружка.

Опилки и стружка являются дешёвым и эффективным природным фильтрующим материалом, состоящим из целлюлозы, которая не растворима в органических растворителях и имеет волокнистую структуру. Опилки и стружка эффективно нейтрализуют красители, масла и токсичные соли тяжёлых металлов [1]. В качестве сорбента древесный опил можно использовать как в чистом виде, так и после химической модификации [2] для нейтрализации специфических загрязнений. Древесные отходы имеют положительную или нейтральную плавучесть в воде, однако обладают повышенной гидрофильностью, поэтому для удаления лёгких нефтяных фракций рекомендуется оснащать подобные фильтры поверхностными нефтеловушками. В различных химических реакциях древесные отходы играют роль восстановителей окисленных сред, что делает их применимыми для обезвреживания промышленных отходов. Отечественные производители автомобильных фильтров используют прессованные опилки в качестве фильтрующих элементов для





топливной и смазочной систем двигателей внутреннего сгорания. Отходы лесопиления можно эффективно использовать для очистки стоков с объектов дорожно-транспортной инфраструктуры [3]. Древесный опил также предлагается использовать для очистки сточных вод предприятий перерабатывающих отраслей агропромышленного комплекса [4] и пищевой промышленности.

Теплотворная способность загрязнённых древесных отходов, после их использования в качестве сорбента нефтепродуктов, увеличивается в 2,5 раза [5], что делает эффективным их использование в качестве вторичного ресурса тепловой энергии.

Сорбционные свойства древесных отходов при связывании нефтепродуктов обуславливают рациональность их применения в условиях ремонтно-обслуживающей базы сельского хозяйства, однако, в настоящее время, они не находят широкого применения, в отличие от кварцевого песка, алюмосиликатов, активированного угля и других сорбентов.

Нами было предложено использовать фильтры с загрузкой в виде опилок и стружки в качестве одной из ступеней очистки в системах регенерации моющих растворов на предприятиях технического сервиса техники в агропромышленном комплексе и других отраслях [6–9].

Цель исследования – выявить рациональные режимы эксплуатации фильтра для очистки воды и моющих растворов с изменением плотности фильтрующего наполнителя в виде древесных опилок и стружки.

Методика исследований. Объектом исследования являлась установка, включающая в себя испытуемый фильтр [10], баки для перекачиваемой жидкости, насос, манометр для измерения давления на входе фильтра, трубопроводы, запорную арматуру (рис. 1).

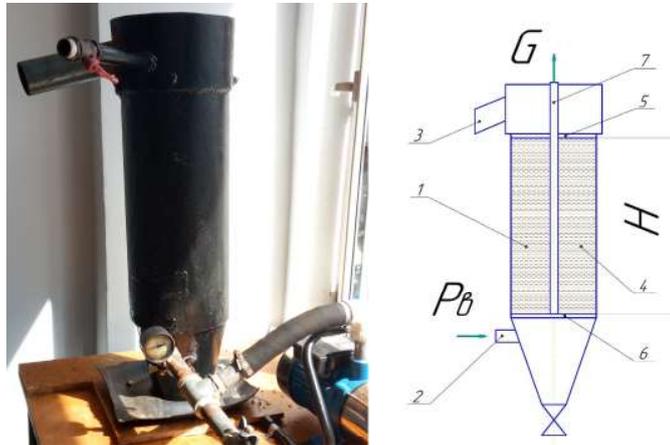


Рис. 1. Фильтр для очистки воды и моющих растворов в составе лабораторной установки

Фильтр для очистки воды и моющих растворов (см. рис. 1) содержит корпус 1, подводящий 2 и отводящий 3 патрубки, фильтрующий материал 4 из древесных опилок (стружки), размещенный в корпусе между неподвижной 5 и подвижной 6 сетками с возможностью изменения его плотности за счет изменения расстояния между сетками с помощью механизма 7, представляющего собой резьбовое соединение.

За счет изменения плотности фильтрующего материала, которое обеспечивается изменением расстояния между сетками, изменяется расстояние между частицами опилок (стружки). Это ведет к изменению пропускной способности фильтра и степени очистки воды (рис. 2). Кроме того, при значительном увеличении расстояния между сетками освобождаются задержанные фильтрующим слоем загрязнения, что помогает в очистке фильтрующего материала с помощью промывки.

Для того чтобы выявить рациональные режимы эксплуатации данного фильтра нами был проведён эксперимент по изменению плотности фильтрующего материала и, соответственно, изменению перепада давлений на фильтрующем элементе.

Перепад давлений по ГОСТ 26070 на фильтрующем элементе (фильтре) – это разность давлений на его входе и выходе, под воздействием которых происходит фильтрование. В нашем случае, на выходе фильтра давление близко к атмосферному. Напор струи и объёмный расход жидкости изменяются в зависимости от гидравлического сопротивления фильтрующего элемента и давления на входе фильтра. Поэтому, изменение перепада давлений в нашем случае будет соответствовать изменению давления на входе фильтра.

Условия проведения эксперимента:

объемы загрузки фильтрующего материала 0,030 и 0,045 м³ (насыпной объём без уплотнения);

контрольный объем перекачиваемой жидкости 0,010 м³ (контролировали расходомером ALLSOME LLW);

температура окружающей среды – 20...25 °С.

давление на входе фильтра во время перекачивания контрольного объёма жидкости ($P_{в}$, МПа) измеряли манометром радиального подключения СТМ СРМ14R06;

продолжительность перекачивания контрольного объёма жидкости (t , с) измеряли электронным секундомером VA-SW01 дискретностью 0,01с;

высоту загрузки фильтрующего материала (H , мм) рассчитывали по вылету шпильки штангенциркулем СТИ-622;

усилие затяжки гайки механизма изменения расстояния между сетками (G , Н), для затяжки гайки механизма изменения расстояния между сетками фильтра использовали динамометрический ключ АвтоДело 40347.

Усилие затяжки гайки определяли с помощью косвенного метода измерения крутящего момента затяжки гайки. Крутящий момент (H_m) для затяжки соединения рассчитывали по формуле [11]:

$$M_{кр} = 0,001G[0,16P + \mu_p 0,58d_2 + \mu_T 0,25(d_T + d_o)], \quad (1)$$

где G – усилие затяжки, Н; P – шаг резьбы, мм; μ_p – коэффициент трения в резьбе; d_2 – средний диаметр резьбы, мм; μ_T – коэффициент трения на опорном торце; d_T – диаметр опорной поверхности головки болта или гайки, мм; d_o – диаметр отверстия под крепежную деталь, мм.

Из формулы (1) определяли усилие затяжки:

$$G = \frac{M_{кр}}{0,001[0,16P + \mu_p \cdot 0,58 \cdot d_2 + \mu_m \cdot 0,25(d_m + d_o)]}. \quad (2)$$

Данный метод весьма неточен, поскольку в резьбовом соединении без использования смазочного материала велики силы трения, на преодоление которых затрачивается крутящий момент затяжки гайки. Значения коэффициентов трения в реальных условиях можно лишь прогнозировать, поскольку, как показывает практика, они не стабильны. В связи с этим, для небольшого повышения точности измерения усилия затяжки, мы дополнительно его контролировали по углу поворота гайки, для чего использовали угломер для динамометрического ключа АвтоДело 40436. Первоначально гайку затягивали с помощью динамометрического ключа по крутящему моменту из формул (1 и 2), при этом обеспечивался нулевой угол φ_0 (или угол отсчёта). Затем упрощённо, пренебрегая податливостью стягиваемых деталей (по сравнению с податливостью болта), определяли угол поворота гайки (в градусах) по формуле [12]:

$$\varphi = 360 \frac{G \cdot l_b}{E_b \cdot A_b \cdot P}, \quad (3)$$

где l_b – расчетная длина болта, мм; E_b – модуль упругости материала болта с учётом температуры, Н/мм² (для стали 45 при 20°С – $E_b = 200055$ Н/мм²); A_b – площадь поперечного сечения болта, мм².

С помощью угломера гайку дотягивали до полученного значения угла поворота.

Эксперимент был спланирован следующим образом. Гайку затягивали, ориентируясь по расстоянию между сетками от исходного (480 мм) при коэффициенте уплотнения 1,66...2,50 до максимально уплотнённого (216 мм) при объёме загрузки 0,03 м³ и от 480 до 294 мм при объёме загрузки 0,045 м³ с шагом 10...20 мм, фиксируя усилие затяжки и давление на входе фильтра.

По ГОСТ 23246 уплотнением измельченной древесины является уменьшение первоначального объёма за счёт механических воздействий, а коэффициентом уплотнения – отношение насыпного объёма к уплотнённому (см. таблицу).

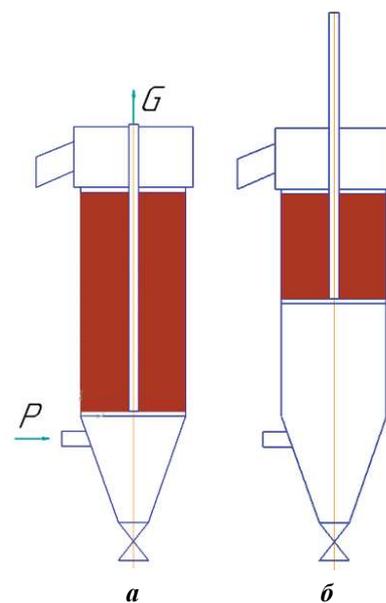


Рис. 2. Исходный (а) и уплотнённый (б) объёмы загрузки фильтрующего материала в исследуемом фильтре



Параметры проведения испытаний фильтра при различной плотности фильтрующей загрузки

Объем насыпного материала	0,03 м ³		0,045 м ³	
Расстояние между сетками	480 мм	216 мм	480 мм	294
Коэффициент уплотнения	1,66	3,75	2,50	4,09

Было проведено три параллельных серии опытов. Полученные данные обработаны с помощью программного продукта Microsoft Excel.

Результаты исследований. В результате проведенного эксперимента нами были получены следующие зависимости.

На рис. 3 представлены графики, показывающие зависимость давления жидкости на входе фильтра от плотности фильтрующего материала, обусловленной усилием затяжки гайки механизма изменения расстояния между сетками фильтра. Усилие затяжки соответствует определённой высоте загрузки фильтрующего материала, которая показывает степень уплотнения его частиц.

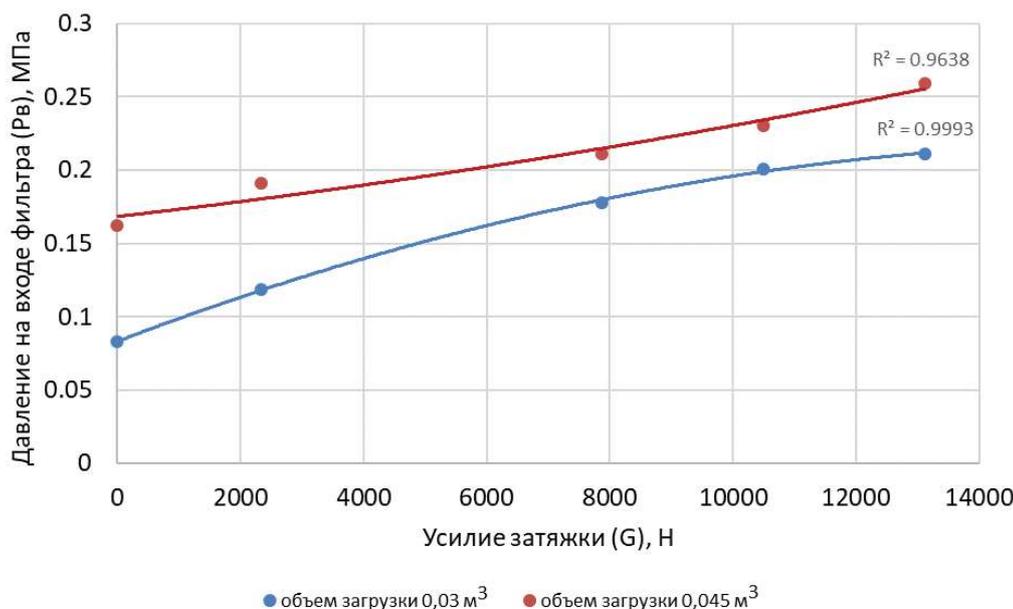


Рис. 3. Зависимость давления на входе фильтра от усилия затяжки гайки механизма изменения расстояния между его сетками

Давление на входе фильтра также можно представить в виде зависимости от высоты загрузки фильтрующего материала (рис. 4).

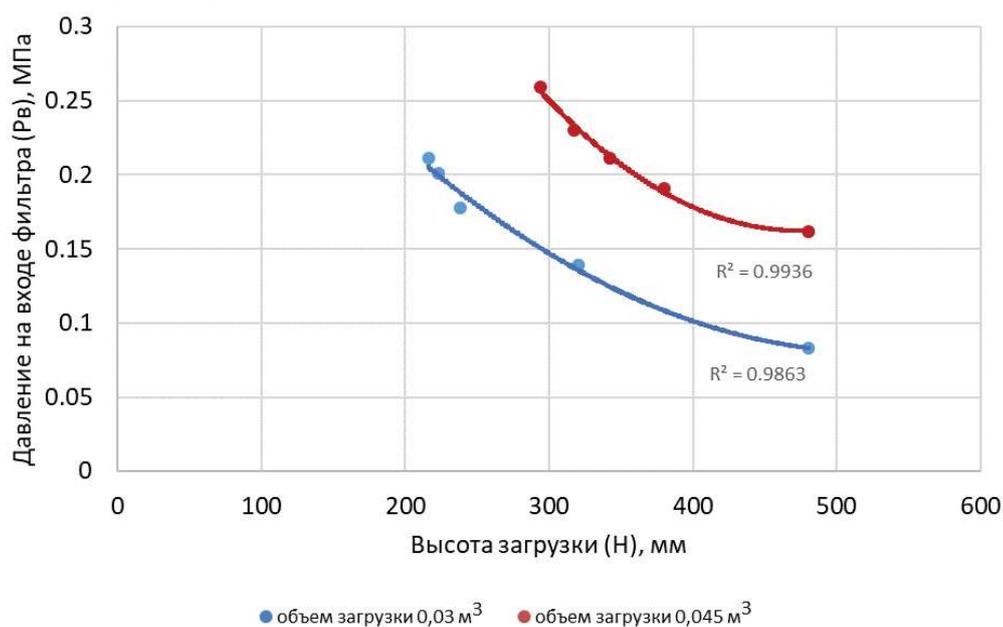


Рис. 4. Зависимость давления на входе фильтра от высоты загрузки фильтрующего материала





Зависимость давления на входе фильтра от объёмной плотности загрузки фильтрующего материала будет иметь вид, похожий на зависимость на рисунке 4. Фильтрующим материалом служили мокрые опилки и стружка, их изначальная масса без уплотнения, в зависимости от продолжительности вымачивания, составляла 6...7 кг на объём загрузки 0,03 м³ и 9...11 кг на объём загрузки 0,045 м³. Отсюда, при уплотнении 0,03 м³ загрузки в фильтре с коэффициентом уплотнения 1,66, её объёмная плотность составляла 300...400 кг/м³, в ходе затяжки гайки и увеличении коэффициента уплотнения до 3,75, объёмная плотность увеличивалась до 750...850 кг/м³. Аналогично, для начального объёма 0,045 м³ и при коэффициенте уплотнения 2,50 её объёмная плотность равнялась 500...600 кг/м³, а максимальная плотность при коэффициенте уплотнения 4,09 составляла 800...1000 кг/м³.

В результате измерения продолжительности перекачивания контрольного объёма жидкости нами были получены следующие результаты (рис. 5).

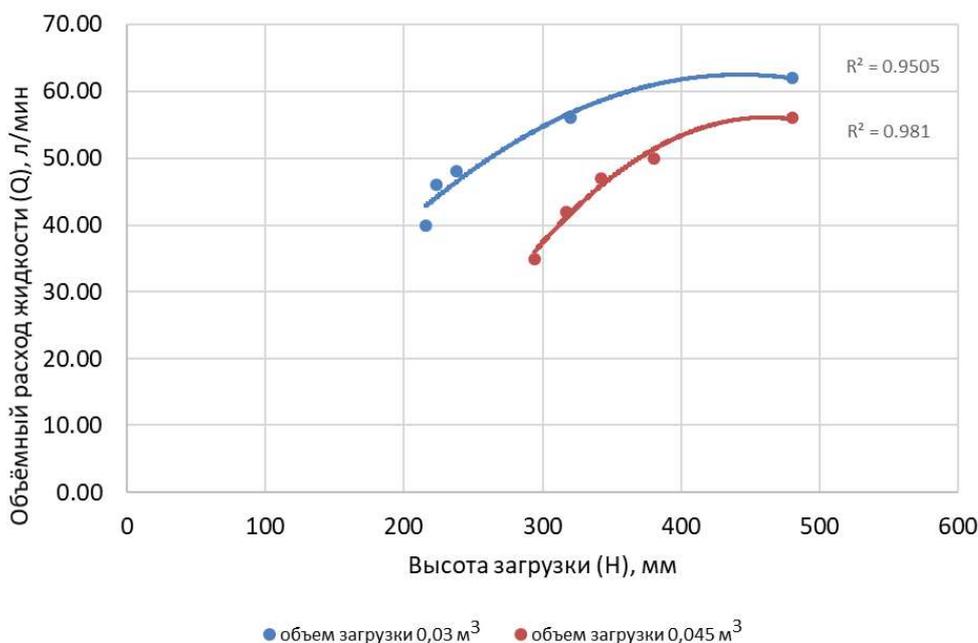


Рис. 5. Зависимость объёмного расхода перекачиваемой жидкости от высоты загрузки фильтрующего материала

Как видно из графиков на рис. 3, 4, чем сильнее уплотняются частицы фильтрующего материала, при увеличении усилия затяжки и, соответственно, уменьшении высоты его слоя, тем выше давление жидкости на входе фильтра, то есть перепад давлений на фильтрующем материале увеличивается.

Как видно из графиков на рис. 5, пропускная способность фильтра уменьшается при изменении высоты загрузки, т.е. при уплотнении фильтрующего материала, а также при увеличении объёма загрузки фильтрующего материала.

Заключение. При проведении исследований нами было замечено, что даже максимально возможное увеличение плотности фильтрующей загрузки в виде опилок и стружки, фактически до плотности древесно-стружечной плиты (0,5...1,0 г/см³), не оказывает критического влияния на её пропускную способность в случае перекачивания воды. Поэтому можно сделать вывод о том, что в случае фильтрования загрязнённой жидкости, а также при параллельном подключении нескольких фильтров данная фильтрующая загрузка будет работать эффективно в широком диапазоне регулирования её плотности. Сравнительно небольшой перепад давления на фильтрующем элементе указывает на низкую энергоёмкость данного процесса.

В результате эксперимента нами были выявлены рациональные режимы эксплуатации фильтра, при его использовании для жидкости без тяжёлых загрязнений:

объём загрузки – 0,3...0,4 м³;

высота фильтрующего слоя – 300...400 мм;

давление на входе – 0,1...0,2 Мпа.

Данные режимы будут использованы нами в дальнейших исследованиях по выявлению рационального состава и плотности загрузки фильтрующего материала при фильтровании жидкостей различной степени загрязнения, а также эксплуатации фильтров в неполнопоточном режиме при их параллельном и последовательном подключении.

1. Shukla A., Zhang Y.H., Dubey P., Margrave J.L., Shukla S.S. The role of sawdust in the removal of unwanted materials from water // *J Hazard Mater.* 2002 Nov 11;95(1-2):137–52. doi: 10.1016/s0304-3894(02)00089-4. PMID: 12409244.
2. Leiviskä T (2014) Sawdust for Wastewater Treatment // *J Bioremed Biodeg* 5:e159. doi:10.4172/2155-6199.1000e159.
3. Применение отходов лесопиления для очистки поверхностных стоков на объектах транспортной инфраструктуры / Т. А. Гаврилов [и др.] // *Лесной вестник. Forestry Bulletin.* 2018. Т. 22. № 2. С. 87–94. DOI 10.18698/2542-1468-2018-2-87-94.
4. Использование древесного опила для очистки сточных вод молочной промышленности / Р. В. Тресцов [и др.] // *Вестник Казанского технологического университета.* 2014. Т. 17. № 23. С. 227–228.
5. Филина Н. А., Алибеков С. Я. Исследования по определению теплотворной способности древесного опила и гранул, пропитанных нефтепродуктами // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика.* 2010. № 14(190). С. 24–28.
6. Юдин В.М., Ферабков А.В. Галтовочная установка для очистки изделий // *Научно-информационное обеспечение инновационного развития в АПК: материалы X Междунар. науч.-практ. Интернет-конф. пос. Правдинский, 2018.* С. 305–308.
7. Юдин В.М., Ферабков А.В. Установка для очистки сборочных единиц и деталей // *Инновационные технологии реновации в машиностроении: сб. трудов Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 150-летию факультета «Машиностроительные технологии» и кафедры «Технологии обработки материалов» МГТУ им. Н. Э. Баумана; под ред. Лавриненко В. Ю. М.: Московский государственный областной университет, 2019.* С. 421–423.
8. Юдин В.М., Ферабков А.В., Голубев И.Г. Исследование фильтра для очистки моющих растворов и сточной воды на предприятиях технического сервиса // *Техника и оборудование для села.* 2019. 9 (267). С. 37–40.
9. Юдин В.М., Ферабков А.В., Горкунов В.Н. Обеспечение экологической безопасности при наружной очистке мобильной военной техники // *Гуманитарный вестник военной академии ракетных войск стратегического назначения.* 2019. 1 (14). С. 187–190.
10. Пат. 2631075 Russian Federation, МПК2014136587 2631075 РФ. Фильтр для очистки воды и моющих растворов / Юдин В.М., Вихарев М.Н.; заявитель и патентообладатель ООО «Техноплазма». – № 2014136587; заявл. 2014-09-10; опубл. 2017-09-18. 3 с.
11. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин. М.: Академия, 2009. – 495 с.
12. Биргер И.А., Иосилевич Г.Б. Резьбовые и фланцевые соединения. М.: Машиностроение, 1990. 368 с.

REFERENCES

1. Shukla A., Zhang Y.H., Dubey P., Margrave J.L., Shukla S.S. The role of sawdust in the removal of unwanted materials from water. *J Hazard Mater.* 2002 Nov 11; 95(1-2): 137-52. doi: 10.1016/s0304-3894(02)00089-4. PMID: 12409244.
2. Leiviskä T (2014) Sawdust for Wastewater Treatment. *J Bioremed Biodeg.* 5:e159. doi:10.4172/2155-6199.1000e159.
3. The use of sawmill waste for cleaning surface runoff at transport infrastructure facilities / T. A. Gavrilov et al. *Forestry Bulletin.* 2018; 22; 2: 87-94. DOI 10.18698/2542-1468-2018-2-87-94.
4. The use of sawdust for wastewater treatment of the dairy industry / R. V. Trestsov et al. *Bulletin of the Kazan Technological University.* 2014; 17; 23: 227–228.
5. Filina N. A., Alibekov S. Ya. Research to determine the calorific value of sawdust and pellets impregnated with petroleum products. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Energy.* 2010; 14(190): 24–28.
6. Yudin V.M., Feryabkov A.V. Finishing installation for cleaning products. *Scientific and information support for innovative development in the agro-industrial complex: materials of the X Intern. scientific-practical. Internet conf. Pravdinsky, 2018:* 305–308.
7. Yudin V.M., Feryabkov A.V. Installation for cleaning assembly units and parts. *Innovative technologies of renovation in mechanical engineering.* Moscow, 2019: 421–423.
8. Yudin V.M., Feryabkov A.V., Golubev I.G. Investigation of a filter for cleaning solutions and waste water at technical service enterprises. *Technique and equipment for the village.* 2019; 9 (267): 37–40.
9. Yudin V.M., Feryabkov A.V., Gorkunov V.N. Ensuring environmental safety during external cleaning of mobile military equipment. *Humanitarian Bulletin of the Military Academy of Strategic Missile Forces.* 2019; 1 (14): 187–190.
10. Pat. 2631075 Russian Federation, МПК2014136587 2631075 RF. Filter for purification of water and washing solutions / Yudin V.M., Vikharev M.N.; applicant and patent holder Technoplasma LLC. – No. 2014136587; dec. 2014-09-10; publ. 2017-09-18. 3 p.
11. Dunaev P.F., Lelikov O.P. Designing units and parts of machines. Moscow, 2009. 495 p.
12. Birger I.A., Iosilevich G.B. Threaded and flange connections. Moscow, 1990. 368 p.

Статья поступила в редакцию 11.12.2022; одобрена после рецензирования 21.01.2023; принята к публикации 30.01.2023.
The article was submitted 11.12.2022; approved after reviewing 21.01.2023; accepted for publication 30.01.2023.

