

УДК 628.1.034.3

О. Н. Вольская^а, А. А. Чураков^а, Е. П. Боровой^б, М. В. Халиповский^а

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *Волгоградский государственный аграрный университет*

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЧИСТКИ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ С ПОМОЩЬЮ МНОГОСТУПЕНЧАТОГО ВАКУУМНОГО ЭЖЕКТОРА И ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОГО ФИЛЬТРА НИСХОДЯЩЕГО ФИЛЬТРОВАНИЯ

Предложенная авторами технология очистки воды из подземных источников с многоступенчатым вакуумным эжектором и полуавтоматическим фильтром нисходящего фильтрования, работающими в комплексе как одно целое, глубоко осветляет воду, оснащена простыми вспомогательными устройствами, которые делают технологию экономически эффективной. Авторами реализован комплексный подход, предусматривающий одновременное решение целого ряда основных проблем водоочистки, которые каждый раз проявляются по-разному, как только возникает конкретная задача улучшения качества воды для заданных потребителей или устранения токсичности производственных и бытовых стоков, сбрасываемых в окружающую среду за ненадобностью или используемых в различных промышленных и сельскохозяйственных процессах. Из многообразия задач улучшения качества воды следует необходимость создания соответствующих универсальных технологий, например, как предложенный комплекс многоступенчатого вакуумного эжектора и полуавтоматического фильтра нисходящего фильтрования.

Ключевые слова: многоступенчатый вакуумный эжектор, полуавтоматический песчаный фильтр, безреагентное осветление воды, кварцевый песок, непромывная секция.

Технологии водоочистки осуществляются на гидравлически связанных между собой устройствах и сооружениях. Например, практически полное удаление из воды тонкодисперсных взвесей достигается в подавляющем числе случаев по реагентной схеме, включающей растворный и затворные баки, дозатор, смеситель, камеру реакций, отстойник и фильтр.

Обязательными элементами этой схемы являются водоочистной фильтр, как правило, скорый, и устройства для приготовления растворов химических реагентов. Диаметрально противоположной схемой водоочистки является безреагентная, обычно включающая лишь отстойник и фильтр. В этой схеме при высоком качестве воды обязательный элемент — медленный или объемный фильтр [1]. В любом из перечисленных фильтров происходит удаление взвешенных и коллоидных частиц, присутствующих в водной суспензии, которая стекает через пористую загрузку [2, 3]. Это предпоследняя операция, процесс осветления, которая осуществляется при очистке питьевой воды [4, 5]. Последний барьер в производстве безопасной воды для потребления человеком, позволяющий достичь минимально возможной мутности — дезинфекция [6—11].

Представленные исследования проводились на кафедре сельскохозяйственного водоснабжения ВолгГАУ. Многоступенчатый вакуумный эжектор и полуавтоматический фильтр нисходящего фильтрования, изготовленные для исследований, могут быть любой производительности [12—15].

Последовательность установки устройств и оборудования данной технологии очистки подземной воды изображена на технологической схеме (рис. 1).

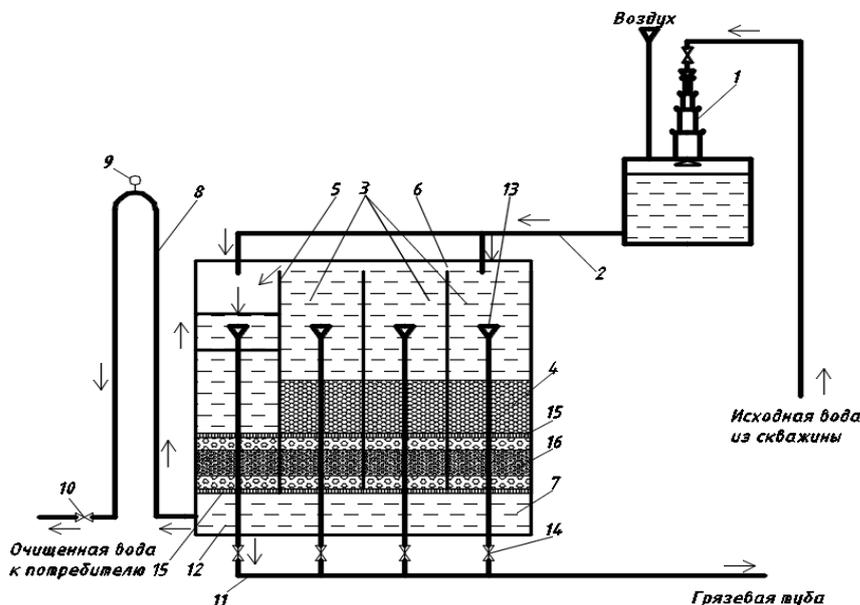


Рис. 1. Технологическая схема очистки подземной воды

Достоинствами данной технологии является в первую очередь многоступенчатый вакуумный эжектор, во вторую — полуавтоматический фильтр нисходящего фильтрования.

Рассмотрим принцип действия многоступенчатого вакуумного эжектора. Он используется при совершении абсорбционно-десорбционных процессов по насыщению или извлечению из воды газообразных компонентов.

Сочетание вакуумирования и дробления капель воды ускоряет абсорбционно-десорбционный процесс в 1500...3000 раз по сравнению с диффузионным. Растворенные газовые компоненты удаляются из воды и за доли секунды смешиваются с воздухом.

Все завершается при движении воды в трубопроводе особой конструкции, не содержащем вращающихся частей (рис. 2). Своего рода самоочистка воды происходит следующим образом: под давлением 0,4...0,6 МПа ее подают к сужающему соплу 1, на выходе из которого вода приобретает большую скорость. Потенциальная энергия рабочего потока преобразуется в кинетическую энергию, часть ее передается эжектируемому воздуху, который поступает через отверстия 7 и приемную камеру 2. При прохождении через первую ступень эжектора 3 происходит выравнивание скоростей движущейся воды и эжектируемого воздуха, разрушение струи воды и непрерывное дробление капель в потоке эжектируемого воздуха. Далее полученная водовоздушная эмульсия поступает во вторую ступень 4, где происходит процесс, аналогичный описанному выше, но с более высокой степенью дисперсности потока.

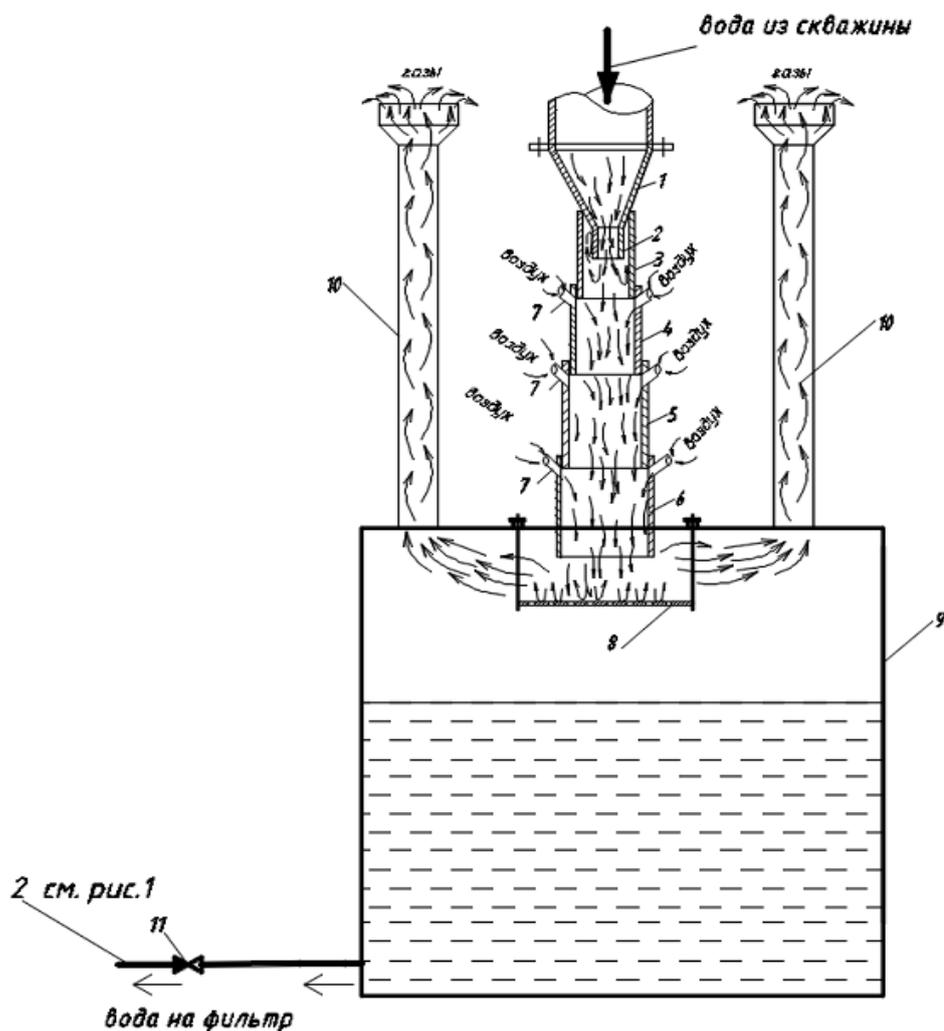


Рис. 2. Принципиальная схема многоступенчатого вакуумного эжектора

Пройдя через все ступени эжектора 3—6, воздушный поток достигает состояния эмульсии, приобретает чрезвычайно большую поверхность контакта мелкодробленными каплями воды с воздухом (до 100 тыс. $\text{м}^2/\text{м}^3$ и более), что является оптимальным условием для получения мелкодисперсного и туманного орошения. Выходя из эжектора, поток попадает в емкость 9, в которой устроен отражатель потока 8, дающий возможность мгновенно отделить воздух от воды. Воздух по воздуховодам 10 выбрасывается в атмосферу, а вода по трубопроводу 11 (2 на рис. 1) движется к фильтру, где завершается процесс очистки подземной воды от железа, марганца, тонкодисперсных взвесей.

Установки имеют малые размеры, гарантируют надежную работу, просты в эксплуатации.

Существенными достоинствами полуавтоматического песчаного фильтра являются:

- отсутствие необходимости в резервуаре и насосах для промывки воды;

- надежность дренажно-распределительных систем, защищающая от их засорения или крупноаварийного перемешивания гравийных слоев;
- простота управления, связанная с минимальным количеством задвижек;
- максимальное использование адсорбционной возможности кварцевого песка и других зернистых загрузок;
- минимальные потери воды на промывку фильтров;
- оптимальная компактность станции.

В связи с перечисленными достоинствами исследуемого фильтра можно утверждать о минимальных капитальных и эксплуатационных затратах при его установке и эксплуатации по сравнению с существующими медленными, объемными и скорыми фильтрами.

Полуавтоматический фильтр нисходящего фильтрования является реверсивным, он может работать в прямом режиме фильтрования, в котором исходная вода подается в фильтрующую загрузку сверху — вниз, и обратном — снизу — вверх. Тем самым используется возможность безреагентного осветления воды в восходящем потоке. Удельная производительность установки во втором режиме выше медленного фильтра ~ в 10 раз.

Фильтрующая загрузка — кварцевый песок стандартного эквивалентного диаметра $d_{\text{экв}}$ для осветления и обезжелезивания воды в обычном нисходящем режиме фильтрования назначается в зависимости от скорости фильтрования.

Полуавтоматический фильтр (см. рис. 1) содержит расположенные в ряд секции 3 с фильтрующей загрузкой 4. Смежные секции имеют общую стенку (перегородку) 5 с водопроемным отверстием 6 у ее верхнего торца и соединены общей дренажно-распределительной полостью 7. Подводящая труба 2 присоединена к первой и последней секциям 3. Отводящая труба 8 выполнена вертикальной Λ -образной формы с вантузом 9 для выпуска воздуха при заполнении водой и обратным клапаном 10, чтобы в Λ -образную трубу не поступала обратным током вода из отводящей системы. Грязевая труба 11 снабжена стояками 12 с воронками 13 на уровне выше отметки расширения загрузки при ее промывке и затворами 13. Непосредственно под фильтрующей загрузкой 4 устройство снабжено проточными камерами 15 для исключения влияния турбулентных завихрений потока в дренажно-распределительной полости 7 на грязеудерживающую способность фильтрующей загрузки 4 в ее нижней части, иначе задержанная ею грязь будет вымываться из нее при промывке одной из секций, ухудшая качество фильтрата.

Кроме того, проточные камеры могут содержать две параллельные горизонтально закрепленные решетки 15, пространство между которыми заполнено гравием 16 с уменьшающейся крупностью зерен к середине его слоя для исключения усложнения конструкции, возникающего при применении сеток с целью удержания фильтрующей загрузки, особенно мелкозернистой. Взамен стояков с воронками 13 грязевая труба 11 может быть снабжена сифонами с водопроемными отверстиями на уровне выше отметки расширения загрузки при ее промывке и с вершинами выше Λ -образной трубы 8 и водопроемных отверстий 6 перегородок 5. Это обеспечивает автоматическую зарядку сифона водой перед началом промывки и разряженное состояние в процессе фильтрования до начала промывки, т. е. в этом варианте исполне-

ния фильтр работает автоматически (при этом затворы *14* можно исключить из устройства).

В исходном положении установка не заполнена водой, затворы *14* на грязевой трубе *11* закрыты.

Фильтр работает следующим образом. Воду, подлежащую очистке, подают сначала на многоступенчатый вакуумный эжектор *1* (см. рис. 1), а затем по трубе *2* к первой и последней секциям. Она сначала поступает в эти секции, затем через водопропускные отверстия *б* в перегородках *5* перетекает в смежные, заполняя постепенно все. Одновременно происходит фильтрация воды вниз через фильтрующую загрузку *4*, в результате чего дренажно-распределительная полость *7* заполняется чистым фильтратом. Фильтрат поступает в отводящую трубу *8*, из нее вытесняется воздух через вантуз *9*, и далее вода движется через обратный клапан *10* в отводящую систему.

В результате фильтрования воды в фильтрующей загрузке *4* образуются отложения, сужающие ее каналы. Гидравлическое сопротивление загрузки *4* увеличивается, производительность фильтра падает до наперед заданного значения. В этот момент необходимо начать промывку фильтрующей загрузки *4*. Для этого открывают затвор *14* на грязевой трубе *11*, например, первой секции.

В случае наличия сифонов (взамен стояков) уровень воды в одном из сифонов к моменту необходимости промывки поднимается к его вершине, и он заряжается водой, установка автоматически переходит в режим промывки фильтрующей загрузки *4*. Этому будет способствовать возросший напор в установке над нагрузкой *4* вследствие кольматажа ее каналов отложениями. Уровень воды над фильтрующей загрузкой *4* в промывной секции снизится, в загрузке появится обратный ток фильтрата, взрыхляющий ее и вымывающий из нее отложения. Гидравлическое сопротивление загрузки *4* уменьшится, вследствие чего напор фильтрата в дренажно-распределительной полости *7* снизится, упадет уровень воды в трубе *8*. Обратный клапан *10* закроется. В ходе промывки уровень воды в остальных секциях понижается из-за фильтрации ее в дренажно-распределительную полость *7* и частично из-за сброса небольшого количества воды в промываемую секцию через водопропускное отверстие *б* перегородки *5*. Именно небольшого количества, т. к. действующий напор воды над этим отверстием в процессе промывки в самом начале резко снижается, обычно с 2...5 м до нескольких сантиметров над порогом отверстия. Следует иметь в виду, что в рассматриваемом случае промывки самой крайней секции на все непромываемые секции продолжает поступать исходная вода только с одной стороны, с другой же она свободно изливается из подводящей трубы *б* в промываемую секцию и по грязевой трубе *10* сбрасывается в канализацию вместе с грязным промывным фильтратом. При этом подача исходной воды с обеих сторон практически одинакова и максимальна, как при фильтрации через еще не загрязненные секции. Но подача исходной воды во все непромываемые секции снижается в 2 раза. Казалось бы, и суммарная производительность этих секций должна уменьшиться и оказаться недостаточной для обеспечения промываемой секции чистым фильтратом. Однако требуемый расход чистого фильтрата на промывку одной секции из остальных секций формируется одновременно из расхода воды, подаваемой во все остальные секции, и части верхнего слоя воды над

фильтрующей загрузкой в этих секциях. Целесообразно иметь такую высоту перегородки, чтобы основание промывного слоя воды в секциях находилось ниже водопропускных отверстий *б*. Это уменьшит боковой отток исходной воды через отверстие *б* в промывную камеру в начале промывки и полностью исключит его к концу промывки.

В ходе промывки фильтрующей загрузки *4* любой секции не происходит ухудшения качества фильтрата в дренажно-распределительной системе, т. к. при открытии затвора *14* падает напор сначала под крышкой корпуса над загрузкой *4* вследствие начавшегося оттока воды через отверстие *б* и промываемую секцию и отрыва поверхности воды от крышки, что приводит к снижению расхода фильтрата. По мере расширения загрузки под действием потока фильтрата снизу и уменьшения ее гидравлические сопротивления, а также вследствие постепенного снижения уровня воды в промываемой секции, расход фильтрата растет, постепенно достигая величины, имевшей место к началу промывки. Для обеспечения этого расстояние по высоте от отверстий *б* до минимально допустимого уровня воды в промываемой секции должно быть близким по величине к потерям напора на загрузке *4* к началу промывки. Эта высота задается на основании гидравлического расчета.

После израсходования слоя воды соседней секции промывка несколько затухает и дальнейшее ее продолжение становится нецелесообразным. Уровни воды в промытой секции и трубе *8* снизятся до минимальных, которые, однако, выше отметки расширения загрузки. Затвор *14* закрывают. Если взамен грязевой трубы *11* применен сифон, он разрядится, и затвор *14* закрывать не имеет смысла. Затвор *14* можно использовать для выставления необходимых промывных расходов в процессе пусконаладочных работ фильтра в производственных условиях. Фильтрующая загрузка перейдет в исходное плотное положение, а секции, в т. ч. промытая, заполняется исходной водой. И процесс фильтрования продолжится во всех секциях. Напор воды в дренажно-распределительной полости *7* возрастает, чистый фильтрат снова поступает через трубу *8* и обратный клапан *10* в отводящую систему.

Аналогично промывают любую промежуточную секцию. Разница состоит в том, что через отверстия *б* двух соседних перегородок *5*, образующих промываемую секцию, непрерывно сливается в последнюю исходная вода, но с таким же общим расходом, как и при промывке крайней секции, т. е. практически равным половине общей подачи воды на водоочистное устройство. Следовательно, независимо от номера промываемой камеры сброс грязной воды из нее должен осуществляться с таким расходом, чтобы уровень воды в ней постепенно опускался на минимально допустимую отметку, находящуюся несколько выше отметки расширения загрузки. Если взамен стояков применить сифоны с водоприемными отверстиями на минимально допустимой отметке, то завершение промывки секции будет происходить автоматически.

Так как в водоочистном устройстве фильтрующая загрузка является зернистой, например, как кварцевый песок, то осаждающиеся зерна будут глубоко проникать в поры гравийного слоя через верхнюю решетку *15* проходной камеры *16*. Однако они осядут не ниже самого мелкого гравия в середине его слоя, и поэтому зерна загрузки *4* не просыпятся в дренажно-распределительную полость *7*, что и требуется. При промывке же фильтрующей зернистой загрузки ее зерна без заметных затруднений вымываются вверх из пор гравия.

При слабом давлении воды в отводящей системе, не обеспечивающем закрытие обратного клапана 10, отводящая труба 8 выполнена вертикальной Λ-образной формы для исключения оттока чистого фильтрата в отводящую систему при промывке секций.

На промывку одной секции требуется расход воды, равный произведению интенсивности промывки на площадь поверхности загрузки в одной секции. Одновременно расход воды на промывку каждой секции равен сумме производительностей всех остальных секций в период промывки. Следовательно, при одинаковых размерах секций, обеспечивающих получение требуемого промывного расхода воды для одной секции, общее количество секций N_c равно:

$$N_c = \frac{Q\omega_c}{q+1},$$

где Q — интенсивность промывки загрузки, л/(с·м²); ω_c — площадь поверхности загрузки в плане одной секции, м²; q — производительность каждой секции в условиях промывки одной секции, л/с.

Данный фильтр сохраняет высокое качество фильтрата в дренажно-распределительной полости в период промывки одной из секций, т. к. напор воды над фильтрующей загрузкой в остальных секциях снижается благодаря сбросу части исходной воды в промываемую секцию и далее в канализацию. Потеря исходной воды за сутки при одной промывке всех секций составляет 0,4 %, что незначительно. При том, что эта вода снижает концентрацию веществ, приводящих к зарастанию труб канализации нерастворимыми отложениями, явлениям инкрустации и заилиения.

Фильтр прост по конструкции и надежен в эксплуатации, все перегородки в нем имеют одинаковую форму, что упрощает изготовление. Отсутствует необходимость периодического перекрытия подводящей трубы.

Таким образом, многоступенчатый вакуумный эжектор и полуавтоматический фильтр работают слажено, без перебоев, при условии отладки гидравлического режима очистки и грамотно проведенных пуско-наладочных работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Applying bio-slow sand filtration for water treatment / L. Liu, Y. Fu, Q. Wei, Q. Liu, L. Wu, J. Wu, W. Huo // Polish J. Environ. Stud. 2019. Vol. 28. Iss. 4. Pp. 2243—2251. DOI: 10.15244/pjoes/89544, [http://refhub.elsevier.com/S1026-9185\(21\)00032-9/sbref0009](http://refhub.elsevier.com/S1026-9185(21)00032-9/sbref0009).
2. Kim J., Lawle D. F. 2011. The influence of hydraulic loads on depth filtration // Water Res. 2011. Vol. 46. Iss. 2. Pp. 433—441.
3. Brandt M. J., Johnson K. M., Elphinston J. A., Ratnayaka D. Water Filtration // Twort's Water Supply. 2017. Ch. 9. Pp. 367—406.
4. García-Ávila F., Zhindón-Arévalo C., Ochoa R. A., Donoso S. Optimization of water use in a rapid filtration system: A case study // Water-Energy Nexus. 2019. Vol. 3. DOI: 10.1016/j.wen.2020.03.005.
5. Segismundo E. Q., Kim L.-H., Jtong S.-M., Lee B.-S. A laboratory study on the filtration and clogging of the sand-bottom ash mixture for storm water infiltration filter media // Water Research. 2017. Vol. 9. Iss. 1. P. 32.
6. The effect of high hydraulic loading rate on the removal efficiency of a quadruple media filter for tertiary wastewater treatment / Ph. Ncube, M. Pidou, T. Stephenson, B. Jefferson, P. Jarvis // Water Research. 2016. Vol. 107. Iss. 15. Pp. 102—112.
7. El-Alfy M. A., Hasballah A. F., El-Hamid H. T., El-Zeiny A. M. Toxicity assessment of heavy metals and organochlorine pesticides in freshwater and marine environments, Rosetta area, Egypt

using multiple approaches // *Sustain. Environ. Res.* 2019. Vol. 29. Pp. 1—12. DOI: 10.1186/s42834-019-0020-9.

8. Clark P. A., Pinedo C. A., Fadus M., Capuzzi S. Slow-sand water filter: design, implementation, accessibility and sustainability in developing countries // *Med. Sci. Monitor.* 2012. Vol. 18. Iss. 7. Pp. 105—117. DOI: 10.12659/MSM.883200.

9. Chollom M. N., Pikwa K., Rathilal S., Pillay V. L. Fouling mitigation on a woven fibre micro-filtration membrane for the treatment of raw water // *S. Afr. J. Chem. Eng.* 2017. Vol. 23. Pp. 1—9. DOI: 10.1016/j.sajce.2016.12.003.

10. Laghari A. N., Walasai G. D., Jatoi A. R. Performance Analysis of Water Filtration Units for Reduction of pH, Turbidity, Solids and Electricity Conductivity // *Engineering, Technology and Applied Science Research.* 2018. Vol. 8. Iss. 4. Pp. 3209—3212.

11. García-Avila F., Ramos-Fern A. L., Zhindon-Arevalo C. Estimation of corrosive and scaling trend in drinking water systems in the city of Azogues, Ecuador // *Revista Ambiente e Agua.* 2018. Vol. 13. Iss. 5. DOI: 10.4136/ambi-agua.2237.

12. Вольская О. Н., Калиновский С. А. Обезжелезивание подземных вод вакуумно-эжекционным методом // *Наука и образование: архитектура, градостроительство и строительство: матер. междунар. конф., посвящ. 80-летию строит. образования и 40-летию архитектур. образования Волгогр. обл.* 2010. С. 140—144.

13. Вольская О. Н., Кружилин И. П., Боровой Е. П. Вакуумно-эжекционный метод активации подземных вод для повышения урожайности сельскохозяйственных культур // *Вестник Саратовского ГАУ.* 2007. № 5. С. 31—33.

14. Вольская О. Н., Нестеренко Б. М., Гамарник В. Г. Безреагентный вакуумно-эжекционный метод удаления двуокси углерода и кислорода из воды // *Альманах Волгоградского государственного университета.* 2004. С. 172—174.

15. Вольская О. Н., Боровой Е. П. Совершенствование технологий обезжелезивания и активации подземных вод для систем капельного орошения и водоснабжения сельских населенных пунктов // *Стратегическое развитие АПК и сельских территорий РФ в современных международных условиях: матер. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию Победы в Великой Отечественной войне.* 2015. Т. 3. С. 178—186.

© Вольская О. Н., Чураков А. А., Боровой Е. П., Халиповский М. В., 2025

Поступила в редакцию
в декабре 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Вольская О. Н., Чураков А. А., Боровой Е. П., Халиповский М. В. Интенсификация комплексной очистки подземных источников с помощью многоступенчатого вакуумного эжектора и полуавтоматического фильтра нисходящего фильтрования // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура.* 2025. Вып. 1(98). С. 176—184. DOI: 10.35211/18154360_2025_1_176.

Об авторах:

Вольская Ольга Николаевна — канд. техн. наук, доц. каф. строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; olgavolska@mail.ru

Чураков Алексей Александрович — канд. техн. наук, доц., доц. каф. строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ORCID: 0000-0002-0810-8177

Боровой Евгений Павлович — д-р с/х наук, проф., зав. каф. мелиорации земель и комплексного использования водных ресурсов, Волгоградский государственный аграрный университет (ВолгГАУ). Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26; borovoy.e.p@mail.ru

Халиповский Михаил Владимирович — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; khalipovsky@yandex.ru

Olga N. Volskaya^a, Alexey A. Churakov^a, Evgeny P. Borovoy^b, Mikhail V. Khalipovsky^a

^a *Volgograd State Technical University*

^b *Volgograd State Agrarian University*

INTENSIFICATION OF COMPLEX WATER PURIFICATION OF NATURAL SOURCES USING A SEMI-AUTOMATIC DOWNLOAD FILTER

The technology proposed by the authors for purifying water from underground sources with a multi-foam vacuum ejector and a semi-automatic downward filtration filter, working in a complex as a whole, deeply clarifies water and is equipped with simple memory devices that make the technology cost-effective. The authors have implemented an integrated approach that provides for the simultaneous solution of a number of basic water treatment problems, which manifest themselves differently each time, as soon as a specific task arises to improve water quality for specified consumers or eliminate the toxicity of industrial and domestic wastewater discharged into the environment or used in various industrial and agricultural processes. From the variety of tasks for improving water quality, it follows that it is necessary to create appropriate universal technologies, such as the proposed complex of a multi-stage vacuum ejector and a semi-automatic downstream filter.

Key words: multi-stage vacuum ejector, semi-automatic sand filter, non-reactive water clarification, quartz sand, non-washing section.

For citation:

Volskaya O. N., Churakov A. A., Borovoy E. P., Khalipovsky M. V. [Intensification of complex water purification of natural sources using a semi-automatic download filter]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2025, iss. 1, pp. 176—184. DOI: 10.35211/18154360_2025_1_176.

About authors:

Olga N. Volskaya — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; olgavolska@mail.ru

Alexey A. Churakov — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-0810-8177

Evgeny P. Borovoy — Doctor of Agricultural Sciences, Prof., Volgograd State Agrarian University. 26, University Avenue, Volgograd, 400002, Russian Federation; borovoy.e.p@mail.ru

Mikhail V. Khalipovsky — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; khalipovsky@yandex.ru