

## ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ

УДК 628.1.16

### ПЕНОПОЛИСТИРОЛЬНЫЕ ФИЛЬТРЫ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМАХ ОСВЕТЛЕНИЯ, ОБЕСЦВЕЧИВАНИЯ И ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ВОДЫ

*д-р техн. наук, проф. В.О. ОРЛОВ; канд. техн. наук, доц. С.Ю. МАРТЫНОВ;  
канд. техн. наук, доц. А.Н. ОРЛОВА; С.А. ЯЦУНОВ  
(Национальный университет водного хозяйства и природоустройства, Украина);  
канд. техн. наук, доц. Д.П. КОМАРОВСКИЙ  
(Полоцкий государственный университет)*

*Демонстрируются результаты многолетних исследований работы пенополистирольных фильтров в технологических схемах осветления, обесцвечивания и обезжелезивания поверхностных и подземных вод. Приводятся параметры фильтрования, промывки и загрузки. Предлагается схема автоматизации работы фильтра. Внедренные на производственных объектах предложенные технологии показали высокую эффективность, позволили значительно сократить капитальные и эксплуатационные затраты и, следовательно, могут быть рекомендованы к широкому внедрению в производство.*

**Введение.** Пенополистирол как фильтрующая загрузка адгезионных фильтров вошел в практику водоподготовки после выдачи Украинскому институту инженеров водного хозяйства (сейчас Национальный университет водного хозяйства и природопользования) и ее авторам В.Г. Ильину, С.И. Морозу, И.А. Гетьману авторского свидетельства 192756/1043439 от 15 декабря 1965 года на «Фильтр для очистки воды» [1; 2]. В заявленном фильтре предлагалось использовать плавающие гранулы из суспензионного вспенивающегося полистирола марок ПСВ (ПСБ), ПСВ-с (ПСБ-С) диаметром гранул от 0,2 до 3,0 мм, который выпускался Горловским ПО «Стирол», Кусковским химическим заводом Московской области, Ангарским химическим комбинатом, Узловским заводом пластмасс и целым рядом заводов Китая, Польши, Турции. Фильтры с плавающей пенополистирольной загрузкой исследовались научно-исследовательскими и учебными институтами Киева, Москвы, Санкт-Петербурга, Кишинева, Харькова и других городов. Получено более сотни авторских свидетельств различных конструкций фильтров с плавающей загрузкой, которые внедрены на водоочистных станциях Украины, России, Молдовы, Беларуси, Словакии, Чехии, Германии, Японии, США, написаны многочисленные статьи, монографии, отражающие вопросы по обозначенной тематике.

**Исходные положения.** Фильтрующая загрузка из пенополистирола изготавливается из товарного продукта полистирола обработкой горячей водой, горячим воздухом или паром. Товарный вспенивающийся полистирол марок ПСВ-с, ПСВ-б, ПСВ выпускается промышленностью в виде сферических частиц, бесцветных или светло-белых, содержащих 4,0...4,5 % парообразователя и 0,25...0,30 % стирола. По договоренности с заказчиком его могут поставлять рассеянным на фракции: более 2,5 мм; от 1,4 до 2,5 мм; от 0,9 до 1,4 мм; от 0,4 до 0,9 мм; меньше 0,4 мм. Товарный полистирол тонет в воде, но после горячей обработки не тонет и имеет плотность 0,02...0,1 т/м<sup>3</sup>.

Крупные фракции полистирола до вспенивания могут быть измельчены, а затем вспенены. Такие гранулы называются дробленным пенополистиролом. Пенополистирольная загрузка может изготавливаться непосредственно на водоочистной станции путем вспенивания в воде товарного продукта – полистирола, который после вспенивания тщательно промывается в холодной воде. В настоящее время известно большое количество аппаратов для вспенивания паром или воздухом. При этом готовую продукцию не нужно промывать водой, а в зависимости от параметров вспенивания можно получать загрузку с разной плотностью и крупностью гранул.

**Особенности конструкции.** Пенополистирольная загрузка в фильтрах с восходящей фильтрацией может быть однослойной или двухслойной. Пенополистирол в фильтрах удерживается в притопленном состоянии специальной решеткой. Исходная вода подается в нижнюю распределительную систему пенополистирольного фильтра, равномерно распределяется по площади, проходит через пенополистирол и очищенной собирается в надфильтровом пространстве. По мере фильтрования загрузка кольматируется, то есть забивается взвешенными частицами, заканчивается фильтроцикл достижением предельных потерь напора или ухудшением качества фильтрата. Фильтр переводится в режим промывки путем закрытия задвижки на трубопроводе подачи исходной воды и открытием задвижки на трубопроводе промывной воды. Чистая вода из надфильтрового пространства идет вниз, расширяет и отмывает фильтрующую загрузку, после чего собирается распределительной системой и отводится в канализацию.

Уровень воды в надфильтровом пространстве снижается и при достижении уровня решетки промывка прекращается путем закрытия задвижки на трубопроводе промывной воды. Фильтр снова переводится в режим фильтрации – открывается задвижка на трубопроводе исходной воды [3; 4]. Надфильтровое пространство делается взаимосвязанным для нескольких фильтров, что позволяет уменьшить его высоту.

**Результаты исследований.** Исследования проводились в лабораторных условиях на модельных растворах и на природных водах Ровенской, Волынской, Житомирской, Хмельницкой, Донецкой областей Украины, Республики Крым на производственных установках и фильтрах. На основе этих исследований пенополистирольные фильтры можно рекомендовать в двухступенчатых реагентных схемах осветления и обесцвечивания воды (рис. 1) для окончательной её очистки после отстойников или осветлителей со взвешенным осадком (схема *а*) или в одноступенчатых схемах в качестве контактных пенополистирольных фильтров (схема *б*), в схемах обезжелезивания воды, для предварительной очистки поверхностных вод, для доочистки сточных вод.

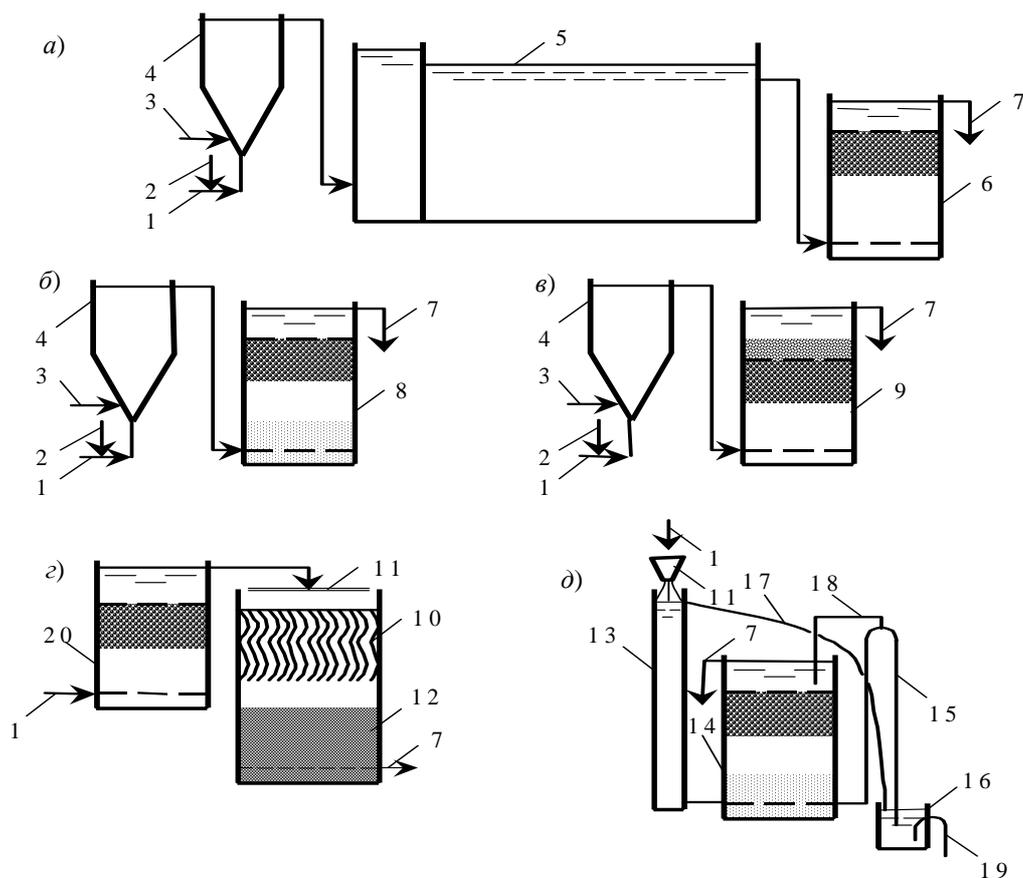


Рис. 1. Технологические схемы подготовки питьевой воды с пенополистирольными фильтрами:  
 1 – подача исходной воды; 2 – введение хлора; 3 – введение коагулянта; 4 – смеситель; 5 – отстойник с камерой хлопьеобразования или осветлитель со взвешенным осадком; 6 – скорый пенополистирольный фильтр;  
 7 – отвод очищенной воды; 8 – пенополистирольный фильтр с растущим слоем взвешенного осадка;  
 9 – контактный пенополистирольно-угольный фильтр; 10 – биопоглотитель; 11 – аэратор; 12 – песчаный фильтр;  
 13 – регулятор скорости фильтрования – воздухоотделитель; 14 – пенополистирольный фильтр с контактной массой в нижней части; 15 – промывной сифон; 16 – гидрозатвор; 17 – трубка наполнения; 18 – воздушная трубка;  
 19 – сифон опорожнения; 20 – предварительный пенополистирольный фильтр

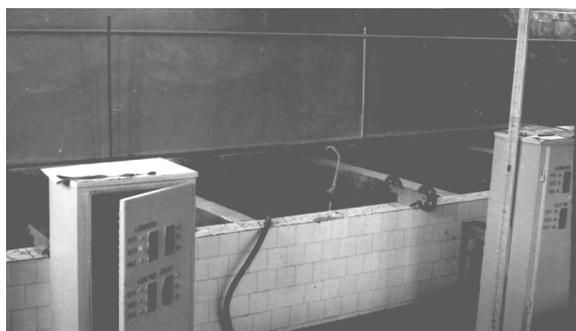
В реагентных схемах осветления и обесцвечивания воды исходную воду сначала обрабатывают хлором или гипохлоритом натрия для окисления органических веществ, а затем для обеспечения коагуляции гидрофобных частиц в воду вводится серноокислый алюминий. При мутной исходной воде можно использовать пенополистирольные фильтры со слоем растущего взвешенного осадка. В них перед началом любого фильтроцикла, после промывки в нижней части фильтра необходимо иметь слой осадка, который во время фильтрования постепенно растет и задерживает основную часть загрязнений (схема *б*). Для снятия запахов и привкусов в надфильтровое пространство пенополистирольного фильтра следует засыпать слой сорбционной загрузки, лучше активированный уголь АГ-3, образуя пенополистирольно-угольный фильтр (схема *в*). Сорбционная емкость угля АГ-3 позволяет использовать его без регенерации

до одного года. Использование сорбционных загрузок с худшими сорбционными свойствами нецелесообразно из-за необходимости частой замены сорбционной загрузки. Кроме того, высокая однородность угля АГ-3 обеспечивает благоприятные гидравлические режимы фильтров, особенно во время промывки. Для осветления и обесцвечивания воды небольших населенных пунктов в сельскохозяйственных групповых системах водоснабжения с локальной очисткой воды рекомендуется использовать безреагентную схему (схема *з*). В безреагентной схеме предварительный пенополистирольный фильтр задерживает наиболее крупные частицы, а окончательная очистка обеспечивается биопоглопителем и песчаной загрузкой. Для очистки воды от ионов железа рекомендуется использовать (схема *д*) аэрацию с последующим фильтрованием. При невысокой концентрации ионов железа в исходной воде используется обычный пенополистирольный фильтр, а при значительной концентрации ионов железа – со слоем растущего взвешенного осадка и пенополистирольной загрузкой. Возможно встраивать воздухоотделитель и фильтр в металлическую башню-колонну. При этом может использоваться упрощенная аэрация со свободным изливом воды в воздухоотделитель с высоты не менее 0,5 м или усиленная аэрация вакуумным азратором. При обезжелезивании воды окончание фильтроцикла обусловлено обычно достижением предельных потерь напора, поэтому перевод фильтра из режима фильтрации в режим промывки и наоборот может осуществляться с помощью гидроавтоматического устройства без применения запорной арматуры (схема *д*). При этом запорным элементом промывного сифона может быть вертикальный или конический гидрозатвор, перегнутые трубки [3–5], которые обеспечивают меньшие расходы воды на собственные нужды установки. Скорость фильтрования устанавливается 7...10 м/ч на фильтрах без слоя взвешенного осадка, и до 4 м/ч – со слоем взвешенного осадка. Промывка пенополистирольной загрузки обеспечивается нисходящим потоком очищенной воды в течение 3...4 мин с интенсивностью 10...12 л/(м<sup>2</sup>·с) при плотности гранул 0,1...0,12 т/м<sup>3</sup> и 17...18 л/(м<sup>2</sup>·с) при плотности гранул меньше 0,03 т/м<sup>3</sup>. Условия использования схем приведены в таблице.

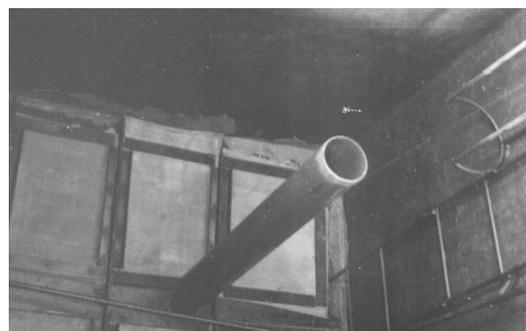
Исследованный диапазон использования технологических схем при подготовке питьевой воды

Схемы (рис. 1)	Мутность, мг/дм <sup>3</sup>	Цветность, град	Железо, мг/дм <sup>3</sup>	Производительность м <sup>3</sup> /сут
<i>а</i>	1200	120	–	Любая
<i>б</i>	2000	120	–	5000
<i>в</i>	100	100	–	Любая
<i>з</i>	150	80	–	Любая
<i>д</i>	–	–	30	Любая

Предложенные технологические схемы внедрены на водоочистных станциях Житомирской, Киевской, Хмельницкой, Черкасской, Донецкой областей, Республики Крым, в том числе на Дзержинской фильтровальной станции и Сокольском блоке фильтровальных станций (рис. 2). Реконструированные сооружения обеспечивают подготовку питьевой воды из цветных и маломутных вод рек Серверского Донца и Днепра.



*а)*



*б)*

Рис. 2. Контактные пенополистирольные фильтры на Сокольском блоке фильтровальных станций:  
*а* – общий вид фильтров; *б* – вид на удерживающую решетку и трубопровод отбора фильтрата

На Сокольском блоке фильтровальных станций на очистку подавалась вода с мутностью до 3 мг/дм<sup>3</sup> и цветностью до 75 град. Все четыре песчаные фильтры были реконструированы на пенополистирольные. Взаимосвязанность надфильтрового пространства обеспечивалось отверстиями в стенках размером 0,05×0,3 м. Обвязочные трубопроводы подачи промывной воды на старые песчаные фильтры были полностью удалены.

На водоочистой станции Коростышевской бумажной фабрики для очистки маломутной и цветной воды реки Тетерев были построены контактные пенополистирольные фильтры, которые обеспечивали нужное качество очистки воды для технологических нужд фабрики.

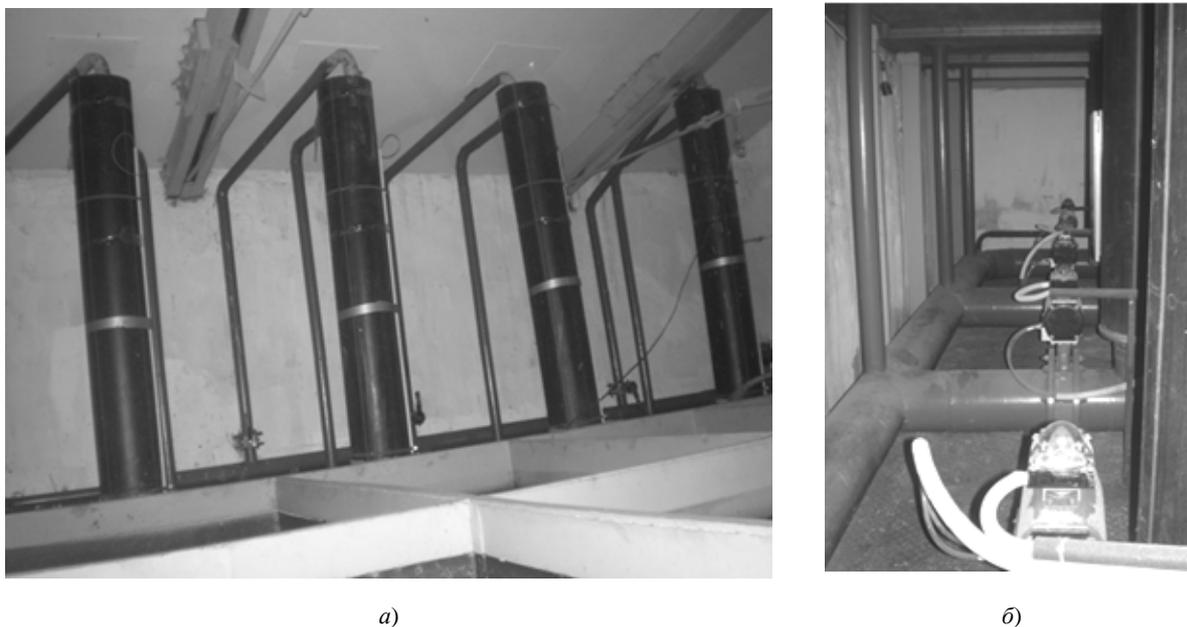


Рис. 3. Контактные пенополистирольные фильтры для подготовки воды реки Тетерев  
а – вид сверху; б – промывные задвижки с пневмоприводом

В Киевской области (рис. 4) на 7 станциях обезжелезивания воды внедрены пенополистирольные фильтры с восходящим фильтрационным потоком, которые расположены на открытом воздухе. Исходная вода с концентрацией железа до  $4 \text{ мг/дм}^3$  из скважины подается вначале в аэратор и воздухоотделитель (в центре рисунка 4), а затем поступает в два фильтра диаметром 3 м. Взаимосвязанность надфильтрового пространства двух металлических фильтров обеспечивается трубопроводом диаметром 250 мм. Очищенная вода имела концентрацию железа до  $0,1 \text{ мг/дм}^3$ .

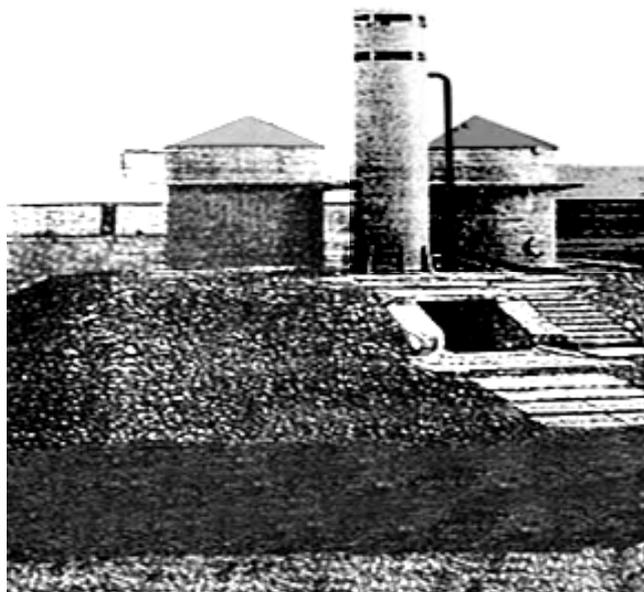


Рис. 4. Общий вид станции обезжелезивания (г. Барышевка)

Во многих сельских населенных пунктах широко используются башни-колонны для сглаживания неравномерности отбора воды сетью. Нами предложено вмонтировать во внутреннюю часть (рис. 5) та-

кой башни обезжелезивающую установку [7]. В нижней части башен-колонн отсутствует распределительная система, тем самым предусмотрено свободное пространство под загрузкой высотой 1,5...2 м. Из нижней части выходит промывной трубопровод с задвижкой за пределами башни. Диаметр ствола башни-колонны не менее 1,2 м, вода из воздухоотделителя вводится под загрузку. Такие башни уже внедрены на десятках объектов и обеспечивают подачу воды населению питьевого качества.

Отличительной чертой работы установок в башне-колонне в том, что вода подается определенный короткий период времени, после которого наступает перерыв в подаче воды. Такой рваный режим работы не влияет на качество очищенной воды, которая соответствует требованиям на питьевую воду.

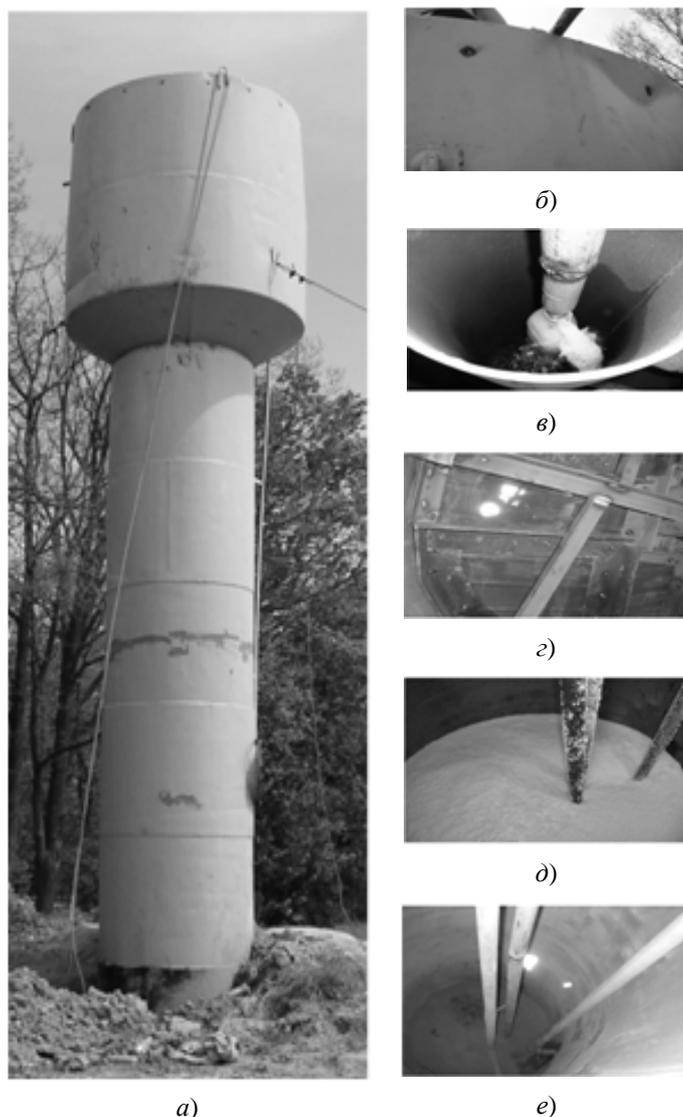


Рис. 5. Общий вид металлической башни-колонны и ее деталей:  
*a* – водонапорная металлическая башня; *б* – трубопровод подачи исходной воды; *в* – воздухоотделитель;  
*г* – удерживающая решетка; *д* – пенополистирольная загрузка; *е* – размещение трубопроводов в стволе

На станции обезжелезивания города Гоща производительностью 800 м<sup>3</sup>/сут смонтированы четыре пенополистирольных фильтра с одним воздухоотделителем и аэратором (рис. 6). Диаметры фильтров приняты 1,2...1,4 м. В качестве распределительной системы в нижней части предусмотрено коническое днище и входным трубопроводом в центре для предупреждения зарастания системы солями железа. Станция работает круглосуточно и обеспечивает необходимое качество очищенной воды. Промываются фильтры поочередно. При этом один фильтр промывается, а три других работают в режиме фильтрования и пополняют надфильтровое пространство промываемого фильтра чистой водой.

Лабораторные исследования подтвердили возможность использования гидравлической автоматики управления работой фильтра, при которой перевод фильтра из режима фильтрования в режим про-

мывки и обратно производится промывным сифоном и гидрозатвором. При этом сокращается объем промывной воды, а процесс осуществляется в отсутствие обслуживающего персонала.



Рис. 6. Пенополистирольные фильтры с технологическими трубопроводами

**Заключение.** Многочисленные исследования предложенной технологии на производственных объектах показали её высокую эффективность, что позволило значительно сократить капитальные и эксплуатационные затраты и рекомендовать к широкому внедрению технологии в производство.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов, В.О. Знезалізнєння підземних вод спрощеною аерацією та фільтруванням / В.О. Орлов. – Рівне: НУВГП, 2008. – 158 с.
2. Орлов, В.О. Водоочисні фільтри із зернистою засипкою / В.О. Орлов. – Рівне: НУВГП, 2005. – 163 с.
3. Орлов, В.О. Интенсификация работы водоочистных сооружений / Орлов В.О., Шевчук Б.И. – К.: Будівельник, 1987. – 127 с.
4. Тугай, А.М. Водопостачання / А.М. Тугай, В.О. Орлов. – К.: Знання, 2009. – 735 с.
5. Гідроавтоматична установка підготовки води фільтруванням з конусним гідрозатвором: пат. України на корисну модель № 84038, UA, МПК C02F 1/64(2006.01) / Орлов В.О., Зошук В.О., Яцунов С.О. – № u2013 04023; заявл. 01.04.2013; опубл. 10.10.2013 // Бюл. – 2013. – № 19.
6. Башта-колона з пінополістирольним фільтром для знезалізнєння води: пат. України на корисну модель № 60486, UA, МПК C02F 1/64(2006.1), ВО 1D 24/00 / Орлов В.О., Мінаєва Н.Л., Чулюк А.О. – № u201013048; заявл.03.11.2010; опубл. 25.06.2011 // Бюл. – 2011. – № 12.

Поступила 04.12.2014

#### **POLYSTYRENE FOAM FILTERS IN THE TECHNOLOGICAL SCHEMES OF CLARIFICATION, DISCOLORATION AND IRON REMOVAL**

**V. ORLOV, S. MARTYNOV, A. ORLOVA, S. YATSUNOV, D. KAMAROUSKI**

*The results of long-term studies of the polystyrene foam filters in various technological schemes of water treatment to remove suspended and colloidal impurities, color and iron ions from the surface water and groundwater. Are the parameters of filtration, washing and loading of polystyrene pellets, characteristic objects to the introduction of development. Proposed scheme automation polystyrene foam filter.*