

Макальский Леонид Михайлович

канд. техн. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский

университет «МЭИ»

г. Москва

Кухно Андрей Валентинович

аспирант

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский

университет «МЭИ»

г. Москва

Цеханович Ольга Михайловна

канд. техн. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Гжельский государственный университет»

п. Электроизолятор, Московская область

DOI 10.21661/r-463457

СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ПОДЗЕМНЫХ АРТЕЗИАНСКИХ ВОД

***Аннотация:** авторами рассмотрены системы очистки, наиболее активно используемые для очистки подземных артезианских вод, такие как «Гейзер», «Гейзер – 1», комплексная система, состоящая из ионообменного фильтра Aquadean-PRO и газоразрядной установки, а также система бактерицидного обеззараживания. Был также проведен сравнительный анализ воды на тяжелые металлы до и после системы очистки с помощью прибора МАП – 1 и эксперименты по определению железа фотометрическим методом. Показано, что наиболее эффективной из систем очистки воды является комбинированная система, которая состоит из ионообменного фильтра и электроразрядной установки с применением лавиностримерного разряда.*

***Ключевые слова:** лавиностримерный разряд, артезианская вода, питьевая вода, ионы металлов, система очистки воды.*

Рассмотрены системы очистки, наиболее активно используемые для очистки подземных артезианских вод, такие как «Гейзер», «Гейзер – 1», комплексная система, состоящая из ионообменного фильтра Aquadean- PRO и газоразрядной установки, а также система бактерицидного обеззараживания. Эти системы очистки воды сравнивались с разработанной авторами комбинированной системой, которая состоит из ионообменного фильтра и электроразрядной установки с применением лавиностримерного разряда (ЛСР).

Система «Гейзер – 1»

Многоступенчатая система для эффективной очистки воды с использованием коагуляции и сорбционной очистки активированным углем. Система очистки «Гейзер-1» состоит из нескольких этапов:

На первом этапе производится предварительная механическая очистка от механических примесей размером более 130 мкм. Очистка производится дисковым фильтром. Дисковый фильтр в свою очередь состоит из пакета дисков, выполненных из полимерного материала.

На втором этапе вода, очищенная от крупных механических примесей, поступает в систему пропорционального дозирования коагулянта для удаления коллоидов и органических соединений. На этом этапе водоподготовки в воде непрерывно происходит дозирование коагулянта, который укрупняет органические соединения, которые затем эффективно осаждаются на гранулированном материале загрузки.

На третьем этапе вода проходит через фильтр с гранулированной загрузкой для осаждения органических соединений. Этот фильтр предназначен для удаления из воды взвешенных примесей (песка, ила, окисленного железа и т. д.) размером более 20–40 мкм, при предварительном введении коагулянта – коллоидных частиц.

В осадочных фильтрах грубой очистки воды, производимых компанией «Гейзер», в качестве загрузки используются: дробленый кварц, комбинация дробленого кварца и антрацита.

На четвертом этапе производится удаление органических соединений, солей жесткости, а также железа в фильтре с мультикомпонентной загрузкой. Загрузка получена по уникальной технологии компании Гейзер, путем ротационного смешивания пяти различных ионообменных и сорбционных материалов. Загрузка содержит специальный активированный уголь и особые ионообменные смолы. Регенерация загрузки производится раствором поваренной соли.

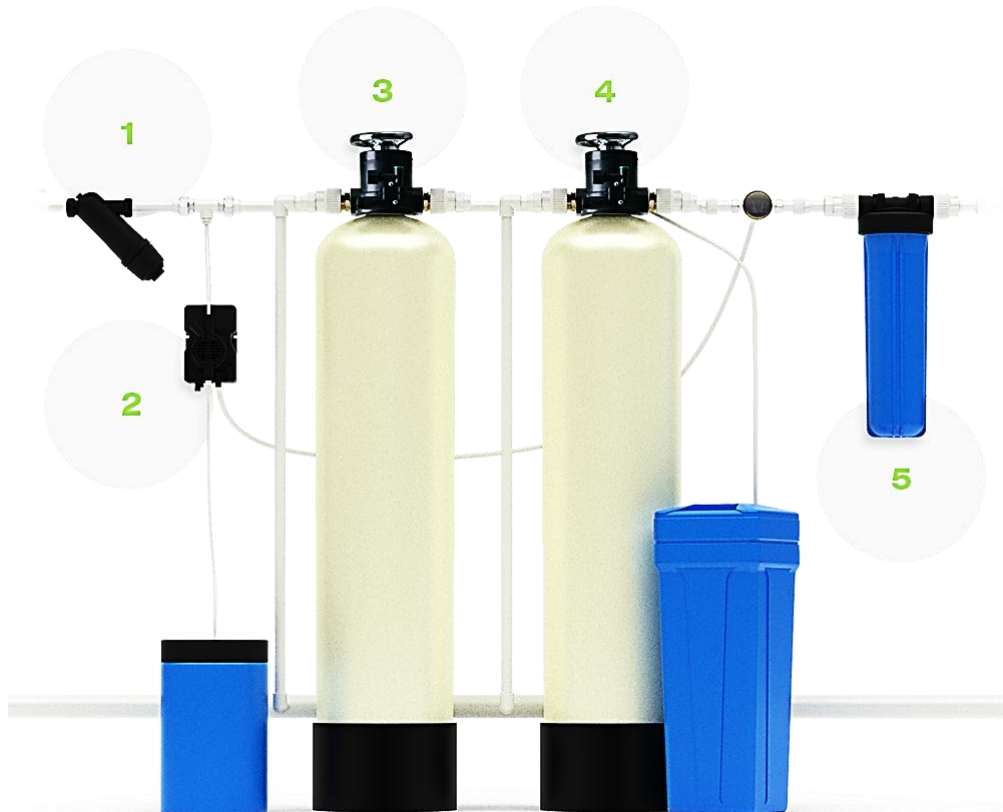


Рис. 1 Система «Гейзер – 1»

На пятом этапе используется картриджный фильтр механической очистки. Картридж с пористостью 10 мкм полностью задерживает нерастворимые примеси и препятствует выносу загрузки из системы.

Система состоит из (рис. 1) [12]:

1. Дисковый фильтр механической очистки с диаметром пор 130 мкм.
2. Система пропорционального дозирования коагулянта.
3. Фильтр с гранулированной загрузкой.
4. Фильтр с мультикомпонентной загрузкой.

5. Картриджный фильтр механической очистки с диаметром пор 10 мкм
Технология «Гейзер».

В пользу технологии «Гейзер» служит ее высокая технологичность, возможность создания конструкций любых размеров, введение в состав любых наполнителей, изменение размеров пор и других элементов, а также простота регенерации. Фильтры для очистки воды на основе технологии «Гейзер» представляют собой картридж или фильтр – патрон. Технология является уникальной, потому что она сочетает в себе одновременно свойства механических и сорбционных фильтров и ионообменных смол. При рассмотрении под микроскопом материал фильтра представляет собой шарики полимера размером порядка единиц микрон, сросшиеся между собой в различных точках контакта (рис. 2.).

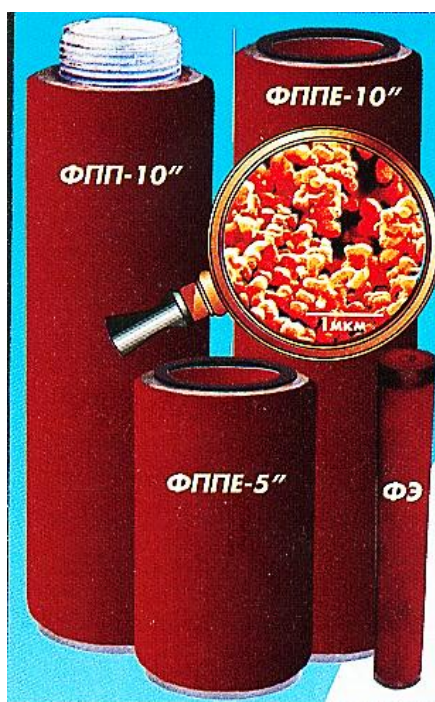


Рис. 2. Фильтр «Гейзер»

Эти шарики обладают ионообменными свойствами, так как в нейтральную среду полимера введены «ионообменники» – активные группы, удерживающие ионы натрия. Поскольку полимеризация материала не происходит по всему объёму вещества сразу, а начинается в большом количестве различных центров полимеризации, вокруг них образуются глобулы – группы из нескольких до десяти

сросшихся шариков. Расстояние между глобулами составляет от 1 до 5 мкм, расстояние между шариками в пределах глобулы от 0,2 до 0,8 мкм. Поверхность одного кубического сантиметра фильтрующего материала составляет порядка 500 кв. метров. На начальном этапе полимеризации в будущий фильтр-патрон также добавляют серебро в коллоидной или металлической форме. После полимеризации материала частицы серебра оказываются заклиненными между ионообменными шариками.

Сильно развитая внутренняя поверхность фильтрующего материала, его высокие ионообменные свойства и содержание активного серебра позволяют очищать воду несколькими способами одновременно:

1-й этап: механическая очистка. На поверхности фильтра оседают взвешенные частицы и не растворённые вещества размером до 1 мкм.

2-й этап: ионный обмен и сорбция. Проходя сквозь фильтр воды загрязнённой различными химическими примесями, ионы металла вытесняют ионы натрия и радиоактивных металлов и соли жёсткости, расщепляются хлорорганические соединения, хлор переходит в газообразную фазу и при открытии крана легко испаряется из воды. Даже после насыщения «ионообменников» ионами солей жёсткости, фильтр продолжает работать: не удаляя соли из воды, он изменяет их структуру.

При прохождении воды сквозь фильтр «Гейзер» происходит разделение солей жёсткости на отдельные молекулы. Это создаёт благоприятные условия для изменения структуры солей жёсткости из кальцитов в арагониты, что делает воду пригодной к употреблению без кипячения.

3-й этап: обеззараживание. При контакте воды с металлическим или коллоидным серебром происходит инактивация микроорганизмов. Фильтр полностью удаляет бактерии из воды при пористости от 0,05 до 0,5 мкм, если все-таки бактерии смогли пройти сквозь фильтр и остались в воде, то после воздействия серебра бактерии теряют возможность развиваться и размножаться [12].

Бактерицидное воздействие ультрафиолетовым излучением

Для обеззараживания подземных вод бактерицидное загрязнение не столь актуально, так как в подземных водах без доступа кислорода большинство бактерий и вирусов не выживают. В то же время ввод неконтролируемых скважин увеличивается, часть из них не содержит изоляции между водоносными пластами, поэтому часть поверхностных вод проникает в водоносные пласты, из которых вода забирается для потребления. В этом случае требуется дополнительная обработка воды против содержания грибковой и микробной фауны. Большинство микроорганизмов погибает при облучении их ультрафиолетовым излучением (УФ).

Воздействие УФ излучения рекомендуется, когда количество бактерий группы кишечной палочки в 1 л (коли-индекс) – не более 100 единиц, содержание железа не превышает значения ПДК, то есть не более 0,3 мг/л, а также мутность не должна превышать 2 мг/л.

Максимальный бактерицидный эффект имеют лучи ультрафиолета с длиной волны от 200–295 нм.

Установки обеззараживания воды ультрафиолетом имеют простую конструкцию и представляют собой металлические трубки, в которых размещаются ультрафиолетовые лампы (рис. 3). Основными элементами фильтров являются кварцевые чехлы, в которых располагаются лампы, также они являются необходимой мерой для предотвращения попадания воды в корпус самой лампы и лампы.

Лампа – источник ультрафиолетового излучения. Ультрафиолетовое излучение образуется в процессе испарения в корпусе лампы того или иного металла. Наиболее распространенным материалом для ламп является ртуть, которая и используется для УФ обеззараживания воды.

Для уничтожения бактерий необходимо контролировать длину волн, излучаемых лампами.

Принцип работы бактерицидного фильтра заключается в том, что вода проходит через корпус фильтра УФ обеззараживания воды, омывает кварцевый чехол и получает необходимую дозу ультрафиолетового облучения.

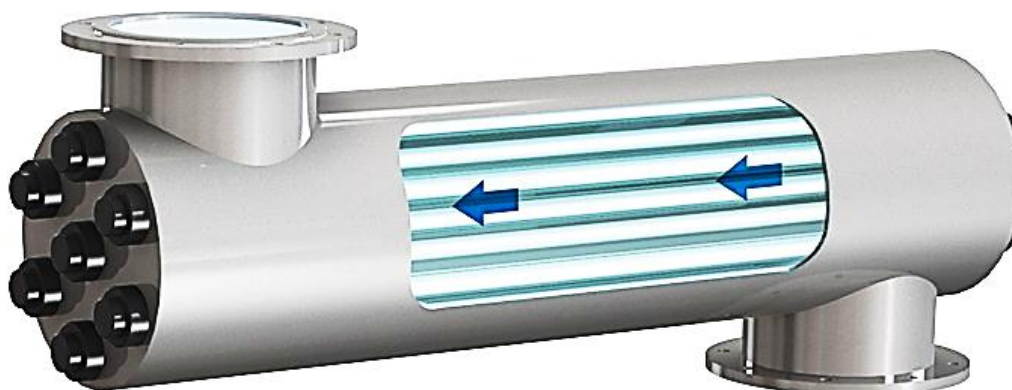


Рис. 3. Установка бактерицидного обеззараживания с использованием УФ-излучения [15]

Применение ионообменной фильтрации для очистки воды

Система очистки с ионообменным фильтром происходит в 2 этапа.

Первый этап: механическая очистка воды от крупных взвешенных твердых примесей, диаметром больше 20 мкм с использованием картриджного фильтра. Без фильтра грубой очистки обойтись невозможно, так как нельзя гарантировать, что в воде не будет мелких песчинок, ила, органических волокон. Внутри картриджный фильтр представляет собой полый цилиндр, стенки которого выполняют фильтрующую функцию. Вода при движении через фильтр поступает во внешний объем стакана, проникает сквозь стенки фильтра в его внутреннюю полость, и оттуда движется к выходному отверстию фильтра.

Второй этап: вода проходит через слой запатентованного ионообменного фильтрующего материала, который обладает способностью эффективно очищать воду из скважины или иного источника одновременно от жесткости, железа, марганца и некоторых других загрязнений.

Ионообменная смола – твердое на ощупь неорганическое вещество, которое имеет пористую структуру. В составе смолы содержатся всевозможные функци-

ональные добавки, способные выполнять реакцию ионного обмена. Выпускаются такие смолы в виде гранул произвольного размера, форма которых зависит от метода их производства: если смола изготовлена в процессе полимеризации – она будет иметь шарообразную форму, если посредством поликонденсации – гранулы будут обладать неправильной формой. Во время взаимодействия с водой смола имеет свойство набухать. Смола обладает высокой пропускной способностью и мельчайшими по размерам зернами, что улучшает качество очистки и значительно убыстряет сам процесс, особенно в сравнении с применением привычных смол для ионообмена. При этом данный материал очень долговечен, и замена требуется лишь спустя значительный срок эксплуатации.

Для восстановления работоспособности реагента, в основном, применяется раствор из обычной поваренной соли. Однако восстановление солью не возвращает смоле все её первоначальные свойства, поэтому, после определенного количества отработок, смола полностью вырабатывается и подлежит замене. При правильно выполняемом регулярном восстановлении можно рассчитывать на 3 года её эксплуатации.

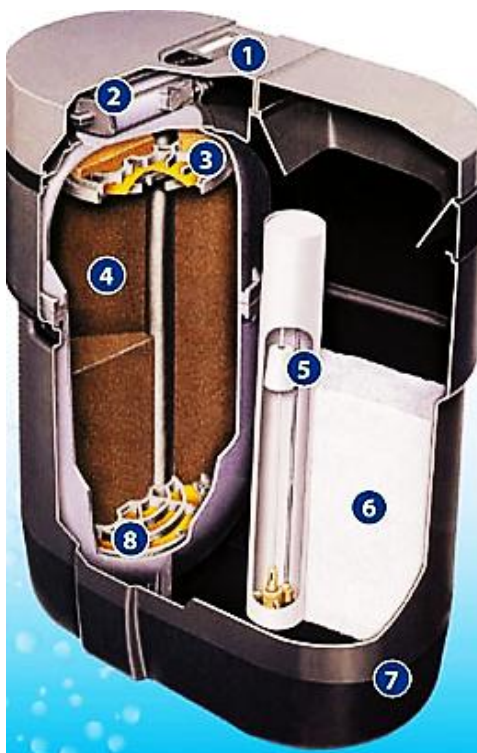


Рис. 4. Компоновка ионообменного фильтра «Аквадин-про»:

1. Автоматический контроллер с ЖК дисплеем.
2. Рабочий клапан с водосчетчиком.
3. Самоочищающийся механический фильтр (20 микрон).
4. Монодисперсная смола премиум-класса.
5. Клапан солевой емкости.
6. Вместительная солевая емкость.
7. Прочный компактный корпус.
8. Запатентованная система распределения потока [14]

Применение лавиностримерных разрядов для очистки воды

В установке формирующей лавиностримерный разряд, роль высоковольтного электрода с высоким градиентом электрического поля выполняют иглы или система проводов над поверхностью воды. Вода служит вторым плоским, заземленным электродом. Активные процессы протекают в объеме газа между ионизирующими электродами и поверхностью воды. Разряд с ионизацией газа способствует появлению оптического и ультрафиолетового излучения, которое занимает весь межэлектродный промежуток и образуются молекулы газа, способные вызывать окислительные процессы, а движение лавин и стримеров создают электромагнитные излучения (ЭМИ). Потоки ионов и электронов, достигающие по-

верхности воды, обеспечивают продвижение зарядов в толще воды и обеспечивают электролизные процессы. Возникающие процессы с лавиностримерными разрядами возможны, когда стримеры не переходят в лидерные и искровые разряды. Это достигается путем создания высоковольтных, микросекундных импульсов с наносекундным фронтом нарастания напряжения.

При создании генератора импульсов использовали упрощенную схему с применением буферной резонансной индуктивности, которая выполняет роль ограничивающего сопротивления. При этом увеличивается максимальный ток устойчивого разряда, увеличивается ионизация вблизи высоковольтного электрода, в десятки раз увеличивается ток по сравнению с классической короной, разряд формируется в промежутках нескольких сантиметров. Стримерный разряд, за счет резонансной индуктивности в разрядной цепи не переходит в искровой разряд, благодаря чему и не возникает короткое замыкание между электродами. Лавины электронов за счет большой крутизны напряжения на проводах, возникают не одиночно, а во многих точках высоковольтного электрода и одновременно движутся к плоскости, вызывают появление стримеров. Лавины и стримера, движущиеся от провода к плоскости заполняют весь разрядный промежуток. При малой длительности импульсов стримера не успевают пройти разрядный промежуток и возникает ионизация и свечение во всем разрядном промежутке.

Общая схема и источника с разрядной камерой представлена на рис. 5.

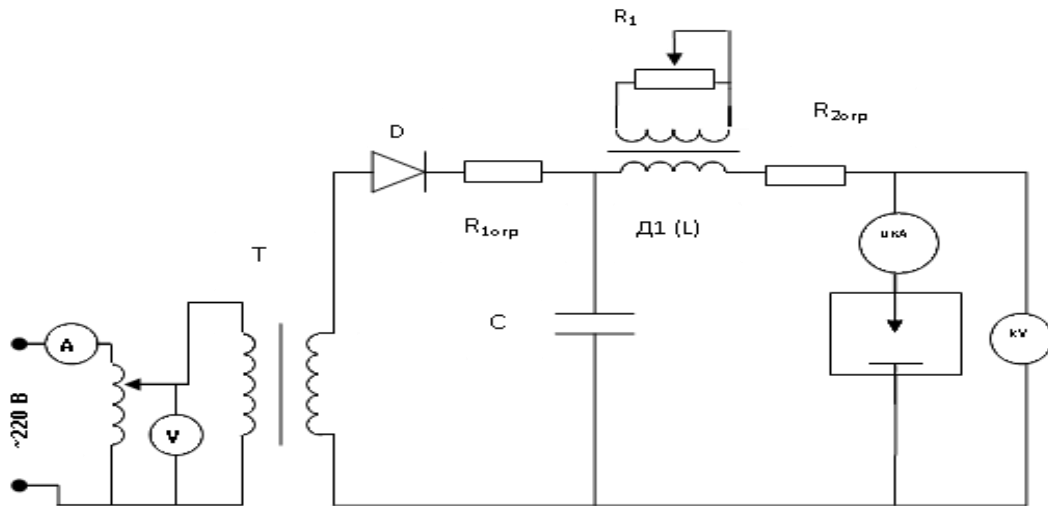


Рис. 5. Принципиальная схема питания разрядного промежутка для создания ЛСР

Резонансная индуктивность в данном источнике реализована в качестве дросселя подмагничивания Д1. Дроссель включен в последовательную цепь высоковольтного источника постоянного тока и реактора с лавиностримерным разрядом. Регулировку индуктивности дросселя производят путем изменения количества витков, изменением величины зазора в магнитопроводе дросселя, изменением тока подмагничивания, что реализовано в данной схеме. Изменение частичных емкостей и индуктивностей в дросселе производилось выбором намотки обмоток и расположением витков друг относительно друга. Они и обеспечивают резонансное изменение напряжения и тока для реактора [7].

Напряжение на иницирующих разряд электродах с резким увеличением тока обеспечивается именно частичными емкостями и индуктивностями, а когда оно достигнет пробивного, возникает падение потенциала за счет разрядки частичных емкостей, а частичные и общая индуктивности в разрядной цепи уменьшаются и токи в разрядном промежутке и разряд прекращается. Резонансные частичные емкости и индуктивности обеспечивают появление импульсов с наносекундными фронтами и микросекундной длительностью.

Напряжение для организации лавиностримерного разряда, полученное с резонансной индуктивностью, имеет преимущество по сравнению с установками формирующими разряд с помощью электронных высоковольтных коммутаторов

в том, что в схеме используется простой источник постоянного тока и резонансный индуктивный импеданс, обеспечивающий режим пульсаций напряжения с формированием коротких импульсов напряжения, позволяющий формировать лавиностримерный разряд [7].

Воздействие на соли тяжелых металлов в воде с помощью ЛСР

Разряд над поверхностью воды может обеспечивать не только в межэлектродном промежутке ультрафиолетовое излучение, но и способствовать получению в образуемой низкотемпературной плазме химически активных газовых молекул озона, обеспечивать появление над водой атомарного кислорода, озона, и гидроксильных групп OH^\cdot . Кроме того, в разряде формируются сверхвысокочастотные излучения, гигагерцового и терагерцового диапазонов частоты.

Применение лавиностримерных разрядов над поверхностью воды обеспечивает комплексную очистку. При этом оказывается воздействие на ионы металлов, которые присутствуют в воде в виде солей, на органические вещества природного и антропогенного происхождения. Таким образом разряды над поверхностью воды обеспечат комплексное воздействие на растворенные в воде элементы.

Установка с ЛСР представлена на рис. 6. Она содержит реактор (1), входы для растворов воды и воздуха (2), выходные патрубки для очищенной воды (3) и воздуха с озоном (8). Растворы для очистки воды подаются в реактор с электропроводящим основанием (5). Источник высокого напряжения ИВН через резонансный ограничитель (6) обеспечивает подачу напряжения 40 кВ к электродам с малым радиусом кривизны (7). Благодаря ограничителю на электродах формируются импульсы напряжения 0,5–1,0 мкс с наносекундным фронтом.

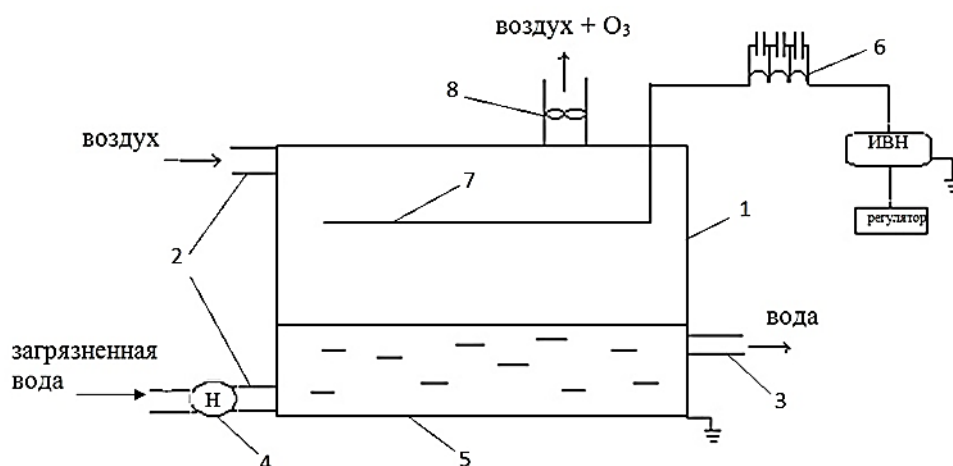


Рис. 6. Схема установки с лавиностримерным разрядом

В разрядном промежутке над поверхностью раствора возникает лавиностримерный разряд. Объемная форма разряда в промежутке провод – плоскость представляет собой параболические силовые линии, вершины которых расположены на коронирующем электроде, а ветви стримерных разрядов отклоняются от оси разряда на расстояние, соответствующее межэлектродному расстоянию и по нормали входят в плоскость водной поверхности. Внутри параболы наблюдается периферийная зона фиолетового свечения, а центральная область имеет бледно-голубой цвет с хорошо заметными увеличениями интенсивности свечения у анода и катода [1–6; 9–11; 13].

Выбранная система очистки приведена на рис. 7.

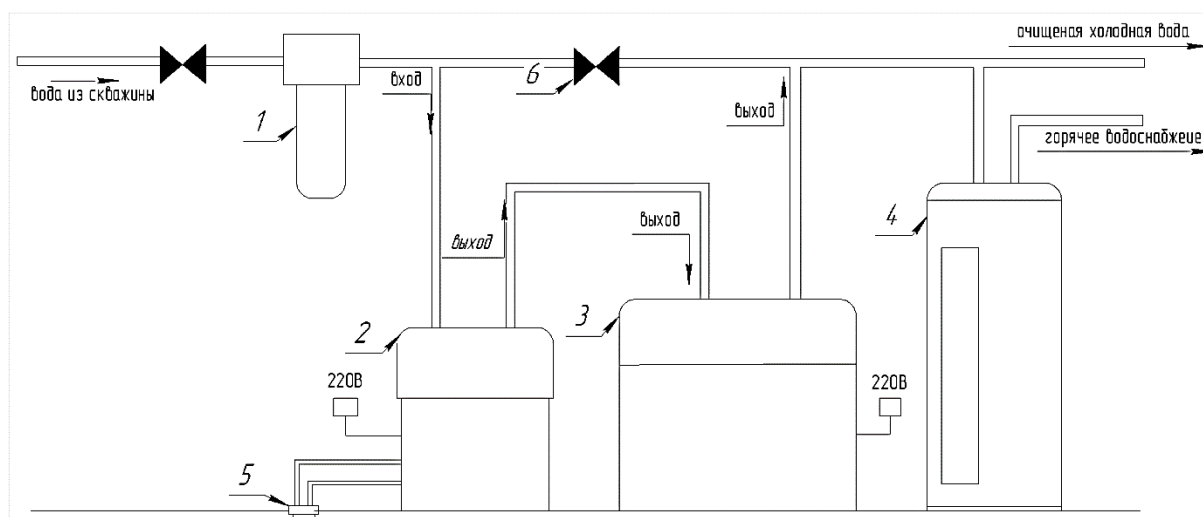


Рис. 7. Принципиальная схема комбинированной системы очистки.

- 1 – фильтр механической очистки; 2 – ионообменный фильтр Aquadean-PRO;
 3 – газоразрядная установка с применением ЛСР; 4 – водонагреватель;
 5 – дренажная система; 6 – кран водонапорный

Для анализа включений компонентов загрязняющих веществ в воде использовался прибор МАП-1, работающий на потенциометрическом методе анализа воды. Потенциометрический метод анализа основан на использовании зависимости электродвижущей силы (ЭДС) электрохимической цепи от концентрации анализируемого иона [7].

Исследовалось влияние разряда на содержащиеся в воде ионы тяжелых металлов. Рис.9 демонстрирует содержание ионов свинца Pb^{+} в воде, выявленное с помощью мультисенсорного анализатора МАП-01 [15]. На диаграмме рис. 8, показано изменение ионов свинца до воздействия лавиностримерного разряда и после него. Наличие ионнообменного потенциала, обусловленное наличием концентрации ионов Pb^{+} соответствует следующим пробам воды: 1 – дистиллированной воде, 2 – речной воде при отсутствии воздействия разряда; 3 – при воздействии на речную воду разряда в течение 2 мин., 4 – на речную воду в течение 5 мин.; 5 – соответствует состоянию водопроводной воды без воздействия разряда, 6 – водопроводной воде при воздействии разряда в течение 2 мин.; 7 – демонстрирует содержание свинца в техническом отстойнике без воздействия разряда.

Повышенное содержание ионов свинца в отстойной воде свидетельствует о высоком содержании ионов в сточных водах для подвальных помещений. Установлено, что разряд уменьшает общее количество свободных ионов свинца.

В основе фотометрического метода лежит способность определяемого вещества поглощать электромагнитное излучение оптического диапазона. Концентрацию поглощающего вещества определяют, измеряя интенсивность поглощения.

Поглощение при определенной длине волны является информацией о качественном и количественном составе определяемого вещества и составляет аналитический сигнал. Фотометрический анализ относится к молекулярному абсорбционному анализу, т. е. анализу основанному на поглощении света молекулами анализируемого вещества и сложными ионами в ультрафиолетовой (УФ), видимой и инфракрасной (ИК) областях спектра.

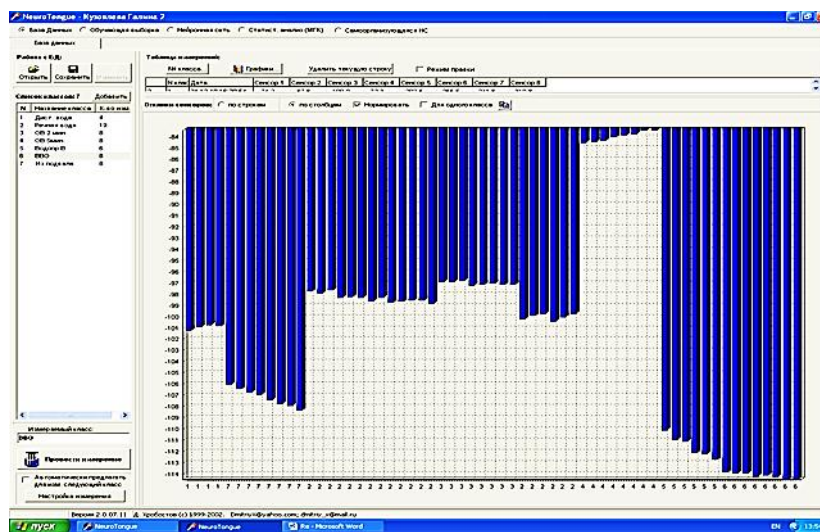


Рис. 8. Изменение содержания ионов свинца в воде разной природы и после воздействия лавиностримерного разряда

Таблица 1

Сравнение рассмотренных систем очистки воды

Система очистки воды	Достоинства	Недостатки	Стоимость системы
1	2	3	4
комбинированная система очистки, состоящая из ионообменного	– простота в обслуживании;	– большие габариты системы;	стоимость системы опреде-

<p>фильтра и газоразрядной установки с лавиностримерным разрядом</p>	<ul style="list-style-type: none"> – отсутствие использования реагентов; – комплексная очистка от тяжелых металлов, солей жесткости, органических включений; – высокая надежность и продолжительность действия; – самостоятельная регенерация ионообменной смолы; – срок службы смолы более 10 лет 	<ul style="list-style-type: none"> – необходимость установки защиты от воздействия озона и электромагнитных полей; – относительно высокая стоимость 	<p>ляется расходом воды, ее минерализацией, содержанием специфических элементов таблицы Менделеева.</p>
<p>система очистки воды «Гейзер 1»</p>	<ul style="list-style-type: none"> – компактность; – удаляет из воды коллоидные и органические соединения; – эффективное удаление солей жесткости (умягчение); – высокая эффективность по железу и марганцу; – дренажные воды безопасны для септиков; – срок службы более 5 лет 	<ul style="list-style-type: none"> – не действует на бактерии; – не обходится от применения реагентов; – не действует на вирусы; – не действует на комплекс загрязнений в виде тяжелых металлов, избыток NaCl; – необходимость удаления осадка после коагуляции 	<p>стоимость системы определяется расходом воды, ее минерализацией, содержанием специфических элементов таблицы Менделеева.</p>
<p>технология «Гейзер»</p>	<ul style="list-style-type: none"> – компактность; – комплексная система обработки воды; – простота регенерации; – дешевизна 	<ul style="list-style-type: none"> – возможное пере насыщение воды ионами тяжелого металла – серебра; – частота замены картриджа; – маленькая пропускная способность 	<p>стоимость системы определяется расходом воды, ее минерализацией, содержанием специфических элементов таблицы Менделеева.</p>
<p>бактерицидное воздействие УФ излучением</p>	<ul style="list-style-type: none"> – отсутствие реагентов; – ультрафиолет воздействует на все виды микроорганизмов; – вода сохраняет свои физические, химические и вкусовые свойства; – отсутствие ограничений по пределам дозирования; – компактность 	<ul style="list-style-type: none"> – относительно высокая стоимость; – затраты на кварцевые лампы; – затраты электроэнергии; – мутность воды должна быть не более 2 мг/л, содержание железа не более 0,3 мг/л 	<p>стоимость системы определяется расходом воды, ее минерализацией, содержанием специфических элементов таблицы Менделеева.</p>

Рассмотрены системы очистки, наиболее активно используемые для очистки подземных артезианских вод, такие как «Гейзер», «Гейзер – 1», комплексная система, состоящая из ионообменного фильтра Aquadean-PRO и газоразрядной установки, а также система бактерицидного обеззараживания.

Также был проведен сравнительного анализ воды на тяжелые металлы до и после системы очистки с помощью прибора МАП – 1 и эксперименты по определению железа фотометрическим методом.

Показано, что наиболее эффективной из систем очистки воды является комбинированная система, которая состоит из ионообменного фильтра и электроразрядной установки с применением лавиностримерного разряда. Было установлено, что выбранная система имеет ряд преимуществ по сравнению с рассмотренными системами. Такие преимущества, как простота в обслуживании, отсутствие использования реагентов, комплексная очистка от тяжелых металлов, солей жесткости, органических включений, высокая надежность и продолжительность действия, а также самостоятельная регенерация ионообменной смолы.

В результате проведения эксперимента было показано, что система, состоящая из ионообменного фильтра со встроенным механическим фильтром, справляется с очисткой артезианской воды только от тяжелых металлов и солей жесткости, но не удаляет вредоносные бактерии и вирусы, и поэтому нам необходимо использовать ЛСР установку для удаления органических включений.

Список литературы

1. Chen F.F. Lecture Notes on Principles of plasma processing. – Los Angeles Plenum // Kluwer Publishers, University of California. – 2002. – 249 p.
2. Sekine Y. Effective utilization of electrical discharges for hydrogen production // International Journal of Plasma Environmental Science and Technology. – 2008. – Vol. 2. – P. 72–75.
3. Sunka P. Generation of chemically active species by electrical discharges in water // Plasma Sources Science and Technology. 1999. – Vol. 8. – №2. – P. 258–260.
4. Богма М.В. Влияние обработки низкотемпературной плазмой на химический состав и микробиологические показатели лекарственного растительного

сырья / М.В. Богма, Н.А. Османова, А.А. Ерузин [и др.] // Химия растительного сырья. – 2011. – №1. – С. 137–140.

5. Дурибе В.Ч. Удаление ионов железа из водных растворов окислительным методом // Успехи химии и химической технологии. – 2011. – №5 (121). – С. 58–63.

6. Ефремов, А. М. Вакуумно-плазменные процессы и технологии / А.М. Ефремов, В.И. Светцов, В.В. Рыбкин. – Иваново: ГОУВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т, 2006. – 260 с.

7. Инструкция по эксплуатации МАП-01 (описание измерительного прибора). – СПб., 2010. – 20 с.

8. Кондратьева О.Е. Очистка воды от загрязняющих веществ путем использования лавиностримерных разрядов / О.Е. Кондратьева, И.В. Королев, А.В. Кухно, Л.М. Макальский, О.М. Цеханович // Известия Самарского НЦ РАН. – 2015. – Т. 14. – №5 (2). – С. 673–677.

9. Кондратьева О.Е. Аппараты очистки воды электроразрядными методами [Текст] / О.Е. Кондратьева, О.Е., И.В. Королев, А.В. Кухно, Л.М. Макальский, В.В. Скибенко. – М.: Изд. дом МЭИ, 2017. – 63 с.

10. Кухно А. Очистка минерализованных вод подземной откачки / А.В. Кухно, Л.М. Макальский, О.М. Цеханович // ГИАБ. – 2016. – №11. – С. 266–276.

11. Максимов А.И. Влияние тлеющего разряда на кислотность растворов электролитов / А.И. Максимов, А.В. Хлюстова, С.В. Трошенкова // Электронная обработка материалов. – 2004. – №6. – С. 31–35.

12. Настольные фильтры Гейзер-1. ИнТеКо ООО группа компаний АКВА-МАСТЕР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: aquamaster.net.ru/catalog/geizer/geizer1.htm

13. Полак Л.С. Очерки физики и химии низкотемпературной плазмы [Текст] / Л.С. Полак. – М.: Наука, 1971. – 436 с.

14. Профессиональный фильтр AQUADEAN PRO (Аквадин ПРО). ППУ XXI век [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.ppu21.ru/article/710.html?mc=324

15. Ультрафиолетовое (УФ) обеззараживание воды. ООО «Сварог» (Москва) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: svarog-uv.ru/uvwater.htm