

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ

**Литвинов В.А., Марсакова Е.В., Юкова К.В.
Оренбургский государственный университет**

Доступ к безопасной питьевой воде имеет ключевое значение для здоровья, является одним из основных прав человека и составной частью эффективной политики в области охраны здоровья [1].

По данным нового совместного доклада ВОЗ и ЮНИСЕФ, трое из десяти человек в мире (2,1 миллиарда) не обеспечены доступным водоснабжением по месту жительства [2]. Заболевания, передающиеся через воду, являются причиной 80% болезней и одной третьей всех смертей в развивающихся странах, при этом 88% заболеваний вызваны плохими санитарно-гигиеническими условиями и загрязнением источников водоснабжения [3].

В большинстве поверхностных и части подземных вод обитает большое количество разнообразных микроорганизмов: бактерий, вирусов, простейших, водорослей и грибов. Содержание в воде инвазионных яиц остриц, аскарид, власоглавов, карликового цепня создает угрозу заражения людей при использовании воды для питьевых целей и способствует распространению таких гельминтозов, как аскаридоз, энтеробиоз, гименолепидоз.

Для хозяйственно-питьевых нужд населением потребляется вода централизованной и нецентрализованной систем питьевого водоснабжения. Под нецентрализованным водоснабжением подразумевается использование жителями подземных источников, забор которых осуществляется путем устройства специального оборудования – водозаборных сооружений без разводящей сети водоснабжения.

Наиболее близко к земной поверхности (от 3 до 5 м) в первом водоносном горизонте залегают почвенные воды – «верховодка», не имеющие защиты в виде водоупорного слоя. Талые и дождевые воды, инфильтрированные в подземные водоносные горизонты, химические вещества, минеральные и органические удобрения и пестициды, применяемые садоводами для подкормки растений, просачиваются в почву и сказываются на качестве воды. Другой проблемой является эпидемическая безопасность в паразитологическом отношении: источниками кишечных паразитов являются фекалии животных, проникающие с жидкими нечистотами из неправильно устроенных туалетов, выгребных ям и хозяйственно-бытовые сточные воды. Так как грунт не в состоянии отфильтровывать растворенные загрязнения, неочищенные воды ведут к отравлению водных горизонтов, поэтому использовать поверхностную воду следует только в технических целях или для полива.

Питьевую воду высокого качества – артезианскую воду получают с помощью бурения скважин на глубине от 30 до 250м. Такая вода имеет высокую минерализацию за счет глубокого залегания и минимальное содержание вредных примесей, остатков удобрений и химических веществ. Однако обустраивать скважины различной глубины заложения без привлечения специалистов, с нарушениями санитарных правил и считать эту воду заведомо доброкачественной при отсутствии признаков ухудшения органолептических показателей не следует, так как хороший внешний вид, запах и вкус не гарантируют безопасность питьевой воды [4]. Пригодность артезианской воды для питья можно установить только после взятия проб. Полный химический анализ позволяет оценить соответствие исследуемой воды существующим санитарным нормам, оценить качество очистки фильтрующим оборудованием.

Большая часть населения, проживающая в городах, имеет доступ к централизованной системе водоснабжения, представляющей собой совокупность трубопроводов, посредством которых население обеспечивается водой. В ходе обеспечения населения централизованным водоснабжением выявляются следующие проблемы: недостаточная очистка воды, связанная с ухудшением качества используемых источников, а также износ существующих очистных сооружений водопровода и водопроводных сетей, построенных в 70-80гг. прошлого века и не рассчитанных на современные объемы и состояние очищаемой субстанции; а также коррозия труб, приводящая к появлению брешей в трубопроводах, через которые к потребителю поступает грязь.

Способы очистки трубопроводной воды отличаются в зависимости от наличия в сточных водах определенных загрязнителей. Очистка сточных вод должна происходить непосредственно в местах их происхождения с соблюдением требований экологической безопасности.

Последовательность очистки питьевой воды водоканалами в России включает в себя следующие процессы: отстаивание воды; коагуляцию сульфатом алюминия или другими коагулянтами; пропускание через песок с обратной промывкой; обработку ультрафиолетовыми лампами для уничтожения микроорганизмов; хлорирование.

Хлорирование, как основной метод реагентного обеззараживания воды, основанный на использовании хлоросодержащих веществ, обладает повышенной эффективностью и экономичностью технологического процесса, позволяет не только очистить воду от нежелательных органических и биологических примесей, но и полностью удалить растворённые соли железа и марганца, обеспечить микробиологическую безопасность воды при её транспортировании пользователю благодаря эффекту последствия. Существенный недостаток хлорирования – присутствие в обработанной воде свободного хлора, ухудшающего её органолептические свойства и являющегося причиной образования побочных галогенсодержащих соединений [5].

Обработка ультрафиолетовым излучением (УФ) – безопасный и эффективный физический метод дезинфекции воды. Применяемый

бактерицидный свет с длиной волны 254 нм действует на клеточный обмен, на ферментные системы бактериальной клетки, уничтожает не только вегетативные, но и споровые формы бактерий, не ухудшает органолептические свойства воды, не образует вторичные токсины. Однако УФ-обработка не обеспечивает пролонгированного действия, кроме того в связи с рассеиванием лучей снижается эффективность УФ-обеззараживания [6].

Большое многообразие состава вод различного происхождения из подземных и поверхностных источников препятствуют созданию универсального метода доведения качества воды до нормативных требований. Очистка воды, является двухстадийным процессом и состоит из процесса обработки воды, выполняемого с целью активации окислительно-восстановительных реакций для перевода примесей в газообразные или твердые нерастворимые формы, а также ускорения коагуляционных процессов, и процесса фильтрации. В настоящее время среди новых технологий по обработке и обеззараживанию воды наиболее перспективными являются окислительные фотохимические технологии, объединенные термином Advanced Oxidation Processes (AOP), включающие методы одновременного воздействия УФ-излучения и естественных для природной среды окислителей (озона, перекиси водорода и др.). К технологиям AOP можно отнести применение импульсного электрического разряда в многофазной среде.

Электроимпульсная технология обработки воды предназначена для очистки и обеззараживания воды из подземных источников до качества, соответствующего требованиям СанПиН; для очистки и обеззараживания сточных вод с большим содержанием ионов тяжелых металлов, мышьяка; для очистки, обеззараживания и повторного использования промывных вод на городских водозаборах; для обеззараживания шахтных вод горнорудных комбинатов.

Технологический процесс является экологически чистым и включает в себя аэрацию, электроимпульсную обработку воды и фильтрацию.

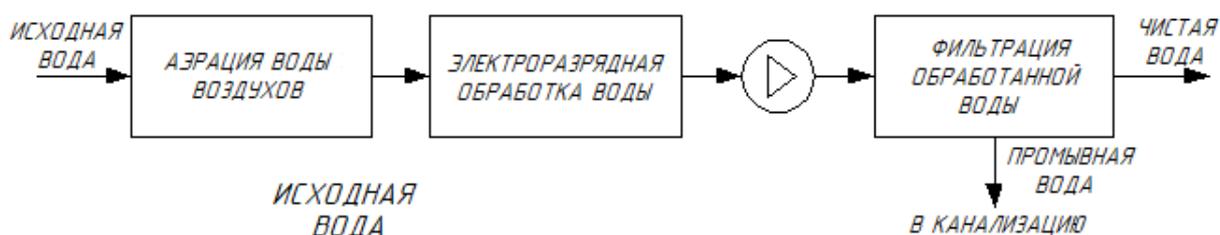


Рисунок 1 – Последовательность технологического процесса электроимпульсного способа

В качестве аэратора используется противопоточная вентиляционная градирня. Входная вода распыляется эжекторами Э1,2 и по хордовой насадке аэратора стекает сверху вниз. Воздух вентилятором подается навстречу потоку воды снизу вверх. Аэрационная колонна и эжектор является первой ступенью обработки воды, с помощью которой происходит удаление растворенных в воде

газов: свободного углекислого, сероводорода, метана, и других, а также окисление легкоокисляемых загрязнителей.

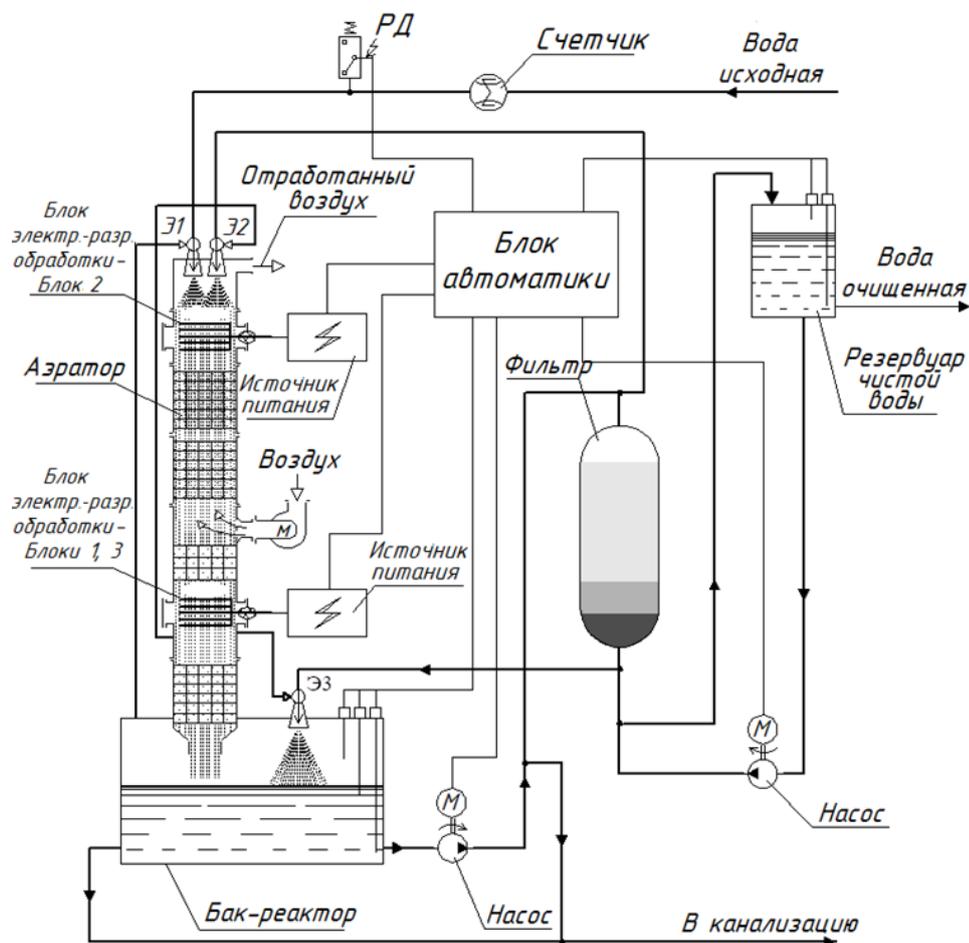


Рисунок 2 – Схема электроимпульсной установки

Электроразрядное устройство состоит из блоков №1, №2 и №3, которые обеспечивают три различных способа электроразрядной обработки воды.

Блок №1 состоит из источника питания и электродной системы, способен работать в воздухе с влажностью до 100% и позволяет в водо-воздушном потоке сформировать квазиобъемный разряд, в котором, наряду с развитием множества стримеров, наблюдается устойчивое свечение всего межэлектродного промежутка. Указанное воздействие на воду эффективно, так как реакционная способность у атомов кислорода во много раз выше, чем у озона, а радикал ОН является одной из самых активных промежуточных. При таком подходе реализуется синергетическое воздействие УФ-излучения и сильнейших (природных) окислителей. Максимальные энергозатраты на обработку воды в блоке №1 составляют всего 30 – 50 Вт·ч/м³. Аэратор и электроразрядный блок объединяются в колонну, за счет чего реализуется синергетическая и синтетическая эффективность обработки воды, которая позволяет с минимальными затратами скомпоновать комплекс производительностью от 0,5 м³/час до 200 м³/час и более. Первая ступень обработки воды совместно с блоком №1 обеспечивают полное окисление

широкого спектра загрязнителей воды, не изменяя при этом ее солевого состава.

Блок №2 (электроимпульсный коагулятор) интенсифицирует коагуляционные процессы как в потоке очищаемой воды, так и на поверхности фильтрующей загрузки, и включается в технологический процесс очистки подземной воды до питьевого стандарта, когда примеси в воде находятся в виде устойчивой мелкодисперсной взвеси или коллоидов, неудаляющихся при фильтрации зернистой загрузкой. Импульсный ток, подаваемый на электроды, генерирует в слое металлической загрузки электрические разряды, вызывающие диспергирование материала загрузки с образованием активных наночастиц металла, которые, вступая в реакцию с водой, образуют высокоэффективный сорбент. Энергопотребление блока №2 составляет 20 – 50 Вт ч/м³. Эффективность электроимпульсного коагулятора при очистке воды характеризуется снижением загрязнений: по ионам тяжелых металлов (Cr⁶⁺, Cu²⁺, Ni²⁺, Zn²⁺, Fe²⁺, Cd²⁺) на 95-99%, по токсичным металлам (Be, As) на 97-98%, по нефтепродуктам на 98-99%, по радиоактивным веществам на 74-85%, по микробиологическим загрязнениям на 97-99%.

Блок №3 – электроимпульсное устройство, инициирующее процессы кавитации в воде, значительно усиливает процессы коагуляции примесей, а также обеспечивает эффективное обеззараживание воды. Суть идеи заключается в генерировании ударной волны в импульсном режиме. За счет создания импульса тока определенной формы с большой скоростью нарастания переднего фронта удается создать давление во фронте ударной волны порядка 50 кбар, которого достаточно для уничтожения бактерий на расстоянии 1м от электродов. Применение блока №3 целесообразно в технологическом процессе очистки подземной воды до питьевого стандарта при наличии в ней мелкодисперсной взвесей или высокого бактериального заражения, что актуально для решения задачи повторного использования промывных вод на городских водоканалах и очистных сооружениях, а также обеззараживании шахтных вод. Указанное устройство может быть использовано отдельно от другого оборудования с целью обеззараживания воды и при этом позволяет уменьшать общее микробное число от значения 10⁶ – 10⁷ до значения менее 10 (коэффициент обеззараживания – более 10⁵ раз). Энергопотребление блока №3 составляет 20 Вт·ч/м³. Блок может быть использован отдельно и применен для обеззараживания сточных вод, а также любых жидкостей.

В баке-реакторе осуществляется дореагирование окислителей с оставшимися примесями, и завершаются процессы коагуляции и хлопьеобразования, в нем установлен эжектор ЭЗ, который выполняет функцию дополнительной ступени обработки воды озоном. Объем бака-реактора выбирается из условия, что вода, обработанная озоном, должна находиться в баке не менее 12 минут.

Таким образом, в зависимости от состава и состояния находящихся в воде примесей, а также в зависимости от целей водоподготовки (получение воды питьевого стандарта, очистка стоков, повторное применение промывных

вод, обеззараживание шахтных вод и т.п.) могут быть задействованы указанные способы электроразрядной обработки в различных комбинациях.

Электроимпульсный метод обработки воды от различных, в том числе органических, загрязнений представляет собой деструктивный метод, в основу которого, в отличие от регенеративных методов, удаляющих примеси из воды в твёрдую (адсорбция), газовую (десорбция) или неводную жидкую (экстракция) фазы, положено внесение химических изменений в структуру и состав молекул примесей. Наиболее действенным превращением является окисление веществ, которое также служит наиболее эффективным средством в отношении микроорганизмов, в том числе и патогенных.

Несмотря на то, что метод электроимпульсной обработки воды пока не получил широкого распространения на практике, технология очистки питьевой воды с использованием импульсных электрических разрядов является безреагентной, энергосберегающей и экологически чистой, а также более эффективной и высокоскоростной в сравнении с существующими технологиями по качественным и количественным характеристикам. Большая скорость действия позволяет обрабатывать воды в малогабаритных высокопроизводительных аппаратах, установленных прямо в потоке воды по месту применения без сложной массообменной аппаратуры. Эти обстоятельства, наряду с нечувствительностью к оптическим свойствам жидкости, позволяют эффективно использовать данный метод и в обработке сточных, речных, промывных и шахтных вод. Кроме того значительным преимуществом электроимпульсного метода является его малое энергопотребление. Эти особенности в лучшую сторону отличают данный метод от всех конкурирующих методов [7].

Список литературы

1. Руководство по обеспечению качества питьевой воды. Том 1: 3-е изд. – Женева, 2004. – 64 с.
2. 2,1 миллиарда человек лишены доступа к безопасному водоснабжению по месту жительства, и вдвое больше людей не имеет безопасных средств санитарии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2017/water-sanitation-hygiene/ru/>. – (дата обращения: 15.12.2017).
3. Заболевания, передающиеся через воду [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dettol.ru/illness-prevention/illnesses/waterborne-diseases/>. – (дата обращения: 15.12.2017).
4. Самофалова Н.А., Роль воды в распространении паразитозов на сооружениях нецентрализованного водоснабжения / Н.А. Самофалова // Пест-Менеджмент. Pest Management. – 2005. - №2. – С 44-48.
5. Методы обеззараживания воды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studwood.ru/1330649/ekologiya/metody_obezzarazhivaniya_vody. – (дата обращения: 16.12.2017).

6. Физические методы обеззараживания воды [Электронный ресурс].
– Режим доступа:
https://vuzlit.ru/691453/fizicheskie_metody_obezzarazhivaniya_pitevoy_vody. –
(дата обращения: 16.12.2017).

7. Разработка электроимпульсной технологии обработки воды и
промышленных стоков [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://pandia.ru/text/80/131/34544-6.php>. – (дата обращения: 17.12.2017).