

УДК 628.161.1; 628.16.017

UDC 628.161.1; 628.16.017

**РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА
БЕЗРЕАГЕНТНОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ**

**DEVELOPMENT OF THE NONCHEMICAL
WATER PURIFICATION SYSTEM**

Хан Валерий Алексеевич
д.т.н.

*Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск,
Россия*

Khan Valery Alekseevich
Dr.Sci.Tech..

Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk, Russia

Лернер Марат Изральевич
д.т.н.

*Институт физики прочности и материаловедения
СО РАН, Томск, Россия*

Lerner Marat Izraleovich
Dr.Sc.Tech.

*Institute of Strength Physics and Materials Science of
the S B RAS, Tomsk, Russia*

Мышкин Вячеслав Федорович
д.ф.-м.н., доцент

*Томский национальный исследовательский
политехнический университет, Томск, Россия*

Mishkin Viacheslav Fedorovich
Dr.Sci.Phys.-Math., associate professor

*National Research Tomsk Polytechnic University,
Tomsk, Russia*

Цхе Александр Алексеевич
руководитель проектно-конструкторского
технологического бюро

*Институт физики прочности и материаловедения
СО РАН, Томск, Россия*

Tshe Aleksander Alekseevich
head of the Design Department

*Institute of Strength Physics and Materials Science of
the S B RAS, Tomsk, Russia*

Приведена обобщенная технологическая схема водоподготовки и водоотведения, которая реализована в комплексе, предназначенном для получения питьевой воды из подземных и поверхностных вод. Описаны основные узлы и принцип работы комплекса. На примере комплекса для очистки воды Aqua Vallis P приведены основные параметры очистки и сделана сравнительная оценка методов очистки. Показано, что комплекс можно использовать и для доочистки стоков

The water treatment and water disposal generalized technological scheme implemented in a system of water extraction from the subterranean and surface water is represented. The basic units and work principle of a system are described. The main parameters of treatment are presented and a comparison of water treatment methods is done. It is shown that the presented system can be useful for wastes post-treatment

Ключевые слова: ВОДОПОДГОТОВКА,
ВОДООТВЕДЕНИЕ, АЭРАЦИЯ, ОЗОН,
НАНОВОЛОКНО, ФИЛЬТР

Keywords: WATER TREATMENT, WATER
DISPOSAL, AERATION, OZONE, NANOFIBRE,
FILTER

В настоящее время водопользование (*коммунальное водоснабжение*) относится к наиболее приоритетному направлению, т.к. около 84-86% всего объёма потребляемой воды используется для хозяйственно-бытовых целей. Значительное количество воды используется и в различных отраслях промышленности города, в зависимости от региональных особенностей.

В связи с этим разработка новых узлов, методов, фильтровальных материалов, технологий и современных методов водоподготовки и водоотведения относится к приоритетным направлениям.

В отличие от авторов некоторых работ в [1] строго разграничивается толкование терминов «водоподготовка» (*обработка воды, обеспечивающая ее использование в качестве питьевой или технической воды*) и «водоотведение» (*прием, транспортировка и очистка сточных вод*). Рис. 1. Иллюстрирует различие и основные положения толкования вышеуказанных терминов. Качество подготавливаемой воды для пищевых целей регламентируется СанПиН 2.1.4.1074-01. «*Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества*».

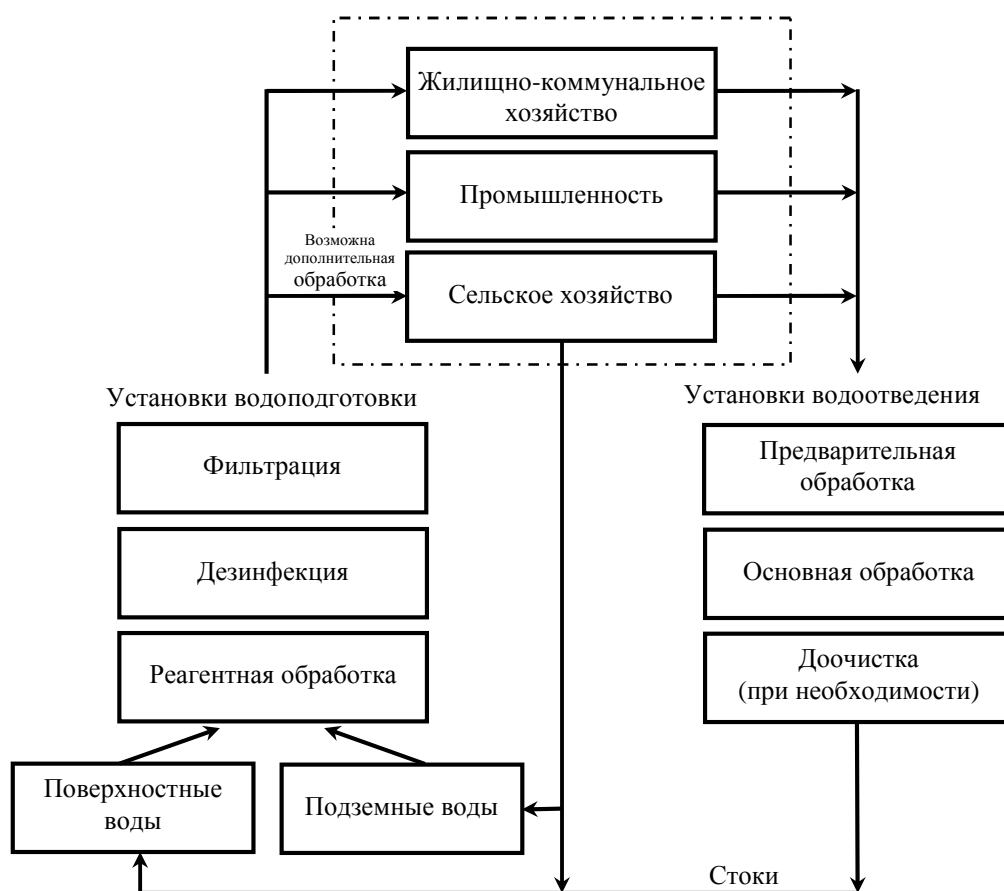


Рис. 1. Структурная схема водопользования.

Современные методы водоподготовки и водоотведения позволяют добиться стабильно высокого качества воды с меньшими затратами, повысить экологичность производства, и имеют в наличии основу для использования более технологичного и производительного основного оборудования, существенно повышая экономические показатели производства в целом.

В настоящее время в условиях напряжённой экологической обстановки с техногенными авариями и катастрофами, в условиях различных природных аномалий, и неудовлетворительного состояния самих систем это особенно актуально, поскольку изменение качества воды может произойти на любом этапе её подготовки, включая подачу и отведение.

На сегодняшний день практически все схемы водоподготовки включают в себя основные составляющие системы: аэрация-дегазация, обработка воды (реагенты, озонирование и др.) и фильтрование, рис. 2.

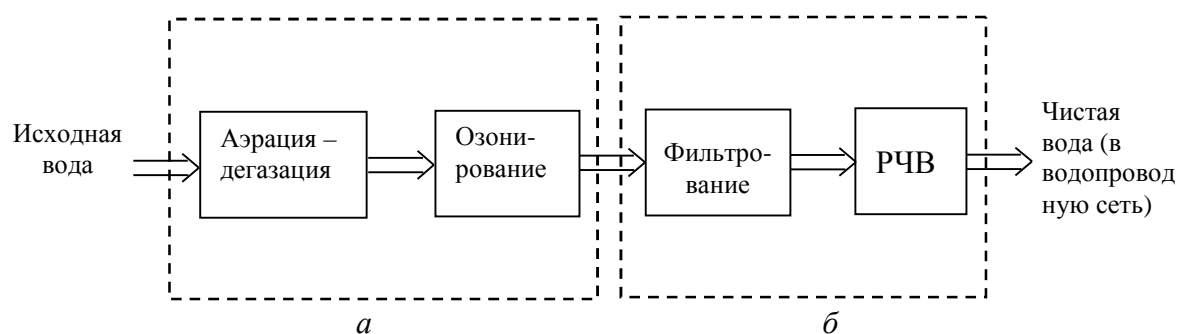


Рис. 2. Обобщенная технологическая схема системы

Каждый из перечисленных очистных элементов (методов) рис.1, 2 имеет ограничения по уровню оптимально-допустимого загрязнения исходной воды и предельным показателем качества воды, очищенной посредством данного элемента. При превышении некоторой величины исходного загрязнения наблюдается наращивание концентраций остаточных примесей в очищенной воде.

Технологическая схема водоочистного комплекса «Импульс» (рис. 3) была реализована в комплексе [2], предназначенном для получения

питьевой воды из подземных и поверхностных вод, соответствующей нормативным требованиям. Схема комплекса показана на рис. 3.

Основу технологической схемы (рис. 3) составляют: аэрация воды воздухом, совместная обработка воды озоном и УФ-излучением в электроразрядном блоке, работающем в водо-воздушной среде, фильтрация обработанной воды.

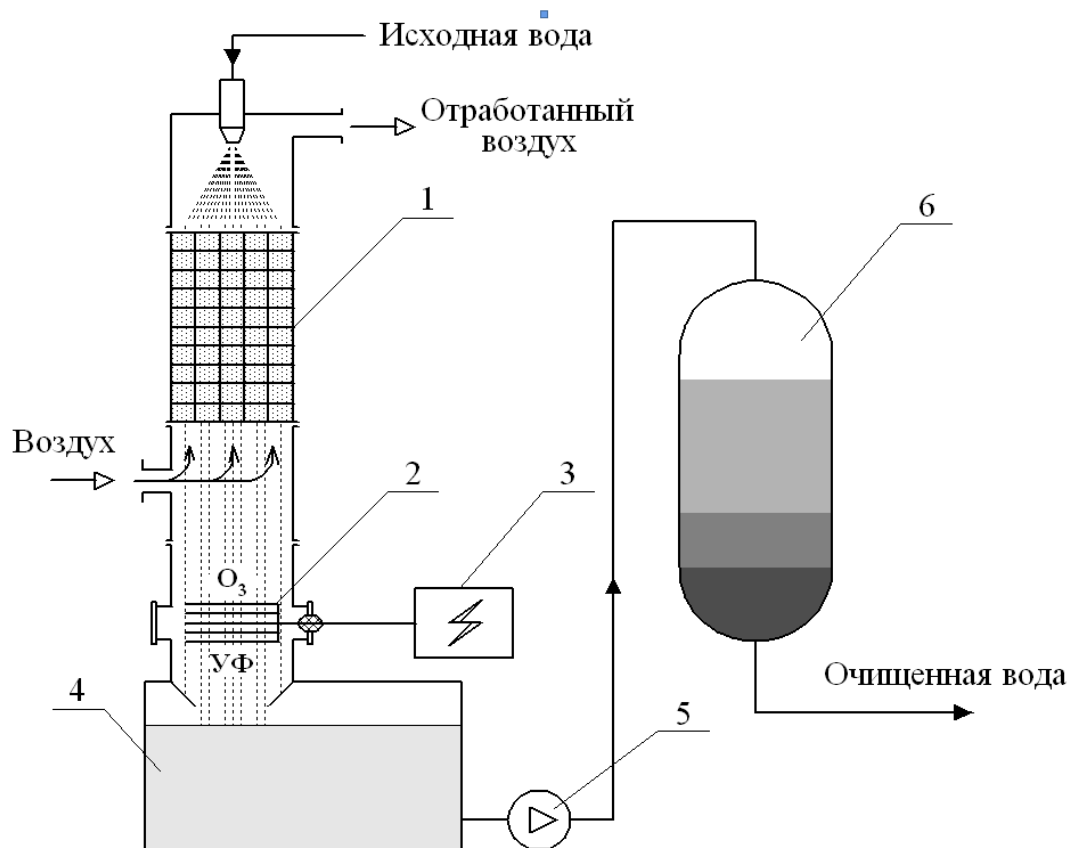


Рис. 3. Структурная схема водоочистного комплекса «Импульс» [2].

Где: 1 – аэратор, 2 – электродная система, 3 – источник питания, 4 – бак-реактор, 5 – перекачивающий насос, 6 – фильтр.

В состав комплекса входят противопоточный аэратор 1, блок электроразрядной обработки 2, 3, бак-реактор 4, водоперекачивающий насос 5 и фильтр 6. Аэратор и электроразрядный блок, объединены в колонну, которая, как правило, устанавливается на бак-реактор. Поскольку аэратор выполнен заодно с электроразрядным блоком, то водовоздушный поток в режиме свободного течения поступает и в этот блок. В электроразрядном

блоке происходит более глубокое каталитическое окисление оставшихся загрязнений и перевод загрязнений в формы, легко удаляемые фильтрацией. Кроме того, железо, окисленное в аэраторе, проходя через электродную систему, активируется и приобретает свойства высокоэффективного адсорбента, на котором сорбируются многие загрязнения (особенно тяжелые металлы), удаляемые системой фильтрации вместе с оксидами железа.

Энергопотребление процесса обработки воды электрическими разрядами не превышает 0.05 кВт.ч/м³.

Мощная система аэрации позволяет уже на первой стадии обработки удалять из воды растворенные в ней газы: углекислый, сероводород, метан, радон и т.д. Вторая стадия - электроразрядная, активирует процессы окисления и коагуляции, и позволяет регулировать энергетику процессов в достаточно широком диапазоне. Электроразрядный блок представляет собой озонатор (в состав входит электродная система и импульсный источник питания), выполненный на основе импульсного барьерного разряда, способный работать не только в воздухе с влажностью до 100%, но и непосредственно в воде. Это позволило разместить этот блок в водовоздушном потоке и использовать не только долгоживущий озон, но и короткоживущие активные частицы - такие, как гидроксильный (ОН) радикал, атомарный кислород, а также УФ-излучение. Максимальное энергопотребление электроразрядного блока составляет всего 50 Вт ч/куб.м воды. Плотность энергии импульса на единицу сечения колонны для всех комплексов не превышает 0,025 Дж/кв.м. Вследствие малых доз и импульсно-периодического режима ввода энергии в реакционную зону не происходит наработка азотсодержащих веществ (нитратов, нитритов и др.).

Комплекс предназначен для очистки воды от механических примесей, железа (общего), марганца, поверхностно активных

веществ (ПАВ), кремнекислот, фенола, ионов аммония, снижения жесткости, улучшения органолептических показателей (мутность, цветность, запах), снижения окисляемости, обеззараживания воды от различных микроорганизмов до качества, соответствующего требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода и водоснабжение населенных мест», и придания воде вкусовых качеств, соответствующих природным водам горных рек.

Впоследствии на основе полученных практических результатов была разработана серия устройств (Водолей, Лотос, Аэрозон, Гейзер, AquaVallis P), в которых для производства озона используется импульсный электрический разряд с длительностью импульсов напряжения от 100 до 300 нс.

Комплекс очистки воды «AquaVallis P».

На рис. 4 показана обобщенная схема комплекса водоочистки «AquaVallis P». Фильтровальный материал AquaVallis (www.aquavallis.com), представляет собой композиционный волокнистый материал объемного действия, состоящий из равномерных слоев ультратонких волокон, на поверхность которых нанесены электроположительные частицы оксигидроксидных фаз алюминия. Благодаря наличию на поверхности частиц активных центров, данный материал обладает уникальными адсорбционными свойствами по отношению к бактериям, вирусам и клеткам живых тканей. Испытания, проведенные в ГНЦ ФГУП «Вектор», НИИ Коллекция культур микроорганизмов (пгт. Кольцово, Новосибирская обл.) показали, что фильтрационный материал AquaVallis адсорбирует более 99,999999 - 100 % единиц полиовируса 1 (LSc), вируса полиомиелита, бактерии E.coli и бактериофага MS – 2, при их содержании в воде $\sim 10^6$ pfu/мл. Материал удовлетворяет требованиям СанПин 2.1.4. 1074-01 «*Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем*

питьевого водоснабжения. Контроль качества». С целью определения возможности применения фильтровального материала в биотехнологии, проводилась оценка токсичности волокнистых мембран в отношении тестовых штаммов: Escherichiacoli, Staphylococcus aureus, Bacillus subtilis, Bacillus pumilis, Candida albicans. Установлено, что фильтровальный материал не производит токсического эффекта на тестовые штаммы [3].

Конструктивно комплекс «AquaVallis P» (рис. 4) состоит из отдельных составных частей: гидроциклон (удаляет грубые механические примеси), аэрационной колонны, бака-реактора, озонатора с высоковольтным источником питания, электрокоагулятора, осветлительных фильтров, фильтров биологической очистки, насосов, пульта управления.

Комплекс может быть размещен в блок-боксе сборной конструкции и при необходимости комплектоваться дополнительными ступенями фильтрации, резервуарами чистой воды, насосными станциями для подачи воды потребителю, установками умягчения воды, устройствами обеззараживания, рН-корректорами и другим оборудованием.

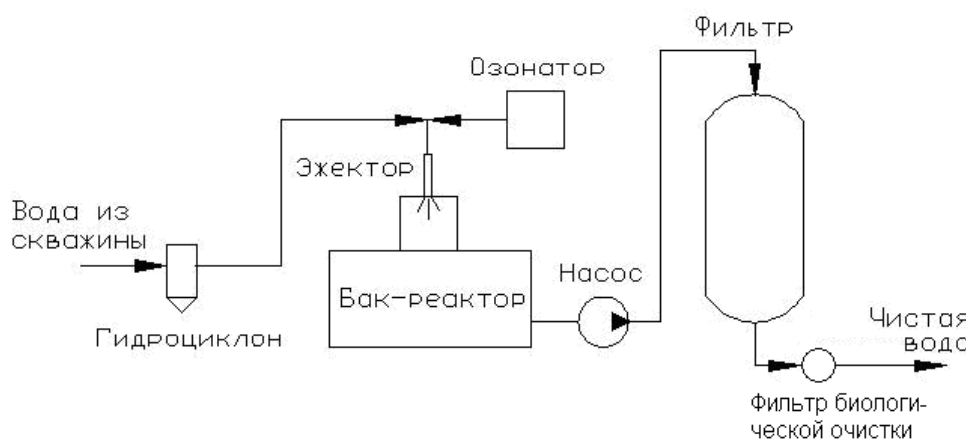


Рис. 4. Структурная схема комплекса для очистки воды AquaVallis P.

Высокие технические характеристики комплекса достигаются благодаря использованию технологий, разработанных в ИФПМ СО РАН, среди которых:

- экономичные озоногенераторы с высоковольтными импульсными источниками питания, допускающие эксплуатацию без осушки воздуха [4];
- фильтры микробиологической очистки [5 - 8];
- реактор обработки воды озоном [9];
- струйный насос [10];
- высокоэффективные аэраторы, электрофлотационный модуль для очистки промышленных стоков [11];
- электрохимические коагуляторы.

Исходная вода со скважин глубинными насосами подается на вакуумно-эжекционные устройства аэратора-дегазатора, где происходит интенсивное газоотделение, окисление кислородом воздуха железа, марганца. На выходе сопла вакуумно-эжекционного устройства создается область низкого давления, в которую засасывается озono-воздушная смесь для обеззараживания воды, удаления сероводорода, органических примесей, высокой цветности воды. В контактной камере аэратора-дегазатора происходит окисление кислородом воздуха легко окисляемых примесей и очистка воды от органолептических загрязнений.

Заложенное в основе технологии совмещение вакуумно-эжекционной аэрации с озонированием, позволяет получить высокую степень очистки и обеззараживания воды при энергозатратах 0,045 кВт/м³. Вакуумно-эжекционные аэраторы-дегазаторы позволяют снизить эксплуатационные затраты в сотни раз, осуществить за существенно

меньшее время обработки воды более глубокую степень дегазации с одной стороны и насыщение озono-воздушной смесью с другой. Вакуумно-эжекционные аэраторы-дегазаторы полностью исключают необходимость введения в технологическую схему одного из самых ненадёжных устройств – воздушного компрессора и практически полностью исключают регламентные работы по обслуживанию, имеют малые габариты.

Выделившиеся из воды растворенные газы и непрореагировавшая озono-воздушная смесь удаляются из аэратора-дегазатора через деструктор озона в атмосферу.

Обработанная вода насосами подается на напорные осветлительные фильтры, на которых задерживаются образовавшиеся хлопья. Очищенная вода поступает в резервуар чистой воды (РЧВ). В системе фильтрации используются простейшие напорные фильтры заводского изготовления, в качестве фильтрующей загрузки в которых используются недорогие природные минералы типа кварцевый песок, розовый песок (горелая порода).

Эксплуатация в течение 5 лет показала высокую надежность работы и возможность обеспечить требуемое качество воды при значительных колебаниях содержания примесей в исходной воде.

Эффективность предложенной схемы очистки воды иллюстрируется данными, приведенными в таблице.

Таблица 1. Эффективность очистки воды

Ингредиенты	Концентрация, мг/л		Степень очистки, %
	до очистки	после очистки	
цветность	50-80 град	< 10	95-98
мутность	15-20	<1.0	95-98
запах	> 3 баллов	без запаха	98
железо общее	5-12	0.05-0.1	95-99
марганец	0.3-0.7	0.05-0.1	80-90
фенол	0.01-0.02	<0.001	90
формальдегид	0.2-0.4	0.05-0.1	75-80
аммиак	> 1	<1	75-80
кадмий	0.005	следы	90-95
свинец	0.1-0.3	следы	90
молибден	0.6-0.7	<0.1	90-95
медь	2.0-2.5	<0.01	99
степень обеззараживания		-	99.9

Комплекс водоочистки AquaVallis Р выпускается производительностью: 0,25; 0,5; 1,0; 5,0; 10,0; 20,0 и 40,0 м³/ч по очищенной воде и может быть оснащен блоками озонирования воды, аэрации воды, механического фильтрования, биологической очистки. На рис. 5 показаны фотографии отдельных узлов комплекса. Комплекс можно использовать и для доочистки стоков



Рис. 5. Внешний вид системы фильтрации (а) и озонирования и аэрации (б).

Для очистки воды от микробиологических загрязнений используются сменные фильтровальные элементы.

Сменные фильтровальные элементы AquaVallis обеспечивают 100% эффективность очистки от микробиологических загрязнений и высокую скорость потока (2.3 – 9 литров в минуту в зависимости от модели).

Фильтровальные элементы (картриджи) AquaVallis предлагают экономичное решение для удаления из воды вирусов, бактерий, паразитов (в том числе устойчивых к воздействию хлора и высокой температуры), а также эффективного снижения концентрации коллоидных частиц.

Сравнение улучшенных окислительных технологий. Сравнительные характеристики упомянутых здесь процессов приведены в таблице. Из процессов под действием электрического разряда в таблицу включены озонирование и безэлектродные электрохимические реакции.

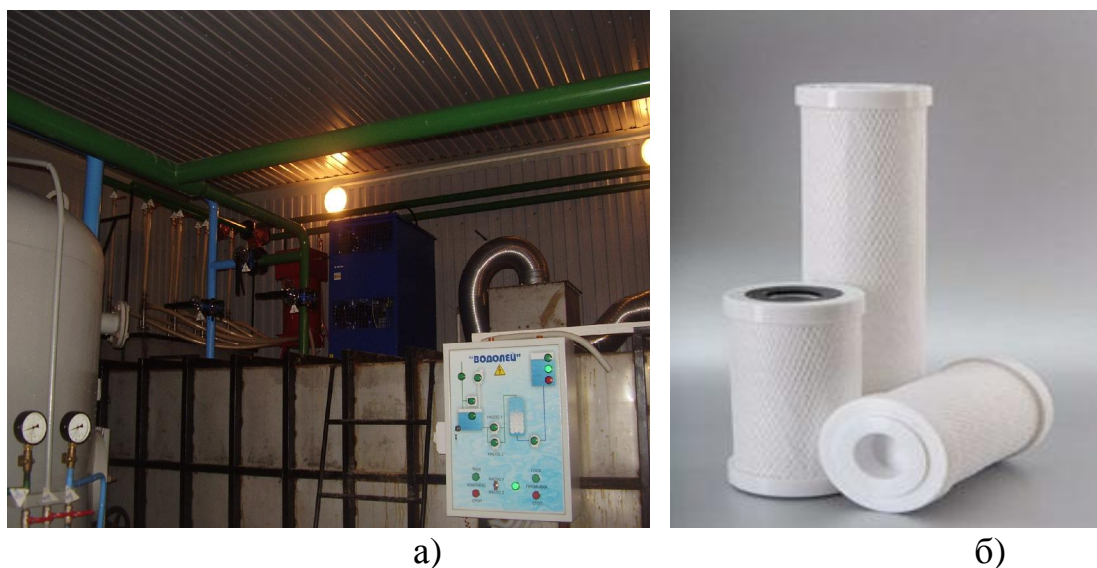


Рис. 6. Внешний вид бак-реактора с озонатором, аэратором и пультом управления (а) и Сменные фильтровальные элементы AquaVallis (б).

Таблица 2. Сравнительные характеристики основных методов

Метод	Активные частицы	Выход активных частиц, 1/100 эВ	Толщина обрабатываемого слоя	КПД %
Радиационно-химический	e^-_{aq} , Н, Н ₂ ОН, Н ₂ О ₂ , О	~ 3,5 ~ 3,5	10 - 20 мм	10 - 40
Озонирование	О ₃	~ 6 (10 кВт.ч/кг)	Метры	30 - 40
УФ + Н ₂ О ₂	ОН, Н ₂ О ₂	2 - 20	до 10 см	20 - 30
Безэлектродные реакции	ОН, О ₃	~ 2	20 мм	~ 90

Из таблицы видно, что все процессы генерации активных частиц имеют с учетом КПД установок примерно одинаковую энергетическую эффективность. Нужно отметить, что электрический разряд постоянного тока (безэлектродные электрохимические реакции) имеет хорошие перспективы практического использования, так как коэффициент преобразования энергии из сети в энергию электрического разряда близок

к единице. К тому же высоковольтные выпрямители, необходимые для его реализации, являются простыми и относительно дешевыми электротехническими устройствами.

Список используемой литературы

1. Федеральный закон Российской Федерации от 7 декабря 2011 г. № 416-ФЗ О водоснабжении и водоотведении.
2. Яворовский Н.А., Поляков Н.П., Пельцман С.С., Цхе А.А. Электроимпульсная обработка воды // Техника и технология очистки и контроля качества воды. Международная НТК. Тез.докл. Томск: ТПУ. - 1999. - С.168-176.
3. Лернер М.И., Бакина О.В., Глазкова Е.А., Ложкомоев А.С., Сваровская Н.В., Псахье С.Г. Наноструктурированный фильтр для улавливания коллоидных // Нанотехника. 2009. № 4(20). С. 53-56.
4. Цхе А.А., Поляков Н.П. Способ синтеза озона, устройство для его осуществления и электродная система для синтеза озона // Патент RU № 2352386 РФ.// БИ. 2009. №11.
5. Лернер М. И., Родкевич Н. Г., Сваровская Н. В., Ложкомоев А. С., Псахье С. Г., Руденский Г. Е. Способ получения фильтрующего материала // Патент RU № 2297269.
6. Лернер М.И., Руденский Г.Е., Псахье С.Г., Сваровская Н.В., Пугачев В.Г., Репин В.Е. Фильтрующий материал и способ его получения, фильтр и способ фильтрования // Евразийский патент № 012492. Оpubл. 30.09.2009. Бюл. ЕА 20905.
7. Псахье С.Г., Лернер М.И., Руденский Г.Е., Сваровская Н.В., Репин В.Е., Пугачев В.Г. Фильтрующий материал, способ его получения и способ фильтрования // Патент RU № 2317843. Оpubл. 27.02.2008. БИ № 6.
8. Lerner M., Loghkomoyev A., Pehenko V., Psakhye S. Application inorganic nanopowder for sorption microorganisms. // II Russian – German Conference of the Koch-Metchnikov-Forum. Tomsk, 9-12 September, 2007. Abstract book. P.221.
9. Цхе А.А., Поляков Н.П., Почуев Н.А. Реактор обработки воды озоном // Патент RU на полезн. мод. № 39595.
10. Цхе А.А., Цхе А.В., Щукин А.А. Струйный насос // Патент RU № 2439381.
11. Мынка А.А., Синенко Е.И., Цхе А.А. Электрофлотационный модуль для очистки промышленных стоков // Свидетельство на ноу-хау № 3. Зарегистрировано в ИФПМ СО РАН 18.10.2011. Правообладатель: ИФПМ СО РАН.