

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра «Водоснабжение и водоотведение»



**Материалы Республиканской студенческой научно-
практической конференции
«Основные направления развития систем водоснабжения
и водоотведения»**

**в рамках Международного молодежного форума
«Креатив и инновации'2024»**

13 декабря 2024 года

**Минск
БНТУ
2024**

УДК 330.15, 330.5, 504, 621.6, 628, 629, 696

СОСТАВИТЕЛИ:

Дубенок С.А., Куралёнок А.А.

В сборнике представлены материалы Республиканской студенческой научно-технической конференции «Основные направления развития систем водоснабжения и водоотведения», посвященные вопросам институционального и технического развития систем водоснабжения и водоотведения, проблемам сбора, транспортировки и очистки сточных вод, обработки осадка сточных вод, вопросам водоподготовки и обеззараживания природных вод, анализу современных материалов и технологий, применяемых при проектировании, строительстве и эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения.

Сборник ориентирован на студентов, магистрантов, аспирантов и преподавателей средних и высших учебных заведений, научных сотрудников и специалистов, занимающихся вопросами и проблемами водоснабжения и водоотведения.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Расчет и проектирование грунтово-растительных площадок для очистки сточных вод и обработки осадка	7
Анализ некоторых циркуляционно-реагентных способов регенерации водозаборных скважин	12
Сравнительный анализ стоимостной оценки экосистемной услуги водных ресурсов в Республике Беларусь за 2020-2022 гг.	18
Экономическая оценка поверхностных вод Республики Беларусь, как элемента экосистемных услуг, на примере рек Березина и Виляя	26
Получение сорбентов из отходов	33
Анализ методов, технологий, сооружений и оборудования очистки производственных сточных вод.....	38
Сравнительная оценка работы станций обезжелезивания предприятий Белорусской железной дороги	43
Насыщенный раствор озона – перспективный аналог хлорсодержащим дезинфицирующим средствам	48
Сравнительная характеристика современных насосов, применяемых в водоснабжении и водоотведении	53
Анализ рынка поставки фильтрующих материалов для целей водоподготовки	60
Цели и задачи сферы Брестского городского жилищно-коммунального хозяйства как многоотраслевого комплекса.....	64
Мероприятия по оптимизации энергопотребления при биологической очистке сточных вод	67
Риски и последствия: угрозы водным ресурсам Республики Беларусь ..	70
Сравнительный анализ технических решений по сбору дождевых вод для их последующего использования	76
Анализ методов обеззараживания природных вод	83

ОГЛАВЛЕНИЕ

Алферчик В.В., Семикашева Э.Э. Расчет и проектирование грунтово-растительных площадок для очистки сточных вод и обработки осадка Научный руководитель Ануфриев В.Н., к.т.н., доцент <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i>	7
Артёмчик А.А. Анализ некоторых циркуляционно-реагентных способов регенерации водозаборных скважин Научный руководитель Иващечкин В.В., д.т.н., профессор <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i>	12
Борисенко О.В., Игнатьева Ю.А. Сравнительный анализ стоимостной оценки экосистемной услуги водных ресурсов в Республике Беларусь за 2020-2022 гг. Научный руководитель: Дубенок С.А., к.т.н. <i>Белорусский национальный технический университет Минск, Республика Беларусь</i>	18
Ворочкова П.А., Балабан Т.Ю. Экономическая оценка поверхностных вод Республики Беларусь, как элемента экосистемных услуг, на примере рек Березина и Виляя Научный руководитель Дубенок С.А., к.т.н. <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i>	26
Дорошкевич В.В., Ильин Д.Н. Получение сорбентов из отходов Научный руководитель заведующий кафедрой промышленной экологии Лихачева А. В., к.т.н., доцент <i>Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	33
Зорин Е.В., Шакаль Т.М. Анализ методов, технологий, сооружений и оборудования очистки производственных сточных вод Научный руководитель Куралёнок А.А. <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i>	38
Каравацкая К.С., Марушевский В.О.	43

<p>Сравнительная оценка работы станций обезжелезивания предприятий Белорусской железной дороги Научный руководитель Грузинова В.Л., к.т.н., доцент <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i></p>	
<p>Каравацкая К.С., Марушевский В.О. Насыщенный раствор озона – перспективный аналог хлорсодержащим дезинфицирующим средствам Научный руководитель Комаров М.А. <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i></p>	48
<p>Каравацкая К.С., Марушевский В.О. Сравнительная характеристика современных насосов, применяемых в водоснабжении и водоотведении Научный руководитель Майорчик А. П., к.т.н., доцент <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i></p>	53
<p>Кичёва Д.Н. Анализ рынка поставки фильтрующих материалов для целей водоподготовки Научный руководитель Пропольский Д.Э. <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i></p>	60
<p>Конон А.А., Коцуба А.А. Цели и задачи сферы Брестского городского жилищно-коммунального хозяйства как многоотраслевого комплекса Научный руководитель Андреюк С. В., к.т.н., доцент <i>Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь</i></p>	64
<p>Кузьмич Д.А., Ильеня Е.С. Мероприятия по оптимизации энергопотребления при биологической очистке сточных вод Научный руководитель Акулич Т.И., старший преподаватель <i>Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь</i></p>	67
<p>Тимощенко В.А., Колос М.С. Риски и последствия: угрозы водным ресурсам Республики Беларусь Научный руководитель Амельченко С.И. <i>Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь», Минск, Республика Беларусь</i></p>	70

Шавейко К.Н., Крицкая Т.А. Сравнительный анализ технических решений по сбору дождевых вод для их последующего использования Научный руководитель: Дубенок С.А., к.т.н. <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i>	76
Шилкова Е. М. Анализ методов обеззараживания природных вод Научный руководитель Лемеш М. И., ст. преподаватель <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i>	83

УДК 628.354

Расчет и проектирование грунтово-растительных площадок для очистки сточных вод и обработки осадка

Алферчик В.В., Семикашева Э.Э.

Научный руководитель Ануфриев В. Н., к.т.н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье рассмотрен порядок расчета и проектирования грунтово-растительных площадок для очистки сточных вод, также грунтово-растительных иловых площадок для и обработки осадка.

В Беларуси на сегодняшний день продолжают использовать поля фильтрации. Для снижения негативного воздействия на окружающую среду, предлагается заменить их на очистные сооружения, основанные на грунтово-растительных площадках.

К грунтово-растительным площадкам относятся сооружения, различающиеся конструкцией и принципу действия. Во-первых, это водоемы, как правило, небольших и средних размеров, в которых очистка сточных вод производится с применением биоценоза растений. Во-вторых, это песчано-гравийные фильтры в грунте с растительностью, которая высаживается в верхний слой фильтра. Если первая группа сооружений по принципу действия близка к биологическим прудам (например, так называемые французские грунтово-растительные площадки), то вторая – к сооружениям очистки сточных вод в грунте. Последние имеют собственную классификацию, которая основана на направлении движения фильтрационного потока сточных вод в грунте.

В основном выделяют площадки с горизонтальным и вертикальным потоком в грунте. При использовании площадок с горизонтальным потоком, предварительно осветленная в септике вода может подаваться самотеком на площадку с фильтрующей загрузкой (мелкий гравий, крупнозернистый песок). Распределение сточной воды по площадке производится путем устройства слоя щебня с большой проницаемостью, расположенного наклонно во внутренней части сооружения. Дренаж, который собирает профильтрованную воду, выполняется аналогичным способом с противоположной стороны сооружения.

Грунтово-растительные площадки оснащены изоляцией откосов и дна сооружения от грунта основания. В качестве фильтрующей загрузки используют однородные песчаные смеси с мелкими зернами.

Коэффициент фильтрации песка k_{fA} , м/с, зависит от гранулометрического состава, и рассчитывается по формуле:

$$k_{fA} = (d_{10})^2 \times 10^{-2} \quad (1)$$

где d_{10} – диаметр частиц песка, меньше которых в грунте содержится 10 % частиц по массе по ГОСТ 25100 [1], мм.

Проницаемость фильтрующей загрузки определяется перед ее засыпкой в сооружении. Коэффициент неоднородности U определяется с расчетом по формуле

$$U = d_{10} / d_{60} < 5 \quad (2)$$

d_{60} – диаметр частиц песка, меньше которых в грунте содержится 60 % частиц по массе, мм.

Фильтрующий материал должен быть суффозионностойким для предотвращения переноса зерен загрузки внутри слоя или в другой слой.

Загрузка укладывается без механического уплотнения таким образом, чтобы были возможны лишь незначительные просадки, например, путем временного заполнения водой фильтрующей загрузки.

Для изоляции грунтово-растительные площадки герметично уплотняются по основаниям и откосам, используя следующие варианты герметизации: полимерные герметизирующие мембраны с боковым усилением, бетонный или пластиковый желоб, минеральная герметизация глинистым материалом.

После завершения работ проверяют герметичность котлована для фильтрующей загрузки, заполняя его водой и проводя визуальный контроль. Испытания герметичности соединений изоляционных пленок и грунта выполняют без заполнения котлована фильтрующим материалом. Также учитывают несущую способность изоляционных пленок или полотен.

При использовании площадок с горизонтальным потоком, осветленная сточная вода направляется по безнапорному или напорному трубопроводу на устройства для распределения сточной воды по фильтрующей загрузке.

В виде фильтрующей загрузки используется песок с размером зерен до 4 мм или гравий с размером зерен от 2 до 8 мм. Распределение сточной воды по площадке производится через слой щебня, расположенного наклонно по отношению к борту внутренней части сооружения. Слой дренажа, который собирает профильтрованную воду с противоположной стороны сооружения, выполняют из крупного щебня. Поток сточной воды в фильтрующей загрузке направлен от распределительного устройства к дренажу со снижением уровня воды в грунте.

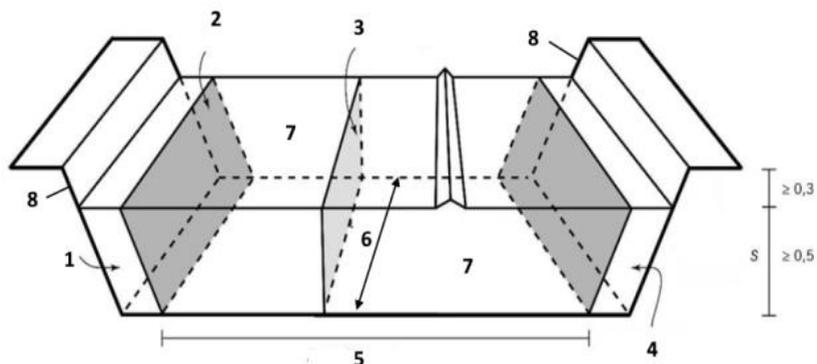


Рис. 1. Аксонометрическая проекция грунтово-растительной площадки с горизонтальным потоком:

1 – распределительный слой; 2 – инфильтрационное сечение; 3 – площадь притока ($A_{\text{Треб}}$); 4 – дренажный слой; 5 – длина фильтрующей загрузки ($L_{\text{ГФ}}$); 6 – ширина зоны фильтрации (B); 7 – фильтрующая загрузка; 8 – надводный борт

Требуемая площадь в сечении зоне фильтрации грунтово-растительной площадки с горизонтальным потоком $A_{\text{Треб}}$, м², определяется по формуле:

$$A_{\text{Треб}} = 2h_{\text{нач}} \frac{Q_w \cdot L_{\text{ГФ}}}{k_{\text{ГБ}} \cdot (h_{\text{нач}}^2 - h_{\text{кон}}^2)}, \quad (3)$$

где Q_w – суточный расход сточных вод, м³/сут;

$k_{\text{ГБ}}$ – коэффициент фильтрации фильтрующего загрузки, м/сут;

$h_{\text{нач}}$ – высота уровня воды в начале загрузки, м;

$h_{\text{кон}}$ – высота уровня воды на выходе, м;

$L_{\text{ГФ}}$ – длина потока в нижней части фильтрующей загрузки между распределительным и дренажным слоями, м.

Площадь дна грунтово-растительной площадки с горизонтальным потоком определяется по формуле

$$A_{\text{д}} = \frac{Q_w \cdot C_{\text{ХПК}}}{f_{\text{А,ГФ,ХПК}}}, \quad (4)$$

где $f_{\text{А,ГФ,ХПК}}$ – среднесуточная удельная поверхностная нагрузка по ХПК на площадь дна фильтра, принимаемая не более 16 г/(м²·сут);

$C_{\text{ХПК}}$ – ХПК сточной воде, поступающей на площадку, гО₂/сут.

Участки фильтрующей загрузки в области откосов при расчете не учитывают.

На грунтово-растительных площадках с вертикальным потоком, КНС подает сточную воду из септика в распределительную систему трубопроводов. Распределение сточной воды по площади фильтрационной загрузки производится перфорированными трубопроводами. После фильтрования сточной воды через рабочий слой фильтрационной загрузки, дренажные трубопроводы собирают фильтрат и удаляют его из сооружения. (рисунок 2) [2], [3].

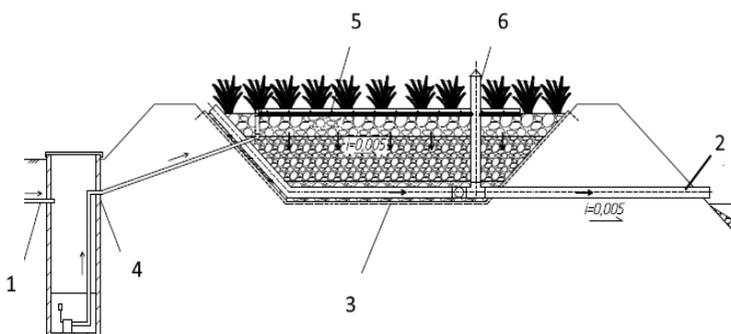


Рис. 2. Вид грунтово-растительной площадки с вертикальным потоком. 1-подача исходной сточной воды; 2- отведение очищенной сточной воды; 3 – дренажная система 4 – КНС; 5 распределительная система, 6 – вентиляция

Площадь грунтово-растительной площадки с вертикальным потоком определяется по формулам:

$$A_d = \frac{Q_w \cdot C_{\text{ХПК}}}{f_{\text{А,ВФ,ХПК}}}, \quad (5)$$

$$A_d = \frac{Q_w}{q_{\text{А,ВФ}}}, \quad (6)$$

где $f_{\text{А,ВФ,ХПК}}$ – среднесуточная удельная поверхностная нагрузка ХПК на общую площадь верхней части фильтра, принимаемая не более 20 г/(м²·сут);

$q_{\text{А,ВФ}}$ – удельная гидравлическая нагрузка на общую площадь верхней части фильтра, принимаемая не более 80 л/(м²·сут).

При расчетах принимают большее значение из результатов.

Во время периодической подачи сточных вод на поверхность фильтрующей загрузки, минимальный объем сточных вод определяют исходя средней удельной гидравлической нагрузки, которая принимается не менее 6 л/(м²·мин). Среднюю продолжительность периода между

периодической подачей сточных вод на секцию принимают 6 ч. Последующая подача сточной воды осуществляется после того, когда объём воды в загрузке фильтра будет минимальным.

В качестве альтернативного способа обработки осадка для небольших и средних очистных сооружений сточных вод может рассматриваться применение иловых площадок с подсадками влаголюбивых растений. Грунтово-растительные площадки, предназначенные для обработки осадка, имеют определенные особенности устройства и эксплуатации [4].

Эффективность обработки осадка на грунтово-растительных площадках достигается за счет сочетания физическо-химических и биологических процессов. При подаче осадка твердые примеси удерживаются на поверхности фильтрующей загрузки секции площадки, а иловая вода фильтруется через загрузку, далее собирается дренажной системой и направляется обратно на очистные сооружения. Естественный рост корней растений создает поры и условия для дренажа слоя осадка и загрузки площадки. При эксплуатации площадок не требуется регулярного удаления подсушенного осадка, при этом новый объем осадка подается поверх предыдущего подсушенного слоя осадка.

Использование грунтово-растительных иловых площадок для обработки осадка позволяет достичь устойчивую систему обработки избыточного ила с минимальным воздействием на окружающую среду.

Литература

1. ГОСТ 25100-2020 Грунты. Классификация
2. Ануфриев В. Н., Проектирование и устройство гравийных фильтров с искусственной аэрацией / В.Н. Ануфриев, Г.А Волкова, В.В, Алферчик, Э.Э Семикашева// Сборник материалов X Белорусско-Китайского молодежного инновационного форума 9–10 ноября 2023 года «НОВЫЕ ГОРИЗОНТЫ – 2023» Том 1. Минск БНТУ – 175 с.
3. Алферчик В.В. Задачи и технические решения при очистке сточных вод сельских населенных пунктов/ В.В Алферчик, Э.Э Семикашева, В. Н. Ануфриев, Г. А. Волкова. //В сборнике научных статей международной научно-практической конференции молодых учёных «Инженерно-экологические аспекты и перспективы развития систем водоснабжения и водоотведения» приуроченной ко Всемирному дню Водных ресурсов, 28 марта 2024 г. – Брест 2024, 214 с
4. Алферчик В.В Применение иловых грунтово-растительных площадок для обезвоживания осадка/В.В Алферчик, Э.Э Семикашева, В. Н. Ануфриев// В сборнике Материалы 80-ой студенческой научно-технической конференции в рамках Международного молодежного форума «Креатив и инновации' 2024» 21 мая 2024 года. – Минск: БНТУ 2024 79 с.

УДК 628.112.2

Анализ некоторых циркуляционно-реагентных способов регенерации водозаборных скважин

Артёмчик А.А.

Научный руководитель Ивашечкин В.В., д.т.н., профессор
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Процессы кольматации в прифилтровой зоне и на поверхности фильтра приводят к снижению дебита скважин и увеличению себестоимости добываемой воды. В статье описаны некоторые способы циркуляционно-реагентной декольматации и приведены результаты оценки их эффективности.

В Республике Беларусь в эксплуатации находится более 36 тысяч водозаборных скважин, среди которых более 10 тысяч предназначены для централизованного питьевого водоснабжения, также ежегодно к этому количеству прибавляется около 500 новых водозаборных скважин [1].

Многолетние исследования и наблюдения за работой водозаборных скважин показали, что независимо от конструкции фильтра скважины или конструкции водозабора, с течением времени производительность скважин неизбежно деградирует ввиду процессов механического, биологического и химического кольматажа фильтра и прифилтровой зоны. В Республике Беларусь фактический срок службы большинства водозаборных скважин, составляет порядка 16-19 лет, что существенно меньше нормативного периода эксплуатации, который составляет не менее 25 лет. Эта существенная разница приводит к значительным финансовым затратам на бурение новых скважин.

В данной статье рассматриваются лишь некоторые способы химической циркуляционной декольматации кольманта, который образуется на поверхности фильтра и в прифилтровой зоне вследствие изменения гидродинамического равновесия в пласте в процессе эксплуатации водозаборных скважин. Образование химического кольманта считается неизбежным процессом, который наиболее интенсивно происходит на водоприёмной поверхности фильтра ввиду увеличения скоростей фильтрационного потока вблизи фильтра и лучшими условиями аэрации.

Выделяют три слоя кольманта: первый слой, находящийся в непосредственном контакте с фильтром, который имеет темно-бурый цвет и толщину от 0.3 до 1.3 мм. Он характеризуется наибольшей плотностью и наихудшими фильтрационными свойствами. Именно этот слой является

основной причиной снижения дебита скважины, так как он значительно затрудняет движение воды через фильтр; второй слой кольматанта имеет желто-бурый цвет и толщину от 0.2 до 10 мм. Он менее плотный по сравнению с первым слоем, но также способствует ухудшению фильтрационных характеристик; третий слой кольматанта, который может быть зеленовато-желтым или серовато-желтым, имеет толщину от 1 до 10 мм. Он характеризуется наиболее рыхлым строением и лучшей проницаемостью по сравнению с первыми двумя слоями [2].

Главной задачей циркуляционно-реагентных способов является деструкция, диспергирование и удаление кольматирующих отложений из фильтра и прифильтровой зоны. Циркуляционно-реагентные способы регенерации фильтров водозаборных скважин применяются во всем мире. Все разработанные способы циркуляционной регенерации базируются на делении фильтра скважины во время обработки на две и более секции. Декольматация осуществляется закачиванием реагента в одну и откачиванием из другой секции. В результате такого деления фильтра происходит циркуляция реагента в прифильтровой закольматированной зоне скважины. Теоретические исследования, проведённые Гаврилко В.М. и Алексеевым В.С. показали увеличение скорости процесса декольматации с ростом скорости движения реагента в порах [2].

Известен способ вертикальной циркуляционной реагентной обработки, предложенный В. Г. Тесля для скважины (рис. 1).

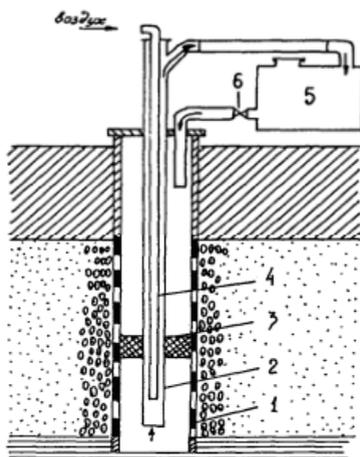


Рис. 1. Схема устройства для реагентной обработки скважины
1-фильтр; 2-водоподъемная колонна; 3-пакер; 4-воздухопроводная колонна;
5-ёмкость; 6-задвижка

Способ регенерации заключается в разделении фильтра скважины пакером на две секции, в одну секцию производится закачка реагента из ёмкости, а из другой – откачка обратно в ёмкость эрлифтом. Преимуществом предлагаемой технологии обработки является отсутствие насоса для обеспечения циркуляции реагента, а удаления продуктов реакции, как и реагента из нижней секции обратно в бак осуществляется эрлифтом [3; 4].

К недостаткам устройства относится наличие эрлифта с передвижным компрессором, которые усложняют технологическое оборудование и ограничивают область его применения только использованием реагентов, которые допускают присутствие в воде растворенного кислорода. При работе с реагентом – восстановителем: дитионитом натрия будет происходить быстрая потеря его активности из-за поглощения кислорода. Также недостатком такой технологии является то, что циркуляция реагента происходит по наиболее проницаемым участкам в обход закольматированной прифильтровой зоны, а не по всей прифильтровой зоне по высоте фильтра [5].

В работе [4] обозначено, что регенерация всего фильтра одновременно путем разделения его пакером на две секции: закачную и откачную неэффективна, так как установлено, что максимальные размеры зоны обработки, соответствующие поступлению в откачную секцию 95% закачиваемого расхода, составляют всего 1,4-1,6 м вне зависимости от конструкционных установок. Автором также отмечено, что регулирование размеров зоны циркуляции возможно за счет сокращения общего времени обработки, однако это приводит к тому, что нижняя часть пласта вместе с откачной секцией фильтра остаются необработанными.

По этой причине В. Г. Тесля были рассмотрены многопакерные схемы декольматации с чередованием закачивающих и откачивающих секций для улучшения равномерности распределения реагента, автором установлено, что при установке в фильтре n_n пакеров, конечные размеры обрабатываемой зоны уменьшаются в n_n раз по сравнению с однопакерной схемой, время обработки также сокращается в n_n^2 раз [4].

Известен способ циркуляционной регенерации фильтра и прифильтровой зоны скважины [6], где предлагается разделять фильтр скважины на три секции удлинёнными пакерами с поинтервальной обработкой, которая происходит на длину участка фильтра в зависимости от длины герметизированного пакера.

Этому способу также присущ недостаток, когда циркуляция реагента может происходить по высокопроницаемым участкам по пути от закачной до откачной секции, создавая пути обхода, не только в пределах самого фильтра, но и за его пределами, в окружающем водоносном горизонте,

минуя закольматированные участки прифильтровой зоны, оставляя обработку неполной.

С целью снижения степени разбавления реагента и обеспечения циркуляции в пределах всей закольматированной прифильтровой зоны бала разработана конструкция с установкой в фильтре нескольких негерметичных дисков [7]. Цель достигается с помощью колонны водоподъемных труб с закрепленным на ней набором дисков, установленных друг от друга на расстоянии не более 0,1 длины фильтра; причем нижний и верхний диски установлены на расстоянии от нижнего конца скважины не более 0,1 и 0,75–0,8 длины фильтра, соответственно. Диаметр нижнего диска в предлагаемой конструкции принят 0,85–0,90 диаметра фильтра, а отношение разницы диаметров нижнего и остальных дисков к диаметру фильтра составляет 0,04–0,06. Диски позволяют создать сопротивление циркуляции реагента в стволе скважины и вынуждают двигаться реагент через закольматированную прифильтровую зону. При заливке реагент из емкости над верхним диском поступает в прифильтровую зону в верхней части участка установки дисков и возвращается в скважину в его нижней части при минимальном разбавлении реагента. Циркуляцию производят с помощью эрлифта. Схема устройства для циркуляционной обработки скважин с набором дисков на колонне труб представлена на рисунке 2.

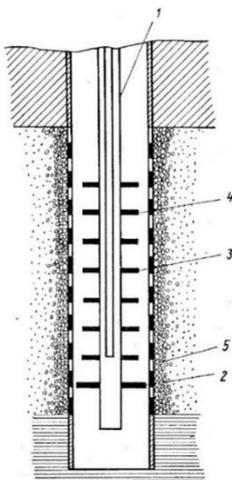


Рис. 2. Схема устройства для циркуляционной обработки скважин на воду [7]
1 – колонна водоподъёмных труб; 2, 3, 4 – диски; 5 – фильтр.

Наилучшую эффективность данный способ демонстрирует при декольматации прифильтровых зон малых размеров, поскольку реагент циркулирует как в прифильтровой зоне, так и непосредственно в самом фильтре скважины. При этом расход реагента находится в прямой зависимости от суммарного расхода откачки и закачки, и сопротивления, которое оказывают диски и прифильтровая зона. Способ результативен для скважин с небольшими сроками эксплуатации, когда рыхлый кольматирующий осадок не успевает дегидратироваться и упрочниться.

К недостаткам устройства относится наличие эрлифта с передвижным компрессором, которые усложняют технологическое оборудование и ограничивают область его применения только использованием реагентов, которые допускают присутствие в воде растворенного кислорода. К недостаткам устройства также относится необходимость устройства негерметичных перегородок.

А. М. Шейко разработан способ регенерации фильтра с горизонтальным циркуляционным движением реагента в прифильтровой зоне скважины. Фильтр внутри разделяется на два вертикальных сектора при помощи трёх пакеров: вертикального и ограничивающих горизонтальных, реагент задавливается в прифильтровую зону через нагнетательный сектор, а возвращается во всасывающий сектор при помощи создаваемого разрежения во всасывающем секторе фильтра [5].

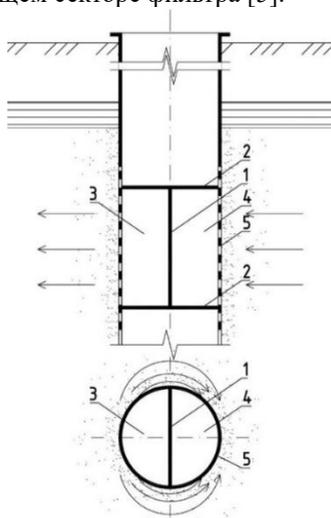


Рис. 3. Схема горизонтальной циркуляции реагента

1 – вертикальный пакер, 2 – горизонтальный пакер, 3 – нагнетательный сектор, 4 – всасывающий сектор, 5 – фильтр

Анализ технологии регенерации водозаборных скважин, предложенный Шейко А.М., показал неравномерность поля скоростей фильтрационного потока, т.к. линии тока близки по виду к дуге окружности, то можно сделать вывод о малоэффективной промывке наиболее отдалённых участков закольматированной прифильтровой зоны, что приведёт к значительным энергозатратам.

Произведен анализ некоторых существующих способов циркуляционной регенерации водозаборных скважин, а также их эффективности.

Циркуляционная регенерация фильтра и прифильтровой зоны – сложная технологическая задача, эффективность которой напрямую зависит от равномерного распределения реагента по всей прифильтровой зоне. Существующие способы, к сожалению, часто сталкиваются с проблемой неравномерного проникновения реагента, что снижает их эффективность. Главный недостаток заключается в преференциальной циркуляции реагента по наиболее проницаемым каналам, минуя закольматированные участки.

Необходимо отметить, что описанные выше способы восстановления водозаборных скважин характеризуются миграцией реагента в водоносный пласт и требуют привлечения специализированных ремонтных организаций, имеющих сложное оборудование для их проведения.

Такие схемы прокачки достаточно эффективны лишь для скважин эксплуатирующихся непродолжительной период, пока кольматант находится в пастообразном или пористо-рыхлом состояниях, а также для водозаборных скважин, на которых регулярно проводятся восстановительные мероприятия через промежуток времени, не превышающий межремонтный период для данной скважины.

Самостоятельная циркуляционно-реагентная регенерация зачастую оказывается неэффективной для достижения желаемого результата восстановления пористости водонасыщенных пластов, особенно в скважинах с высоким дебитом, представляет собой сложную задачу, требующую применения комбинированных способов регенерации, которые обеспечат более глубокое и равномерное проникновение реагента за контур скважины, что и способствовало появлению комбинированных способов регенерации (электрогидроудар в реагенте, пневмо-реагентный, газоимпульсно-реагентный и вибрационный), которые выполняются до обработки реагентом или одновременно. Такие способы позволяют предварительно разрушить цементированные отложения, создавая новые пути для фильтрационных потоков, улучшая проникновение реагента.

Литература

1. О Национальной стратегии управления водными ресурсами в условиях изменения климата на период до 2030 года [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 22 февр. 2022 г., № 91 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22200091>. – Дата доступа: 30.11.2024.
2. Гаврилко, В. М. Фильтры буровых скважин / В. М. Гаврилко, В. С. Алексеев. – 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Недра, 1985. – 334 с.
3. Ивашечкин, В. В. Ремонтпригодные водозаборные скважины / В. В. Ивашечкин, П. А. Автушко; под. ред. В. В. Ивашечкина. – Минск : БНТУ, 2016. – 228 с.
4. Тесля, В.Г. Циркуляционная регенерация скважин и пласта : дис. канд. техн. наук : 04.00.06 / В. Г. Тесля. – М., 1986. – 144 с.
5. Ивашечкин, В. В. Регенерация скважин и напорных фильтров систем водоснабжения / В. В. Ивашечкин, А. М. Шейко, А. Н. Кондратович ; под ред. В. В. Ивашечкина. – Минск : БНТУ, 2008. – 276 с.
6. Method and apparatus for cleaning well liner and adjacent formation : pat. US 3945436 / R. Nebolsine. – Опубл. 23.03.1976.
7. Устройство для циркуляционной обработки скважин на воду: пат. SU 1182129 А / В. С. Алексеев, Г. М. Коммунар, В. Г. Тесля. – Опубл. 30.09.1985.

УДК 330.15, 330.5

Сравнительный анализ стоимостной оценки экосистемной услуги водных ресурсов в Республике Беларусь за 2020-2022 гг.

О. В. Борисенко, Ю.А. Игнатьева

Научный руководитель: Дубенок С.А., к.т.н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Экосистемные услуги являются неотъемлемой частью природного капитала, обеспечивающего устойчивое развитие общества и экономики. Водные ресурсы, как важнейшая составляющая экосистем, играют ключевую роль в поддержании жизни на Земле, обеспечивая питьевое водоснабжение населения, производственные и сельскохозяйственные нужды, рыболовство, рекреацию, отдых и туризм, а также сохранение биоразнообразия. Однако с увеличением населения, ростом экономической активности и изменением климата давление на водные ресурсы

возрастает, что требует более тщательной оценки их стоимости и значения.

Стоимостная оценка экосистемных услуг водных ресурсов становится важным инструментом для принятия обоснованных решений в сфере управления водопользованием. Она позволяет определить экономическую ценность, которую общество получает от водных экосистем, и способствует более эффективному эколого-экономическому распределению водных ресурсов.

В Республике Беларусь подходы к стоимостной оценке экосистемных услуг природных ресурсов в целом, и водных ресурсов в частности, закреплены в постановлении Совета Министров Республики Беларусь от 27 февраля 2024 г. №123 «О проведении экономической оценки экосистемных услуг» [1].

Оценка стоимости экосистемных услуг водных ресурсов осуществляется с учетом их экономической доступности и экологической значимости. В статье проведен расчёт и сравнительный анализ стоимостной оценки экосистемной услуги водных ресурсов в Республике Беларусь за период 2020-2022 гг.

Стоимостная оценка водных ресурсов ($C_{0вр}$, рублей) рассчитывается по следующей формуле (1):

$$C_{0вр} = (C_{пов} + C_{подз}) * K, \quad (1)$$

где $C_{пов}$ – стоимостная оценка поверхностных вод, рублей;

$C_{подз}$ – стоимостная оценка подземных вод, рублей [1];

K – коэффициент экономической доступности водных ресурсов, определяемый как $K = 1 - d_{но}$, где $d_{но}$ – доля сточных вод, требующих очистки [2].

В свою очередь, доля сточных вод, требующих очистки ($d_{но}$), рассчитывается по следующей формуле (2):

$$d_{но} = \frac{W_{норм}}{W_{норм} + W_{недост}}, \quad (2)$$

где $W_{норм}$ – объем нормативно очищенных сточных вод (объем сточных вод (за исключением поверхностных сточных вод), сброшенных в поверхностные водные объекты без превышения нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод) за отчетный год, млн. м³;

$W_{\text{недост}}$ – объем недостаточно очищенных сточных вод (объем сточных вод (за исключением поверхностных сточных вод), сброшенных в поверхностные водные объекты с превышением нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод) за отчетный год, млн. м³.

По данным государственного водного кадастра (ГВК) за 2020-2022 гг. доля сточных вод, требующих очистки, в целом по Республике Беларусь составляет 2184,18 млн. м³, в том числе объем нормативно очищенных сточных вод - 2176,35 млн. м³, объем недостаточно очищенных сточных вод – 7,82 млн. м³. С учетом формулы (2), $d_{\text{но}} = 0,99$. Таким образом, коэффициент экономической доступности водных ресурсов принимается равным 0,01.

Стоимостная оценка поверхностных вод ($C_{\text{пов}}$, рублей) рассчитывается по следующей формуле (3):

$$C_{\text{пов}} = \frac{Ц * K_R}{1 + p + K_R} * K_{\text{вых}} * K_{\text{эс}} * K_p * K_{\text{э}} * V_{\text{пов}}, \quad (3)$$

где $Ц$ – рыночная цена водных ресурсов, руб./ млн. м³;

K_R – коэффициент эффективности воспроизводства водных ресурсов, принимается равным 0,3;

p – коэффициент эффективности (рентабельности) производства продукции природопользования, принимается равным 0,3;

$K_{\text{вых}}$ – коэффициент выхода конечной продукции природопользования с единицы природного ресурса, учитывающий технологические потери при добыче, транспортировке и очистке воды из поверхностных водных объектов, принимается равным 0,9 [1];

$K_{\text{эс}}$ – коэффициент, учитывающий экологический статус поверхностных водных объектов. В период 2020-2022 гг. в Республике Беларусь средний показатель экологического статуса поверхностных вод равен 0,8 [3].

K_p – коэффициент, учитывающий рыбохозяйственное значение поверхностных водных объектов (для поверхностных водных объектов, используемых для размножения, нагула, зимовки, миграции видов рыб отрядов лососеобразных и осетрообразных, K_p принимается равным 1,25, для иных поверхностных водных объектов K_p принимается равным 1,0), который для Республики Беларусь в целом рассчитывается как средневзвешенное значение приведенного выше коэффициента на площадь речных бассейнов Республики Беларусь (таблица 1) [4]

$$K_p = \frac{(1,25 * S_1) + (1,25 * S_2) + (1,25 * S_3) + (1 * S_4) + (1 * S_5)}{S}, \quad (4)$$

- где S_1 – площадь речного бассейна Днепра;
 S_2 – площадь речного бассейна Нёмана;
 S_3 – площадь речного бассейна Припяти;
 S_4 – площадь речного бассейна Западного Буга;
 S_5 – площадь речного бассейна Западной Двины;
 S – общая площадь речных бассейнов.

Таблица 1

Площади речных бассейнов Республики Беларусь

Речной бассейн	Площадь речного бассейна в пределах РБ, км ²	% речного бассейна от площади страны
Днепр	67460	32,6
Западная Двина	33150	16
Западный Буг	9990	4,8
Нёман	45530	22
Припять	50900	24,6
Итого по Республике Беларусь (РБ)	207030	100

K_3 – коэффициент, учитывающий экологическую значимость поверхностных вод (для поверхностных водных объектов коэффициент принимается равным 1) [1];

$V_{\text{пов}}$ – объем поверхностных вод, образуемых речным стоком, количеством воды, аккумулированной в озерах и водохранилищах, по данным ГВК, млн. м³ [3].

По данным ГВК объем поверхностных вод, образуемых речным стоком, количеством воды, аккумулированной в озерах и водохранилищах, за 2020-2022 гг. составил:

$$V_{\text{пов}}^{2020} = 38,1 + 9 + 0,085 = 47,19 \text{ млрд. м}^3$$

$$V_{\text{пов}}^{2021} = 49,8 + 9 + 0,085 = 58,89 \text{ млрд. м}^3$$

$$V_{\text{пов}}^{2022} = 53,4 + 9 + 0,085 = 62,49 \text{ млрд. м}^3$$

Рыночная цена водных ресурсов в случае проведения стоимостной оценки водных ресурсов в целом по республике определяется, как среднеарифметическое значение тарифов на водоснабжение по областям и г. Минску за рассматриваемый расчетный период. Данные по величине тарифов на водоснабжение по областям и г. Минску за 2020-2022 гг. приведены в таблице 2 [4].

Таблица 2

Тарифы на водоснабжение по областям и г. Минску за 2020-2022 гг.
(в руб.)

Территориально-административные единицы	Год		
	2020	2021	2022
Минская	0,9871	1,1000	1,2261
Брестская	0,9122	1,0335	1,1706
Витебская	1,0695	1,1623	1,3000
Гродненская	1,0318	1,1217	1,3144
Гомельская	1,0368	1,1610	1,3432
Могилевская	1,0213	1,1603	1,3499
Минск	0,8851	0,9283	1,0922
Среднее арифметическое	0,9920	1,0953	1,2566

Стоимостная оценка подземных вод ($C_{\text{подз}}$, рублей) рассчитывается по следующей формуле (5)

$$C_{\text{подз}} = \frac{\text{Ц} * K_R}{1 + p + K_R} * Z_{\text{подз}}, \quad (5)$$

где Ц – рыночная цена водных ресурсов, руб./ млн. м³;

K_R – коэффициент эффективности воспроизводства водных ресурсов, принимается равным 0,3;

p – коэффициент эффективности (рентабельности) производства продукции природопользования, принимается равным 0,3 [5];

$Z_{\text{подз}}$ – балансовые запасы пресных подземных вод категорий А + В + С₁, определяемые по данным государственного баланса запасов пресных подземных вод составляют 2,3 млрд. м³ (или 2 303 000 000 м³ или 6309,3637 тыс. м³/сут).

Ниже приведен ежегодный расчёт стоимостной оценки водных ресурсов Республики Беларусь за 2000-2022 гг.

В 2020 г. стоимостная оценка водных ресурсов (С₀, рублей) составила:

$$C_{\text{пов}}^{2020} = \frac{0,9920 * 0,3}{1 + 0,3 + 0,3} * 0,95 * 0,8 * 1,28 * 1 * 47,19 = 8,54 \text{ млрд. руб.}$$

$$C_{\text{подз}}^{2020} = \frac{0,9920 * 0,3}{1 + 0,3 + 0,3} * 2,3 = 0,43 \text{ млрд. руб.}$$

$$C_0^{2020} = (8,54 + 0,43) * 0,1 = 0,9 \text{ млрд. руб.}$$

В 2021 г. стоимостная оценка водных ресурсов (С₀, рублей) составила:

$$C_{\text{пов}}^{2021} = \frac{1,0953 * 0,3}{1 + 0,3 + 0,3} * 0,95 * 0,8 * 1,28 * 1 * 58,89 = 11,76 \text{ млрд. руб.}$$

$$C_{\text{подз}}^{2021} = \frac{1,0953 * 0,3}{1 + 0,3 + 0,3} * 2,3 = 0,47 \text{ млрд. руб.}$$

$$C_0^{2021} = (11,76 + 0,47) * 0,1 = 1,22 \text{ млрд. руб.}$$

В 2022 г. стоимостная оценка водных ресурсов (С₀, рублей) составила:

$$C_{\text{пов}}^{2022} = \frac{1,2566 * 0,3}{1 + 0,3 + 0,3} * 0,95 * 0,8 * 1,28 * 1 * 62,49 = 14,32 \text{ млрд. руб.}$$

$$C_{\text{подз}}^{2022} = \frac{1,2566 * 0,3}{1 + 0,3 + 0,3} * 2,3 = 0,54 \text{ млрд. руб.}$$

$$C_0^{2022} = (14,32 + 0,54) * 0,1 = 1,49 \text{ млрд. руб.}$$

Исходя из полученных результатов проведенной стоимостной оценки водных ресурсов Республики Беларусь за 2020-2022 гг., можно сделать следующие выводы:

- существует устойчивая тенденция к росту стоимости водных ресурсов в Республике Беларусь. В процентном соотношении стоимость водных ресурсов в 2021 г. выросла на 36,34% по сравнению с 2020 г., а в 2022 г. – на 21,50% по сравнению с 2021 г.;

- ежегодный рост стоимости в абсолютных величинах происходит, в основном, за счёт роста тарифа на водоснабжение и ежегодного увеличения объема поверхностных вод на территории страны, образуемых речным стоком и количеством воды, аккумулированной в озерах и водохранилищах.

Тариф на водоснабжение в 2021 г. вырос на 10,41% по сравнению с 2020 г., а в 2022 г. - на 14,73% по сравнению с 2021 г.

В свою очередь объём поверхностных вод на территории страны, образуемых речным стоком и количеством воды, аккумулированной в озерах и водохранилищах, в 2021 г. увеличился на 24,79% по сравнению с 2020 г., в 2022 г. объём вырос на 6,11% по сравнению с 2021 г.

Стоимость поверхностных вод в 2021 г. выросла на 37,77% по сравнению с 2020 г., а в 2022 г. данный показатель вырос на 21,76% по сравнению с 2021 г.

В свою очередь стоимость подземных вод в 2021 г. увеличилась на 9,30% по сравнению с 2020 г., в 2022 г. показатель вырос на 14,89% по сравнению с 2021 г.

Динамика стоимостной оценки экосистемной услуги водных ресурсов в Республике Беларусь за 2020-2022 гг. приведена на рисунке 1.

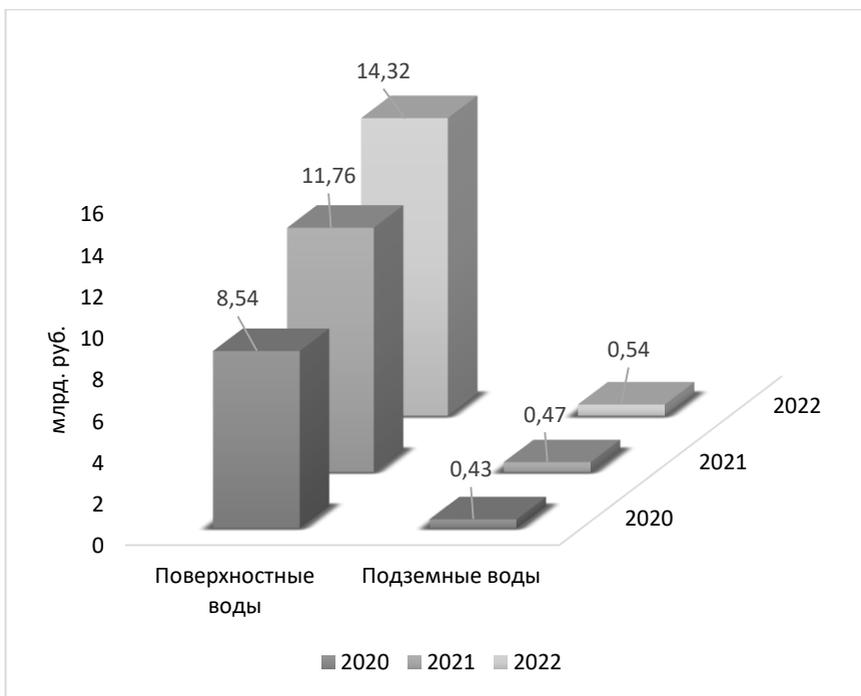


Рис.1. Изменение стоимостной оценки экосистемной услуги водных ресурсов в Республики Беларусь за 2020-2022 гг.

В условиях нарастающего давления на водные ресурсы важно адаптировать методы оценки и управления водопользованием. Это позволит более эффективно использовать поверхностные и подземные воды, опираясь на их экономическую ценность и обеспечивая их устойчивое использование для будущих поколений. Таким образом, понимание реальной ценности экосистемных услуг водных ресурсов и внедрение полученных данных в процесс принятия решений станут необходимыми шагами к обеспечению устойчивого развития и охраны окружающей среды.

Литература

1. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 27 февраля 2024 г. №123 «О проведении экономической оценки экосистемных услуг» – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=C22400123&source=subscribe> – Дата доступа: 03.12.2024.
2. Государственный водный кадастр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://195.50.7.216:8081> – Дата доступа: 03.12.2024.
3. Архив кадастровой информации – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cricuwr.by/publications/archive-cadastral-information/1> – Дата доступа: 03.12.2024.
4. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 30.03.2015 № 12 «Об установлении перечня поверхностных водных объектов, используемых для размножения, нагула, зимовки, миграции видов рыб отрядов лососеобразных и осетрообразных» – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21529846> – Дата доступа: 03.12.2024.
5. О тарифах на жилищно-коммунальные услуги – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/> – Дата доступа: 03.12.2024.

УДК 330.15, 330.5

Экономическая оценка поверхностных вод Республики Беларусь, как элемента экосистемных услуг, на примере рек Березина и Вилия

Ворочкова П.А., Балабан Т.Ю.

Научный руководитель Дубенок С.А., к.т.н.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Экономическая оценка природных экосистем является одним из направлений устойчивого развития и экологической безопасности страны. Водные ресурсы Республики Беларусь, включающие поверхностные и подземные воды, являются поистине национальным достоянием и богатством страны. Этим обусловлена необходимость проведения их экономической оценки, которая позволяет наиболее эффективно их использовать в различных видах хозяйственной деятельности. Стоимостная оценка водных ресурсов проведена для поверхностных вод на примере двух рек – Березины и Вилии.

Понятие экономической оценки экосистемных услуг в национальном законодательстве закреплено относительно недавно. В новой редакции Закона Республики Беларусь «Об охране окружающей среды», которая принята 17 июля 2023 г., закреплено понятие «экосистемные услуги», трактуемое, как обеспечивающие, регулирующие, поддерживающие, культурные и иные услуги, которые позволяют получать обществу выгоды в экологической, экономической и социальной сферах в результате сохранения, восстановления и устойчивого функционирования естественных экологических систем» [1].

Экономическая оценка экосистемных услуг отдельных компонентов окружающей среды является основой для прогноза и оценки изменения состояния окружающей среды при антропогенном воздействии на естественные экосистемы, при проведении оценки воздействия на окружающую среду, а также при разработке и обосновании мероприятий по снижению вредного воздействия на окружающую среду и улучшения ее качества.

Предметом исследования является экономическая оценка экосистемных услуг водных ресурсов, как одного из основных элементов природного национального богатства страны.

В данной работе проведена экономическая оценка поверхностных вод на примере двух больших рек страны, которые в настоящее время интенсивно используются в хозяйственной деятельности – Березина и Вилия.

Река Березина является самой протяжённой рекой на территории Беларуси, которая начинается и заканчивается в пределах страны, т.е. не является трансграничным водотоком. Ее длина составляет 613 км, площадь водосбора составляет 24500 км². Река протекает в пределах Витебской, Минской, Могилёвской и Гомельской области и относится к бассейну реки Днепр.

Вилия имеет длину 510 км с общей площадью водосбора 24 942 км². Вилия представляет собой самый длинный приток реки Неман. Река является трансграничной, в Беларуси протекает на расстоянии 276 км по территории Витебской, Минской и Гродненской областей, 234 км – по территории Литвы.

Согласно положению о порядке и условиях проведения экономической оценки экосистемных услуг [2], стоимостная оценка экосистемной услуги водных ресурсов может рассчитываться отдельно для поверхностных и подземных вод.

Стоимостная оценка водных ресурсов ($C_{\text{вр}}$, рублей) рассчитывается по следующей формуле:

$$C_{\text{вр}} = C_{\text{пов}} \times K, \quad (1)$$

где $C_{\text{пов}}$ – стоимостная оценка поверхностных вод, рублей;

K – коэффициент экономической доступности водных ресурсов, определяемый, как $K=1-d_{\text{но}}$, где $d_{\text{но}}$ – доля сточных вод, требующих очистки, в общей структуре водоотведения.

Для наглядности сведём данные из Государственного водного кадастра за 2021-2023 гг. [3] о доле сточных вод, требующих очистки (укрупненно для бассейнов рек Нёман и Днепр), а также коэффициент экономической доступности водных ресурсов в таблицу 1.

Таблица 1

Сводные данные для расчёта коэффициента экономической доступности водных ресурсов и его значение для бассейнов рек Нёман и Днепр

Год	$d_{\text{но}}$		K	
	Бассейн реки Нёман	Бассейн реки Днепр	Бассейн реки Нёман	Бассейн реки Днепр
2021	99,1% (0,991)	99,9% (0,999)	0,009	0,001
2022	99,0% (0,990)	99,8% (0,998)	0,010	0,002
2023	99,9% (0,999)	99,9% (0,999)	0,001	0,001

Стоимостная оценка поверхностных вод (Спов, рублей) рассчитывается по следующей формуле:

$$C_{\text{пов}} = \frac{C \times K_R}{1 + p + K_R} \times K_{\text{вых}} \times K_{\text{эс}} \times K_p \times K_э \times V_{\text{пов}}, \quad (2)$$

где C – рыночная цена водных ресурсов, руб./ м³;

K_R – коэффициент эффективности воспроизводства водных ресурсов, принимается равным 0,3;

p – коэффициент эффективности (рентабельности) производства продукции природопользования, принимается равным 0,3;

$K_{\text{вых}}$ – коэффициент выхода конечной продукции природопользования с единицы природного ресурса, учитывающий технологические потери при добыче, транспортировке и очистке воды из поверхностных водных объектов, принимается равным 0,95;

$K_{\text{эс}}$ – коэффициент, учитывающий экологический статус поверхностных водных объектов, который является преобладающим для большинства поверхностных водных объектов, по данным государственного водного кадастра в соответствии с таблицей Приложения 1 [2];

K_p – коэффициент, учитывающий рыбохозяйственное значение поверхностных водных объектов (1,25 или 1,0) в случае, если стоимостная оценка водных ресурсов проводится в разрезе административно-территориальных единиц (областей и г. Минска) и применяется отдельно для каждого поверхностного водного объекта;

$K_э$ – коэффициент, учитывающий экологическую значимость поверхностных вод (2,0 или 1,0) в случае, если стоимостная оценка водных ресурсов проводится в разрезе административно-территориальных единиц (областей и г. Минска) и применяется отдельно для каждого поверхностного водного объекта;

$V_{\text{пов}}$ – объем поверхностных вод, образуемых речным стоком, по данным государственного водного кадастра, м³ [3].

Показатель рыночной цены водных ресурсов (C , руб./ м³) рассчитываем, как среднее арифметическое значение тарифов на услугу водоснабжения, обеспечивающие полное возмещение экономически обоснованных затрат на их оказание по областям, в пределах которых находятся бассейны рек Березина и Виляя. Данные для расчета, взятые из ежегодных решений Витебского, Минского, Гомельского, Могилёвского и Гродненского областных исполнительных комитетов, устанавливающих тарифы в период 2021-2023 гг., приведены в таблице 2.

Таблица 2

Фиксированные тарифы на водоснабжение, обеспечивающие полное возмещение экономически обоснованных затрат на их оказание, руб./ м³

Год	Витебская область	Минская область	Могилёвская область	Гомельская область	Гродненская область
2021	1,1623	1,1000	1,1603	1,1610	1,1217
2022	1,3000	1,2261	1,3499	1,3432	1,3144
2023	1,4809	1,4309	1,5099	1,4967	1,4739

Рассчитанная рыночная цена водных ресурсов для рек Виляя и Березина представлена в таблице 3.

Таблица 3

Рыночная цена водных ресурсов для рек Виляя и Березина, руб./ м³

Год	Рыночная цена водных ресурсов	
	Березина	Виляя
2021	1,1459	1,1280
2022	1,3048	1,2802
2023	1,4796	1,4619

Требуемые для расчета данные по экологическому статусу поверхностных водных объектов взяты из публикаций Государственного водного кадастра за 2021-2023 гг. [3], данные по рыбохозяйственному значению поверхностных водных объектов взяты из постановления Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 30 марта 2015 г. № 12 «Об установлении перечня поверхностных водных объектов, используемых для размножения, нагула, зимовки, миграции видов рыб отрядов лососеобразных и осетрообразных» [4].

Для удобства вычисления все данные, необходимые для расчета стоимостной оценки поверхностных вод, сведены в таблицу 4.

Таблица 4

Сводные данные для стоимостной оценки поверхностных вод рек Березина и Виляя

Данные для расчёта	2021 год		2022 год		2023 год	
	Березина	Виляя	Березина	Виляя	Березина	Виляя
К	0,001	0,009	0,002	0,010	0,001	0,001
Ц, (руб./м ³)	1,1459	1,1280	1,3048	1,2802	1,4796	1,4619
K _R	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
p	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
K _{вых}	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
K _{эс}	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
K _p	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
K _э	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
V _{пов} , (км ³ /год)	4,20	1,63	4,56	1,98	5,35	1,98

Стоимостная оценка водных ресурсов за 2021 год:

$$C_{\text{пов(Березина)}} = \frac{1,1459 \times 0,30}{1 + 0,30 + 0,30} \times 0,95 \times 0,80 \times 1,25 \times 1,00 \times 4\,200\,000\,000,00 = 857\,276\,437,50 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{вр(Березина)}} = 857\,276\,437,50 \times 0,001 = 857\,276,43 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{пов(Виляя)}} = \frac{1,1280 \times 0,30}{1 + 0,30 + 0,30} \times 0,95 \times 0,80 \times 1,25 \times 1,00 \times 1\,630\,000\,000,00 = 327\,507\,750,00 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{вр(Виляя)}} = 327\,507\,750,00 \times 0,009 = 2\,947\,569,75 \text{ руб.}$$

Стоимостная оценка водных ресурсов за 2022 год:

$$C_{\text{пов(Березина)}} = \frac{1,3048 \times 0,30}{1 + 0,30 + 0,30} \times 0,95 \times 0,80 \times 1,25 \times 1,00 \times 4\,560\,000\,000,00 = 1\,059\,823\,800,00 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{вр(Березина)}} = 1\,059\,823\,800,00 \times 0,002 = 2\,119\,647,60 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{пов(Виляя)}} = \frac{1,2802 \times 0,30}{1 + 0,30 + 0,30} \times 0,95 \times 0,80 \times 1,25 \times 1,00 \times 1\,980\,000\,000,00 = 451\,510\,537,50 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{вр(Виляя)}} = 451\,510\,537,50 \times 0,01 = 4\,515\,105,38 \text{ руб.}$$

Стоимостная оценка водных ресурсов за 2023 год:

$$C_{\text{пов(Березина)}} = \frac{1,4796 \times 0,30}{1 + 0,30 + 0,30} \times 0,95 \times 0,80 \times 1,25 \times 1,00 \times 5\,350\,000\,000,00 = 1\,410\,012\,562,50 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{вр(Березина)}} = 1\,410\,012\,562,50 \times 0,001 = 1\,410\,012,56 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{пов(Виляя)}} = \frac{1,4619 \times 0,30}{1 + 0,30 + 0,30} \times 0,95 \times 0,80 \times 1,25 \times 1,00 \times 1\,980\,000\,000,00 = 515\,593\,856,25 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{вр(Виляя)}} = 515\,593\,856,25 \times 0,001 = 515\,593,86 \text{ руб.}$$

Динамика стоимостной оценки поверхностных водных ресурсов рек Березина и Виляя за 2021-2023 гг. приведена на рисунке 1.

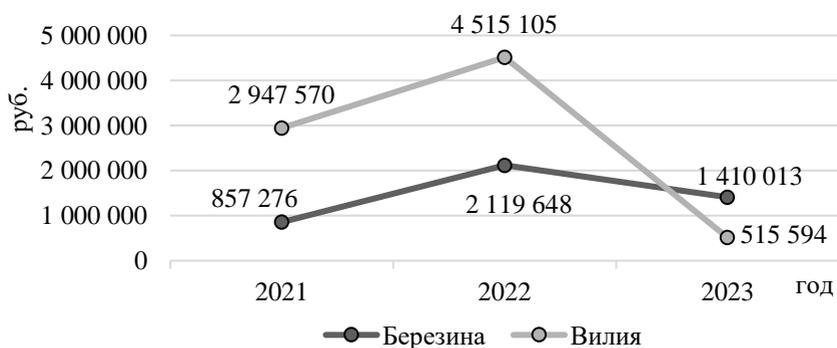


Рис.1. Динамика стоимостной оценки поверхностных водных ресурсов рек Березина и Виляя за 2021-2023 гг.

Анализ проведенного расчета стоимостной оценки поверхностных вод рек Березина и Вилия указывает, что основными факторами, влияющими на стоимость водных ресурсов рассматриваемых водотоков, являются, прежде всего, объем речного стока, величина коэффициента экономической доступности водных ресурсов и рыночная цена водных ресурсов.

Очевидно, что годовой объём речного стока является непостоянной величиной и испытывает годовые колебания, величина которых зависит, прежде всего, от климатических условий на водосборе (количества выпавших осадков, видами и продолжительностью их выпадения, температурного режима, интенсивностью испарения воды с поверхности водных объектов и т.д.), а также от комплекса иных физико-географических факторов (рельеф, почвы, растительность и др.) и хозяйственной деятельности в пределах речного бассейна. За 2021-2023 гг. годовой объём стока рек Березина и Вилия ежегодно увеличивался: по р. Вилия на 21% в 2022 г. к 2021 г., по реке Березина – на 8,6%. Однако, как показывают исследования изменения климата, водность рек, особенно в южной части Беларуси, имеет тенденцию к снижению, что будет увеличивать экономическую ценность водных ресурсов в этом регионе.

Величина рыночной цены водных ресурсов напрямую связана с тарифами на услугу водоснабжения для населения, которая регулируется государством и ее рост является прогнозируемым (за рассматриваемый период 2021-2023 гг. показатель ежегодно увеличивался примерно на 13 %).

Таким образом, как показывают проведенные расчёты за 2021-2023 гг. наибольшее влияние на величину стоимостной оценки поверхностных вод рек Березина и Вилия оказывает коэффициент экономической доступности, который напрямую связан с долей безопасно очищаемых хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод в общей структуре водоотведения в водные объекты.

Литература

1. Об изменении Закона Республики Беларусь «Об охране окружающей среды» [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 17 июля 2023 г. № 294-З // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – 2023. – 2/3014.
2. О проведении экономической оценки экосистемных услуг: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 27 февраля 2024 г. № 123 // Национальный правовой Интернет-портал Республики

Беларусь. – Режим доступа:
<https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22400123>

3. Государственный Водный Кадастр за 2021, 2022, 2023 [Электронный ресурс] – Режим доступа:
<https://www.cricuwr.by/publications/archive-cadastral-information/>

4. Об установлении перечня поверхностных водных объектов, используемых для размножения, нагула, зимовки, миграции видов рыб отрядов лососеобразных и осетрообразных: постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 30 марта 2015 г. № 12 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21529846>

УДК 502.3

Получение сорбентов из отходов

Дорошкевич В.В., Ильин Д.Н.

Научный руководитель заведующий кафедрой промышленной экологии
Лихачева А. В., к.т.н., доцент

Учреждение образования «Белорусский государственный
технологический университет», Минск, Республика Беларусь

На основании проведенных опытов показано, что изобретение обеспечивает получение сорбента для очистки природных и сточных вод от ионов железа из отходов: опилок, свекловичного жома, тростника, – не уступающим по своим свойствам активированному углю, используемому на Минской очистной станции.

Одним из важнейших условий благоприятной жизнедеятельности человека является качественная питьевая вода. Республика Беларусь не испытывает дефицита в таком полезном ископаемом, как подземные воды. Однако, на большей части территории страны они не соответствуют требованиям, предъявляемым к воде питьевого качества по такому показателю, как концентрация железа. При допустимой норме содержания железа в питьевой воде 0,3 мг/л [1]. За счет снижения платы за экологический налог, его содержание в подземных водах может достигать 40 мг/л.

Сорбционная очистка природных вод от соединений железа является одной из наиболее эффективных. Учитывая то, что объемы забираемой воды очень большие, то для водоподготовки потребуется

значительные количества сорбентов. Потребность республики в активированных углях составляет более 700 т/год. В тоже время, они не производятся в стране из-за высокой себестоимости. В связи с этим, актуальным является поиск альтернативных источников сырья для получения эффективных сорбентов.

В работе в качестве таких источников рассматриваются отходы. Работа нацелена на то, чтобы найти новый способ получения сорбентов для очистки воды от ионов железа.

При проведении исследований моделировали следующие варианты получения сорбентов из отходов:

1. пиролиз с получением неактивированного сорбента;
2. активация полученного сорбента пероксидом водорода;
3. активация полученного сорбента фосфорной кислотой.

Основные выводы по результатам проведенных исследований:

- активированный уголь, полученный из древесных опилок и активированный пероксидом водорода, по величине СОЕ и эффективности очистки воды от железа соответствует сорбенту, используемому для очистки воды на МОС;

- уголь, полученный из тростника пиролизом и с последующей активацией пероксидом водорода, уступает сорбенту, используемому на МОС, по величине СОЕ на 2 %, а по эффективности очистки они равны.

Таким образом, для получения сорбентов рекомендуются следующие варианты:

1. Пиролиз древесных опилок с последующей активацией пероксидом водорода.
2. Пиролиз отходов тростника.
3. Пиролиз отходов тростника с последующей активацией пероксидом водорода.

Для данных вариантов были составлены материальные балансы и принципиальные технологические схемы.

На рис. 1 показана принципиальная технологическая схема для получения сорбента из отхода тростника пиролизом.

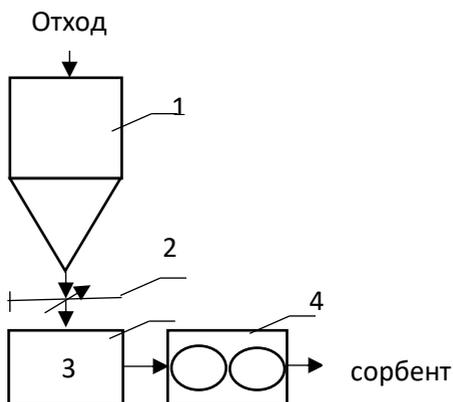


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема для получения сорбента из отхода тростника:
1 – бункер отхода, 2 – весовой дозатор, 3 – печь, 4 – измельчитель

На рис. 2 показана принципиальная технологическая схема получения сорбента из отхода древесных опилок пиролизом с последующей активацией пероксидом водорода.

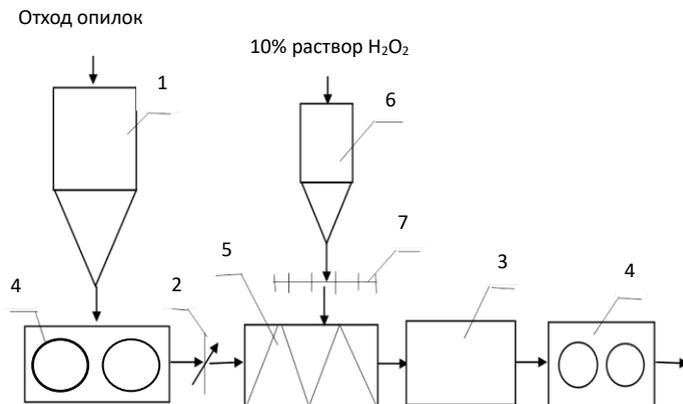


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема для получения сорбента из отхода опилок:
1 – бункер отхода, 2 – весовой дозатор, 3 – печь, 4 – измельчитель, 5 – смеситель, 6 – емкость пероксида водорода, 7 – объемный дозатор

Результаты работы будут интересны предприятиям и организациям, эксплуатирующим станции обезжелезивания:

- 1) Организации жилищно-коммунального хозяйства

2) Промышленные предприятия, обеспечивающие технологические процессы водой требуемого качества.

В таблице 1 представлены зарубежный и отечественный опыты получения активированного угля из разного вида сырья.

Таблица 1

Зарубежный и отечественный опыт получения сорбентов из отходов

Страны производители активированного угля	Производительность, тыс. т/год	Сырье
США	110-120	Битуминозные, бурые угли, древесина, скорлупа орехов
Япония	60	Сырье растительного происхождения, скорлупа кокоса, фруктовые косточки
Голландия	35	Торф
Германия	32	Древесина, бурый уголь, скорлупа кокоса, фруктовые косточки
Франция	12	Древесина, скорлупа кокоса
Бельгия	10	Каменный уголь
Республика Беларусь	-	Щепа, гидролизный лигнин

Республика Беларусь является активным участником в области разработки экологически чистых технологий.

Преимущества сорбентов из опилок, свекловичного жома, отходов тростника:

- экологичность. Они создаются из отходов, тем самым улучшая экологическое состояние окружающей среды в стране;
- низкая стоимость. В сравнении с другими сырьевыми материалами, они являются более дешевыми;
- доступность. Материалы широко распространены и могут получаться в больших количествах на производствах;
- легкая обработка. Отходы легко обрабатываются, что позволяет их модифицировать для улучшения качества очистки;
- многообразие применения. Сорбенты из данных материалов могут применяться как в очистке природных, так и сточных вод, в очистке выбросов в атмосферный воздух или улучшения качества почвы.

В таблице 2. представлен вывод по расчетам экономической эффективности и срока окупаемости сорбента, полученного из отходов.

Таблица 2

Показатели экономической эффективности (на 1 т отхода)

Наименование показателя	Условные обозначения	Величина показателя
Экономический эффект (за счет снижения платы за экологический налог), руб.		202115
Капитальные вложения, руб.	КВ	70296
Прибыль от реализации, руб.	Пгод	41615
Рентабельность, %	Р	15
Срок окупаемости, лет	Ток=КВ/Пгод	1,7 года

Республика Беларусь всегда стремится добиться наилучшей экологической ситуации в стране, разрабатывая новые технологии во всех сферах экономики.

Выполненная нами работа направлена на то, чтобы разработать технологические решения по получению новых видов сорбентов для улучшения качества питьевой воды, очистки сточных вод и тем самым, создать более благоприятные условия для людей и улучшить качество воды в водоемах и водотоках страны.

Данная тематика исследований соответствует [2-4]:

– перечню приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности Республики Беларусь на 2021–2025 годы;

– Государственной программе «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов» (подпрограмма 5 «Национальная система мониторинга окружающей среды»);

– Государственной программе «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021–2025 годы (подпрограмма 5 «Чистая вода»).

Литература

1. Санитарные правила и нормы 2.1.4. «Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарные правила и нормы СанПиН 10–124 РБ 99» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mshp.gov.by/ru/technical-acts-ru/view/sanitarnye-pravila-i-normy-214-laquoipitjevaja-voda-i-vodosnabzhenie-naselennyx-mest-pitjevaja-voda-gigieni-4088/?usclid=m49vpponum674840515>. Дата доступа: 29.11.2024.

2. О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы: Указ Президента Республики Беларусь 7 мая 2020 г. № 156 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://belstu.by/documents/science/issledovania/actual/prioritetnyie-napravleniya-2021-2025-1.pdf>. – Дата доступа: 29.11.2024.

3. Государственная программа «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]. – <https://minpriroda.gov.by/uploads/files/Gosudarstvennaja-programma-2021-2025.pdf>. – Дата доступа: 29.11.2024.

4. Государственная программа «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021–2025 годы: пост. Совета Министров Республики Беларусь 28 января 2021 г. № 50 [Электронный ресурс]. – <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100050> – Дата доступа: 29.11.2024.

УДК 502.131

Анализ методов, технологий, сооружений и оборудования очистки производственных сточных вод

Зорин Е.В., Шакаль Т.М.

Научный руководитель Куралёнок А.А.

Белорусский национальный технический университет, Минск
Республика Беларусь

В работе приведен анализ методов, технологий, сооружений и оборудования очистки производственных сточных вод. Проведенный анализ указывает, что в настоящее время используется проверенный комплекс мероприятий и технологий очистки. При этом активно ведутся исследования по всем направлениям, затрагивающим процесс обращения с производственными сточными водами, которые в конечном итоге приводят к появлению новых современных методов, технологий, сооружений и оборудования очистки.

В окружающих нас реках и озёрах, морях и океанах происходит природный процесс очистки воды, поэтому пока промышленные и хозяйственно-бытовые стоки в водоёмы были незначительных объемов, загрязняющие вещества самостоятельно выводились из природной системы.

В настоящее время, с момента промышленной революции, объём загрязнённых сточных вод значительно увеличился, поэтому возникла необходимость в разработке методов по их очистке, особенно на предприятиях.

Перед сбросом в канализацию или водный объект промышленные стоки необходимо очистить до требуемых допустимых параметров. Для

успешного достижения этой цели предприятие строит очистные сооружения [1].

Промышленные очистные сооружения (ОС) – комплекс оборудования для очистки промышленных стоков предприятий до требуемых нормативов. Они позволяют подготовить воду к сбросу в водный объект или возврату в цикл производства.

Очистка происходит в соответствии с подобранными предприятием под свои нужды схемы очистки и очистного оборудования, на основании следующих факторов [1]:

а) состав стоков – влияет на выбор оптимальной технологии обработки и оборудования;

б) объём стоков – позволяет определить нужные размеры и производительность ОС;

в) наличие существующей инфраструктуры – канализационные коллекторы, насосные станции и проч.;

г) требования законодательства к качеству очищенных стоков.

Очистка сточных вод представляет собой сложный технологический процесс, направленный на разрушение и удаление вредных, посторонних примесей из неё. Методы очистки сточных вод подразделяются на [1][2]:

а) механический;

б) химический;

в) физико-химический;

г) биологический.

Процесс механической очистки предполагает воздействие сил гравитации и центробежных сил на загрязняющие примеси. В результате, происходит очистка жидкости от крупных загрязняющих частиц, крупного мусора, грубодисперсных частиц, грязи, песка, жира, нефтепродуктов и других загрязнений, которые оседают на дне ёмкости или всплывают на её поверхность.

Для улавливания и отделения примесей применяются: отстойники, пескоуловители (песколовки), жируловители, решётки, сита, септики, различные улавливающие конструкции.

Для поверхностных плёночных загрязнений применяются нефтеуловители (скимерры-нефтеловушки), а также бензомаслоуловители и дополнительные отстойники.

Применение механического метода очистки позволяет выделять из стоков промышленного происхождения до 95% взвешенных веществ.

Химический метод – основывается на введении определённых химических реагентов в загрязнённую воду. Реагенты, попав в промышленные сточные воды, которые требуют очистки, вступают в реакцию с загрязнениями, в результате которой они выпадают в виде

нерастворимого осадка, либо всплывают на поверхность воды, впоследствии примеси удаляются из основной массы сточных вод.

В качестве реагентов используются: коагулянты, флокулянты, сорбенты.

Применение химического метода позволяет удалить до 95% различных нерастворимых и 25% растворимых примесей.

Физико-химический метод позволяет отделить из потока растворённые примеси неорганического происхождения, тонко дисперсные примеси, органические вещества и примеси, плохо поддающиеся окислению.

Для целей метода применяются следующие способы: коагуляция, сорбция, экстракция, окисление и другие.

В качестве реагентов применяются химические вещества и различное оборудование, например, флотаторы, центрифуги, лампы УФ-обеззараживания.

Также широко применяется способ электролиза, в процессе которого происходит разрушение соединений органических веществ, извлечение кислот, металлов, других неорганических соединений. Для электролитической очистки используют специальное сооружение – электролизер.

В группу физико-химических методов входят и очищение вод при помощи озона, ультразвука, высокого давления и ионообменных смол. Большая доля в обеззараживании приходится на хлорирование.

В основе биологического метода лежит использование микроорганизмов (бактерии, активный ил), которые перерабатывают загрязнения в безвредные вещества. В окружающей среде они производят закономерное физиологическое и биологическое самоочищение рек и озёр.

Для биологической очистки применяют следующие виды сооружений: аэротенки, пруды биологические (биопруды), биофильтры, биореакторы, поля орошения или фильтрации и т.д.

Важным моментом в применении методов очистки промышленных сточных вод является их очерёдность: первоначально необходима механическая очистка, после следует химический или физико-химический способы, завершается процесс биологической очисткой. В зависимости от степени и вида загрязнений химический или физико-химический методы можно не проводить.

Современные методы очистки сточных вод постоянно развиваются, стремясь к большей эффективности, экономичности и экологичности.

К новым и перспективным методам относятся [3]:

а) биологические методы:

1) мембранные биореакторы (MBR) – это наиболее распространенный тип современных сооружений. Они представляют собой комбинацию традиционных аэротенков (для биологической очистки) и мембранных

фильтров (микрофильтрация, ультрафильтрация). Мембраны обеспечивают высокую степень очистки, удаляя даже самые мелкие взвешенные вещества и патогенные микроорганизмы. Конструкция часто включает модульные блоки, позволяющие масштабировать систему в зависимости от потребностей. Однако, MBR требуют больших капиталовложений и энергии;

2) биореакторы с иммобилизованными микроорганизмами: микроорганизмы закреплены на носителе (например, биопленка на гранулах или в матрице), что повышает их концентрацию и эффективность очистки, а также упрощает процесс удаления активного ила. Это позволяет управлять осадком и сокращает занимаемую площадь. Конструкции могут быть как в виде компактных установок, так и больших биореакторов;

3) аэробная и анаэробная обработка в одной системе: сочетание аэробных (с использованием кислорода) и анаэробных (без использования кислорода) процессов позволяет оптимизировать очистку и получить дополнительные преимущества, например, биогаз.

В настоящее время ведутся активные исследования, направленные на поиск новых видов микроорганизмов и применение их для эффективной очистки от специфических загрязнителей, например, лекарственных препараты или микропластик. Также в качестве перспективного направления рассматривается генетическая модификация микроорганизмов.

б) физико-химические методы:

1) окислация с помощью перекиси водорода – эффективна для удаления органических загрязнителей и улучшения биоразлагаемости сточных вод;

2) фотокаталитическая очистка – это использование фотокатализаторов (например, диоксида титана) под воздействием ультрафиолетового света для разложения органических веществ. Метод является экологически чистым и эффективным для удаления стойких загрязнителей;

3) установки коагуляции и флокуляции – применяются для удаления взвешенных веществ, а также некоторых растворимых примесей, из сточной воды. Конструкция включает в себя резервуары для смешивания реагентов (коагулянтов и флокулянтов) и отстойники для отделения осадка. Современные установки оснащены автоматизированными системами контроля и дозирования реагентов;

4) мембранные технологии (кроме MBR): различные виды мембран (микрофильтрация, ультрафильтрация, нанофильтрация, обратный осмос) используются для отделения загрязняющих веществ от воды. Выбор мембраны зависит от типа и концентрации загрязнителей.

в) комбинированные методы: наиболее эффективные системы очистки часто используют комбинацию различных методов, позволяя оптимизировать процесс и достичь наилучших результатов. Например, сочетание биологической обработки с мембранной фильтрацией или окислительной обработкой.

Новыми и быстроразвивающимися направлениями развития методов очистки сточных вод являются:

а) применение нанотехнологий: разработка новых материалов и процессов на основе нанотехнологий для повышения эффективности очистки;

б) разработка интеллектуальных систем управления: использование датчиков и искусственного интеллекта для оптимизации работы очистных сооружений в режиме реального времени;

в) восстановление ресурсов из сточных вод: извлечение ценных веществ (например, фосфора, азота, энергии) из сточных вод для повторного использования.

Развиваются не только методы очистки сточных вод, но и сооружения, применяемые для этих целей. К перспективным сооружениям относятся [3]:

а) метантенки: для анаэробной стабилизации осадка, в результате которой образуется биогаз (метан). Современные метантенки часто оборудованы системами контроля температуры и давления, что повышает эффективность процесса;

б) обезвоживающие установки: для снижения влажности осадка перед его переработкой или захоронением. Применяются различные методы обезвоживания, включая механическое обезвоживание (центрифугирование, прессование) и термическое обезвоживание;

в) установка термической обработки: для обеззараживания и уменьшения объема осадка. Включают различные типы печей и сушилок.

Вместе с тем претерпевают изменения и технологии, используемые в организации очистки сточных вод. К таким изменениям относятся [3]:

а) автоматизация и дистанционное управление: современные очистные сооружения оснащены системами автоматического контроля и управления, что позволяет оптимизировать работу оборудования и снизить затраты на персонал. Дистанционный мониторинг позволяет оперативно реагировать на любые неполадки;

б) энергоэффективность: используются энергосберегающие технологии, такие как рекуперация энергии из биогаза и оптимизация работы насосного оборудования;

в) модульность и гибкость: модульная конструкция позволяет легко расширять или модернизировать очистные сооружения в зависимости от потребностей;

г) интеграция с другими системами: современные очистные сооружения часто интегрированы с системами водоснабжения и водоотведения, что повышает эффективность всего водохозяйственного цикла;

Конкретный выбор оптимального метода, технологий, сооружений и оборудования зависит от многих факторов, включая объем и состав сточных вод, требуемый уровень очистки, доступные ресурсы, экологические требования и экономические ограничения. На практике часто приходят к тому, что эффективным решением является использование комплексного подхода, представляющего собой сочетание различных технологий.

Литература

1) Биомикрогель [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://biomicrogel.com/ru/blog/wastewater-treatment-facilities/> - Дата доступа: 30.11.2024;

2) БелАкваПром [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://bapi.by/metody-ochistki-stochnyx-vod/> - Дата доступа: 30.11.2024;

3) Genesis Water Technologies, Inc. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://ru.genesiswatertech.com/blog-post/innovations-in-industrial-wastewater-treatment/> - Дата доступа: 30.11.2024.

УДК 628.16

Сравнительная оценка работы станций обезжелезивания предприятий Белорусской железной дороги

Каравацкая К. С., Марушевский В.О.

Научный руководитель Грузинова В.Л., к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

На основании проведенных исследований дана сравнительная характеристика состава и эффективности работы станций обезжелезивания предприятий Белорусской железной дороги, а также приведены рекомендации по совершенствованию работы станций.

В условиях развития железнодорожного транспорта и возрастающих требований к качеству воды, используемой для питьевых и технических нужд, актуальным становится вопрос эффективной очистки воды от железа. На предприятиях железной дороги широко применяются станции обезжелезивания, однако, эффективность их работы может варьироваться в

зависимости от применяемых технологий, конструктивных особенностей оборудования и качества исходной воды.

В результате естественных геохимических процессов изменения химического состава подземных вод за длительный геологический период на территории Республики Беларусь сформировались региональные гидрогеохимические провинции с повышенным содержанием железа, марганца и других элементов. Употребление таких подземных вод для хозяйственно-питьевых нужд возможно только после их очистки от компонентов, содержание которых превышает установленные нормы. Согласно [1] предельно допустимая концентрация железа в питьевой воде составляет $0,3 \text{ мг/дм}^3$, а концентрация железа в подземных водах Беларуси составляет от $1-2$ до 30 мг/дм^3 и более.

Более 77% населения пользуются водой централизованных и около 22% – нецентрализованных источников водоснабжения. Системы централизованного водоснабжения 100 городов, 78 поселков городского типа, 137 сельских населенных пунктов обслуживаются коммунальными предприятиями, а 20 городов и 28 поселков городского типа – предприятиями промышленности и железной дороги.

На станциях обезжелезивания предприятий Белорусской железной дороги в исходной воде железо содержится в двухвалентной форме, его концентрация колеблется от $0,33 \text{ мг/дм}^3$ до $9,7 \text{ мг/дм}^3$.

Основными станциями обезжелезивания Белорусской железной дороги являются станции Лида, Брест, Орша и санаторий-профилакторий «Талька».

Водоснабжение станции Лида Белорусской железной дороги.

Станция обезжелезивания предназначена для удаления железа из воды артезианских скважин методом упрощенной аэрации с последующим одноступенчатым фильтрованием на напорных фильтрах. Концентрация железа в исходной воде колеблется от $0,43 \text{ мг/дм}^3$ до $9,7 \text{ мг/дм}^3$.

На станции обезжелезивания установлено 6 фильтров ФОВ – $1,4-0,6$ с загрузкой шлаком Бурштынской ГРЭС. Диаметр каждого фильтра $1,4$ м, площадь фильтрования $1,53 \text{ м}^2$. Вода из артезианских скважин поступает в аэратор и смешивается с атмосферным воздухом. Насыщенная воздухом вода насосами второго подъема подается на напорные фильтры. После фильтрования вода обеззараживается на бактерицидной установке типа ОВ–50 и затем под остаточным напором $30-35$ м поступает в водонапорную башню.

Промывка фильтров производится при концентрации железа в очищенной воде больше допустимой ($0,3 \text{ мг/дм}^3$) и величине потерь напора больше 6 м, что определяется с помощью манометров, установленных на линиях отвода обезжелезенной воды от фильтров. Промывка фильтров

производится не реже одного раза в сутки. Вода на фильтры подается снизу вверх из водонапорной башни под напором, создаваемым башней. Промывная вода отводится в реакторы-отстойники, где происходит отстаивание уловленного осадка. После двухчасового отстаивания вода самотеком поступает в аэратор, а осадок сбрасывается в передвижной контейнер, уплотняется и вывозится на утилизацию.

Применяемая система очистки воды от соединений железа на станции Лида не дает требуемого эффекта и не удаляет присутствующие загрязнения до предельно допустимых значений. Средняя концентрация железа в очищенной воде после фильтров составляет $0,75 \text{ мг/дм}^3$. Кроме того, при подаче воды в водонапорную башню концентрация железа в ней увеличивается, что связано с возможным загрязнением и зарастанием трубопроводов. Малый эффект очистки может быть также связан с подачей недостаточного количества воздуха для окисления двухвалентного железа.

Станция обезжелезивания железнодорожного узла Орша. На станции обезжелезивания для очистки воды используется метод напорной фильтрации с предварительной упрощенной аэрацией.

На станции установлено 9 фильтров диаметром 3 м, высотой 1,8 м. В качестве фильтрующей загрузки используется керамзит.

Вода из артезианских скважин по трубопроводу 300 мм последовательно подается на первую ступень очистки, состоящую из четырех фильтров, а затем на вторую ступень, состоящую из пяти фильтров, один из которых резервный. Насыщение воды воздухом происходит либо в смесителе (ими оборудовано 6 фильтров), либо через распределительную систему воздухопроводов (установлена в трех фильтрах).

При таком режиме фильтрации должно происходить глубокое обезжелезивание воды. Но исследования показали, что содержание железа после фильтров составляет $0,4\text{--}0,45 \text{ мг/дм}^3$, что в 1,5 раза превышает норму. Причем в фильтрате содержится равное количество как двух-, так и трехвалентного железа.

Присутствие двухвалентного железа может быть объяснено рядом причин:

- недостаточное количество вводимого в воду воздуха;
- неэффективное смешение воздуха с водой;
- высокая окисляемость (до $7,5 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$) в паводковый период также ухудшает эффективность обезжелезивания воды.

Трехвалентное железо попадает в фильтрат при использовании крупнозернистых загрузок (в данном случае – керамзит), а также при неэффективных и редких промывках фильтров. В связи с этим в качестве загрузки необходимо использовать мелкозернистые материалы, например, кварцевый песок.

При увеличении скорости фильтрации до 17 м/ч также можно достичь ПДК железа в фильтрате. Использование биозагрузки позволит протекать процессу обезжелезивания более эффективно.

При внедрении указанных мероприятий окажется возможным исключение второй ступени очистки или использование ее только в период ухудшения качества воды, что является рациональным решением, как в экономическом, так и в эксплуатационном отношении.

Станция обезжелезивания Брест Белорусской железной дороги. На станции обезжелезивания установлено 15 фильтров, 9 из которых рабочие и 6 резервные. В качестве загрузки фильтра используется топливный шлак Бурштынской ГРЭС (в семи фильтрах) и кварцевый песок (в двух фильтрах).

Технология обезжелезивания воды следующая: от скважин вода по трубопроводу диаметром 200 мм подается в смеситель, где происходит ее контакт с воздухом. Насыщенная воздухом вода поступает на блок фильтров. Направление движения фильтрационного потока – сверху вниз. Обезжелезенная вода от фильтров самотеком переливается в резервуары чистой воды, а затем насосами второго подъема подается в разводящую водопроводную сеть.

Промывка фильтров производится в случае концентрации железа в фильтрате воде более $0,3 \text{ мг/дм}^3$, которая устанавливается химической лабораторией станции обезжелезивания.

После проведения многократных экспериментов было рекомендовано осуществлять промывку фильтрующей загрузки один раз в четверо суток. В противном случае наблюдается недостаточная эффективность работы фильтров. Ежедневно производится последовательная промывка двух фильтров.

Процесс промывки фильтра осуществляется в три этапа:

- в течение 5 минут производится взрыхление фильтрующей загрузки;
- подача воздуха уменьшается на 50% и в течение 15 минут продолжается промывка фильтра;
- подача воздуха прекращается, и в течение 15 минут осуществляется отмывка загрузки.

Интенсивность подачи воды – $13\text{--}15 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$. Замена фильтрующей загрузки производится частично в зависимости от эффекта очистки воды. Средний срок использования фильтрующей загрузки составляет 1,2 года.

Промывная вода сбрасывается в мелиоративный канал без очистки.

Система очистки станции обезжелезивания Брест обеспечивает нормативную концентрацию железа в питьевой воде. Однако основным недостатком работы станции является отсутствие мероприятий по утилизации уловленного железосодержащего осадка.

Станция обезжелезивания санатория-профилактория «Талька» Белорусской железной дороги. Из артезианских скважин вода поступает в резервуар объемом 100 м³. из которого насосами подается через смеситель, где происходит ее смешивание с воздухом от компрессорной установк, поступает на фильтры, а затем под остаточным напором на бактерицидную установку. После обеззараживания вода по трубопроводу диаметром 150 мм поступает в водонапорную башню и далее в разводящую водопроводную сеть санатория.

Состав загрузки фильтров представлен в таблицах 1, 2.

Таблица 1

Состав загрузки фильтра 1

Материал загрузки	Фракция, мм	Высота слоя, мм
Песок	10 x 18	335
Песок	6 x 9	140
Песок	2 x 3	151
Песок	0,6 x 0,8	428
Пиролюзит	0,85 x 0,35	270
Cullcite	0,8 x 2	234

Таблица 2

Состав загрузки фильтра 2

Материал загрузки	Фракция, мм	Высота слоя, мм
Омарганцованный песок	10 x 18	72
Омарганцованный песок	6 x 9	72
Омарганцованный песок	2 x 3	153
Cullex		974

Станция обезжелезивания эффективно очищает воду от соединений железа до нормативных показателей, однако в системе обезжелезивания воды санатория-профилактория «Талька» необходимо предусмотреть мероприятия по утилизации образующегося железосодержащего осадка.

Таким образом при исследовании работы основных водоочистных комплексов предприятий Белорусской железной дороги было установлено, что в ряде случаев вода очищается от ионов железа недостаточно эффективно. С учетом индивидуальных особенностей состава исходной воды были предложены методы обезжелезивания, применение которых позволит повысить эффект удаления из воды ионов железа.

Другой проблемой водоочистных комплексов является отсутствие мероприятий по утилизации образующихся железосодержащих осадков. В большинстве случаев промывная вода от фильтров с повышенным

содержанием в ней нерастворимых соединений железа без предварительной очистки сбрасывается в существующий водный объект. В связи с этим были рекомендованы методы утилизации образующегося осадка на основе новейших разработок отечественных и зарубежных ученых. Применение предложенных способов вторичного использования отходов позволит предотвратить загрязнение и заиливание водоемов, уменьшить объем осадка, вывозимого на полигоны ТБО, а также использовать образующийся шлам в качестве наполнителей различных строительных материалов.

Литература

1. Об утверждении гигиенических нормативов: утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь 25 января 2021 г. № 37. – Мн. – 1255 с.

УДК 628.196

Насыщенный раствор озона – перспективный аналог хлорсодержащим дезинфицирующим средствам

Каравацкая К.С., Марушевский В.О.

Научный руководитель Комаров М.А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Насыщенный раствор озона – это не просто альтернатива хлору, это комплексное решение для дезинфекции и очистки. Помимо уже известных преимуществ, таких как меньшая коррозия и повышенная экологичность, озонная обработка воды демонстрирует исключительную эффективность в разрушении широкого спектра органических загрязнителей. Возможность комбинирования озонной обработки с другими технологиями делает ее идеальным инструментом для достижения максимальной эффективности очистки и решения самых сложных задач в различных областях: от обработки питьевой воды до дезинфекции в медицинских учреждениях.

В Республике Беларусь водоснабжение промышленных предприятий и населенных пунктов в большинстве случаев осуществляется из пресных подземных источников. С течением времени скважины для забора подземных вод и водопроводные сети подвергаются микробному загрязнению, что может привести к вспышкам инфекций, передающихся водой по городским системам водоснабжения [1]. Причиной увеличения

микробного загрязнения питьевой воды могут быть изношенные инженерные сооружения, неправильная эксплуатация систем водоснабжения, неэффективные методы обработки воды и поверхности водопроводных сооружений. Для предотвращения микробного загрязнения существуют различные механизмы: модернизация или полная замена устаревших систем водоснабжения, а также осуществление дезинфекции водозаборных скважин и сооружений питьевого водоснабжения. Дезинфекция воды применяется для устранения из нее болезнетворных и иных микроорганизмов и вирусов, из-за наличия которых вода становится непригодной для питья, хозяйственных нужд или промышленных целей. При этом дезинфекция инженерных сетей и сооружений является одним из видов обеззараживания и представляет собой комплекс мероприятий, направленных на уничтожение возбудителей инфекционных заболеваний и разрушение токсинов на объектах внешней среды.

В технологии водоподготовки известно много методов дезинфекции воды: термические; реагентные; физические и олигодинамия. Самым широко распространенным методом является реагентный, при котором обработка производится сильными окислителями: хлором, диоксидом хлора, гипохлоритом натрия и озоном [2; 3].

При процессе хлорирования бактерии, находящиеся в воде, погибают в результате окисления веществ, входящих в состав протоплазмы клеток. Однако данный процесс имеет ряд существенных недостатков [4; 5; 6]:

- невысокая эффективность;
- образование высокотоксичных хлорорганических соединений;
- высокий расход активного хлора;
- высокая токсичность дезинфектантов на основе хлора;
- высокая коррозионная активность раствора по отношению к материалам из которых изготовлены сети и запорная арматура, что приводит к быстрому их износу [7; 8];
- длительный процесс дезинфекции для достижения необходимого эффекта (требуется минимум 24 часа для обработки внутренней поверхности трубопроводов);
- необходимо предусматривать процесс дехлорирования образовавшихся растворов, для безопасного их сброса в канализацию;
- методы хлорирования не связаны с научно-рациональным основополагающим принципом дезинфекции.

Альтернативным вариантом дезинфекции трубопроводов является насыщенный раствор озона. Основные преимущества озона перед хлором в качестве дезинфицирующего средства [6]:

- Широкий спектр действия: Озон не просто дезинфицирует, он эффективно разрушает широкий спектр органических загрязнителей. Его

механизм действия заключается в атаке ароматических и азо-структур, содержащих ненасыщенные связи, которые легко разрушаются под воздействием озона. В результате образуются менее токсичные продукты, что делает его использование более безопасным.

– Подтвержденная эффективность: Эксперименты с модельными растворами метиленового синего подтверждают высокую эффективность озона. При концентрации всего 15 мг/л озон удаляет 85-90% красителя за 45 минут.

– Синергетический эффект: Одним из ключевых преимуществ озона является его способность эффективно взаимодействовать с другими технологиями для достижения еще более высокой степени очистки. Например, ультразвуковая кавитация, создавая микроскопические пузырьки, улучшает взаимодействие с озоном, увеличивая его растворимость в воде и усиливая процесс окисления загрязняющих веществ.

– Озоновая флотация + ультразвук = максимальная эффективность: Сочетание озоновой флотации с ультразвуковой обработкой демонстрирует впечатляющие результаты, значительно превосходящие традиционные методы. В то время как обычная озонация обеспечивает 70% эффективности удаления красителей, то комбинированный метод достигает эффективности в 95%. Другим важным показателем является экономия времени и ресурсов: комбинированный метод не только эффективен, но и экономичен. Сокращая время очистки с 90 до 45 минут, он становится более практичным для реальных условий, где скорость и степень очистки критически важны [4; 5].

Основные стадии процесса озонирования:

1. Генерация озона – В озонаторе кислород (O_2) под воздействием электрического разряда или ультрафиолетового излучения преобразуется в озон (O_3).

2. Ввод озона в воду. Сгенерированный озон подается в воду, где он растворяется. Существуют различные способы ввода озона: барботирование (пропускание озона через воду в виде пузырьков); инъектирование (вырыск озона под давлением); контактный метод (пропускание воды через озонирующую камеру).

3. Окисление и дезинфекция. На данном этапе происходит взаимодействие насыщенного раствора озона с различными загрязнителями:

– дезинфекция: эффективное уничтожение бактерий, вирусов, грибков и других микроорганизмов за счет происходящего процесса окисления их клеточных структур;

– удаление железа и марганца: озон окисляет растворенное двухвалентное железо (Fe^{2+}) и марганец (Mn^{2+}) до нерастворимых трехвалентных соединений (Fe^{3+} и Mn^{3+}), которые затем удаляются из воды фильтрацией;

– удаление органических веществ: озон окисляет многие органические соединения, такие как пестициды, фенолы и другие загрязняющие вещества, снижая их концентрацию в воде;

– удаление запахов и привкусов: озон эффективно устраняет неприятные запахи и привкусы воды, обусловленные присутствием органических соединений;

– осветление воды: озон способствует коагуляции коллоидных частиц, что приводит к осветлению воды.

4. Разложение озона. После выполнения своей функции озон разлагается на кислород (O_2), что делает этот метод экологически чистым, и происходит согласно уравнениям Хорвата [9]:



Озонирование воды является эффективным и экологически чистым методом очистки и дезинфекции. Данный метод имеет широкие перспективы применения в различных областях, включая водоснабжение, пищевую промышленность, медицину и др. Это подтверждается результатами проведенных исследований, описанных в научно-исследовательской литературе [5]. Озон превосходит такие дезинфектанты, как хлор, хлорамин и двуокись хлора. По бактерицидным свойствам озон более чем в 3 раза эффективнее УФ-излучения и более чем в 400 раз эффективнее дезинфектантов на основе хлора. Эффективность процесса озонирования повышается за счет его сочетания с ультразвуковой обработкой. Дополнительными преимуществами за счет такого сочетания использования являются:

1. Отсутствие вредных побочных продуктов: в отличие от методов, использующих хлор или другие химические реагенты, продукты реакции озона (вода и кислород) безопасны.

2. Компактность установки: комбинированные системы могут быть встроены в существующие линии очистки без значительных изменений.

3. Устранение стойких загрязнителей: таких веществ, как фенолы, нефтепродукты и красители, эффективно разрушаются комбинацией озона и ультразвука.

На основании проведенного анализа различных литературных источников проведена оценка эффективности использования различных дезинфектантов, которая представлена в таблице [5; 6; 9; 10].

Таблица

Сравнительный анализ различных дезинфектантов

Технология	Простейшие	Бактерии	Вирусы
Хлорирование	Не уничтожает	Уничтожает полностью	Уничтожает полностью
Озонирование	Уничтожает полностью	Уничтожает полностью	Уничтожает полностью

Однако, не смотря на все преимущества применения озона в процессе дезинфекции на сегодняшний день чаще для данного процесса используется метод хлорирования. Это связано исторически с устоявшимися причинами: простота метода хлорирования и сложность процесса озонирования, который требует высококвалифицированный обслуживающий персонал, сложное оборудование с низким уровнем автоматизации. Однако современные озонаторы лишены практически всех этих и других недостатков [6].

Литература

1. Романовский, В.И. Анализ загрязнений источников питьевого водоснабжения в Республике Беларусь / В.И. Романовский // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2014. – №2. – С. 65–67.

2. ТКП 45-4.01-181-2009. Сооружения водоподготовки. Обеззараживание воды. Правила проектирования. – Введ. 2010-29.12. – Минск : Госстандарт, 2010. – 32 с.

3. Анализ технических аспектов дезинфекции поверхностей водными растворами озона и гипохлорита натрия / А.В. Поспелов [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2024. – №. 2. – С. 87–95.

4. Сравнительный анализ эффективности дезинфекции поверхностей в водных растворах озона и гипохлорита натрия / А.В. Поспелов [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2024. – Т. 36. – №. 1. – С. 94–99.

5. Comparative Analysis of the Disinfection Efficiency of Steel and Polymer Surfaces with Aqueous Solutions of Ozone and Sodium Hypochlorite / V. Romanovski [et al.] // Water. – 2024. – Vol. 16. – №. 5. – P. 793.

6. Романовский, В.И. Дезинфекция озоном водозаборных скважин и трубопроводов систем питьевого водоснабжения / В.И. Романовский, А.Д. Гуринович, П. Вавженюк // Труды БГТУ. № 3. Химия и технология неорганических веществ. – 2013. – №. 3. – С. 55-60.

6. Коррозия углеродистых сталей в дезинфицирующих растворах / А.В. Поспелов [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2022. – №. 14. – С. 89-93.

7. Коррозия нержавеющей сталей в дезинфицирующих растворах / А.В. Поспелов [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2023. – №. 1 (33). – С. 90-93.

8. Horvath, M. Ozone / M. Horvath, L. Bilitzky, J. Huttner. – Budapest : Elsevier, 1985. – 350 p.

9. Оценка воздействия на окружающую среду дезинфицирующих веществ / М.А. Комаров [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2024. – Т. 36. – №. 1. – С. 87–93.

УДК 621.65

Сравнительная характеристика современных насосов, применяемых в водоснабжении и водоотведении

Каравацкая К. С., Марушевский В.О.

Научный руководитель Майорчик А. П., к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

На основании проведенных исследований проведена сравнительная характеристика современных насосов, используемых в системах водоснабжения и водоотведения, были обозначены преимущества и недостатки каждого, а также сделан вывод на основе всех данных.

Насосы играют ключевую роль в системах водоснабжения и водоотведения, обеспечивая необходимую подачу воды и напор. С учетом различных условий эксплуатации и задач, существует множество типов насосов, каждый из которых имеет свои особенности и преимущества.

Насосы классифицируют по следующим критериям: по типу перекачиваемой воды, по необходимой глубине или расстоянии перекачивания, по напору и подаче, а также по условиям эксплуатации. В водоснабжении это центробежные, погружные, объемные и многоступенчатые насосы. В водоотведении это вихревые, дренажные, погружные канализационные насосы и другие. В данной статье рассмотрены наиболее популярные модели насосов, а также их геометрические параметры, конструкция, принципы работы и преимущества, что позволяет сделать правильный выбор в зависимости от специфики применения.

Современные насосы для водоснабжения и водоотведения производятся многими компаниями по всему миру, самые известные производители представлены ниже:

1. Wilo (Германия)
2. KSB (Германия)
3. Calpeda (Италия)
4. ОКТБ Кристалл (Россия)

Wilo предлагает широкий ассортимент насосов для водоснабжения и водоотведения, отличающихся энергоэффективностью, надежностью и высоким качеством. Рассмотрим основные модели, их характеристики и принципы работы.

Основные модели и характеристики:

1. Wilo-HiMulti 3H:

-Назначение: повышение давления для водоснабжения домов, садов и участков.

-Диапазон подачи: до 5 м³/ч.

-Напор: до 45 м.

-Особенности конструкции: полимерные материалы корпуса и рабочего колеса, компактный дизайн, автоматический контроль давления.

2. Wilo-PE..EA:

-Применение: водоснабжение и повышение давления в небольших системах.

-Напор: до 40 м.

-Особенности: встроенная автоматика, инверторное управление для энергосбережения, тихая работа (до 50 дБ), защита насосов от перегрузки.

3. Wilo-PB:

-Назначение: повышение давления в системах холодного и горячего водоснабжения.

-Диапазон подачи: до 4,5 м³/ч.

-Напор: до 20 м.

-Конструкция: сухой ротор, резьбовые соединения, компактный чугунный корпус.

4. Wilo-Drain:

-Назначение: дренаж и отведение сточных вод.

-Диапазон подачи: до 40 м³/ч.

-Напор: до 15 м.

Особенности: устойчивость к загрязнениям, погружная конструкция.

Принципы работы: все модели Wilo работают на основе центробежного принципа. При вращении рабочего колеса создается разность давлений, обеспечивающая подъем и транспортировку жидкости. Для повышения давления в системах применяется автоматика, регулирующая работу в зависимости от текущей нагрузки.

Преимущества насосов Wilo:

Высокая надежность за счет использования качественных материалов;

Простота установки и эксплуатации;

Низкий уровень шума.

Компания KSB предлагает широкий ассортимент насосов для водоснабжения и водоотведения, обеспечивающих высокую надежность, энергоэффективность и долговечность. Основные модели и их характеристики включают:

1. Etanorm:

-Горизонтальные одноступенчатые насосы.

-Диапазон подачи: до 16,5 м³/ч.

-Напор: до 160 м.

-Температура рабочей среды: от -30 до +140 °С.

-Применение: системы водоснабжения, пожаротушения, перекачивание горячей воды, масел и соляных растворов.

2. Amarex KRT:

-Погружные насосы для откачки сточных вод.

-Обеспечивают герметичность и высокую надежность.

-Применение: удаление загрязнённой воды в промышленных и бытовых системах, дренаж.

3. Ama-Drainer:

-Компактные дренажные насосы.

-Подача: до 12 м³/ч.

-Погружение: до 2 м.

-Применение: осушение подвалов, откачка дождевой воды, дренажные работы.

Конструкция и принцип работы:

Насосы KSB используют классическую конструкцию с рабочим колесом, патрубками и корпусом, который обеспечивает преобразование

кинетической энергии жидкости в потенциальную. Для некоторых моделей предусмотрена система уплотнений и датчики для контроля условий эксплуатации, что повышает долговечность и снижает потребность в техническом обслуживании.

Преимущества:

Использование устойчивых к коррозии материалов.

Энергоэффективные решения с высоким КПД.

Компактная конструкция, подходящая для ограниченных пространств.

Простота монтажа и эксплуатации.

Насосы Calpeda широко используются для систем водоснабжения и водоотведения благодаря их надежности, разнообразию моделей и технических характеристик. Основные типы насосов, применяемых в этих системах, включают:

1. Центробежные насосы серии NM и NMS. Эти модели предназначены для перекачивания чистой воды. Диапазон подачи составляет от 15 до 132 м³/ч, а напоры варьируются от 6 до 70 м в зависимости от конкретной модели. Они оснащены высокоэффективными электродвигателями и изготавливаются из нержавеющей стали или чугуна, что обеспечивает долговечность и устойчивость к коррозии

2. Многоступенчатые насосы серии MXV-B. Они применяются для повышения давления в системах водоснабжения и подходят для работы в вертикальном положении. Эти насосы обеспечивают высокую производительность и значительные напоры при минимальных затратах электроэнергии.

3. Самовсасывающие насосы серий NG, MXA, CA. Эти насосы могут использоваться для перекачивания как чистой, так и слегка загрязненной воды, в том числе в бытовых и сельскохозяйственных системах

4. Канализационные и дренажные насосы серий SD, SDF, SDX. Они способны перекачивать жидкости с высоким содержанием твердых и волокнистых включений. Такие насосы оснащаются режущими элементами и подходят для работы в тяжелых условиях.

5. Насосы для бассейнов серий SPA, NMP, MPC. Используются для обеспечения циркуляции воды в бассейнах и гидромассажных ваннах. Конструкции выполнены из нержавеющей стали, что предотвращает коррозию и увеличивает срок службы

Конструкция и принцип работы: Насосы Calpeda изготавливаются из устойчивых к коррозии материалов, таких как чугун, бронза и нержавеющая сталь. Большинство моделей оснащены асинхронными электродвигателями с частотным управлением, что обеспечивает стабильную работу при оптимальном энергопотреблении. Принцип работы основан на создании

центробежной силы для перемещения жидкости, а многоступенчатые модели используют несколько рабочих колес для увеличения напора.

Эти насосы подходят для различных применений: от бытовых нужд до крупных промышленных объектов. Их использование позволяет достичь высокой эффективности и надежности в системах водоснабжения и водоотведения.

ОКТЬ «Кристалл» — это российское предприятие, которое производит насосы для водоснабжения и водоотведения. Модели насосов данного производителя применяются в различных областях, таких как водоснабжение, водоотведение, повышение давления, а также в промышленности и сельском хозяйстве.

Основные модели насосов ОКТЬ «Кристалл»

1. Насосы для водоснабжения

- Центробежные насосы для подачи чистой воды, предназначены для систем водоснабжения жилых и промышленных объектов.

- Насосы скважинные для подачи воды из подземных источников.

2. Насосы для водоотведения

- Дренажные насосы для удаления воды с мелким загрязнением или без загрязнений.

3. Насосы для повышения давления

- Насосы, применяемые для повышения давления в трубопроводных системах.

Геометрические характеристики и диапазоны:

- Диаметр всасывающего и напорного патрубков: от 25 мм до 200 мм в зависимости от модели.

- Материалы корпуса: чугун, нержавеющая сталь, а также пластиковые материалы, устойчивые к химическому воздействию, что зависит от типа жидкости и области применения.

- Типы установок: насосы могут быть как вертикальными, так и горизонтальными, с различной длиной вала и углом наклона.

Диапазоны подачи и напора:

- Подача: от нескольких литров в минуту (например, для малых бытовых насосов) до нескольких тысяч литров в минуту для крупных промышленных насосов.

- Напор: от 5 метров до более 100 метров в зависимости от типа насоса. Напор и подача зависят от модели и условий эксплуатации.

Конструкция насосов:

1) Корпус: насосы могут быть выполнены из различных материалов, таких как чугун, сталь, или пластик, что влияет на их износостойкость и способность работать с агрессивными жидкостями.

2) Рабочие колеса: обычно изготавливаются из высококачественных материалов, устойчивых к абразивному износу и коррозии.

3) Механизм привода: большинство насосов приводятся в действие с помощью электродвигателей, в том числе взрывозащищённых моделей для работы в опасных зонах.

4) Подшипниковый узел: используется для обеспечения долговечности и минимизации трения в процессе работы.

Принцип работы:

Принцип работы насосов ОКТБ «Кристалл» основан на центробежной силе, создаваемой при вращении рабочего колеса. При этом жидкость всасывается в центр рабочего колеса и выбрасывается в напорную часть, где её давление увеличивается. Это обеспечивает движение воды по трубопроводам, позволяя выполнять задачи водоснабжения или водоотведения. Для некоторых моделей могут быть использованы дренажные или вихревые механизмы для улучшения производительности.

Применение:

Насосы ОКТБ «Кристалл» применяются в:

- Системах водоснабжения и водоотведения для бытовых и промышленных нужд.

- Сельском хозяйстве для ирригации.

- Для повышения давления в водопроводах.

- В системе канализации для откачки фекальных и бытовых сточных вод.

Эти насосы предназначены для работы с различными жидкостями, включая чистую воду, сточные воды, агрессивные химикаты, а также жидкости с твердыми частицами, что расширяет их сферу применения.

В заключении можно отметить, что выбор насосов для водоснабжения и водоотведения зависит от множества факторов, включая технические характеристики, долговечность, стоимость и требования к обслуживанию. В сравнении с насосами таких брендов как Wilo, KSB, Calpeda и ОКТБ Кристалл, можно выделить несколько ключевых аспектов, которые определяют преимущества каждой марки.

- Wilo: Этот бренд известен своими высококачественными насосами, которые отличаются высокой энергоэффективностью, инновационными решениями и надежностью. Насосы Wilo идеально подходят для решения задач водоснабжения и водоотведения в условиях высоких требований к надежности и энергосбережению. Современные технологии и качественная автоматизация делают их идеальными для применения в крупных промышленных и жилых объектах, где важна высокая производительность и экономичность.

- ОКТБ Кристалл: Насосы этого бренда обладают высокой износостойкостью, долговечностью и способны работать с различными

жидкостями, включая сточные воды и жидкости с твердыми частицами. Эти характеристики делают продукцию ОКТБ Кристалл отличным выбором для более жестких условий эксплуатации, таких как работа в промышленных и сельскохозяйственных объектах, где нужно обеспечить бесперебойную работу в сложных условиях. Кроме того, насосы ОКТБ Кристалл имеют более привлекательную цену при сохранении хороших эксплуатационных характеристик, что делает их выгодным выбором для пользователей, ориентированных на соотношение стоимости и качества.

- KSB и Calpeda: Оба бренда также предлагают надежные насосы, но их продукция часто имеет более высокую стоимость, что может быть нецелесообразно в некоторых случаях, где не требуются сверхвысокие технические характеристики. Насосы этих брендов больше подходят для специализированных решений, где нужны насосы для очень специфических условий, например, в химической или тяжелой промышленности.

В заключение необходимо отметить, что если основным критерием является сбалансированное сочетание стоимости, надежности и долговечности, то Wilo и ОКТБ Кристалл являются наиболее выгодными выборами.

Таким образом, для большинства стандартных и промышленных объектов, где важны надежность, долговечность и стоимость, ОКТБ Кристалл представляет собой выгодное решение, в то время как Wilo стоит выбрать для объектов, где критична высокая энергоэффективность и интеграция инновационных технологий.

Литература

1. Насосы Wilo [Электронный ресурс] / Официальный сайт Wilo – Режим доступа: <https://www.wilo.com>. – Дата доступа: 02.12.2024.

2. Насосы KSB [Электронный ресурс] / Официальный сайт KSB – Режим доступа: <https://www.ksb.com>. – Дата доступа: 02.12.2024.

3. Насосы Calpeda [Электронный ресурс] / Официальный сайт Calpeda – Режим доступа: <https://www.calpeda.com>. Дата доступа: 02.12.2024.

4. Насосы ОКТБ «Кристалл» [Электронный ресурс] / Официальный сайт ОКТБ «Кристалл» – Режим доступа: <http://www.oktb-crystal.ru>. Дата доступа: 02.12.2024.

5. Насосы и компрессоры [Электронный ресурс] / Промышленный портал «Насосы и компрессоры» – Режим доступа: <https://www.nasosncom.ru>. – Дата доступа: 03.12.2024.

УДК 628.196

Анализ рынка поставки фильтрующих материалов для целей водоподготовки

Кичёва Д. Н.

Научный руководитель Пропольский Д.Э.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В Республике Беларусь качество питьевой воды должно соответствовать требованиям постановления Совета Министров №37. Применение воды с превышением показателей данного стандарта приводит к ухудшению здоровья человека и снижению срока службы систем водоснабжения. Наиболее распространённым методом водоподготовки подземных вод является фильтрация через инертные материалы. В данном докладе разработаны рекомендации для поставки фильтрующих материалов.

Использование воды питьевого качества является неотъемлемым условием нормальной жизнедеятельности человека. Каждый источник водоснабжения характеризуется рядом загрязнений. Для многих стран мира (в том числе для Республики Беларусь), актуальным вопросом является удаление железа [1, 2]. Согласно [1] предельно допустимая концентрация (ПДК) железа в питьевой воде составляет 0,3 мг/л. По данным мониторинга подземных вод бассейнов рек Беларуси наблюдается многократное превышение ПДК по железу на всей территории РБ. Для решения этого вопроса реализуются различные государственные программы [3], в рамках которых строятся новые и модернизируются имеющиеся станции обезжелезивания.

Методы, которые применяются в водоподготовке для удаления железа, обширны, но имеют различные ограничения. К ним относятся наличие в источнике водоснабжения форм железобактерий, необходимость реагентной обработки воды и утилизации образованного осадка, ограничения по исходной концентрации железа.

Между тем все имеющиеся методы удаления железа имеют либо требуют этап фильтрации. Для этого используются различные фильтрующие загрузки. Данные материалы могут применяться на станциях водоподготовки различной производительности (от частных до промышленных установок). При подборе такого материала необходимо учитывать ряд параметров: стойкость материала к механическому и

химическому разрушению, поверхностные свойства материала, а также его стоимость и доступность в регионе закупки.

Среди наиболее часто используемых на станциях водоподготовки материалов можно выделить кварцевый песок, активированный уголь [4-6], антрацит [7-12]. Также могут применяться материалы с окисляющим слоем природного (цеолит, пиролюзит) либо искусственного происхождения (Birm, МТМ, Manganese Greensand, Filter AG, Сорбент АС).

При рассмотрении рынка фильтрующих материалов было установлено ряд некорректной информации указываемой поставщиками:

1) отсутствие должной информации о загрузке: не указывается заявленная фракция материала и прочие характеристики товара. Отсутствие информации с подробным описанием товара вызывает сомнения о надежности данного товара и поставщика в целом. Сюда также можно отнести использование фотографий низкого разрешения, не продублированная текстом на сайте поставщика. Это также вызывает сомнения о достоверности закупки;

2) отсутствие цены товара либо предоставление таковой по запросу прайс-листа. Это не позволяет начально ознакомиться с имеющейся ценой товара. Также это может вызвать подозрение, что такая цена будет установлена с превышением в зависимости от реакции потенциального клиента. Для прозрачности делового предложения необходимо указывать стоимость и объём минимальной поставки, а также возможные скидки при оптовой закупке (н-р: 25 кг, 100 кг, 1 т, 100 т и более);

3) указанная цена не отображает единицу измерения товара (бел.руб/л, бел.руб/кг, бел.руб/т). Также при указании стоимости одного мешка могут быть не указан его объём и вес;

4) указание стоимости только объёма (бел.руб/л) либо веса (бел.руб/кг) материала. Кроме того, значение насыпной плотности материала может быть не указано. Это приводит к необходимости дополнительного поиска параметров материала и расчёта данных величин. Оптимальней было бы указывать две величины сразу;

5) отсутствие ряда материалов на складах в Беларуси. Это может приводить к необходимости ожидания поставок из соседних стран в течение месяцев. Наличие договора с логистическими центрами позволит решить данный вопрос.

Следует отметить, что для замещения импортных материалов возможно использование модифицированных загрузок. Это позволит улучшить начальные параметры доступных в стране природных фильтрующих материалов либо переработанные отходы производств. Также перспективным направлением водоподготовки является применение полифункциональных фильтрующих материалов [13].

Соблюдение всех представленных рекомендаций позволит улучшить взаимодействие между поставщиками и покупателями фильтрующих материалов. Кроме того, анализ цен позволит снизить затраты станции водоподготовки.

Литература

1. Об утверждении гигиенических нормативов [Электронный ресурс] постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 25 янв. 2021 г., № 37 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100037&p1=1&p5=0> – Дата доступа: 12.05.2024.

2. Новицкая, А. В. Проблема обезжелезивания и деманганации подземных вод / А. В. Новицкая ; науч. рук. Д. Э. Пропольский // Материалы 80-ой студенческой научно-технической конференции в рамках Международного молодежного форума «Креатив и инновации' 2024», 21 мая 2024 года [Электронный ресурс] / Белорусский национальный технический университет, Факультет энергетического строительства, Кафедра «Водоснабжение и водоотведение»; сост.: С. А. Дубенок, М. И. Лемеш – Минск: БНТУ, 2024. – С. 46-51.

3. О Государственной программе «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс] постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 28 янв. 2021 г., № 50 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100050> – Дата доступа: 12.05.2024.

4. Propolsky, D. Modified activated carbon for deironing of underground water / D. Propolsky, E. Romanovskaia, W. Kwapinski, V. Romanovski // Environmental Research. – 2020. – Vol. 182. – P. 108996.

5. Пропольский, Д.Э. Модифицированный активированный уголь для обезжелезивания подземных вод / Д.Э. Пропольский, В.И. Романовский, Е.В. Романовская // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2019. – №2. – С. 47–50.

6. Пропольский, Д. Э. Эффективность обезжелезивания подземных вод с использованием модифицированных каталитических материалов / Д. Э. Пропольский, В. И. Романовский // Технологія-2019 : матеріали ХХІІ Міжнар.наук.-техн. конф., 26-27 квіт. 2019 р., м. Сєверодонецьк : в 2 ч. - Северодонецьк : Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля, 2019. - Ч. 1 - С. 85-86

7. Романовский, В.И. Анализ загрязнений источников питьевого водоснабжения в Республике Беларусь / В.И. Романовский // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2014. – №2. – С. 65–67.

8. Романовский, В.И. Проблемы утилизации отходов водоподготовки и очистки сточных вод в Беларуси / В.И. Романовский, А.А. Федоренчик, А.Д. Гуринович // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2011. – №2(68). – С. 66–69.

9. Романовский, В.И. Очистка промывных вод станций обезжелезивания с использованием отходов водоподготовки / В.И. Романовский, П.А. Клебеко, Е.В. Романовская // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2018. – №2(104). – С. 90–92.

10. Пропольский, Д. Э. Сравнительный анализ методов обезжелезивания подземных вод / Д. Э. Пропольский, А. В. Синявская, // Водоснабжение, химия и прикладная экология: материалы Междунар. науч.- практ. конф. (Гомель, 26 марта 2024 г.) / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Е. Ф. Кудиной. – Гомель : БелГУТ, 2024. – С. 95–98.

11. Пропольский, Д. Э. Направления совершенствования фильтрующих материалов для водоподготовки из подземных источников / Д. Э. Пропольский, А. В. Папков, // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XIII Междунар. науч.- практ. конф., посвящ. Году качества, (Гомель, 21–22 нояб. 2024 г.) : в 2 ч. Ч. 1 / М-во трансп. И коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2024. – С. 283–285.

12. Пропольский, Д. Э. Сравнительный анализ фильтрующих материалов для обезжелезивания и деманганации подземных вод / Д. Э. Пропольский, К. С. Юркевич, // Водоснабжение, химия и прикладная экология : материалы Междунар. науч.- практ. конф. (Гомель, 26 марта 2024 г.) / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Е. Ф. Кудиной. – Гомель : БелГУТ, 2024. – С. 99–102.

13. Пропольский Д. Э., Романовский В. И. Полифункциональный модифицированный уголь для очистки подземных вод //Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2020. – №. 4. – С. 103-111.

УДК 332.8

Цели и задачи сферы Брестского городского жилищно-коммунального хозяйства как многоотраслевого комплекса

Конон А. А., Коцуба А. А.

Научный руководитель Андреюк С. В., к.т.н., доцент

Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь

В работе представлены основные направления развития и совершенствования системы жилищно-коммунального хозяйства Бреста на современном этапе, в том числе: повышение качества услуг и работа с жителями, тепловая модернизация жилищного фонда, улучшение качества питьевой воды и утилизация твердых бытовых отходов

По своей сути, Брестское городское жилищно-коммунальное хозяйство является многоотраслевым комплексом, который включает в себя несколько направлений деятельности. Сфера жилищно-коммунального хозяйства является ведущей в социально-экономической сфере, которая направлена на создание благоприятных условий проживания граждан и их комфортной среды обитания. Услуги ЖКХ используются ежедневно всеми жителями Республики. При этом качество работы жилищно-коммунальных служб напрямую влияет на уровень развития экономики, благосостояние населения, их работоспособность и настроение в обществе [1].

Структура ЖКХ включает в себя такие сферы как: жилищное хозяйство, водоснабжение и водоотведение, коммунальная теплоэнергетика, благоустройство и санитарная очистка населенных пунктов, озеленение городов и др. В настоящее время жилищно-коммунальное хозяйство Республики Беларусь активно развивается. Ключевым моментом, определяющим стратегию и тактику совершенствования системы ЖКХ, стал республиканский семинар 2017 года, на который был приглашен Глава государства [2]. Основные направления развития и улучшения системы жилищно-коммунального хозяйства на текущий год: повышение качества предоставляемых услуг и улучшение работы с населением; проведение справедливой тарифной политики; тепловая модернизация жилищного фонда; улучшение качества питьевой воды; совершенствование обращения с твердыми коммунальными отходами [3].

Концепция развития и совершенствования системы жилищно-коммунального хозяйства Брестской области заключается в сохранении и дальнейшем благоустройстве населенного пункта. Путешественники и туристы из других стран, посещающие Беларусь, часто удивляются тому, насколько чистыми и ухоженными являются белорусские населенные

пункты. Это происходит благодаря ежедневным усилиям людей, работающих в жилищно-коммунальном секторе [4].

Коммунальное унитарное многоотраслевое производственное предприятие «Брестское городское жилищно-коммунальное хозяйство» осуществляет управление хозяйственной деятельностью девятью предприятиями ЖКХ города [1, 5]. Основные направления деятельности предприятия: заказчик, по выполнению работ по объектам внешнего благоустройства города Бреста на конкурентной основе, организации и проведению конкурсов на оказание услуг по обращению с твердыми коммунальными отходами; заказчик по обеспечению оказания услуг по техническому обслуживанию, текущему и капитальному ремонту жилых домов, санитарному содержанию вспомогательных помещений жилых домов, техническому обслуживанию лифтов, а также дополнительных жилищно-коммунальных услуг, на конкурентной основе; разработка перспективы комплексного развития и совершенствования городского жилищно-коммунального хозяйства, планирование объемов работ, необходимых для его нормального функционирования; координация и оперативное руководство деятельностью подчиненных предприятий; координация сбора и сдачи ВМР в городе; осуществление технического надзора по строительству, текущему и капитальному ремонту, реконструкции объектов, содержанию объектов внешнего благоустройства города и других субъектов хозяйствования, оценки качества и полноты объема выполненных работ.

В Бресте, как и в Беларуси в целом, развитие жилищно-коммунального хозяйства направлено на повышение показателей экономической эффективности ЖКХ, а также комфорта и безопасности граждан. Основными показателями развития инженерных систем водоснабжения, канализации и теплоснабжения являются подготовка проектно-сметной документации и выполнение работ по замене стареющих инженерных сетей. Одним из приоритетов является достижение показателя по обеспечению потребителей качественной питьевой водой: в 2023 году обеспеченность населения централизованной системой водоснабжения Бреста составила 99,63 %, а обеспеченность населения системой водоподготовки – 94,66 % при тех же целевых значениях. За этот же период были заново проложены сети водоснабжения и водоотведения общей протяженностью 9,45 км.

Вторым из основных направлений деятельности Брестского ЖКХ является капитальный ремонт 31 объекта жилищного фонда. В целях восстановления технического и потребительского качества и поддержания эксплуатационной надежности жилищного фонда в 2023 году введено в эксплуатацию после капитального ремонта более 120 тыс. м² общей

площади жилья. Согласно информации Брестского городского ЖКХ, для обеспечения безопасной эксплуатации лифтов в жилых домах в 2023 году заменено 170 лифтов, также были отремонтированы 17 объектов придомовых территорий на сумму 1,2 млн. рублей. Сбор (или заготовка) ТКО – это реальное поле деятельности: выполнение установленных показателей в 2023 году в Бресте составило 113 %, что на 3,5 тысячи тонн больше, чем в предыдущем году.

Вместе с тем, для поддержания организационного уровня совместной работы с жителями и качества жилищно-коммунальных услуг КУМПП «ЖКХ г. Бреста» определило приоритетные задачи развития на текущий год: сохранение кадрового потенциала; развитие материально-технической базы; подготовка к городским юбилейным мероприятиям; создание благоприятной среды в районах и микрорайонах; ремонт объектов воинской боевой славы; комплексный подход к ремонту улично-дорожной сети.

Не случайно жилищно-коммунальное хозяйство часто расшифровывается как «жить как хозяева». ЖКХ – это сфера, где успех деятельности зависит не только от профессионализма специалистов, но и от чувства ответственности всех граждан. Благоустройство городов и деревень – задача не только работников жилищно-коммунального хозяйства, но и всех белорусов, работающих по месту жительства, работы и учебы.

Литература

1. Коцуба, А. А. Основные направления развития системы ЖКХ как многоотраслевого комплекса / А. А. Коцуба, А. А. Конон, С. В. Андреек // Инж.-экологич. аспекты и персп. развития систем водосн. и водоотв.: сб. научн. статей Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 28 марта 2024 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: А. А. Волчек [и др.]. – Брест: БрГТУ, 2024. – С. 170–174.

2. Директива президента РБ от 4 марта 2019 г. № 7 «О совершенствовании и развитии ЖКХ страны» – <https://president.gov.by/ru/documents/direktiva-7-ot-4-marta-2019-g-20629>.

3. О Концепции совершенствования и развития ЖКХ до 2025 года – <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C21701037> – Нац. прав. интернет-портал РБ, 06.01.2018, 5/44646.

4. Развитие и совершенствование системы ЖКХ в Брестской области – <https://www.baranovichi-gik.gov.by/uploads/files/EdinDay/2023/Oblastnaja-tema-1-2-3.pdf>.

5. Коцуба, А. А. Структура Брестского городского ЖКХ в концепции развития системы ЖКХ Брестской области // Инж.-экологич. аспекты и персп. развития систем водосн. и водоотв.: сб. научн. статей Междунар.

науч.-практ. конф., Брест, 28 марта 2024 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: А.А. Волчек [и др.]. – Брест: БрГТУ, 2024. – С. 162-170.

УДК 628.356

Мероприятия по оптимизации энергопотребления при биологической очистке сточных вод

Кузьмич Д.А., Ильеня Е.С.

Научный руководитель Акулич Т.И., старший преподаватель
Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь

В работе представлены приборы контроля, учета и мониторинга состояния процесса очистки сточных вод, позволяющие автоматизировать эксплуатационные данные сооружений и оборудования биологической очистки

Согласно аналитическому обзору и опыту эксплуатации очистных сооружений, основное потребление электроэнергии для процесса окисления органических загрязняющих веществ связано с аэрацией сточной воды в аэротенках и составляет 67–80 % от общего потребления электроэнергии [1]. Подача воздуха в аэротенки, являясь самым энергозатратным процессом, в то же время является одним из главных при биологической очистке. Для процесса биологической очистки сточных вод наибольшее распространение получила пневматическая система аэрации, при которой воздух, нагнетаемый турбовоздуходувками, по системе воздухопроводов подводится к аэрационной системе и посредством аэраторов равномерно насыщает иловую смесь.

В настоящее время наиболее распространенными мероприятиями по снижению энергопотребления являются замена аэрационной системы и замена воздухопроводного оборудования. При замене аэрационной системы предпочтение отдается мелкопузырчатым мембранным аэраторам, которые обладают высокими массообменными характеристиками, а аэрационные системы на базе данных аэраторов обладают наилучшей способностью к управлению [2]. Установка одноступенчатых центробежных управляемых редукторных воздухонагнетателей позволит снизить энергопотребление за счет регулирования мощности воздухоудвки в зависимости от реальной загруженности очистных сооружений [3, 4].

Однако для оптимизации энергопотребления при работе управляемых воздухоудвок в комплексе с современной аэрационной системой необходимо оснастить сооружения биологической очистки приборами

контроля, учета и мониторинга состояния процесса очистки сточных вод. Это позволит осуществлять непрерывный мониторинг технологических параметров и автоматизировать процесс подачи воздуха.

Регулирование подачи воздуха в аэротенк осуществляется воздушными клапанами по сигналу от датчика растворенного кислорода. Одновременно это приводит к изменению давления на выходе блока воздуходувок. Сигнал от датчика давления поступает на блок управления производительностью воздуходувок. Таким образом, для реализации автоматической системы управления аэрацией сточных вод необходимо на каждом аэротенке установить расходомеры воздуха, дисковые поворотные межфланцевые затворы с электроприводом и датчики растворенного кислорода.

Выбор данных контрольно-измерительных приборов следует осуществлять с учетом специфики технологического процесса на сооружениях биологической очистки сточных вод. При реконструкции аэротенков №1, 2 Брестских очистных канализационных сооружений в них была внедрена технология совместного удаления органических загрязнений и биогенных элементов по Йоханнесбургскому процессу (JNB). На каждом из аэротенков №1, 2 установлены приборы: расходомер-счетчик тепловой t-mass Proline t-mass B150 HARD в количестве 1 штука, затворы с электроприводом на воздуховодах – 6 штук, а также датчики растворенного кислорода Oхумах COS61D – 3 штуки.

Расходомеры-счетчики тепловые t-mass Proline-t-mass B150 HARD подходят для крупных труб или вентиляционных коробов прямоугольного сечения. Это расходомеры термально-массового принципа действия, определяющие расход по эффекту охлаждения нагреваемого электрода набегающим потоком газа. Данные расходомеры практически не создают в системе аэрации дополнительных потерь, установку и демонтаж этих приборов в погружном исполнении можно осуществлять без остановки технологического процесса.

Затвор с электроприводом и блок управления АС электропривод АУМА SA – это устройство, передающий крутящий момент трубопроводной арматуры в расчете не менее, чем на один полный оборот и, таким образом, позволяет автоматизировать функции запорной арматуры жидкостных и газовых трубопроводов. Функции диагностики блока управления АУМА АС 1.02 заключаются в протоколировании событий с указанием времени, моментной характеристики, постоянной записи температуры и уровня вибрации на приводе, а также подсчете количества пусков и времени работы электродвигателя.

Концентрация растворенного кислорода в аэротенках измеряется с помощью датчика растворенного кислорода Oхумах COS61D. На очистных сооружениях опорные значения по кислороду приняты: для зон

нитрификации опорный параметр – 2,5 мг/л, допустимый интервал отклонения относительно опорного параметра – $\pm 0,3$ мг/л. Датчик растворенного кислорода Охутах COS61D – это высокопроизводительный цифровой оптический датчик кислорода, обеспечивающий быстрые и точные измерения. К достоинствам его эксплуатации относятся также низкие трудозатраты на техобслуживание, высокая доступность и простота в управлении.

Таким образом, оптимизации энергопотребления при биологической очистке сточных вод можно добиться только путем реализации комплекса мероприятий, таких как замена воздуходувок и аэрационной системы, а также внедрение современных высокоточных контрольно-измерительных приборов, обеспечивающих автоматизацию технологических процессов подачи воздуха. Улучшение качества аэрации позволит повысить эффективность очистки, снизить затраты на обслуживание и эксплуатацию системы очистки сточных вод в целом.

Литература

1. Lawrence J. Pakenas P.E. Energy efficiency in municipal wastewater treatment plants. Technology assessment. New York state, Energy research and development authority. (2012) – 24 p.

2. Кузьмич, Д. А. Обзор современных пневматических аэраторов / Д. А. Кузьмич, Е. С. Ильеня // Инженерно-экологические аспекты и перспективы развития систем водоснабжения водоотведения: сб. науч. статей Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 28 марта 2024 г. / Брест. гос. техн. ун-т; редкол.: А. А. Волчек [и др.]; науч. ред. А. А. Волчек, О. П. Мешик, С. В. Андреюк. – Брест: БрГТУ, 2024. – С. 61–64.

3. Акулич Т.И. Основные мероприятия по энергосбережению на канализационных очистных сооружениях // Проблемы энергетической эффективности в различных отраслях: материалы научного семинара. Брест: УО «БрГТУ», 2018. – С. 21–24.

4. Ильеня, Е. С. Основные варианты реконструкции технологических схем очистки сточных вод с аэротенками / Е. С. Ильеня, С. И. Буюк // Устойчивое развитие: региональные аспекты: сб. тезисов докладов XV Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых в рамках Года мира и созидания, Брест, 27–28 апреля 2023 г. / Брест. гос. техн. ун-т; редкол.: А. А. Волчек [и др.]; науч. ред. А. А. Волчек, О. П. Мешик. – Брест: БрГТУ, 2023. – С. 74.

Риски и последствия: угрозы водным ресурсам Республики Беларусь

Тимощенко В.А., Колос М.С.

Научный руководитель Амельченко С.И.

Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь»

Минск, Республика Беларусь

В статье проведен анализ текущих угроз, которые могут негативно повлиять на водные ресурсы страны в условиях растущего человеческого воздействия, изменений климата и ухудшения состояния экосистем. Республика Беларусь (РБ) сталкивается с рядом рисков, включая загрязнение водоемов, истощение подземных ресурсов и недостаточный уровень инфраструктурной подготовки систем водоснабжения и водоотведения.

Водные ресурсы являются национальным достоянием во всех странах мира, обеспеченность ими – основной показатель устойчивого развития общества в социальных, экономических и экологических вопросах. В соответствии с резолюцией Генеральной Ассамблеи Организации Объединенных Наций от 25 сентября 2015 г. №70/1 «Преобразование нашего мира: повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года» одной из целей стабильного развития является обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех. В настоящее время около 2,5 млрд. человек живут в регионах с дефицитом воды. Только опустынивание поставит под угрозу существования порядка миллиарда человек примерно в 100 странах. Увеличение численности населения и рост спроса на продовольствие и энергию усугубят проблемы недостатка воды. Ожидается, что в ближайшее время мировое сообщество будет испытывать негативные воздействия изменения климата в виде возросшей интенсивности наводнений и засух, роста дефицита водных ресурсов, а также ухудшения экологического состояния водных экосистем [1].

Национальные интересы Республики Беларусь охватывают все сферы жизнедеятельности личности, общества и государства, взаимосвязаны и являются основополагающими ориентирами для ее долгосрочного развития. Стратегическим национальным интересом, который определен в Концепции национальной безопасности РБ является благополучие граждан, создание комфортных условий для жизнедеятельности. Одним из основных национальных интересов в биологической сфере является обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия населения. В экологической

сфере - сохранение благоприятной окружающей среды для жизнедеятельности населения и рациональное использование природно-ресурсного потенциала, а также сохранение биологического и ландшафтного разнообразия, экологического равновесия природных систем [2]. Проводимая в РБ политика в области управления водными ресурсами в условиях изменения климата направлена на повышение эффективности использования водных ресурсов для обеспечения устойчивого экономического роста страны в условиях изменяющегося климата и создание условий для сохранения водных экосистем. Необходимость принятия мер, направленных на адаптацию водных ресурсов к изменению климата, затрагивает РБ, так как в южной ее части наблюдается снижение речного стока. Под влияние этого процесса попадают некоторые отрасли экономики, связанные с использованием водных ресурсов [3].

На территории РБ насчитывается более 20 тыс. водотоков общей протяженностью свыше 90,6 тыс. км и более 10 тыс. озер, в которых сосредоточено около 9 куб. км воды. Их рассредоточенность по территории РБ делает водные ресурсы доступными для повсеместного использования. Количество водоемов в большей степени обусловлено их естественным происхождением. На территории РБ создано 85 водохранилищ с площадью поверхности воды порядка 100 гектаров. Насчитывается более 1500 прудов, которые используются преимущественно для рыбозаготовки. Экологическое состояние поверхностных водных объектов, оцениваемое по результатам мониторинга поверхностных вод за последние пять лет, показывает, что наблюдается тенденция к улучшению экологического состояния порядка 75% из них присвоен хороший и выше экологический статус [4].

Показатель обеспеченности водными ресурсами в стране составляет 6,2 тыс. куб. м воды в год на душу населения и находится на уровне средневропейского значения. На территории РБ разведаны и утверждены балансовые запасы пресных подземных вод в количестве порядка 2500 млн. куб. м/год на 609 месторождениях пресных подземных вод и на 605 месторождениях запасы пресных подземных вод разведаны и утверждены для хозяйственно-питьевых нужд, четырех месторождениях – для технических целей. Разведенные и утвержденные запасы подземных минеральных вод составляют около 60 тыс. куб. м/сут. [4]. Качественный состав подземных вод, и их запасы позволяют кроме удовлетворения хозяйственно-питьевых нужд использовать такие воды в лечебных (курортных, оздоровительных) целях, а также производить их экспорт.

Питьевое водоснабжение в РБ в основном осуществляется с использованием централизованных систем питьевого водоснабжения (с применением порядка 10300 артезианских скважин), обеспеченность

которыми составляет 90%. Децентрализованными системами питьевого водоснабжения пользуется менее 10% населения РБ. Обеспеченность централизованными системами водоотведения составляет около 80%. Ежедневно от потребителей отводится около 1,7 млн. куб. м сточных вод [4].

Нужды сельского хозяйства являются второй по значимости целью водопользования, на которую ежегодно приходится около 400 млн. куб. м, или 30% от общего объема используемой воды. Основной объем потребляемой воды используется для мелиорации земель, рыборазведение и водоснабжение для производства сельскохозяйственной продукции. Для поддержания оптимального для сельскохозяйственных растений, лесов и иных насаждений режима почв используется более 160 тыс. км каналов и водоприемников, около 5 тыс. км защитных и ограждающих дамб, около 1100 прудов и водохранилищ, и других объектов инженерной защиты. Общая площадь мелиорированных земель составляет 3,4 млн. гектаров. Сброс сточных вод в окружающую среду от объектов сельского хозяйства в 2024 году составил порядка 220 млн. куб. м, из них 30% являются недостаточно очищенными сточными водами, образующимися в результате ведения животноводства и птицеводства. Всего в секторе сельского хозяйства специальное водопользование с применением гидротехнических сооружений и устройств осуществляют порядка 1400 водопользователя. Анализ динамики водопользования в сельском хозяйстве за последние пять лет указывает на сокращение объемов водопотребления на 14% и водоотведения – на 5% [4].

Однако наряду с положительными тенденциями в области питьевого водоснабжения и водоотведения имеют место проблемы, требующие решения. Изменение климата повышает ценность подземных вод как основного источника питьевого водоснабжения для РБ, что требует оценки необходимости обеспечения всех потребителей водой питьевого качества из подземных источников питьевого водоснабжения и развития системы технического водоснабжения. Повышение температуры воды в водотоках и водоемах, увеличение количества осадков и более продолжительные периоды поверхностного стока могут повлечь изменения в качестве воды в результате образования наносов, поступления загрязняющих веществ от рассредоточенных источников и теплового загрязнения, приводящих в том числе к зарастанию поверхностных водных объектов и, как результат, изменение площади поверхности воды. На режим подземных вод и их уровень влияет гидрологический режим поверхностных водных объектов, с которыми подземные воды взаимосвязаны. Увеличение вероятности наступления длительных маловодных периодов повышает риски существенного уменьшения стока малых рек со снижением в них уровня воды и ухудшением ее качества.

Очистка сточных вод оказывает воздействие на климат. Выбросы парниковых газов, образующиеся в процессе очистки сточных вод, составляют около 3% от общего объема выбросов парниковых газов. Выбросы парниковых газов из водохранилищ из-за гниющей растительности и поступления углерода из водосборного бассейна являются следствием воздействия плотин на водные экосистемы. В лесах пожары и массовое распространение вредителей, стали факторами, повышающими уязвимость к воздействию климата.

Существующая в стране централизованная система водоснабжения не позволяет организациям водопроводно-канализационного хозяйства одновременно и отдельно поставлять потребителям воду питьевого качества и техническую воду. Для переустройства систем водоснабжения в целях развития систем технического водоснабжения потребуются значительные финансовые затраты на их техническое переоборудование.

Низкая степень эксплуатации полей фильтрации (порядка 30% от суммарной проектной мощности), их неудовлетворительное техническое состояние, результаты исследований, подтверждающие загрязнение подземных вод в местах размещения очистных сооружений, требуют принятия мер по переходу на новые методы очистки сточных вод с выводом полей фильтрации из эксплуатации (порядка 900 гектара полей фильтрации или 25% от общей площади).

За последние годы участились случаи подтопления городских территорий в результате выпадения интенсивных атмосферных осадков, приводящих к наводнениям. Необходимо проведение работ по сбору и очистке поверхностных сточных вод путем организации систем дождевой канализации в крупных населенных пунктах. При проектировании систем канализации необходимо предусмотреть возможность повторного использования сточных вод после их очистки и обеззараживания, что снизит нагрузку на поверхностные водные объекты.

Требует внимания вопрос строительства и эксплуатации гражданами автономных систем водоотведения жилых домов на земельных участках индивидуальной застройки, требования к которым являются рекомендательными, а контроль за их соблюдением на практике производится в единичных случаях на основании жалоб граждан, проживающих на соседних участках. При строительстве выбираются схемы водоотведения на свое усмотрение, их возведение происходит без соблюдения технических, санитарно-гигиенических и природоохранных требований, что создает угрозы экологической безопасности и санитарно-эпидемиологическому благополучию населения.

Актуальность вопроса охраны водных ресурсов в сельском хозяйстве в большей степени проявляется при попадании в поверхностные водные

объекты загрязняющих веществ от рассредоточенных источников, а также в результате ненадлежащей эксплуатации систем удаления и хранения отходов на животноводческих комплексах и фермах. Системы удаления и хранения, а также образующиеся от них сточные воды являются источниками загрязнения как поверхностных, так и подземных вод в следствии физического износа систем и нарушения технологий хранения отходов. Это также обусловлено отсутствием единых экологических требований к размещению и эксплуатации объектов животноводства. Сельскохозяйственные земли являются главным рассредоточенным источником загрязнения поверхностных водных объектов, в следствии поступления загрязняющих веществ в результате внесения и смыва удобрений и химических средств защиты растений ухудшает экологическое состояние поверхностных водных объектов и приводит к заморным явлениям. По результатам проведенных в 2020 году обследований гидротехнических сооружений и устройств, возведенных на реках (ручьях) для регулирования водных потоков установлены факты ненадлежащей их эксплуатации, ведущей к ухудшению состояния поверхностных водных объектов (снижение уровней воды или ее отсутствие, изменение гидрологического режима и другое), что требует совершенствования механизма осуществления контроля в данной области.

Для решения обозначенных проблем необходимо проведение комплекса централизованных мероприятий на государственном уровне с целью достижения долгосрочной водной безопасности РБ. Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач, направленных на сохранение и устойчивое использование водных ресурсов, снижение и предупреждение вредного воздействия на них, правовое и научное обеспечение для принятия соответствующих управленческих решений, обеспечение выполнения обязательств РБ по международным договорам, регулирующим вопросы использования и охраны трансграничных вод.

Ключевым аспектом внешней политики является международное сотрудничество по вопросам охраны и использования трансграничных вод. РБ подписала ряд международных договоров, выполнение которых должно способствовать улучшению законодательства нашего государства с законодательством стран Европейского союза.

Необходимо проводить исследования, направленные на поиск инновационных решений в области технологий водоподготовки, очистки, обработки и утилизации осадка сточных вод, исследования технологии мониторинга и прогнозирования состояния вод (в том числе при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций), изучение реакций водных биологических ресурсов на изменения водных экосистем в условиях изменяющегося климата. Исследования по вопросам охраны и

рационального использования вод должны быть направлены на развитие существующих и создание новых механизмов управления водными ресурсами; совершенствование экономических методов и механизмов водопользования; научное обеспечение условий внедрения оптимальных технических методов и технологий в области водоснабжения, водоотведения и очистки сточных вод; совершенствование системы учета добываемых подземных вод, изымаемых поверхностных вод и сточных вод, методов отбора проб воды и проведения измерений в области охраны окружающей среды, методов оценки природных и антропогенных рисков; развитие и внедрение методов и технологий мониторинга поверхностных и подземных вод, автоматизированных и информационных систем в области водопользования и мониторинга вод; развитие и внедрение методов и технологий оценки трансформации водного режима, изменения характеристик водных ресурсов под влиянием урбанизации.

В современных условиях РБ сталкивается с многочисленными рисками и угрозами, которые оказывают негативное влияние на состояние водных ресурсов. Загрязнение водоемов, уменьшение запасов водных ресурсов и нарушение естественных экосистем становятся все более актуальными проблемами, требующими внимания и комплексного подхода к их решению. Водные ресурсы являющиеся жизненно важными для здоровья населения и экономического процветания, находятся под угрозой. Последствия таких угроз могут быть катастрофическими от ухудшения качества питьевой воды до негативного воздействия на сельское хозяйство и экосистемы. Важно внедрение современных технологий очистки и мониторинга воды, развитие правовых механизмов защиты и активизация общественного участия в охране водных ресурсов. Сохранение и защита водных ресурсов должны стать приоритетами государственной политики и общественного сознания, чтобы обеспечить устойчивое будущее для страны и ее граждан.

Литература

1. Резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей 25 сентября 2015 года [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_ru.pdf. - Дата доступа 03.12.2024.
2. Концепция национальной безопасности Республики Беларусь [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P924v0005>. - Дата доступа 03.12.2024.
3. Национальная стратегия управления водными ресурсами в условиях изменения климата на период до 2030 года [Электронный ресурс]. - Режим

доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22200091>. - Дата доступа 03.12.2024.

4. Водные ресурсы [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/sovместnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/c-vodnye-resursy/>. - Дата доступа 03.12.2024.

УДК: 504.4.062.2

Сравнительный анализ технических решений по сбору дождевых вод для их последующего использования

Шавейко К.Н., Крицкая Т.А.

Научный руководитель Дубенок С.А., к.т.н.,

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Концепция комплексного подхода к управлению дождевыми и тальми водами на селитебных территориях городов заключается в интеграции управления дождевыми и тальми водами в процессы городского планирования и развития.

Основные территории образования дождевых вод – это твердые покрытия, которые на селитебной территории представлены жилыми зданиями, объектами социальной инфраструктуры, дорогами, тротуарами, стоянками и парковками.

Самым простым решением, повсеместно реализуемым на территории республики, является сбор дождевых вод через дождеприемники в дождевую канализацию (закрытую или открытую) и их последующее отведение в поверхностные водные объекты, в том числе и в пределах городской черты. Вместо возможного дальнейшего использования вода просто неэффективно сбрасывается в ближайший водный объект, проходя предварительную механическую очистки или зачастую вообще без очистки.

Из-за высокой плотности застройки особенно в крупных городах дождеприёмниками в период ливней не справляются, что приводит к подтоплениям городских территорий. Например, только за два летних месяца 2024 г. город Минск был существенно подтоплен трижды; 24 июля 2024 г. в период выпадения интенсивных осадков существенному подтоплению подвергся город Пинск, а 20 августа 2024 г. - город Гродно. Необходимо отметить, что в последние годы в летний период при выпадении интенсивных осадков число подтоплений в крупных городах существенно участилось.

Современными мировыми тенденциями в градостроительстве является использование различных технических решений по сбору дождевых вод и их преимущественному использованию в пределах городских территорий, на которых они образовались. Такие технические решения носят название «синяя» и «сине-зеленая» инфраструктура. Принципиальное различие между ними заключается в том, что технические решения синей инфраструктуры направлены на сбор и удержание дождевых и талых вод для их последующего использования или сброса в окружающую среду после окончания осадков, причем эти сооружения конструктивно максимально близки к естественным водным объектам и интегрированы в городские территории.

«Сине-зеленая» инфраструктура основывается на элементах «синей» инфраструктуры, добавляя к ним различные виды и формы растительности (деревья, кустарники, травяной покров, газоны), которая использует задержанную воду для роста и развития.

Использование различных технических решений по сбору дождевой воды для ее последующего использования прямо в месте ее образования может снизить инвестиционные затраты на сбор дождевой воды через строительство систем дождевой канализации, особенно в случаях одиночно стоящих зданий, если рядом отсутствуют системы дождевой канализации, а также в районах индивидуальной жилой застройки. Такие конструкции могут быть спроектированы, например, для таких учреждений, как школы, больницы, театры, кинотеатры, административные здания и другие общественные учреждения.

В статье рассмотрены возможности применения такого элемента «синей» инфраструктуры, как подземные накопители дождевых вод, в сравнении с элементом «сине-зеленой» инфраструктуры – плантаторами.

Подземные накопители

Подземные накопители представляют собой емкости, расположенные ниже уровня земли, для накопления (аккумуляции) дождевых и талых вод в целях снижения их пикового объема (расхода) и последующего использования накопленных объемов воды в период отсутствия осадков.

Подземные накопители монтируются из отдельных конструктивных элементов или выполняются путем заводского изготовления.

Габариты накопителя варьируются от его объема. Наиболее часто применяемые модели накопителей в городской среде находятся в следующих диапазонах: высота – 1800-2430мм, ширина – 1440-1740мм, длина – 2130-3500мм, объем – 3000-12000л [1].

Предположим, что нам надо отвести дождевую воду в накопитель с крыши площадью 100 м². В соответствии с СН 4.01.02-2019 [2] объем дождевых сточных вод от расчетного дождя, $W_{оч}$, м³, определяют по формуле

$$W_{\text{оч}} = 10h_a * F * y_{\text{mid}},$$

где h_a – максимальный слой осадков за дождь, мм, сток от которого аккумулируется и подвергается очистке в полном объеме (принимаем среднее значение для г. Минска 50мм);

y_{mid} – средний коэффициент стока для расчетного дождя (по СН принимаем 0,95 для кровли);

F – общая площадь стока, га (в нашем случае 100 м² или 0,01 га).

Таким образом, объем дождевых сточных вод от расчетного дождя с площади 100 м² составит 4,75 м³ и нам понадобится накопитель объемом не менее 4750 литров. Если, например, принимать критическое значение осадков, h_a , которое 18 июля 2024 г. в г. Минске составило 91,7 мм, соответственно объем дождевой воды составит 8,71 м³ и для сбора всего объема дождевых вод нужен будет накопитель не менее 8710 литров либо 2-4 накопителя меньшего объема, установленные по периметру здания с нескольких водосточных желобов.

Для предотвращения переливов дождевых и талых вод в составе конструкции подземных накопителей предусматриваются устройства переливной или дренажной системы. Для контроля накопления осадков в процессе оттаивания воды в накопителе предусматриваются смотровые отверстия (колодцы), к которым обеспечивается свободный доступ для обслуживания. Техническое обслуживание подземных накопителей предусматривает наблюдение за количеством образующихся в них осадков и своевременного его удаления [3].

Общий вид применения подземных накопителей дождевых вод приведен на рисунке 1.



Рис. 1. Общий вид применения подземных накопителей дождевых вод [4]

Как показывают проведенные исследования, подземные накопители могут быть выполнены из различных материалов, при этом, наиболее популярным является пластик (полиэтилен).

Большинство компаний, изготавливающих полиэтиленовые накопители дождевых вод, определяют следующие основные преимущества использования данного технического решения именно из этого материала:

- повышенная устойчивость к воздействию неблагоприятных факторов внешней среды;
- низкая теплопроводность, благодаря чему конструкции не требуют дополнительного утепления;
- при правильной эксплуатации срок службы пластиковых накопителей может составлять более 50 лет [5].

При этом существует ряд основных рекомендаций по использованию и монтажу подземных накопителей:

- площадка под накопитель должна располагаться на расстоянии не менее 5 метров от дорожного полотна и не менее 3 метров от деревьев;
- глубина заложения накопителя зависит от глубины подводящего трубопровода, от глубины промерзания грунта, от уровня залегания грунтовых вод. Если уровень грунтовых вод расположен выше чем отметка низа накопителя, то необходимо закрепление накопителя, которое производится, как правило, пластмассовым или капроновым канатом к бетонной плите.

По технологии установки полимерных емкостей в грунт, засыпка пазух между стенками котлована и стенками накопителя производится не вынутым грунтом, а песком без крупных твердых включений либо смесью песка и цемента (в пропорции 5:1), с одновременным постепенным заполнением накопителя водой. Песок укладывается послойно с обязательным трамбованием [1].

Основным преимуществом подземных накопителей является вариативность их использования. Однако отрицательным фактором является то, что спектр возможных решений больше для загородных участков в плане использования системы в качестве подпитки системы. В зоне высотной жилой застройки система больше актуальна для поливки древесно-кустарниковой растительности и газонов на прилегающих территориях, что в свою очередь позволит значительно сократить затраты питьевой воды что используется периодически для поливки. Если же вода по каким-либо причинам не подходит для тех или иных целей, она может быть отведена в систему дождевой канализации в период отсутствия интенсивных осадков, что в свою очередь снизит нагрузку на систему.

Плантаторы дождевых вод

Плантаторы представляют собой линейные резервуары, предназначенные для сбора и удерживания дождевых и талых вод и их использования на полив растений, а при избыточном объеме дождевых вод – с возможностью отведения их в систему канализации.

Плантаторы располагают вдоль зданий для сбора воды с крыш, а также в тротуарной (пешеходной) зоне и вдоль дорожного покрытия, отделяя их вертикальным бордюром. Для отведения в плантаторы дождевых и талых вод с тротуаров, пешеходных зон и дорожного покрытия предусматриваются врезки в бордюрах, через которые под небольшим наклоном дождевые и талые воды поступают на каменную подложку для снижения скорости [2].

В Республике Беларусь с учётом повсеместного применения в городах в зимний период песчано-соляной смеси использование плантаторов для сбора воды с дорог и пешеходных зон будет затруднительно, растения скорее всего погибнут. Поэтому эту технологию наиболее целесообразно использовать при сборе воды с крыш зданий.

Данное техническое решение получило большую популярность в странах европейского союза и Великобритании. Например, в наиболее затопляемых районах Англии, смонтировано и эксплуатируется более 500 установок плантаторов дождевых вод (рисунок 2) [6].



Рис. 2. Общее применение дождевых плантаторов [6]

Как показали проведенные исследования, габариты плантаторов, используемых для сбора воды с крыш зданий, имеют следующие технические характеристики:

- размеры по длине 1200 – 2000мм, по ширине – 400-600мм, по высоте – 700-950 мм;

- влагоёмкость плантатора может достигать 94% в зависимости от вида грунта и типов высаживаемых растений; объём вмещаемой воды различен в зависимости от загрузки и её пропускной способности;

- конструкция, саккумулировав часть воды в дренажном слое, подпитывает растения на протяжении 14-28 дней.

По вышеприведенной формуле можно рассчитать, что в среднем для поглощения дождевой воды в полном объеме от расчетного дождя с площади 100 м² понадобится около 6-10 дождевых плантаторов размером 2000х600х800мм в зависимости от принятой загрузки и количества фильтрующей слоёв.

Основные материалы, из которых выполняются корпус (каркас) плантатора, – сталь и дерево. Фильтрующий материал – корневая зона 50%, почва и песок и 50%, гонт 20 мм, дренажный геотекстиль 300 г/м², серый переработанный полипропиленовый рулон, впитывающий гидрокамень (опционально). Минимальный срок применения данной технологии – 15 лет [7;8].

Плановое обслуживание должно включать в себя прополку, обрезку и мульчирование, а также удаление мусора и осадка, скопившихся в плантаторе и в отводной трубе. На период укореняя растений при отсутствии осадков может понадобиться полив. Периодическая замена верхних 5 см фильтрующего материала вокруг входных отверстий (каждые 5–10 лет) поможет сохранить эффективность очистки [9].

Также существует гибрид двух систем, который технически является плантатором дождевой воды, но при этом аккумулирует воду как накопитель вместо слива излишка в дождевую канализацию. Емкость резервуаров для накопления воды в плантаторе зависит непосредственно от его размера и конструкции и может изменяться в диапазоне от 0,1 до 1 м³. Благодаря модульной конструкции устройства можно соединить несколько плантаторов в зависимости от требуемого объема сбора дождевых и талых вод [10].

Пример комбинированного плантатора приведен на рисунке 3.



Рис. 3. Пример комбинированного плантатора [10]

Руководствуясь предыдущими расчётами, для отвода дождевой воды с крыши объёмом в 4,75 м³ при аккумулирующей способности в среднем в 0,35 м³ для плантатора размером 2000х600х800мм нам потребуется установка 6-8 плантаторов по периметру здания.

Таким образом, сравнение таких технологических решений по обращению с дождевыми водами, как подземные накопители и плантаторы, позволило сделать следующие основные выводы:

- системы могут широко использоваться для накопления и повторного использования сравнительно незагрязнённых вод (в основном, с крыш зданий);

- системы позволяют снизить нагрузку на дождевую канализацию, а при ее отсутствии – избежать подтопления прилегающих территорий;

- системы могут эксплуатироваться совместно (аккумуляция + использование);

- данные технические конструкции не имеют особых специфических особенностей для их монтажа, т.е. они могут быть установлены сравнительно легко и быстро.

Климатические характеристики Республики Беларусь позволяют применять оба рассмотренных технических решения, при этом наиболее целесообразным будет их комбинированное применение.

Литература

1 Накопительные ёмкости [Электронный ресурс] / Сайт Евроталер – <https://e-taler.by/katalog/emkosti-podzemye/nakopitelnyie/emkost-d-3000-litrov-dlya-vodyi-polimer-grupp.html>

2 СН 4.01.02-2019 «Канализация. Наружные сети и сооружения»

3 Наилучшие доступные технические методы сбора, транспортировки, очистки и использования поверхностных сточных вод в населенных пунктах [Электронный ресурс] / Сайт Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 2024 – <https://minpriroda.gov.by/uploads/files/NTDM-20.02.2024.pdf>

4 Подземные накопители [Электронный ресурс] / Сайт GRAF – <https://www.graf.info/en/rainwater-harvesting/tanks-underground.html>

5 Подземные ёмкости [Электронный ресурс] / Сайт MIRPLAST – <https://mirplast.by/izdeliya-iz-plastika/katalog-tovarov/emkosti/podzemnye-emkosti/>

6 Плантаторы школы Meristem [Электронный ресурс] / Сайт Meristem design – <https://www.meristemdesign.co.uk/news/meristems-school-suds-planters-win-flood-coast-award/>

7 Плантаторы [Электронный ресурс] / Сайт SuDSPlanter – <https://www.sudsplanter.com/product-range>

8 Стальные плантаторы [Электронный ресурс] / Сайт NBS Source – <https://source.thenbs.com/product/aquaplanter-sustainable-drainage-systems-suds-planters-steel/usahbDKD5QGbmPqovxzJd5/iBN3Cv4kxrhWr7mpXnkeiA>

9 Плантаторы дождевой воды [Электронный ресурс] / Сайт EMSWCD – https://wiki.sustainabletechnologies.ca/wiki/Stormwater_planters

10 Плантаторные установки BNG [Электронный ресурс] / Сайт BioScapes – <https://bioscapes.co.uk/suds-unit/>

УДК: 504.4.062.2

Анализ методов обеззараживания природных вод

Шилкова Е. М.

Научный руководитель Лемеш М. И., ст. преподаватель

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Выбор метода обеззараживания природных вод связан с необходимостью оценки влияния множества факторов (например, пролонгированное антимикробное действие; безопасность для человека и животных; экономическая выгода), а также проведения предварительных технико-экономических расчетов с учетом производительности станции, качества природной воды, технологии водоподготовки, размещения сооружений водоподготовки, автоматизации процессов.

Природные воды, используемые для хозяйственно-питьевого водоснабжения, должны иметь благоприятные органолептические свойства, быть безвредными по химическому составу и безопасными в санитарно-эпидемиологическом отношении. Перед производителями питьевой воды стоит задача обеспечения ее эпидемической безопасности, т. е. достаточной степени обеззараживания.

Питьевая вода – это вода, которая соответствует установленным нормативам качества как в своем естественном состоянии, так и после водоподготовки и предназначена для потребления человеком в питьевых и бытовых целях. Для питьевых целей используются поверхностные и подземные воды. В Республике Беларусь в основном в качестве источника водоснабжения применяют подземные воды, но в городе Минске используется и поверхностные воды (Вилейское водохранилище), и подземные воды. В поверхностных водах всегда присутствует целое сообщество разнообразных микроорганизмов. Подземные воды, как правило, безопасны в бактериологическом отношении.

Для обеспечения здоровья и безопасности населения с микробиологической точки зрения на конечной стадии водоподготовки необходимо производить обеззараживание воды. Обеззараживание воды — это процесс удаления или уничтожения патогенных микроорганизмов, таких как бактерии, вирусы и паразиты, чтобы сделать воду безопасной для питья и других нужд [1-5]. В данной статье рассмотрен ряд методов обеззараживания природных вод, таких как:

1) реагентные методы:

- хлорирование;
- озонирование;
- йодирование;
- олигодинамия (обработка воды ионами серебра);

2) безреагентные методы:

- термический метод (кипячение);
- ультрафиолетовое (УФ) облучение;
- ультразвук;
- электрический разряд.

Для реагентных способов обеззараживания питьевой с целью достижения стойкого обеззараживающего эффекта необходимо правильно определить дозу вводимого реагента и обеспечить достаточную длительность его контакта с обрабатываемой водой. Доза реагента определяется в соответствии с требованиями нормативной литературы в результате пробного обеззараживания или расчетными методами.

Для безреагентных методов необходимо подвести к единице объема воды заданное количество энергии, определяемое как произведение интенсивности воздействия (мощности излучения) на время контакта.

Во многих случаях наиболее эффективным оказывается комбинированное применение реагентных и безреагентных методов обеззараживания воды.

Хлорирование один из наиболее часто используемых методов обеззараживания. Может производиться газообразным хлором и хлорсодержащими реагентами. В последнее время широко используется гипохлорит натрия.

К преимуществам можно отнести высокую эффективность в уничтожении большинства патогенных микроорганизмов, включая бактерии и вирусы, а также относительную простоту и низкую стоимость процесса. Хлорирование также позволяет обеспечить длительное сохранение воды в чистом состоянии благодаря остаточному хлору, который продолжает действовать после обработки.

Однако у этого метода есть и недостатки. Хлорирование может приводить к образованию побочных продуктов, которые могут быть вредны

для здоровья. Кроме того, хлор может вызывать неприятный запах и вкус воды, что снижает ее приемлемость для потребителей. Наконец, эффективность хлорирования может снижаться в присутствии органических веществ и при высоких температурах, что требует дополнительных мер контроля качества воды.

Озонирование — это метод обеззараживания природной воды, который использует озон (O_3) в качестве окислителя для уничтожения микроорганизмов, вирусов и других загрязняющих веществ. Озон генерируется с помощью озонаторов, которые используют электрический разряд для преобразования кислорода (O_2) в озон (O_3). Затем озон вводится в обрабатываемую воду.

Достоинства озонирования:

- **эффективность;**
- **в отличие от хлора, озон не оставляет токсичных остатков в воде, так как быстро разлагается;**
- **улучшение качества воды: озонирование улучшает органолептические показатели качества воды, снижает цветность воды, улучшает процессы коагулирования коллоидных веществ;**
- **экологичность: озон является природным газом и не загрязняет окружающую среду.**

Недостатки метода:

- **озонаторы и оборудование для озонирования являются дорогими в установке и обслуживании;**
- **необходимость в точном контроле за концентрацией озона, так как его избыток может быть токсичным для человека;**
- **необходимо также соблюдать особые меры предосторожности: озонородушные смеси взрывоопасны;**
- **озон обладает высокой коррозионной активностью, необходимо все элементы и трубопроводы озонаторной установки выполнять из нержавеющей стали;**
- **озон не обеспечивает длительной защиты, так как быстро разлагается;**

В целом, озонирование является эффективным методом обеззараживания воды, но требует тщательного контроля и является дорогостоящим методом.

Йодирование. Обеззараживание природной воды йодированием — это метод, основанный на использовании йода или его соединений для уничтожения патогенных микроорганизмов в воде. Этот метод часто применяется в условиях, когда нет доступа к чистой питьевой воде, например, в походах или в чрезвычайных ситуациях.

Йод обладает антимикробными свойствами и способен разрушать клеточные стенки бактерий, вирусов и других микроорганизмов. При добавлении йода в воду происходит его растворение, что приводит к образованию активных форм, способных убивать патогены. Достоинства:

- **эффективность: йод эффективно уничтожает широкий спектр микроорганизмов, включая бактерии, вирусы и простейшие;**

- **доступность;**

- метод не требует сложного оборудования и может быть использован в полевых условиях.

К недостаткам данного метода можно отнести:

- обработанная йодом вода может иметь неприятный вкус и запах;

- может возникнуть аллергия на йод;

- ограниченное время хранения;

- неэффективность против некоторых патогенов.

В целом, йодирование является полезным методом обеззараживания воды, но его следует использовать с осторожностью и учитывать возможные ограничения.

Олигодинамия – обеззараживание воды посредством воздействия на нее благородных металлов. Как правило, рассматривают три металла – золото, медь и серебро. Наиболее распространенным является применение серебра. Серебро может вводиться в виде растворов солей либо методом электрохимического растворения, а также посредством контакта воды с металлическим серебром. Научно доказано, что серебро в ионном виде обладает бактерицидным, противовирусным, выраженным противогрибковым и антисептическим действием и служит высокоэффективным обеззараживающим средством в отношении патогенных микроорганизмов. Однако этими свойствами оно обладает при достаточно высоких концентрациях серебра, около 0,015 мг/л. При низких концентрациях (10^{-4} ... 10^{-6} мг/л), серебро только останавливает рост бактерий, но не убивает их [5]. Спорообразующие разновидности микроорганизмов к серебру практически нечувствительны.

Получаемая «серебряная вода» содержит ионы серебра и является эффективным веществом для обеззараживания и консервирования питьевой воды. Но следует учитывать, что серебрение воды, во-первых, дорогой метод обеззараживания, во-вторых, как и большинство тяжелых металлов, серебро медленно выводится из организма и при его постоянном поступлении в высоких концентрациях может накапливаться. При длительном накоплении серебра возможно проявление признаков различных заболеваний. Выбирая серебро в качестве обеззараживающего вещества, можно отметить его высокую эффективность, а также

предотвращение от вторичного загрязнения. Но данный метод дорогой, применяется для обеззараживания малых объемов воды.

Кипячение – самый старый и один из простейших методов обеззараживания природной воды. Он заключается в нагревание воды до точки кипения (100°C) и кипячении в течение 10 минут.

Среди преимуществ кипячения можно выделить его простоту и доступность. Кипячение эффективно уничтожает большинство патогенных микроорганизмов, включая бактерии, вирусы и простейшие. Кроме того, этот метод не требует специальных химических веществ, что делает его безопасным для использования.

Однако этот метод в практике водоподготовки широко не применяется из-за своих недостатков. Во-первых, этот метод требует значительных затрат времени и энергии, так как необходимо довести воду до кипения и поддерживать её в этом состоянии в течение определённого времени. Во-вторых, кипячение не удаляет химические загрязнители, такие как тяжелые металлы или пестициды, что может быть критично в некоторых случаях. Кроме того, не все микроорганизмы, такие как споры некоторых бактерий, могут быть уничтожены при кипячении, что снижает эффективность метода. В-третьих, не предотвращает вторичное бактерицидное загрязнение воды. Этот метод используется для обеззараживания малых объемов воды: в быту, полевых условиях, лабораториях, малых водоочистных установках и других подобных случаях. Для этого типа обеззараживания могут использовать специальные типы кипяtilьников.

Ультрафиолетовое (УФ) облучение. Обеззараживание воды ультрафиолетом (УФ) — это метод, основанный на использовании ультрафиолетового излучения для уничтожения микроорганизмов, таких как бактерии, вирусы и простейшие. Обеззараживание происходит за счет воздействия ультрафиолетового света на ДНК или РНК микроорганизмов, что приводит к их инактивации. УФ-лампы излучают свет в диапазоне 200-300 нм, что является наиболее эффективным для уничтожения патогенов.

Достоинства метода:

- эффективно уничтожает до 99,9% микроорганизмов;
- метод не требует добавления химических веществ;
- процесс обеззараживания происходит быстро, обычно в течение нескольких секунд;
- экологичность: ультрафиолетовое обеззараживание не загрязняет окружающую среду и не оставляет следов в воде.

К недостаткам метода можно отнести:

- не обеспечивает защиту после обработки, так как не обладает пролонгированным действием;

– эффективность метода может снижаться при наличии мутности, органических веществ или других загрязнителей, которые могут блокировать УФ-излучение;

– некоторые споры и вирусы могут быть менее чувствительны к УФ-излучению;

– ультрафиолетовые установки требуют бесперебойного электроснабжения для работы.

Ультразвуковое обеззараживание является одним из методов обеззараживания воды, который использует кавитацию, вызванную ультразвуковыми колебаниями. Кавитация – процесс возникновения в жидкости массы пульсирующих газовых пузырьков. При воздействии ультразвуковыми колебаниями наблюдается рост кавитационного пузырька до максимального размера. Затем пузырек захлопывается, создавая ударные волны с высоким импульсным давлением. Ударная волна приводит к разрушению клеточных оболочек микроорганизмов и их гибели. Ключевой особенностью этого метода является то, что его бактерицидное действие сильно зависит от интенсивности ультразвуковых колебаний. Ультразвуковое воздействие убивает большинство микроорганизмов при интенсивности излучения не менее 2 Вт/см^2 и времени обработки не менее 5 мин. Работа генератора ультразвука требует большого расхода энергии и не обладает пролонгированным эффектом. Этот метод, также как и кипячение, используется для обеззараживания малых объемов воды.

Для полного уничтожения патогенной микрофлоры, включая некоторые споры и грибы, требуется значительное количество поглощенной энергии, что может быть затруднительно в некоторых случаях. Поэтому для более эффективного применения часто используется комбинированный подход, сочетающий ультразвуковую обработку с УФ-облучением.

Обеззараживание электрическим разрядом — это метод, основанный на использовании электрического тока для уничтожения микроорганизмов, таких как бактерии, вирусы и другие патогены, находящиеся в воде. При пропускании электрического тока через воду происходит ионизация, что приводит к образованию активных форм кислорода и других окислителей. Эти вещества способны разрушать клеточные стенки микроорганизмов, что приводит к их гибели. В процессе используются электроды, которые могут быть выполнены из различных материалов, устойчивых к коррозии. Они создают электрическое поле, которое способствует обеззараживанию. К недостаткам метода можно отнести повышенный расход электроэнергии.

Выбор метода обеззараживания воды зависит от различных факторов, таких как эффективность, стоимость, доступность и влияние на качество воды. Наиболее распространенными методами обеззараживания для

станций водоподготовки являются хлорирование, озонирование, ультрафиолетовое облучение.

Хлорирование является одним из самых распространенных методов, обеспечивающим эффективное уничтожение бактерий и вирусов, однако может приводить к образованию побочных продуктов, которые могут быть вредны для здоровья и ухудшить органолептические показатели воды. Ультрафиолетовое облучение эффективно уничтожает микроорганизмы без добавления химических веществ, но требует предварительной водоподготовки и не обладает пролонгированным действием. Озонирование также эффективно, так как озон обладает сильными окислительными свойствами, однако его использование требует специального дорогостоящего оборудования и также не предотвращает вероятность вторичное загрязнение воды.

Поверхностные воды всегда характеризуются наличием патогенных микроорганизмов и вирусов. Наиболее часто в качестве метода обеззараживания таких вод применяется хлорирование, так как данный метод обладает пролонгированным действием и предотвращает вероятность развития вторичного загрязнения. Последнее время для обеззараживания поверхностных вод широко используется гипохлорит натрия.

Подземные воды, как правило, безопасны в бактериологическом отношении, но при применении безнапорных скорых фильтров, а так же для обеспечения безупречного качества воды предусматривается также обеззараживание. В качестве метода можно применять и хлорирование, однако, для того, чтобы не допустить ухудшения органолептических показателей, целесообразнее использовать ультрафиолетовое облучение или озонирование.

Литература

1. Международная студенческая научная конференция [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://scienceforum.ru/2017/article/2017038575_ – Дата доступа: 09.12.2024
2. РИА Новости [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ria.ru/20091028/191037571.html> – Дата доступа: 09.12.2024
3. AQUA THERM [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://aqua-therm.ru/articles/articles_379.html – Дата доступа: 09.12.2024
4. GLOBAL AQUA [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://global-aqua.ru/metody-i-tekhnologii/obezzarazhivanie-vody.html> – Дата доступа: 10.12.2024

5. NEPTUN. Водные системы [Электронный ресурс] – Режим доступа:
<https://neptunfilter.ru/articles/water-disinfection-methods/> – Дата доступа:
10.12.2024