

требует минимального внимания и полностью автоматизирована. Кислотность в реакторе обычно регулируется путем продувки циркулирующей жидкости с подачей из источника чистой воды.

Технология *Biopuric* считается одной из немногих промышленных биотехнологий, специально разработанных для удаления H_2S из биогаза.

Рассмотренные технологии позволяют осуществлять эффективную очистку биогаза от сероводорода при низких эксплуатационных расходах, не требуют использования дорогостоящих реагентов, а также замены дорогостоящих фильтрующих материалов.

Литература

1. Обработка осадков сточных вод: учеб.-метод. пособие /О. К. Новикова; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. универ. трансп. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 96 с.

2. Малышева А. А. Биофильтрация как способ дезодорации газовых выбросов при работе станций аэрации. «САНТЕХНИКА» № 3, 2015 с40-42

3. СН 4.01.02.2019 Канализация. Наружные сети и сооружения. Строительные нормы и правила. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2024. – 80 с.

4. Biogas upgrading Evaluation of methods for H_2S removal – Danish technological institute, 2014 – 31 p.

УДК 629.735

Эколого-экономическое обоснование выбора сооружений для очистки поверхностных сточных вод с селитебной территории населенных пунктов

Шавейко К.Н.

Научный руководитель Дубенок С.А., к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В результате интенсивного развития городов застроенные территории всё более уплотняются, что ведет к постоянному увеличению доли твердых водонепроницаемых покрытий и, как следствие, к увеличению подтопления территорий в период выпадения интенсивных осадков. Данная проблема может быть решена использованием «синей» и «сине-зеленой» инфраструктур, которые не только в экологическом плане превосходят традиционную систему дождевой канализации, но и в экономическом плане также имеют преимущество.

Проблема отвода и очистки поверхностных сточных вод в современных населённых пунктах становится всё более актуальной вследствие интенсивной урбанизации, увеличения доли водонепроницаемых покрытий и роста количества экстремальных осадков, связанных с изменением климата. Развитие жилой и транспортной инфраструктуры приводит к ускоренному формированию поверхностного стока в результате выпадения осадков, перегрузке систем дождевой канализации и регулярным подтоплениям городских территорий.

Традиционные системы дождевой канализации ориентированы преимущественно на быстрый сбор и отведение дождевых и талых вод в ближайшие водные объекты. Однако такой подход не обеспечивает восстановление естественного водного баланса, не снижает нагрузку на инженерные сети и не позволяет эффективно использовать дождевые воды как ресурс.

В мировой практике всё более широкое распространение получают устойчивые дренажные системы (Sustainable Urban Drainage Systems, SuDS) [1], основанные на принципах сохранения естественного гидрологического цикла. Их основными задачами являются:

- временное аккумулирование поверхностных сточных вод;
- очистка поверхностных сточных вод путем инфильтрации в окружающую среду;
- повторное использование поверхностных сточных вод;
- снижение риска подтоплений;
- улучшение экологического состояния городской среды.

Реализация данных принципов осуществляется посредством элементов «синей» и «сине-зелёной» инфраструктуры. «Синяя» инфраструктура включает инженерные сооружения для накопления и регулирования стока, а «сине-зелёная» сочетает водоотводящие функции с озеленением территории.

В рамках исследования проведен сравнительный эколого-экономический анализ трех проектных решений по обращению с поверхностными сточными водами на территории проектируемой жилой застройки одного из населенных пунктов Минской области. Территория застройки площадью 11,43 га разделена на два основных типа покрытий: здания и асфальтобетонные покрытия – 6,61 га и газоны и зеленые насаждения – 4,82 га.

Приняты три принципиально различных проектных решения по обращению с поверхностными сточными водами:

1. Традиционная «серая» инфраструктура в виде закрытой самотечной системы дождевой канализации с очистными сооружениями и

последующим сбросом очищенных сточных вод в поверхностный водный объект;

2. Система закрытой дождевой канализации с очистными сооружениями и последующей инфильтрацией очищенных вод в грунт с применением фильтрующих траншей;

3. Система сбора и отведения дождевых вод с комбинацией элементов «синей» и «сине-зеленой» инфраструктуры.

Основным критерием для выбора и реализации проектных решений будет являться национальное законодательство в области архитектурно-градостроительной деятельности, охраны окружающей среды и санитарно-эпидемиологического благополучия населения:

- Водный кодекс Республики Беларусь;
- СН 4.01.02-2019 «Канализация. Наружные сети и сооружения»;
- ЭкоНиП 17.06.02-002-2021 «Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Правила расчета нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод»;
- Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды от 26.05.2017 № 16 «О нормативах допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод»;
- показатели безопасности и безвредности воды водных объектов для хозяйственно-питьевого и культурно-бытового (рекреационного) использования и воды в ванне бассейна, утвержденные постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 25.01.2021 №37.

При сбросе поверхностных сточных вод в водные объекты через системы дождевой канализации требуется их очистка, а нормативы качества сбрасываемой воды устанавливаются по трем показателям: взвешенные вещества, нефтепродукты и водородный показатель (рН). При этом допустимые концентрации для очищенных поверхностных сточных вод составляют: по взвешенным веществам не более 20 мг/дм³; по нефтепродуктам – не более 0,3 мг/дм³. Соответственно, при сбросе сточных вод с селитебных территорий населенных пунктов проектируются, как правило, сооружения механической очистки.

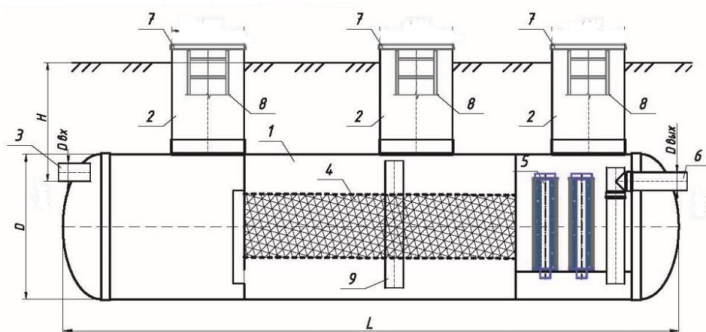
Для реализации первого варианта водоотведения поверхностных сточных вод в качестве основного технического решения выбраны очистные сооружения со сбросом в ближайший поверхностный водный объект. Техническим решением выбран бензомаслоотделитель с интегрированным пескоотделителем и блоком сорбционной доочистки.

Основными преимуществами локальных очистных сооружений являются компактность, высокая эффективность очистки, возможность размещения в стеснённых городских условиях, автоматизация контроля загрязнений, возможность модернизации [2-5].

Для обеспечения стабильной работы очистных сооружений предусматривается их техническое обслуживание, которое включает в себя:

- очистку пескоотделителя;
- удаление собранных нефтепродуктов;
- промывку сорбционных модулей;
- контроль накопления осадка.

Принципиальная схема очистных сооружений поверхностных сточных вод представлена на рис. 1.



- 1 – корпус; 2 – горловина; 3 – входной патрубок; 4 – коалесцентный модуль; 5 – фильтры доочистки; 6 – выходной патрубок; 7 – люк; 8 – лестница; 9 – труба для удаления осадка

Рис. 1. Схема очистных сооружений поверхностных сточных вод

Вторым техническим решением предусмотрена система закрытой дождевой канализации с очистными сооружениями и последующей инфильтрацией очищенных вод в грунт с применением фильтрующих траншей. Фильтрующие траншеи предназначены для инфильтрации очищенных сточных вод в грунт и относятся к сооружениям почвенной очистки. В качестве фильтрующей загрузки предлагается использовать песчано-гравийную смесь с повышенным содержанием гравия.

Несмотря на экологические преимущества, данный вариант уступает современным системам «сине-зелёной» инфраструктуры по функциональности и эффективности использования поверхностных сточных вод.

Наиболее перспективным направлением в области управления поверхностными сточными водами является применение элементов «синей» и «сине-зелёной» инфраструктуры.

«Синяя» инфраструктура включает в себя водоотводные придорожные каналы, подземные накопители, пруды удержания «сухого», «мокрого», а также «инфильтрационного» типа.

Примеры реализации элементов «синей» инфраструктуры представлены на рис. 2.



Рис. 2. Элементы «синей» инфраструктуры (подземные накопители, «сухой» пруд и водоотводный канал соответственно) [6]

«Сине-зелёная» инфраструктура сочетает гидротехнические сооружения с элементами озеленения и включает дождевые сады, плантаторы дождевых вод, водопроницаемые покрытия, фильтрующие траншеи, коробки для посадки деревьев и т.п.

Отдельные технические решения элементов «сине-зеленой» инфраструктуры отображены на рис. 3.



Рис. 3. Элементы «сине-зеленой» инфраструктуры (водопроницаемое покрытие, дождевой плантатор, дождевой сад соответственно) [6]

Главной особенностью данных решений является управление поверхностными сточными водами непосредственно в местах их образования.

В отличие от традиционной «серой» инфраструктуры, ориентированной только на транспортировку сточных вод, комбинация «синей» и «сине-зеленой» инфраструктур обеспечивает удержание воды, инфильтрацию и повторное использование.

После сбора всей необходимой информации по условиям образования поверхностных сточных вод, подбора необходимых элементов для каждого из проектных решений необходимо сделать экономический анализ

эффективности предполагаемых вложенных инвестиций в каждое из проектных решений.

В части расчета показателей привлекательности проектного решения не расчет для «серой» инфраструктуры не проводился, так как данное проектное решение не имеет возможности себя окупить и непривлекательно для предполагаемого инвестора, прежде всего, с экологической точки зрения. Для расчета основных показателей экономической эффективности проекта предусмотрены укрупненные расценки оборудования вследствие экономической политики большинства поставщиков и производителей, так же из-за меньшей вариативности необходимых составляющих либо полного их отсутствия на рынке Республики Беларусь. В части подсчета строительно-монтажных работ проведен расчет стоимости строительных работ, монтажных работ, а также заработная плата необходимых рабочих, затраты на эксплуатацию машин и механизмов.

Показатели эффективности предполагаемых инвестиций в данные проектные решения отображены в таблице.

Таблица

Итоговые показатели экономической эффективности по проектным решениям

Наименование показателя	«Серая» инфраструктура с фильтрующими траншеями	«Сине-зеленая» и «синяя» инфраструктуры
Чистый дисконтированный доход, бел. руб.	167434,41	175156,07
Внутренняя норма доходности, %	16,18	15,27
Индекс рентабельности инвестиций	1,53	1,45
Срок окупаемости, лет	7,00	7,02
Дисконтированный срок окупаемости, лет	10,07	11,05

Вариант с использованием «серой» инфраструктуры с фильтрующими траншеями демонстрирует отличную финансовую эффективность. Сочетание положительного ЧДД, высокого индекса рентабельности и солидного запаса прочности по ВНД делает его крайне привлекательным для долгосрочного инвестирования. Единственным сдерживающим фактором выступает длительный срок окупаемости (7 лет), что требует от инвестора наличия «длинных» денег и стабильной макроэкономической среды.

Вариант с использованием «синей» и «сине-зеленой» инфраструктур является масштабным и экономически эффективным. Однако он характеризуется высоким уровнем риска: у него очень глубокая инвестиционная фаза, долгий динамический срок окупаемости (более 11 лет) и умеренный запас прочности по ВНД.

Первый вариант предпочтительней, если ограничен стартовый бюджет, инвестор стремится минимизировать риски, ценит быструю окупаемость и хочет иметь высокий запас прочности на случай ухудшения экономической ситуации. Второй вариант предпочтительный если есть доступ к крупным и «длинным» финансовым ресурсам, инвестор готов переждать 11 лет окупаемости, а главной целью является максимизация абсолютной величины чистой прибыли в долгосрочной перспективе. В целом оба варианта приблизительно имеют схожие показатели, однако по каждому из них (кроме чистого дисконтированного дохода) превосходит вариант «серой» инфраструктуры с фильтрующими траншеями.

Таким образом, данный расчет показал, что проектное решение с использованием элементов «синей» и «сине-зеленой» инфраструктур является вариантом лучше, чем просто «серая» инфраструктура, но при этом отстает от варианта «серой» инфраструктуры с применением фильтрующих траншей.

Также необходимо отметить, что перспективное производство составляющих для «синей» и «сине-зеленой» экономики поспособствует более точному расчету и меньшим затратам вследствие разного ценообразования со странами Европы, на технологии которых был сделан ориентир.

Учитывая некоторые экономические недостатки проектного решения «синей» и «сине-зеленой» инфраструктур, данный вариант тем не менее остается более перспективным, рациональным и привлекательным, так как использование таких проектных решений направлено главным образом на охрану окружающей среды, но при этом в процессе эксплуатации покрывает себестоимость около 80%, в отличие от «серой» инфраструктуры, где окупаемости, то есть экономии, достигнуть крайне трудно.

Литература

1. Использование устойчивых дренажных систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.susdrain.org/>. – Дата доступа: 05.05.2026.
2. Комплексная система очистки *EuroPEK Roo Kombi CFR* [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://labko.ru/livnevka/kompleksnaya-sistema-ochistki-europekr-roo/>. – Дата доступа: 05.05.2026.

3. Комплексная система очистки *Rainpark 1000* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.standartpark.by/catalog/odnokorpusnye/3_1/. – Дата доступа: 05.05.2026.

4. Песконефтеуловитель комбинированный KANN серии PN [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kann.by/los/>. – Дата доступа: 05.05.2026.

5. Локальные очистные сооружения ливневого стока [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://los.kompozitzavod.ru/>. – Дата доступа: 05.05.2026.

6. Дубенок, С. А., Шавейко, К. Н., Крицкая, Т.А. Обоснование технических решений по обращению с дождевыми и талыми водами на территориях городов с учетом изменения климата / С. А. Дубенок, К. Н. Шавейко, Т. А. Крицкая. – Минск: Республиканский конкурс научных работ студентов, 2024. – 33 с.

УДК 629.735

Оценка эффективности водопользования и воздействия на водный объект предприятия энергетики

Шакаль Т.М.

Научный руководитель Колобако А.А., ассистент
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В контексте реализации экологической политики Республики Беларусь приоритетное значение имеют вопросы охраны гидросферы и оптимизации водопользования. Ключевым регулирующим инструментом в данной сфере выступает разработка научно обоснованных нормативов состава и объемов сточных вод. Настоящая статья посвящена анализу структуры водоотведения на предприятии энергетики, а также технологическому обоснованию методов очистки сточных вод.

Функционирование современных теплоэлектроцентралей, обеспечивающих комбинированную выработку электрической и тепловой энергии, неразрывно связано с использованием больших объемов водных ресурсов и последующим образованием многочисленных потоков сточных вод. Специфические загрязнения ТЭЦ, включая нефтепродукты от мазутных хозяйств, продукты химической водоподготовки, взвешенные