

В.Н. Ануфриев,

доцент, заведующий кафедрой «Водоснабжение и водоотведение» БНТУ,
канд. техн. наук

Очистка сточных вод отдельных объектов на очистных сооружениях небольшой производительности

К настоящему времени практика проектирования и строительства систем водоотведения, в т.ч. очистных сооружений для объектов с небольшими расходами сточных вод и сельских населенных пунктов, выявила системные проблемы. Технические нормативные правовые акты (далее — ТНПА) и типовые технические решения направлены либо на перенесение принципов проектирования, характерных для городов и объектов со значительными объемами водоотведения, либо на применение простейших сооружений, морально устаревших, наносящих значительный вред окружающей среде и ухудшающих санитарный режим территорий.

Анализ мирового и европейского опыта показывает, что в ряде случаев организация отведения сточных вод небольших объектов может оказаться более сложной задачей, нежели строительство и эксплуатация очистных сооружений для больших населенных пунктов¹. Это объясняется тем, что поступление сточных вод на очистные сооружения с небольших водосборных площадей характеризуется значительными удельными нагрузками по загрязняющим веществам и более высокими коэффициентами неравномерности поступления сточных вод. Также возникают сложности с обеспечением небольших канализационных очистных сооружений техническим персоналом с соответствующей квалификацией, особенно в условиях широкого применения современных систем автоматизации.

¹ ATV-A 200E. Principles for the Disposal of Wastewater in Rurally Structured Areas.



Из характерных особенностей малых канализационных очистных сооружений вытекают следующие требования к их проектированию и строительству:

- малые очистные сооружения не могут быть просто уменьшенными по размерам копиями больших сооружений;
- регулирование и усреднение притока сточной воды на очистку может быть более важным для обеспечения эффективности очистки, чем применение самых высокотехнологичных методов очистки;
- предпочтение должно отдаваться простым универсальным конструкциям по сравнению со сложными многоступенчатыми конструкциями;
- сооружения должны быть простыми в исполнении и обслуживании с надежными механическими устройствами, без применения сложной автоматики;
- эксплуатационная безопасность и удобство технического обслуживания должны быть приоритетными в сравнении с достижением высоких показателей производительности.

Если рассматривать опыт очистки сточных вод отдельных объектов и предприятий в нашей стране, то традиционными очистными сооружениями в таких случаях являлись поля фильтрации, подземные поля фильтрации, фильтрующие траншеи, песчано-гравийные фильтры и подобные сооружения. Основным преимуществом указанных сооружений была простота их устройства. Положительной особенностью полей фильтрации является тот факт, что эксплуатация таких сооружений не требует применения электромеханического оборудования, поэтому и практика их применения для объектов с небольшими расходами сточных вод остается довольно распространенной.

Вместе с тем в настоящее время **поля фильтрации** можно отнести к типу сооружений, которые морально устарели в технологическом отношении, и их применение оказывает значительное негативное воздействие на окружающую среду. Непосредственный контакт сточных вод с атмосферным воздухом на больших площадях приводит к появлению неприятных запахов, размножению насекомых и т.д. и **требует устройства санитарно-защитных зон** (рис. 1). Довольно распространенной практикой является устройство полей фильтрации без водоотводящей сети. При значительных нагрузках велика вероятность фильтрации сточных вод, содержащих значительные количества биогенных веществ (азот, фосфор), в грунт и далее в нижележащие водоносные горизонты. Введение в 2010 г. новых строительных норм проектирования² сократило

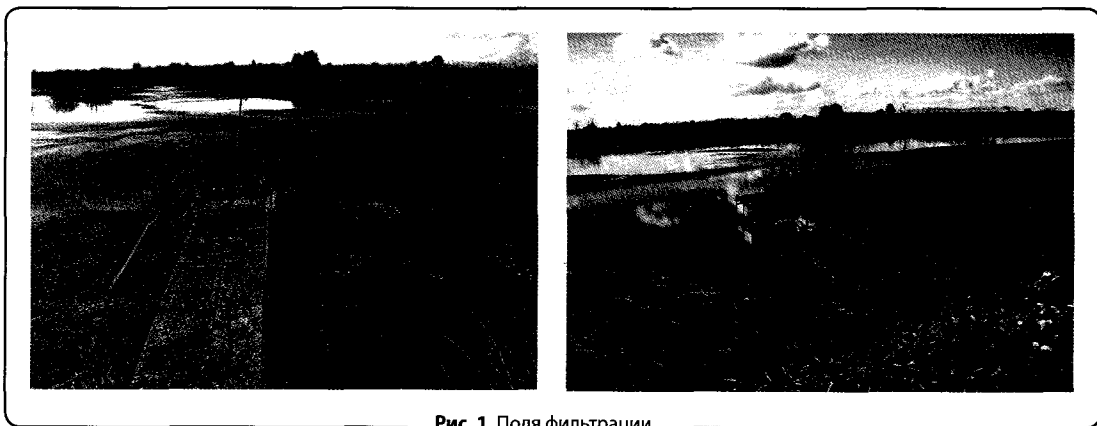


Рис. 1. Поля фильтрации

² ТКП 45-4.01-202-2010 «Очистные сооружения сточных вод. Строительные нормы проектирования» (далее — ТКП 45-4.01-202-2010).



область применения таких сооружений. Их применение возможно для объектов, расположенных вне населенных пунктов, при расходе сточных вод, не превышающем 200 м³/сутки, и дальности транспортирования очищенных сточных вод до водотока-приемника, превышающей 1 км. В дальнейшем Водной стратегией Республики Беларусь на период до 2020 года³ ставилась задача сокращения использования полей фильтрации в Беларуси на 50 %.

В связи с этим актуальной становится задача разработки и поиска технических решений, которые могут заменить эти традиционные сооружения и обладают надежностью, простотой в эксплуатации и экономичностью, обеспечивая при этом современные санитарные и природоохранные требования. Обычной практикой **при выводе полей фильтрации из эксплуатации** является строительство очистных сооружений с биологической очисткой в искусственно созданных условиях, с применением биофильтров или аэротенков. В Беларуси такой подход применялся при реконструкции систем отведения ряда населенных пунктов. Следует отметить, что все белорусские города имели такой вид очистки, как поля фильтрации, и в последующем переходили на более мощные сооружения. Например, в Минске станция аэрации запущена в эксплуатацию в 1963 г., в других городах такая замена производилась несколько позднее.

Для объектов с небольшими объемами водоотведения строительство типовых сооружений биологической очистки может быть нецелесообразным, и отказ от полей фильтрации может реализоваться за счет применения очистных сооружений заводского изготовления. Краткая характеристика таких сооружений приводилась в журнале ранее⁴. При ряде достоинств использование таких сооружений сопряжено с необходимостью организации энергоснабжения и технического обслуживания оборудования, удаления и обработки образующегося осадка, а также со значительными первоначальными затратами на приобретение, монтаж и наладку оборудования. В связи с этим в последнее время интенсивно развивается альтернативное направление — **использование усовершенствованных методов биологической очистки** сточных вод в условиях близких к естественным, например очистка на грунтово-растительных площадках.

Грунтово-растительные площадки (в англоязычной литературе обозначаются терминами *wetland, constructed wetlands*) предназначены для биологической очистки с использованием влаголюбивой растительности. Отличительным признаком указанных сооружений является использование водной, околородной и влаголюбивой растительности. К грунтово-растительным площадкам в настоящее время относят большое количество видов сооружений, различающихся по конструкции и принципу действия.

Во-первых, это пруды, как правило, небольших и средних размеров, в которых очистка сточных вод производится с применением биоценоза свободно плавающих растений, растений, произрастающих на грунте под водой и имеющих надводную часть, а также растений, произрастающих на берегах. Во-вторых, это сооружения, использующие для очистки сточных вод слой фильтрующей загрузки и влаголюбивую растительность, которая высаживается на почвенном слое над фильтрующей загрузкой. Если первая группа сооружений по принципу действия является близкой к биологическим прудам, то вторая — к сооружениям очистки сточных вод в грунте. Если рассматривать применение таких сооружений для замены полей фильтрации, то больший интерес представляют сооружения второй группы.

³ Утверждена Решением коллегии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 11 августа 2011 г. № 72-Р.

⁴ См.: Ануфриев В.Н. Водоснабжение и водоотведение лечебно-профилактических организаций. Экология на предприятии. 2015. № 3. С. 46–54.



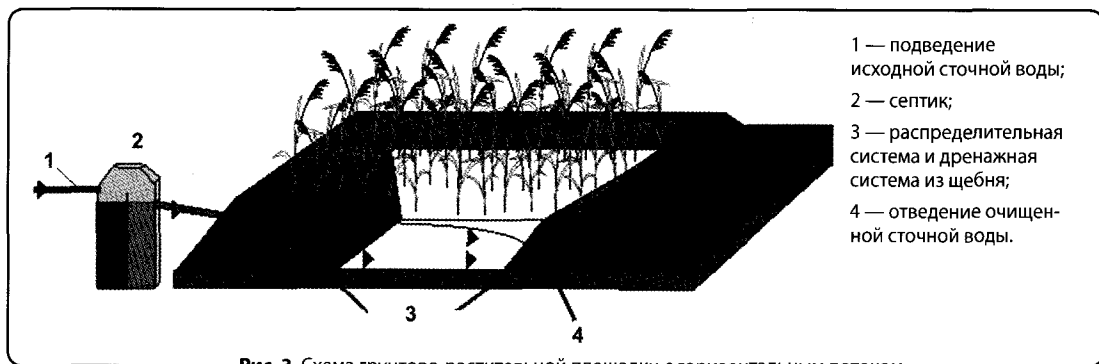
По конструкции грунтово-растительные площадки подразделяются на виды в зависимости от направления потока сточных вод в грунтовой фильтрующей загрузке:

- с горизонтальным потоком;
- с вертикальным потоком;
- комбинированного типа.

При использовании **площадок с горизонтальным потоком** предварительно осветленная в септике вода может подаваться самотеком на площадку с фильтрующей загрузкой, выполненной из мелкого гравия, крупнозернистого песка. Распределение сточной воды по площадке производится путем создания слоя фильтрующего материала с большой проницаемостью (щебень), расположенного наклонно во внутренней части сооружения. Дренаж, который собирает профильтрованную воду, выполняется аналогичным способом с противоположной стороны сооружения (рис. 2–3).



Рис. 2. Вид грунтово-растительной площадки с горизонтальным потоком (Польша, Белостокское воеводство)



- 1 — подведение исходной сточной воды;
- 2 — септик;
- 3 — распределительная система и дренажная система из щебня;
- 4 — отведение очищенной сточной воды.

Рис. 3. Схема грунтово-растительной площадки с горизонтальным потоком

Таким образом, фильтрационный поток очищаемых вод в фильтрующей загрузке направлен от распределительного устройства к дренажу со снижением уровня воды в грунте.»

На **площадках с вертикальным потоком** предварительно осветленная в септике вода забирается насосом и подается в верхнюю распределительную систему трубопроводов, которая распределяет сточную воду по площади фильтрационной загрузки (рис. 4–5). Профильтрованная вода собирается дренажными трубопроводами, уложенными в нижней части загрузки.



Рис. 4. Вид грунтово-растительной площадки с вертикальным потоком (Беларусь, п. Колодищи)

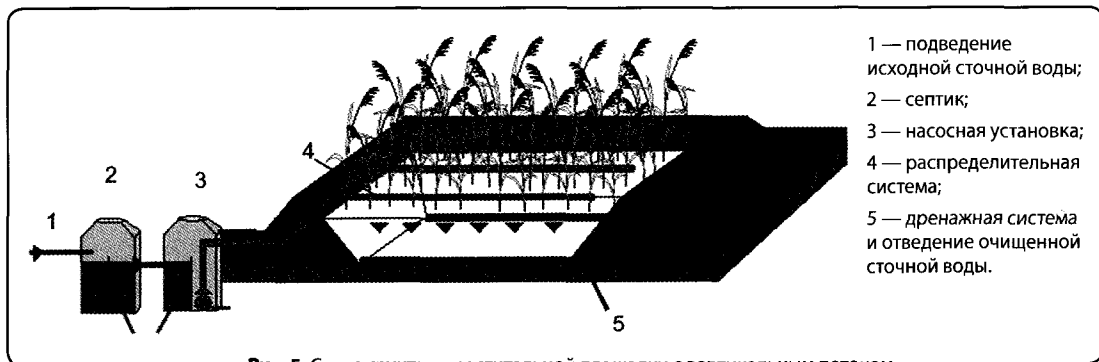


Рис. 5. Схема грунтово-растительной площадки с вертикальным потоком

- 1 — подводение исходной сточной воды;
- 2 — септик;
- 3 — насосная установка;
- 4 — распределительная система;
- 5 — дренажная система и отведение очищенной сточной воды.



Рис. 6. Вид грунтово-растительной площадки с наклонным потоком

В отличие от других типов сооружений для очистки сточной воды в грунте, в данном случае не предусматривается последующее просачивание воды, профильтровавшейся через загрузку, в нижележащие слои грунта. Для предотвращения просачивания фильтрующая загрузка размещается над слоем гидроизоляции, который делают из полимерной пленки.

К отдельному виду грунтово-растительных площадок можно отнести сооружения, устраиваемые на склонах (рис. 6–7). По принципу работы такие сооружения ближе к площадкам с горизонтальным потоком. Здесь также вода подается из септиков самотеком, при этом фильтрационный поток направлен параллельно поверхности земли.

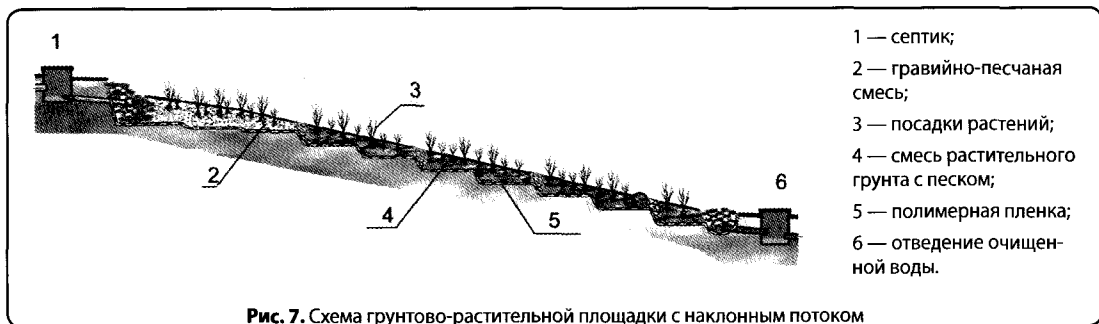


Рис. 7. Схема грунтово-растительной площадки с наклонным потоком

- 1 — септик;
- 2 — гравийно-песчаная смесь;
- 3 — посадки растений;
- 4 — смесь растительного грунта с песком;
- 5 — полимерная пленка;
- 6 — отведение очищенной воды.

Сооружения такого вида широко используются в горной, холмистой местности, где существует возможность использования уклона местности для создания фильтрационного потока сточных вод в фильтрующей загрузке с требуемыми скоростями. Для Республики Беларусь опыт применения грунтово-растительных площадок с наклонным потоком может быть интересен с точки зрения размещения очистных сооружений на неиспользуемых землях, склонах, оврагах, балках и т.д.



На грунтово-растительные площадки для предотвращения их кольматации подается осветленная сточная вода. Осветление небольших расходов сточных вод производится в септиках, и, таким образом, септик является необходимым элементом такой системы очистки. Кроме предварительного отстаивания сточных вод, в септике производится сбраживание и хранение осадка.

Септик представляет собой сооружение, состоящее из одной емкости с несколькими камерами или нескольких емкостей, через которые последовательно протекает сточная вода (рис. 8). Количество камер или отдельных емкостей септиков, как правило, составляет от одной до трех. В зарубежной практике проектирования количество камер может достигать пяти.

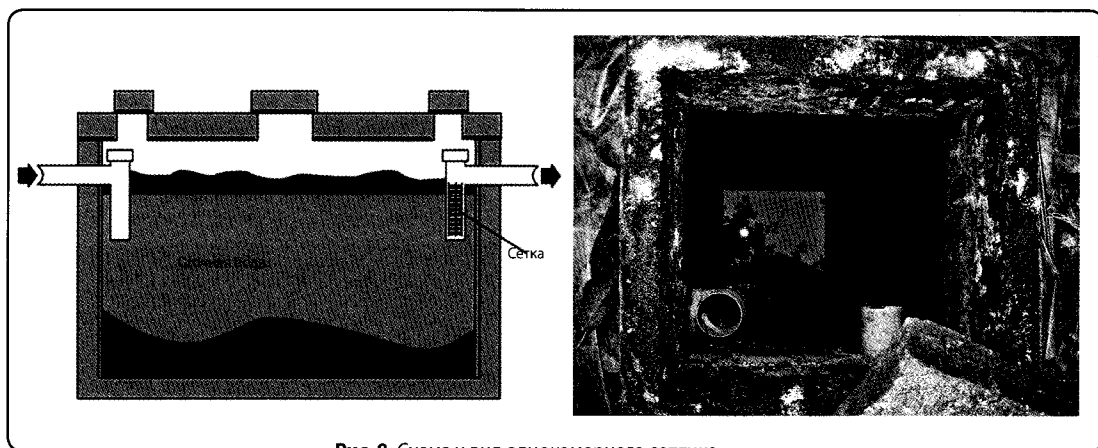


Рис. 8. Схема и вид однокамерного септика

Септики устраиваются из сборного или монолитного железобетона, кирпича с гидроизоляцией. Септики заводского изготовления могут быть из металла или пластмассы.

При медленном движении сточных вод в объеме септика происходит осветление сточных вод за счет осаждения нерастворимых примесей и взвешенных веществ. Выпавший осадок находится в резервуаре септика от 6 до 12 месяцев, в течение которых он подвергается анаэробному разложению. Чтобы обеспечить небольшие скорости движения сточной воды и возможность длительного пребывания осадка, объем септиков должен быть достаточно большим.

ТНПА Республики Беларусь детально не регламентируют правила проектирования грунтово-растительных площадок, но и не содержат запретов на применение таких сооружений. Так, согласно ТКП 45-4.01-202-2010 допускается применение методов биологической очистки сточных вод в условиях, близких к естественным, в т.ч. с помощью грунтово-растительных биофильтров. Согласно немецкому стандарту *DWA-A 262*⁵ для грунтово-растительных площадок с горизонтальным потоком общая фильтрующая площадь принимается $A_f = 5 \text{ м}^2/\text{ЭН}$, нагрузка по ХПК — $16 \text{ г}/(\text{м}^2 \times \text{сут})$, гидравлическая нагрузка — $40 \text{ л}/(\text{м}^2 \times \text{сут})$. Для грунтово-растительных площадок с вертикальным потоком общая фильтрующая площадь принимается $A_f = 4 \text{ м}^2/\text{ЭН}$, нагрузка по ХПК — $20 \text{ г}/(\text{м}^2 \times \text{сут})$, гидравлическая нагрузка — $80 \text{ л}/(\text{м}^2 \times \text{сут})$. Указанные данные позволяют определить потребность в площадях для размещения таких сооружений.

⁵ Arbeitsblatt DWA-A 262. Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Pflanzenkrananlagen mit bepflanzen Bodenfiltern zur biologischen Reinigung kommunalen Abwassers. ATV-DVWK-Regelwerk, März, 2006.



Рис. 9. Вид комбинированных очистных сооружений грунтово-растительных площадок и биологических прудов

Грунтово-растительные площадки могут применяться в сочетании с другими видами очистных сооружений, например биологическими прудами, биологическими фильтрами. Причем биологические пруды могут применяться как для предварительной очистки сточных вод с последующей доочисткой на грунтово-растительных площадках, так и в качестве сооружений финишной очистки и инфильтрации очищенной воды в грунт (рис. 9).

Такое сочетание сооружений позволяет уменьшить нагрузку на площадки и сократить размеры площадей, необходимых для их размещения.

Одним из экстремальных периодов для эксплуатации грунтово-растительных площадок является зимний период с отрицательными температурами наружного воздуха.

Могут возникать определенные опасения в надежности работы этих сооружений в зимний период. Вместе с тем накопленный опыт эксплуатации как в Беларуси, так и в странах с аналогичными климатическими условиями (Польша, Литва, Латвия) показывает, что сооружения достаточно устойчиво работают в условиях низких температур. Связано это с достаточно высокой температурой поступающих на очистку сточных вод (порядка 12–14 °С). Вода не успеваеет замерзнуть, а температура существенно снизится при фильтровании в верхних слоях грунта сооружения. Также известно, что загрязненная сточная вода имеет более низкую температуру замерзания в сравнении с чистой. Кроме того, на поверхности грунтово-растительной площадки растительными остатками под снежным покровом создается воздушная прослойка, которая предотвращает промерзание грунта, обеспечивает функционирование грунтово-растительной площадки и очистку сточных вод в зимний период года. Вместе с тем очистка в зимний период происходит в основном за счет процесса фильтрования через слой грунта и поглощения биогенных элементов микроорганизмами, находящимися в грунте, что снижает интенсивность поглощения азота и фосфора, которые удаляются макрофитами в теплый период года. Однако расход сточных вод зимой, как правило, снижается, что приводит к снижению нагрузок на грунтово-растительную площадку и, соответственно, к увеличению времени пребывания и очистки сточных вод по сравнению с летним периодом. Также процессы бактериальной деструкции, происходящие при очистке сточных вод от органических веществ, являются экзотермическими, что обеспечивает выделение тепла в сооружении.

Поступление сточных вод на очистные сооружения с небольших площадей характеризуется неравномерностью потока сточных вод.

Эффективность очистки сточных вод на грунтово-растительных площадках соответствует природоохранным требованиям, установленным для небольших очистных сооружений с массой органических веществ в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения до 2000 ЭН

(эквивалентного населения) или до 120 кг БПК₅/сут. В данном случае в очищенной сточной воде ХПК должно составлять не более 125 мг О₂/дм³, БПК₅ — 30 мг О₂/дм³, взвешенные вещества — 35 мг/дм³, аммоний-ион — 20 мг N/дм³. Визуально степень очистки



может быть иллюстрирована на рис. 10. Для более глубокого снижения концентрации биогенных веществ в очищенных сточных водах прибегают к комбинации площадок с вертикальным и горизонтальным потоком с их последовательным подключением, что дает возможность дополнительного снижения содержания азотных соединений. Также имеется опыт сочетания очистки на грунтово-растительных площадках и химического осаждения соединений фосфора с дозированием коагулянтов в исходную сточную воду.

Для сравнения технологических параметров наиболее распространенных типов очистных сооружений для отдельных объектов их характеристики сведены в таблицу.

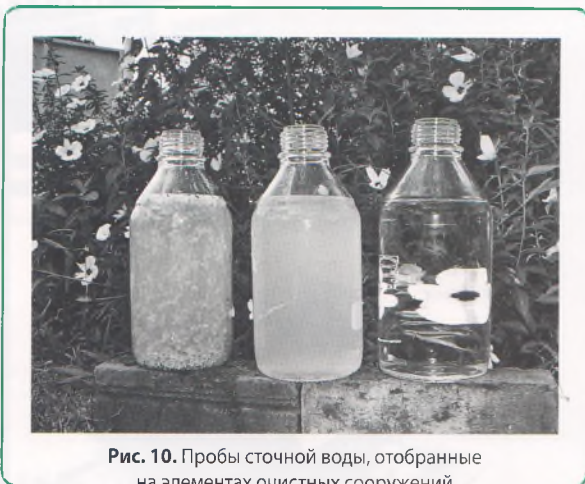


Рис. 10. Пробы сточной воды, отобранные на элементах очистных сооружений с грунтово-растительными площадками

Таблица. Сравнительная характеристики очистных сооружений

Тип очистных сооружений	Биологический пруд	Грунтово-растительная площадка	Очистная установка заводского изготовления
Требуемая площадь для размещения	Очень большая (более 10 м ² /ЭН)	Значительная (2–4 м ² /ЭН)	Средняя
Уровень потребления энергии	Низкий	Низкий	Средний
Стоимость строительства	Низкая	Средняя	Высокая
Стоимость эксплуатации	Низкая	Низкая	Средняя
Потребность в квалифицированных специалистах для строительства и технического обслуживания	Низкая	Низкая	Средняя
Санитарная безопасность при обращении с очищенными сточными водами	Приемлемая	Приемлемая	Хорошая

Таким образом, упрощенная оценка возможностей применения очистных сооружений, приведенная в таблице, показывает, что сооружения с меньшими капитальными затратами требуют больших площадей для их размещения и это может быть определяющим фактором при анализе приемлемости того или иного варианта.

Выбор же конкретного технического решения в немалой степени определяется местными условиями (рельеф, грунты, доступность коммуникаций и т.д.), а также финансовыми возможностями. Использование высокотехнологичных установок может значительно удорожить строительство и эксплуатацию этих сооружений. Во многих случаях приходится искать компромиссные решения, которые удовлетворяли бы природоохранным и санитарным требованиям, но были бы достаточно доступны в строительстве и эксплуатации по экономическим параметрам. 🌿