

*Посемейнова А.С.,  
студент 2 курса, напр. «Химическая технология»,  
ЮРГПУ(НПИ) им. М.И. Платова*

## **УГЛЕРОДНЫЙ СЛЕД ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ПУТИ ЕГО СНИЖЕНИЯ**

***Аннотация:** В статье рассматриваются основные источники формирования углеродного следа очистных сооружений канализации, а также современные подходы к его снижению. Показано, что очистные сооружения являются значимыми источниками выбросов парниковых газов, включая диоксид углерода, метан и закись азота. Наибольший вклад в углеродный след вносят процессы аэрации, обработка осадка и потребление электроэнергии. Рассмотрены технологические и организационные мероприятия, позволяющие уменьшить негативное воздействие очистных сооружений на окружающую среду: модернизация систем аэрации, внедрение энергоэффективного оборудования, использование мембранных технологий, получение биогаза и применение возобновляемых источников энергии. Сделан вывод о необходимости комплексного подхода к реконструкции очистных сооружений для достижения экологической и энергетической устойчивости.*

***Ключевые слова:** очистка сточных вод, углеродный след, парниковые газы, биологическая очистка, аэрация, биогаз, энергоэффективность, очистные сооружения.*

***Abstract:** The article discusses the main sources of carbon footprint formation in wastewater treatment plants, as well as modern approaches to its reduction. It is shown that wastewater treatment plants are significant sources of greenhouse gas emissions, including carbon dioxide, methane, and nitrous oxide. The processes of aeration, sludge treatment, and electricity consumption contribute the most to the carbon footprint. The article considers technological and organizational measures*

*to reduce the negative impact of wastewater treatment plants on the environment, such as modernizing aeration systems, implementing energy-efficient equipment, using membrane technologies, generating biogas, and applying renewable energy sources. It is concluded that a comprehensive approach to the reconstruction of wastewater treatment facilities is necessary to achieve environmental and energy sustainability.*

**Keywords:** *wastewater treatment, carbon footprint, greenhouse gases, biological treatment, aeration, biogas, energy efficiency.*

## **Введение**

В современных условиях вопросы снижения антропогенного воздействия на окружающую среду приобретают особую актуальность. Существенную роль в формировании выбросов парниковых газов играют объекты коммунальной инфраструктуры, в том числе очистные сооружения канализации. Несмотря на то, что основная задача очистных сооружений заключается в предотвращении загрязнения водных объектов, сами технологические процессы очистки сопровождаются значительными энергетическими затратами и образованием выбросов углекислого газа, метана и закиси азота.

Рост требований к качеству очистки сточных вод приводит к усложнению технологических схем и увеличению потребления электроэнергии. Особенно энергоемкими являются процессы биологической очистки и аэрации, на которые приходится значительная часть эксплуатационных расходов. В связи с этим проблема снижения углеродного следа очистных сооружений становится одним из приоритетных направлений развития отрасли водоотведения [1].

Современные подходы предусматривают не только повышение эффективности очистки сточных вод, но и сокращение энергопотребления, внедрение ресурсосберегающих технологий и повторное использование

образующихся отходов. Важным направлением является переход очистных сооружений от статуса потребителей энергии к объектам, способным самостоятельно вырабатывать энергетические ресурсы.

### **Основные источники углеродного следа очистных сооружений**

Под углеродным следом понимают суммарный объем выбросов парниковых газов, возникающих в результате деятельности предприятия. Для очистных сооружений основными источниками выбросов являются:

- потребление электрической энергии;
- процессы биологической очистки;
- обработка и утилизация осадков;
- транспортировка сточных вод и осадка;
- использование реагентов.

Наибольшие энергетические затраты характерны для систем аэрации. В аэротенках воздух подается воздуходувками и компрессорами, обеспечивающими жизнедеятельность микроорганизмов активного ила [2]. На аэрацию может приходиться до 60–70 % общего энергопотребления очистных сооружений.

В процессе биологической очистки образуются парниковые газы. При недостатке кислорода в аэротенках возможно выделение метана, а при нитрификации и денитрификации — закиси азота, обладающей высоким парниковым потенциалом. Дополнительным источником выбросов является обработка осадков сточных вод.

Значительное влияние оказывает и транспортная инфраструктура. Работа насосных станций требует постоянного расхода электроэнергии, особенно при сложном рельефе местности и большой протяженности коллекторов.

### **Влияние систем аэрации на выбросы парниковых газов**

Система аэрации является одним из наиболее энергоемких элементов очистных сооружений. Эффективность насыщения воды кислородом

напрямую влияет на качество очистки и величину эксплуатационных расходов.

На старых очистных сооружениях часто используются устаревшие воздуходувные агрегаты и крупнопузырчатые аэраторы, отличающиеся низким коэффициентом растворения кислорода. В результате увеличивается расход электроэнергии и возрастает углеродный след объекта.

Современные мелкопузырчатые аэрационные системы обеспечивают более эффективную передачу кислорода активному илу. Благодаря уменьшению размера пузырьков возрастает площадь контакта воздуха с жидкостью и повышается степень растворения кислорода.

Важным направлением является автоматизация подачи воздуха. Использование датчиков растворенного кислорода и систем частотного регулирования позволяет изменять интенсивность аэрации в зависимости от текущей нагрузки на сооружения. Это способствует сокращению энергопотребления и снижению выбросов парниковых газов.

### **Снижение углеродного следа за счет энергоэффективных технологий**

Одним из наиболее эффективных способов уменьшения углеродного следа является модернизация оборудования очистных сооружений.

К основным мероприятиям относятся:

- замена устаревших воздуходувок на энергоэффективные агрегаты;
- применение частотно-регулируемых приводов;
- внедрение автоматизированных систем управления;
- оптимизация гидравлических режимов работы сооружений;
- использование энергосберегающего насосного оборудования.

Большое значение имеет реконструкция биологических сооружений. Современные аэротенки с разделением на анаэробные, аноксидные и аэробные зоны позволяют одновременно удалять органические загрязнения, соединения азота и фосфора при меньших энергетических затратах [3].

Дополнительный эффект достигается за счет внедрения мембранных биореакторов. Такие системы обеспечивают высокое качество очистки и позволяют уменьшить размеры сооружений. Мембранные технологии также способствуют снижению количества избыточного активного ила.

### **Использование биогаза и энергетическая утилизация осадков**

Существенный потенциал снижения углеродного следа связан с переработкой осадков сточных вод. При анаэробном сбраживании осадка в метантенках образуется биогаз, содержащий метан.

Полученный биогаз может использоваться:

- для выработки электрической энергии;
- для получения тепла;
- в когенерационных установках;
- в качестве топлива после дополнительной очистки.

Применение биогаза позволяет частично компенсировать энергетические потребности очистных сооружений. На крупных станциях объем вырабатываемой энергии способен покрывать значительную часть внутренних расходов.

Кроме энергетического эффекта, анаэробное сбраживание способствует уменьшению объема осадков и снижению количества органических веществ, подлежащих утилизации [4].

Перспективным направлением считается производство биометана с последующим использованием в газораспределительных сетях или в качестве моторного топлива.

### **Роль возобновляемых источников энергии**

Для уменьшения выбросов парниковых газов очистные сооружения все чаще интегрируются с объектами возобновляемой энергетики [5].

На территории очистных сооружений возможно размещение:

- солнечных электростанций;
- ветрогенераторов;

- тепловых насосов;
- систем рекуперации тепла.

Солнечные панели устанавливаются на кровлях зданий, свободных площадках и даже на поверхностях резервуаров. Это позволяет сократить потребление электроэнергии из внешней сети.

В ряде случаев используется тепло очищенных сточных вод. Температура сточных вод в течение года остается относительно стабильной, что делает возможным применение тепловых насосов для отопления зданий и технологических помещений [6].

### **Экологический эффект снижения углеродного следа**

Сокращение выбросов парниковых газов на очистных сооружениях оказывает положительное влияние на состояние окружающей среды и качество жизни населения [7].

Основные экологические преимущества включают:

- уменьшение загрязнения атмосферы;
- снижение потребления ископаемого топлива;
- сокращение объемов отходов;
- уменьшение риска загрязнения водных объектов;
- повышение устойчивости коммунальной инфраструктуры.

Особенно важным является снижение выбросов метана и закиси азота, обладающих значительно большим парниковым потенциалом по сравнению с углекислым газом.

Комплексная модернизация очистных сооружений позволяет одновременно повысить качество очистки сточных вод и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду.

### **Заключение**

Очистные сооружения канализации являются важнейшими объектами экологической инфраструктуры, однако их эксплуатация сопровождается значительным потреблением энергии и образованием парниковых газов.

Основной вклад в углеродный след вносят системы аэрации, процессы биологической очистки и обработка осадков [8].

Снижение углеродного следа возможно за счет внедрения энергоэффективного оборудования, автоматизации технологических процессов, применения современных биологических и мембранных технологий, а также использования биогаза и возобновляемых источников энергии.

Перспективным направлением развития отрасли становится создание энергонейтральных очистных сооружений, способных самостоятельно обеспечивать собственные энергетические потребности. Реализация подобных решений позволит не только улучшить экологическую обстановку, но и повысить экономическую эффективность работы коммунальных предприятий.

#### **Список литературы:**

1. Биологическая и биомембранная очистка сточных вод нефтехимического производства / Степанов С.В., Стрелков А.К., Степанов А.С., Швецов В.Н., Морозова К.М., Каленюк В.А. // Водоснабжение и санитарная техника, 2009 - № 7 - С. 55-60.

2. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.2-98, методика определения токсичности проб природных, питьевых, хозяйственно-питьевых, хозяйственно-бытовых сточных, очищенных сточных, сточных, талых, технологических вод экспресс-методом с применением прибора серии «БИОТЕСТЕР» : ООО «Спектр-М», 2015.

3. Маслий В.Д. Применение пероксида водорода для окисления железа подземных вод/ Маслий В.Д., Селюков А.В., Скурлатов Ю.И. // Химия в интересах устойчивого развития, 2009 - т. 17, № 5, - С. 533-537.

4. Высоцкий С.П. Комбинированный процесс микрофльтрации и обратного осмоса для очистки шахтных вод / Высоцкий С.П., Печенога А.А. // Вести автомобильно-дорожного института, 2020 - т. 2, № 33 - С. 62-67.

5. Вертинский А. П. Физико-химические методы очистки сточных вод: проблемы, современное состояние и возможные пути усовершенствования // Инновации и инвестиции, 2019 - № 11 – С. 257-261.

6. Радько, Т.Н. Основы геоэкологии / Т.Н. Радько. - М.: КноРус, 2013. - 352 с.

7. Стойков, В.Ф. Экологическая безопасность в строительной деятельности: организация, управление: учеб. пособие / В.Ф. Стойков, И.М. Потравный. - М.: Экономика, 2011 - 335 с.

8. Шакуров, М.Ш. Основы процессов инженерной экологии. Теория, примеры, задачи: учеб. пособие / М.Ш. Шакуров. - СПб.: Лань, 2014. - 512 с.