



**С.В. Харьков,**

директор компании «Архитектура Водных Технологий» (*watertec.ru*)

## ПУТИ СНИЖЕНИЯ ПЛАТЫ ЗА НЕГАТИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ДЛЯ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

В настоящей статье сделаем акцент на биологической очистке сточных вод от азота и фосфора и рассмотрим пути снижения экологических платежей, способы их осуществления и финансовые перспективы по каждому этапу.

В соответствии с природоохранным законодательством Российской Федерации все предприятия, имеющие в своем составе или в зоне своей ответственности канализационные очистные сооружения (далее — КОС), должны вносить в бюджет плату за негативное воздействие на окружающую среду (далее — НВОС) при сбросе в водоемы загрязняющих веществ с очищенными сточными водами.

Если говорить о БПК<sub>полн</sub> и биогенных элементах (азотная группа: азот аммонийный, азот нитратов, азот нитритов — и фосфор фосфатов), то ставки платы за сброс этих загрязняющих веществ с очищенными сточными водами в водоемы (табл. 1) установлены Постановлением Правительства РФ от 13.09.2016 № 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах»<sup>1</sup>:

**Таблица 1.** Ставки платы за сбросы загрязняющих веществ в водные объекты

| Параметр             | Ставка платы (2017 г.), руб./т | ПДК на сброс в водоем рыбохозяйственного назначения, мг/л (г/м <sup>3</sup> ) | Базовая оплата с коэффициентом $K_1 = 1$ для ПДК, руб./т | Дополнительная оплата с коэффициентом $K_2 = 25$ для превышения ПДК, руб./т |
|----------------------|--------------------------------|---|--|---|
| БПК <sub>полн</sub>  | 243                            | 3,0   | 243  | 6075  |
| Аммоний-ион          | 1190,2                         | 0,5   | 1190,2   | 29 755  |
| Нитрат-анион         | 14,9                           | 40,0  | 14,9   | 372,5   |
| Нитрит-анион         | 7439                           | 0,08  | 7439   | 185 975   |
| Фосфаты (по фосфору) | 3679,3                         | 0,2   | 3679,3   | 91 982,5  |

<sup>1</sup> Анализ данного документа см.: Бабич М.Е. Ставки платы за НВОС: новое регулирование // Справочник эколога. 2016. № 10. С. 56–59 (*profiz.ru/eco/10\_2016/stavki\_NVOS\_913*) (прим. редакции).



В качестве примера рассмотрим городские КОС, запроектированные на расход поступающих сточных вод  $Q = 21\,000 \text{ м}^3/\text{сут.}$ , которые в настоящее время работают с фактическим среднесуточным расходом поступающих сточных вод  $Q_{ADF} = 12\,000 \text{ м}^3/\text{сут.}$

Для каждого параметра  $i$  сумма годового экологического платежа  $S_i$  рассчитывается по формуле:

$$S_i = K_1 \times f_i \times Q_{ADF} \times 365 \times \text{ПДК}_i + K_1 \times f_i \times Q_{ADF} \times 365 \times \text{ПДК}_i + K_2 \times f_i \times Q_{ADF} \times 365 \times \Delta_i,$$

где  $K_1, K_2$  — коэффициенты (см. табл. 1);

$f_i$  — базовая ставка платы для параметра  $i$ , руб./т (см. табл. 1);

$Q_{ADF}$  — производительность КОС,  $\text{м}^3/\text{сут.}$ ;

$\text{ПДК}_i$  — нормативное значение показателя очистки для параметра  $i$ , мг/л;

$\Delta_i$  — разница между фактическим показателем очищенной воды по параметру  $i$  и значением  $\text{ПДК}_i$  для параметра  $i$ , мг/л.

Например, сумма годового экологического платежа для параметра БПК<sub>полн</sub> составит:

$$S_{\text{БПК}_{\text{полн}}} = 1 \times 243 \times 12\,000 \times 365 \times 3,0 / 1\,000\,000 + 25 \times 243 \times 12\,000 \times 365 \times \Delta_{\text{БПК}_{\text{полн}}} / 1\,000\,000 = 3193 + 26\,609 \times \Delta_{\text{БПК}_{\text{полн}}}.$$

Итак, сумма годового экологического платежа для рассматриваемых КОС составит (табл. 2):

**Таблица 2.** Расчет суммы годового экологического платежа

| Параметр             | ПДК на сброс в водоем рыбохозяйственного назначения, т/м <sup>3</sup> | Сумма базовой оплаты с коэффициентом $K_1 = 1$ для ПДК, руб./год | Сумма дополнительной оплаты с коэффициентом $K_2 = 25$ для превышения ПДК, руб./год |
|----------------------|---|--|---|
| БПК <sub>полн</sub>  | 3,0 / 1 000 000   | 3193   | 26 609 × $\Delta_{\text{БПК}_{\text{полн}}}$  |
| Аммоний-ион          | 0,5 / 1 000 000   | 2606   | 130 327 × $\Delta_{\text{NH}_4}$  |
| Нитрат-анион         | 40 / 1 000 000  | 2610   | 1632 × $\Delta_{\text{NO}_3}$   |
| Нитрит-анион         | 0,08 / 1 000 000  | 2606   | 814 571 × $\Delta_{\text{NO}_2}$  |
| Фосфаты (по фосфору) | 0,2 / 1 000 000   | 3223   | 402 883 × $\Delta_{\text{PO}_4}$  |
| <b>Итого</b>         |   | <b>14 238</b>  |   |

Таким образом, при сбросе в водоемы загрязняющих веществ с очищенными сточными водами **при условии достижения качества очищенной воды** сумма годового экологического платежа за НВОС (по рассматриваемым параметрам) составит 1187 руб. в месяц, что является минимальным «экологическим налогом» с точки зрения экономики предприятия или города. Однако требуют внимания суммы дополнительных платежей **в случае превышения ПДК.**

Для того чтобы понять, из чего состоят данные суммы и как они могут отличаться от базового экологического платежа, рассмотрим показатели работы КОС одного из городов Российской Федерации, запроектированных на производительность  $21\,000 \text{ м}^3/\text{сут.}$ , которые в настоящее время работают с фактическим среднесуточным расходом поступающих сточных вод  $12\,000 \text{ м}^3/\text{сут.}$ <sup>2</sup>

<sup>2</sup> Подобную ситуацию можно считать типовой для многих городов и поселков.



По рассматриваемым параметрам результаты работы данных КОС будут следующими (табл. 3):

**Таблица 3.** Результаты работы КОС по рассматриваемым параметрам

| Параметр             | Концентрация в поступающей сточной воде, мг/л | ПДК на сброс в водоем рыбохозяйственного назначения, мг/л | Концентрация в очищенной воде перед сбросом в водоем рыбохозяйственного назначения, мг/л |
|----------------------|---|---|--|
| БПК <sub>т5,20</sub> | 236   | 3,0   | 14,3   |
| Аммоний-ион          | 44  | 0,5   | 3,3  |
| Нитрат-анион         | 0,8   | 40,0  | 62   |
| Нитрит-анион         | 0,1   | 0,08  | 2,2  |
| Фосфаты (по фосфору) | 2,9   | 0,2   | 2,3  |

Теперь вернемся к расчетам платежей за НВОС (табл. 4):

**Таблица 4.** Расчет суммы годового экологического платежа для КОС

| Параметр             | Сумма базовой оплаты с коэффициентом $K_1 = 1$ для ПДК, руб./год | Сумма дополнительной оплаты с коэффициентом $K_2 = 25$ для превышения ПДК, руб./год |
|----------------------|--|---|
| БПК <sub>т5,20</sub> | 3193   | $26\,609 \times (14,3 - 3,0) = 300\,682$  |
| Аммоний-ион          | 2606   | $130\,327 \times (3,3 - 0,5) = 364\,916$  |
| Нитрат-анион         | 2610   | $1632 \times (62 - 40) = 35\,904$   |
| Нитрит-анион         | 2606   | $814\,571 \times (2,2 - 0,08) = 1\,726\,890$  |
| Фосфаты (по фосфору) | 3223   | $402\,883 \times (2,3 - 0,2) = 846\,054$  |
| <b>Итого</b>         | <b>14 238</b>  | <b>3 374 446</b>  |

Как видим, суммарный годовой экологический платеж (по рассматриваемым параметрам) вырос от минимального (при достижении ПДК) до весьма существенного для экономики небольшого предприятия и составил порядка **3,4 млн руб. в год.**

В завершение расчета напомним, что с 01.01.2020 при превышении ПДК плата за НВОС будет рассчитываться с применением повышающего коэффициента  $K_3 = 100$ , и суммарный экологический платеж для рассматриваемых КОС (если их работа не будет улучшена) вырастет до **13,5 млн руб. в год.**

Следует отметить, что задача по реконструкции КОС для соответствия качества очищенных сточных вод нормативам сброса в водоемы рыбохозяйственного назначения поставлена уже давно (и с разнесенным по времени вводом повышающих коэффициентов), но до сих пор реализована лишь на незначительной их части.

Причиной такого неудовлетворительного положения дел является то, что современные требования по биогенным элементам недостижимы без принципиального изменения технологической схемы и без реализации современных технологий биологической очистки сточных вод от соединений азота и фосфора.

Подавляющее большинство действующих КОС запроектированы и построены в те времена, когда требования предъявлялись к достижению показателей биологической очистки сточных вод только по органическим загрязнениям и взвешенным веществам. Блоки биологической очистки этих КОС были рассчитаны



под проектные расходы и качество поступающих сточных вод, а размеры (объемы) построенных аэротенков и вторичных отстойников соответствовали тому, чтобы реализовывать проектные биохимические процессы (только окисление органических загрязнений) для достижения нужного (на то время) качества очистки.

Воздуходувное оборудование и аэрационные системы также закладывались для обеспечения проектных биохимических процессов, т.е. только для процессов аэробного окисления органических соединений. С тех пор принципиально изменились состав сточных вод и требования к показателям очищенной воды (в первую очередь по биогенным элементам), а блоки биологической очистки очистных сооружений остались прежними.

Понимание того, что для достижения современных требований к очищенной воде нужна реализация технологий не только окисления органических загрязнений, но и удаления биогенных элементов, приводит к необходимости модернизации или реконструкции, прежде всего, основного блока КОС — блока биологической очистки.

Конечно, любая реконструкция требует затрат, и в условиях, когда нет (и не предвидится) проектного финансирования или выделения средств из городского бюджета, задача реконструкции КОС представляется невыполнимой (особенно если предполагать дорогостоящее строительство новых дополнительных резервуаров — аэротенков и/или вторичных отстойников).

На наш взгляд, гораздо перспективнее начинать двигаться по пути снижения сумм платежей за НВОС — поэтапно, с гарантированным достижением (и контролем) результатов по каждому этапу, соотнося затраты на реализацию этапов с текущими и будущими экологическими платежами. Тем более что затраты на реализацию обоснованных мероприятий по оптимизации и модернизации (реконструкции) КОС с целью достижения ПДК могут вычитаться из начисляемых экологических платежей.

## ПУТИ СНИЖЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПЛАТЕЖЕЙ

Для большинства КОС, в которых запроектирована и реализована технологическая схема блока биологической очистки только на аэробное окисление органических соединений, существует **четыре пути** снижения экологических платежей.

### **1** Оптимизация эксплуатации КОС без изменения проектной технологической схемы биологической очистки

С учетом того что на **фактический** расход  $12\,000\text{ м}^3/\text{сут.}$  поступающих сточных вод работают аэротенки и вторичные отстойники, построенные на проектный расход  $21\,000\text{ м}^3/\text{сут.}$ , для достижения максимальной эффективности работы КОС в аэротенках можно реализовать процесс частичной или глубокой нитрификации (1-ю и 2-ю стадии) и получить снижение по параметрам аммоний-ион и нитрит-анион. Процесс нитрификации реализуется корректировкой кислородного режима аэротенков и возраста активного ила. Оптимизация работы вторичных отстойников позволяет снизить значение  $\text{БПК}_{\text{полн}}$  в очищенной воде и исключить процесс аммонификации во вторичных отстойниках, приводящий к вторичному загрязнению очищенной воды аммонийным азотом.



Этот путь наименее затратный, привлечение профессиональных специалистов с опытом его реализации финансово не сравнимо с суммой текущего годового экологического платежа. Но, конечно, этим путем мы не повлияем на платежи по параметрам нитрат-анион и фосфор фосфатов.

### 2 Реализация химической (реагентной) дефосфотации

Данный процесс также возможен без изменения проектной технологической схемы биологической очистки (здесь важным моментом является правильное технологическое решение, позволяющее не сорвать аэробный возраст ила и, как результат, — процесс нитрификации, который реализован в п. 1).

Этот путь с незначительными капитальными затратами (оборудование для схемы дозирования и подачи раствора реагента в расчетную точку ввода реагента), но со значительными эксплуатационными, т.к. стоимость расчетного количества реагента для удаления фосфора может быть сравнима с суммой экологического платежа по параметру фосфор фосфатов (или даже выше).

Если вопрос только финансовый, то для каждого конкретного КОС нужно рассчитать необходимое количество реагента и сравнить его стоимость с суммой экологического платежа (при отсутствии дефосфотации). Но если вопрос принципиальный — либо соблюдение ПДК по этому параметру, либо приостановка деятельности предприятия — то тогда химическое (реагентное) удаление фосфора будет единственным быстрым и надежным способом.

Однако, как было сказано выше, в данном случае необходимо провести **перерасчет сооружений биологической очистки**, т.к. дозирование реагентов для биологического удаления фосфора приводит к увеличению количества избыточного активного ила, а это, в свою очередь, — к необходимости увеличения его расхода. В результате неверного расчета, или вообще при его отсутствии, увеличение расхода отводимого из системы избыточного ила приводит к снижению значения возраста активного ила. Если значение аэробного возраста станет ниже минимального значения, обеспечивающего процесс нитрификации, то снизится эффективность процесса нитрификации (полученного в п. 1), вплоть до полного срыва данного процесса.

### 3 Модернизация КОС с принципиальным изменением технологической схемы биологической очистки в объемах существующих аэротенков и вторичных отстойников

Это обеспечит прохождение в аэротенках следующих биохимических процессов:

- окисление органических соединений (до достижения расчетного значения  $BPK_{полн}$ );
- нитрификация (до достижения расчетного значения по азоту аммонийному и азоту нитритов);
- денитрификация (до достижения расчетного значения по азоту нитратов);
- биологическое или биолого-химическое удаление фосфора (до достижения расчетного значения по фосфору фосфатов).



Так как конечная цель такой модернизации — максимально возможное (в рамках поставленной задачи) снижение общего экологического платежа, нужно рассчитать оптимальный баланс между достижением максимального качественного показателя очистки по каждому параметру и вкладами платежей по каждому параметру в общий экологический платеж.

Этот путь приведет к снижению суммы общего платежа за НВОС при сбросе в водоемы загрязняющих веществ с очищенными сточными водами, потребует определенных капитальных затрат, сравнимых с уменьшением суммы экологического платежа за 2–3 года, но не приведет в итоге к минимальному экологическому платежу (при условии достижения ПДК по всем рассматриваемым нами параметрам).

4

#### Реконструкция КОС с принципиальным изменением технологической схемы биологической очистки

Это обеспечит прохождение в аэротенках следующих биохимических процессов:

- окисление органических соединений (до достижения требуемого значения  $BPK_{полн}$ );
- нитрификация (до достижения требуемого значения по азоту аммонийному и азоту нитритов);
- денитрификация (до достижения требуемого значения по азоту нитратов);
- биологическое или биолого-химическое удаление фосфора (до достижения требуемого значения по фосфору фосфатов).

Данный путь приведет к гарантированному достижению ПДК по рассматриваемым нами параметрам и, соответственно, — к снижению до минимума суммы платежа за НВОС при сбросе в водоемы загрязняющих веществ с очищенными сточными водами.

Капитальные затраты при этом могут быть сравнимы с суммой экологических платежей за 4–5 лет (соответственно, реконструкция экономически оправдана), но только в том случае, если не потребуются дорогостоящее строительство новых аэротенков и/или вторичных отстойников и все необходимые биохимические процессы удастся реализовать в объемах существующих КОС.

Сделав необходимые расчеты, проанализируем, какие проблемы возникают при реализации **пути 4** (максимального по достигаемым результатам) и какими способами их возможно преодолеть.

**Примем проектный объем** аэротенков (рассчитанный **для проектного расхода** поступающих сточных вод), в которых реализованы только процессы окисления органических загрязнений, **за единицу**.

Подчеркнем, что расходные характеристики (проектные), качественные показатели поступающей на биологическую очистку сточной воды, температура и рабочая доза ила в аэротенках приняты одинаковыми для всех приведенных результатов расчетов.

Рассмотрим увеличение необходимых размеров аэротенков для разных вариантов применяемых технологий очистки в отношении к проектному объему аэротенков (рис. 1 на с. 52).



**Рис. 1.** Соотношение расчетных объемов аэротенков при реализации различных технологий биологической очистки сточных вод к проектному объему аэротенков при проектном расходе поступающих сточных вод

Как было сказано выше, для соответствия современным требованиям к очистке необходима реализация технологий нитри-денитрификации и технологий удаления фосфора. Это увеличивает расчетный объем аэротенков при реализации технологии биологического удаления фосфора **в 2,2 раза**.

При реализации технологии химического (реагентного) удаления фосфора с подачей реагента перед первичными отстойниками или после вторичных отстойников (перед сооружениями доочистки) требуемые объемы аэротенков должны быть **в 2,1 раза** больше существующих.

При реализации технологии химического (реагентного) удаления фосфора с подачей реагента в поток возвратного активного ила или непосредственно в аэротенк проектные объемы аэротенков нужно будет увеличить **в 2,8 раза**.

При этом выбор точки ввода реагента принципиально влияет на величину его расхода: потребление реагентов на химическое удаление фосфора при их вводе перед первичными отстойниками или перед фильтрами доочистки практически в 2 раза больше, чем при вводе реагентов в аэротенки или в поток возвратного активного ила.

Во всех случаях на выходе из аэротенков показатели по соединениям азота и фосфора соответствуют требованиям ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения.

Расчеты показывают, что при выборе способа химического (реагентного) удаления фосфора для рассматриваемой задачи финансово неприемлемы эксплуатационные затраты (стоимость требуемого расчетного количества реагента при упомянутых выше вариантах выбора точки ввода реагента), которые значительно превышают суммы экологического платежа по параметру фосфор фосфатов. Поэтому далее мы будем рассматривать только биологическое («бесплатное») удаление фосфора.

Но тем не менее и в этом случае увеличение требуемых объемов аэротенков (в 2,2 раза) ведет к существенному увеличению капитальных затрат на реконструкцию, что в нашем случае также финансово неприемлемо. Каков же выход из этого финансового тупика?



Многочисленные обследования КОС, проведенные нами в небольших городах, показывают, что текущие расходы поступающих на очистку сточных вод существенно (иногда — в разы) меньше тех расходов, на которые в свое время проектировались очистные сооружения. Так, в рассматриваемых КОС фактическая производительность меньше проектной в 1,75 раза. И тогда рис. 1 трансформируется в рис. 2:



**Рис. 2.** Соотношение расчетных объемов аэротенков при реализации различных технологий биологической очистки сточных вод к проектному объему аэротенков при фактическом расходе поступающих сточных вод

Как видим, ситуация сильно улучшилась, но по-прежнему требуются капитальные затраты на строительство новых аэротенков, что также неприемлемо.

В идеале, чтобы исключить значительные затраты на капитальное строительство, в ходе реконструкции необходимо остаться в объемах существующих аэротенков. Это возможно только при увеличении окислительной мощности аэротенков и в рассматриваемом случае достигается с помощью увеличения рабочей дозы активного ила в аэротенках в 1,3 раза.

Результат демонстрирует возможность в объеме существующих аэротенков (нарастив рабочую дозу активного ила до необходимой расчетной величины) реализовать необходимые биохимические процессы для достижения нормативов по биогенным элементам. И для этого необходимо:

- правильно «зонировать» аэротенки, т.е. организовать анаэробные, аноксидные и аэробные зоны расчетных объемов;
- реализовать необходимые технологические рециклы расчетных расходов;
- реконструировать аэрационную систему (с применением управляемых воздушных установок для значительной экономии энергозатрат на аэрацию) для поддержания расчетной концентрации растворенного кислорода в аэробных зонах аэротенков.

После проведения этих мероприятий по реконструкции (еще раз подчеркнем — в объемах существующих аэротенков) показатели очищенной воды по биогенным элементам (азотная группа: азот аммонийный, азот нитратов, азот нитритов — и фосфор фосфатов) будут соответствовать ПДК на сброс в водоемы рыбохозяйственного назначения, и сумма дополнительного годового экологического платежа (см. табл. 4) снизится на 90 %.





**Обратите внимание:** «платой» за увеличение рабочей дозы ила в аэротенках является увеличение нагрузки на вторичные отстойники, которые ответственны за показатели по БПК<sub>полн</sub> и взвешенным веществам. Соответственно, по ним рассматриваемые качественные параметры очищенной воды будут существенно превышать ПДК, и дополнительный годовой экологический платеж по этим показателям будет далек от минимального и составит значительную сумму.

Тем не менее, решая поставленную задачу пока **только технологическими методами и с минимальными капитальными затратами**, удастся локализовать ее до вопроса эффективного илоразделения, за что пока ответственны только вторичные отстойники.

Разделение иловой смеси во вторичных отстойниках происходит следующим образом (см. график): основная масса ила (макрохлопки активного ила) выпадает в осадок в течение 5–20 мин, и в дальнейшем его концентрация увеличивается происходит по закономерностям уплотнения. В ходе процесса стесненного осаждения активного ила из слоя суспензии с отделяющейся водой вымываются микрохлопки активного ила. Их дальнейшее осаждение происходит по законам осветления (свободного осаждения).

Таким образом, во вторичном отстойнике происходят следующие процессы:

- быстрое осаждение макрохлопков (включая их создание из микрохлопков) по законам стесненного осаждения и уплотнения;
- медленное осаждение микрохлопков.



Типичная кривая осаждения активного ила

Комбинирование гравитационного (во вторичных отстойниках) и фильтрационного (в сооружении доочистки) илоразделения позволит разделить задачу достижения требуемых показателей по БПК<sub>полн</sub> и взвешенным веществам на две составляющие:

**1.** При увеличении рабочей дозы ила в аэротенках вторичные отстойники реализуют гравитационный процесс отделения основной части активного ила, не ориентируясь на полное завершение процесса осаждения микрохлопков, а допуская вынос взвешенных веществ в пределах 20–40 мг/л (расчетная величина в зависимости от того, до какого значения увеличена рабочая доза активного ила в аэротенках, — чтобы реализовать необходимые биохимические процессы в объемах существующих аэротенков).



2. Для дальнейшего отделения взвешенных веществ (микрохлопков активного ила) до требуемых значений ПДК используется фильтрационный метод, который реализуется с помощью оборудования микрофильтрации, расчетная спецификация (и стоимость) которого для каждой конкретной задачи предоставляется производителем такого оборудования.

В итоге, реализовав на КОС все вышеперечисленные технологические мероприятия, остается только рассмотреть технико-коммерческие предложения от производителей фильтрационного оборудования доочистки, сопоставить их стоимость с величиной дополнительного экологического платежа по параметрам БПК<sub>полн</sub> и взвешенным веществам, оценить сроки окупаемости и принять решение об экономической целесообразности капитальных затрат на реализацию фильтрационного илоразделения.

## ПРОЕКТ МОДЕРНИЗАЦИИ (РЕКОНСТРУКЦИИ) КОС

А теперь рассмотрим, как проводились вышеперечисленные оптимизационные мероприятия по снижению экологических платежей на упомянутых нами КОС (проектные и фактические расходные характеристики и качественные показатели поступающих и очищенных сточных вод см. в табл. 3).

Ввиду отсутствия внешнего финансирования владелец КОС оперировал только собственными средствами в суммах, сравнимых с расчетными суммами текущих и перспективных экологических платежей за НВОС при сбросе в водоемы загрязняющих веществ с очищенными сточными водами. Уже имея несколько многообещающих предложений от различных компаний (производителей оборудования, системных интеграторов), владелец КОС, прежде чем принимать решение о выделении средств, нанял независимую технологическую компанию для выполнения следующих работ:

1. Анализ структуры и работы КОС, режима эксплуатации, определение причин несоответствия текущих качественных показателей очищенной воды требованиям на сброс в водоемы рыбохозяйственного назначения.

2. Определение максимально возможной эффективности работы КОС с учетом технических возможностей оборудования.

3. Определение причин несоответствия текущей эффективности по различным параметрам работы, а также максимально возможной эффективности работы КОС. Разработка рекомендаций по достижению на КОС максимально достигаемых качественных показателей очищенной воды.

4. Разработка и расчет оптимальных технологических решений по модернизации КОС биологической очистки сточных вод для максимально возможного снижения суммы платы за НВОС (в рамках существующих блоков и объемов сооружений) с расчетом минимальных качественных показателей очищенной воды, а также оценка возможности достижения на КОС качества очищенной воды на уровне требований к сбросу в водоемы рыбохозяйственного назначения.

Приняв выполненную работу, владелец КОС совместно со специалистами-технологами компании-исполнителя определил оптимальные с технологической и экономической точек зрения **этапы реализации разработанных мероприятий.**



## Этап 1

На первом этапе в результате оптимизации кислородного режима аэротенков (приведение в соответствие с технологическими расчетами) и изменения возраста активного ила технологи реализовали в аэротенках (без изменения технологической схемы) процесс нитрификации (1-ю и частично 2-ю стадии нитрификации).

Нитрификация представляет собой двухстадийный процесс. На 1-й стадии происходит биологическое окисление аммония до нитритов, на 2-й — окисление нитритов до нитратов:

- 1)  $2\text{NH}_4^+ + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{H}^+$  + прирост;
- 2)  $2\text{NO}_2^- + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_3^-$  + прирост.

Показатели по аммоний-иону и нитрит-аниону (см. табл. 3) снизились до 0,5 и 1,2 мг/л соответственно. Вырос показатель по нитрат-аниону (т.к. не реализован процесс денитрификации). В итоге без каких-либо капитальных затрат со стороны владельца КОС табл. 4 трансформировалась в табл. 5:

**Таблица 5.** Расчет суммы годового экологического платежа для КОС после реализации первого этапа модернизации

| Параметр             | Сумма базовой оплаты с коэффициентом $K_1 = 1$ для ПДК, руб./год | Сумма дополнительной оплаты с коэффициентом $K_2 = 25$ для превышения ПДК, руб./год |
|----------------------|--|---|
| БПК <sub>полн</sub>  | 3193   | $26\ 609 \times (9,6 - 3,0) = 175\ 620$   |
| Аммоний-ион          | 2606   | $130\ 327 \times (0,5 - 0,5) = 0$   |
| Нитрат-анион         | 2610   | $1632 \times (74 - 40) = 55\ 488$   |
| Нитрит-анион         | 2606   | $814\ 571 \times (1,2 - 0,08) = 912\ 320$   |
| Фосфаты (по фосфору) | 3223   | $402\ 883 \times (2,3 - 0,2) = 846\ 054$  |
| <b>Итого</b>         | <b>14 238</b>  | <b>1 989 482</b>  |

Как видим, экономия составила 41 % от суммы текущего годового экологического платежа.

## Этап 2

Расчеты по требуемому количеству реагента для химического удаления фосфора даже для схемы минимального дозирования раствора реагента в поток возвратного активного ила дали следующий результат: применение оптимального по стоимости реагента — 40%-ного раствора  $\text{FeCl}_3$  — потребует его среднесуточного расхода  $Q_{\text{FeCl}_3, \text{d}} = 670$  л/сут. При текущей оптовой стоимости этого реагента порядка 20 руб./л это внесет вклад в годовые эксплуатационные издержки КОС примерно  $S_{\text{р.с}} = 4,9$  млн руб.

Исходя из этого, владелец КОС на втором этапе принял решение по модернизации (реконструкции) КОС с реализацией процессов нитрификации, денитрификации и биологического удаления фосфора с достижением ПДК по биогенным элементам, используя существующие объемы аэротенков и вторичных отстойников.

После выполнения всех работ по второму этапу (разделение аэротенка на анаэробную, аноксидную и аэробную зоны расчетных объемов; оборудование анаэробных и аноксидных зон мешалками для бескислородного перемешивания иловой смеси; организация расчетных рециклов с помощью насосов; замена аэрационной системы) табл. 5 трансформировалась в табл. 6.



**Таблица 6.** Расчет суммы годового экологического платежа для КОС после реализации второго этапа модернизации

| Параметр             | Сумма базовой оплаты с коэффициентом $K_1 = 1$ для ПДК, руб./год | Сумма дополнительной оплаты с коэффициентом $K_2 = 25$ для превышения ПДК, руб./год |
|----------------------|--|---|
| БПК <sub>полн</sub>  | 3193   | $26\,609 \times (15,2 - 3,0) = 324\,630$  |
| Аммоний-ион          | 2606   | $130\,327 \times (0,5 - 0,5) = 0$   |
| Нитрат-анион         | 2610   | $1632 \times (40 - 40) = 0$   |
| Нитрит-анион         | 2606   | $814\,571 \times (0,08 - 0,08) = 0$   |
| Фосфаты (по фосфору) | 3223   | $402\,883 \times (2,3 - 0,2) = 0$   |
| <b>Итого</b>         | <b>14 238</b>  | <b>324 630</b>  |

Капитальные затраты владельца КОС на втором этапе: разработка рабочей документации на модернизацию, закупка оборудования (мешалки, насосы, управление и автоматика, аэраторы). Все монтажные работы выполнялись собственными силами, запуск реконструированных аэротенков в работу и вывод на штатный режим — с помощью привлеченных специалистов-технологов. Общая сумма затрат по второму этапу составила 9,55 млн руб., срок окупаемости — не более 3 лет.

Увеличение рабочей дозы ила в аэротенках прогнозируемо привело к ухудшению показателей по БПК<sub>полн</sub> и взвешенным веществам, и общий экологический платеж после реализации второго этапа модернизации все еще не равен минимальному базовому. Этот оставшийся вопрос владелец КОС решил установкой оборудования фильтрационной доочистки при реализации **третьего этапа**, выбрав оптимальное предложение по стоимости и эксплуатации.

Такие результаты (при отсутствии внешнего проектного финансирования) были достигнуты благодаря следующим основным составляющим:

- 1) фактический расход поступающих сточных вод меньше проектного на 43 % при проектных размерах аэротенков и вторичных отстойников, что дает возможность оставаться в существующих объемах и избежать дорогостоящего капитального строительства новых резервуаров;
- 2) максимально возможное использование существующего оборудования;
- 3) использование существующих неуправляемых воздуходувок (частично в работе и для резерва).

Без этих условий поэтапная реализация проекта модернизации экономически тяжелее, сроки окупаемости увеличиваются и в каждом конкретном случае рассчитывается экономический баланс, или золотая середина, между величиной экологических платежей и капитальными (и будущими эксплуатационными) затратами на модернизацию.



## ВЫВОДЫ

**1.** Значимое снижение платы за НВОС при сбросе в водоемы загрязняющих веществ с очищенными сточными водами для большинства существующих КОС требует реализации технологий удаления биогенных элементов. Сооружения биологической очистки должны реализовывать такие процессы, как окисление органических соединений, нитрификация, денитрификация, биологическое или биолого-химическое удаление фосфора. Это невозможно сделать без принципиального изменения технологической схемы биологической очистки, что предполагает модернизацию (реконструкцию) КОС.



Величина капитальных затрат на реализацию указанного проекта принципиально зависит от необходимости строительства дополнительных резервуаров основных блоков биологической очистки (аэротенков и вторичных отстойников).

**2.** Простая реализация технологий удаления биогенных элементов, без увеличения технологической мощности (наращивания дозы активного ила) биореакторов (аэротенков), требует строительства дополнительных аэротенков.

**3.** Увеличение рабочей дозы активного ила в аэротенках позволяет значительно снизить капитальные затраты на строительство новых аэротенков, но ведет к «перегрузке» вторичных отстойников. Строительство дополнительных вторичных отстойников технологически, экономически и эксплуатационно не оправдано. Экономически целесообразно использовать существующие вторичные отстойники для гравитационного илоразделения (1-я стадия) и сооружения фильтрационной доочистки (2-я стадия) для достижения требуемых значений по БПК<sub>полн</sub> и взвешенным веществам.

**4.** Финансовый баланс основных капитальных затрат на поэтапную модернизацию (реконструкцию) биологического блока КОС лежит между снижением суммы экологического платежа, достигаемого при реализации каждого этапа модернизации (реконструкции), и стоимостью необходимого оборудования и работ по каждому этапу (с учетом временных рамок реализации каждого этапа).

**5.** Принципиального снижения эксплуатационных издержек КОС можно добиться только путем:

- достижения требуемых показателей качества очистки (минимизирует экологические платежи);
- реализации технологической схемы биологического удаления фосфора с дальнейшей грамотной и эффективной эксплуатацией этой схемы;
- внедрения управляемых воздуходушных машин с адекватным сроком окупаемости (значительно сокращает энергозатраты на аэрацию);
- внедрения адекватного по стоимости и эксплуатационному обслуживанию оборудования доочистки.

### Литература

**1.** Харькина О.В. Эффективная эксплуатация и расчет сооружений биологической очистки сточных вод. Волгоград: Панорама, 2015. 433 с.

**2.** Харькина О.В., Харькин С.В. Очистка сточных вод от азота и фосфора: оценка корректности предлагаемых технико-коммерческих предложений на строительство (реконструкцию) очистных сооружений // Справочник эколога. 2015. № 10. С. 81–96 ([profiz.ru/eco/10\\_2015/stoki\\_TKP](http://profiz.ru/eco/10_2015/stoki_TKP)).

**3.** Данилович Д.А., Харькин С.В. Пути достижения технологических показателей НДТ в объемах существующих сооружений биологической очистки городских сточных вод // Журнал «НДТ». 2017. № 1. 📄