

ВОДА и ЭКОЛОГИЯ

ПРОБЛЕМЫ и РЕШЕНИЯ



№ 1/2016



6-8
АПРЕЛЯ
2016

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ
ПРАВИТЕЛЬСТВА
САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
КОНГРЕССНО-
ВЫСТАВОЧНЫЙ
ЦЕНТР
ЭКСПОФОРУМ

ПАВИЛЬОН **Н**



XVI МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

ЭКОЛОГИЯ БОЛЬШОГО ГОРОДА

ОРГАНИЗАТОР

EXPOFORUM

ISSN 2305-3488

ВОДА и ЭКОЛОГИЯ

ПРОБЛЕМЫ и РЕШЕНИЯ

WATER & ECOLOGY

1` 2016(65)



Учредитель и издатель:

ООО «Водопроект-
Гипрокоммунводоканал».
Санкт-Петербург.
Директор Рочев М. И.

Подписной индекс 83036

Агентство РОСПЕЧАТЬ

Подписной индекс 42968

Объединенный каталог

Адрес издателя,

учредителя, редакции:

198096, Санкт-Петербург,
Кронштадтская ул., 8
тел.: 783-16-33, 783-32-86
факс: 783-32-37
magazine@waterandecology.ru
www.wemag.ru

Регистрационное свидетельство:

ПИ №ФС 77-64067 от 25 декабря

**2015 выдано Федеральной
службой по надзору в сфере
связи, информационных
технологий и массовых
коммуникаций (Роскомнадзор)**

Редакционная коллегия:

Иваненко И. И. – главный редактор

Алексеев М. И.

Данилович Д. А.

Дзиopak Ю. С.

Дрозд Г. Я.

Залетова Н. А.

Касымбеков Ж. К.

Неверова-Дзиopak Е. В.

Пирумян Г. П.

Протасовский Е. М.

Раганович А. Я.

Сальстедт К. Э.

Смирнов А. Д.

Феофанов Ю. А.

Цветкова Л. И.

Технический перевод –

Никитина Софья

Отпечатано в

ООО «БОРВИК ПОЛИГРАФИЯ»

191119, СПб, Социалистическая ул.,

д. 5, пом. 16

Тираж 1000 экз.

Цена свободная

Включен в перечень ВАК (2016), РИНЦ,
Ulrich's Periodicals Directory, Scopus

Содержание

ВОДООТВЕДЕНИЕ

А. Н. Эпов, М. А. Канунникова.

Сравнение методик расчета сооружений
с биологическим удалением азота и фосфора
и применение математического
моделирования3

М. А. Варданян.

Очистка нефтесодержащих сточных вод
в промышленных фильтрах с плавающей
загрузкой из вспученного перлита15

Е. Н. Аракчеев, А. П. Петкова, М. В. Брунман.

Обеззараживание и очистка воды с помощью
анолита и феррата натрия и установка для
их комплексного производства26

А. Ю. Игнатова, А. А. Новоселова, А. В. Папин.

Метод повышения эффективности
биологической очистки сточных вод
химических производств37

А. А. Евдокимов, В. В. Кисс.

Тонкослойная сепарация эмульсий52

ЭКОЛОГИЯ

М. В. Михайлова, К. В. Золотарёв,

Н. Ф. Беляева, В. Н. Каширцева.

Оценка экологических рисков и рисков
для здоровья человека, вызываемых
загрязнителями водоёмов, в Европейском
Союзе, США и России63



Перепечатка материалов разрешена только с письменного
разрешения редакции

За содержание рекламных материалов редакция ответственности не несет

Дорогие читатели!

Продолжается подписка на 2016 год!

Напоминаем, периодичность выхода журнала в 2016 году — ежеквартальная. Журнал распространяется на территории Российской Федерации, стран СНГ, ближнего и дальнего зарубежья.

Статьи научно-технического характера печатаются бесплатно.

Вы можете оформить заказ на наше издание на любой период в:

Редакции журнала. т./ф.: 783-16-33 и 738-32-37, magazine@waterandecology.ru
Через каталог «агентства «РОСПЕЧАТЬ» (индекс: 83036),
через агентства «Урал-пресс» и «ГАЛ».

Вы можете также подписаться и на электронную версию издания через редакцию журнала.

————— ● —————
Редакция журнала приглашает к сотрудничеству авторов и рекламодателей,
а также всех заинтересованных коллег. Журнал для развития ищет спонсорскую помощь!

Content

WATER DISPOSAL

Erov A. N., Kanunnikova M. A.

Comparison of structural analysis methods of nitrogen/phosphorus biological removal plants with mathematical modeling application3

Vardanian M. A.

Oily waste water treatment in industrial filters with expanded perlite moving bed 15

Arakcheev E. N., Petkova A. P., Brunman M. V.

Disinfection and water treatment using anode liquor and sodium ferrate and apparatus for their integrated production.....26

Ignatova A. Iu., Novoselova A. A., Papin A. V.

Efficiency improving method of chemical industry waste waters biological treatment37

Evdokimov A. A., Kiss V. V.

Thin-layer emulsion separation52

ECOLOGY

Mikhailova M. V., Zolotarev K. V., Beliaeva N. F., Kashirtceva V. N.

Assesment of ecological risks and human health risks caused by water bodies pollutants in the EU, U.S. and Russia63

ВОДООТВЕДЕНИЕ

УДК 628.356

А. Н. Эпов, М. А. Канунникова

**СРАВНЕНИЕ МЕТОДИК РАСЧЕТА СООРУЖЕНИЙ
С БИОЛОГИЧЕСКИМ УДАЛЕНИЕМ АЗОТА И ФОСФОРА
И ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Епов А. Н., Канунникова М. А.

**COMPARISON OF STRUCTURAL ANALYSIS METHODS
OF NITROGEN/PHOSPHORUS BIOLOGICAL REMOVAL PLANTS
WITH MATHEMATICAL MODELING APPLICATION**

Актуализированный СНиП (СП 32.13330.2012 «Канализация. наружные сети и сооружения») разрешил для расчета сооружений с биологическим удалением азота и фосфора применять любую, в том числе зарубежную методику расчета. С 2012 года в СНиП утверждено использовать для расчета современные математические модели. Выбор того или иного метода расчета определяется проектировщиком под его ответственность. На практике специалистами, в основном, применяется немецкая методика ATV-DVWK-A 131E, упрощенная методика расчета аэротенков, математическая модель GPS-X (GIDROMANTIS Канада, модель «Биосим» («Эко-Полимер»).

В последние годы неоднократно встречались станции, реконструированные с применением расчета по современным методикам, без существенных ошибок в расчетах, но, к сожалению, не вышедшие на расчетный режим после пуска в эксплуатацию. В статье рассмотрены основные существующие методы расчета, даны рекомендации по их применению во избежание ошибок при их использовании, а также показаны преимущества расчета математического моделирования.

Ключевые слова: математическое моделирование, нагрузка на ил, методика ATV131, GPS-X,

The updated building code allows using any structural analysis method (including foreign) for calculating nitrogen/phosphorus biological removal plants. From 2012 it is approved in the building code to use an up-to-date mathematical modeling for structural analysis. The choice of one or another method of analysis is up to a designer under his own responsibility. In practice, specialists more commonly use a German method ATV-DVWK-A 131E, a simplified method of aerotank calculation, a mathematic model GPS-X (GIDROMANTIS, Canada, model «Biosim» («Eko-Polimer»).

In recent years, there have been a lot of plants reconstructed using analyses based on modern methods without substantial errors in calculations, which, unfortunately, have not entered a design mode after being put into operation. The article presents the main current methods of structural analysis, recommendations on their use to avoid errors applying them as well as the advantages of mathematic modeling calculation.

Key words: mathematical modeling, load on sludge, ATV131 method, GPS-X, sludge index, anaerobic sludge age, nitrogen and phosphorus



иловый индекс, анаэробный возраст ила, удаление азота и фосфора, прирост активного ила, доза ила, процесс нитрификации, процесс денитрификации.

Наши авторы:

Эпов Андрей Николаевич — главный технический специалист TWW TreatmentWasteWater 000 «Домкопстрой», Проспект мира 68, стр. 3, этаж 6, офис 610, тел.: +7 (926) 129-11-63, e-mail: epov@treatmentwater.ru;

Канунникова Марина Александровна — к.т.н., директор направления «Водоснабжение и Водоотведение» TWW TreatmentWasteWater 000 «Домкопстрой», Проспект мира 68, стр. 3, этаж 6, офис 610, тел.: +7 (926) 150-20-86, e-mail: marina.kanunnikova2013@yandex.ru.

removal, sludge growth, sludge dose, nitrification process, denitrification process.

Authors:

Epov Andrei Nikolaevich — chief technical specialist, TWW TreatmentWasteWater, LLC «Domkopstroj», Prospekt Mira 68, build. 3, 6 floor, office 610, tel.: +7 (926) 129-11-63, e-mail: epov@treatmentwater.ru;

Kanunnikova Marina Aleksandrovna — candidate of technical science, line director «Water supply and water disposal», TWW TreatmentWasteWater, LLC «Domkopstroj», Prospekt Mira 68, build. 3, 6 floor, office 610, tel.: +7 (926) 150-20-86, e-mail: marina.kanunnikova2013@yandex.ru.

Общие сведения о методах расчета. Современные методики расчета аэротенков не всегда полностью воспринимаются и понимаются проектировщиками. Следует отметить, что существует *два метода расчета аэротенков*.

1 метод. Расчет времени окисления — T с использованием разницы концентраций C_1 и C_2 , скорости окисления R и дозы ила a_i — кинетический метод, который традиционно использовался в СНиП [6,7] и другой отечественной литературе [8]. Все данные методы применены к аэротенку– смесителю и в общем виде время окисления T рассчитывается по формуле:

$$T = (C_1 - C_2) / R * a_i \quad (1)$$

где T — время пребывания, C_1 — концентрация в исходной воде, C_2 — концентрация в очищенной воде, R — удельная скорость реакции, a_i — доза ила.

Принимается, что в биоценозе ила имеются необходимые микроорганизмы, обеспечивающие расчетную скорость реакции. При этом гарантируется, что при рассчитанной для данных условий скорости реакции и принятой дозе ила будет достигнута необходимая концентрация в очищенной воде C_2 .

2 метод. Определение объема аэротенков через возраст ила. В отечественной литературе [9,10] детали данного метода подробно описаны и основаны на удержании необходимого вида микроорганизмов в биоценозе, условие которого записывается выражением:

$$1/\theta_{cp} = \mu - k_d \quad (2)$$

где θ_{cp} — возраст ила (сутки), μ — скорость роста микроорганизмов (1/сутки), k_d — скорость отмирания микроорганизмов (1/сутки).

При соблюдении данного условия требуемый вид микроорганизмов удерживается в биоценозе. При этом величина μ может приниматься как постоянная —

соответственно максимальной скорости роста μ_{max} или рассчитываться в соответствии с условиями, например, заданной концентрацией C_2 в очищенной воде, тогда при применении уравнения Моно для $\mu_x = \mu_{max} \times (C_2 / (C_2 + K_c))$ выражение (2) примет вид:

$$1/\theta = \mu_{max} \times C_2 / (K_c + C_2) - k_d \quad (3)$$

где K_c — коэффициент полунасыщения по субстрату.

В этом случае удержание вида в биоценозе гарантируется при заданной концентрации C_2 в очищенной воде.

В данном случае выражение для возраста ила θ рассчитывается по формуле:

$$\theta = 1/\mu \times (K_c + C_2)/C_2 - (1/k_d) \quad (4)$$

При учете только биологических процессов в стационарных условиях оба метода расчёта совпадают. Возраст ила можно определить по зависимости:

$$\theta = \frac{W \times a_i}{\Pi_p}$$

где объем аэротенка $W = Qt$, прирост ила $\Pi_p = QY(C_1 - C_2)$, Y — коэффициент прироста;

$$\text{Тогда } \theta = \frac{ta_i}{Y(C_1 - C_2)}$$

где из (1) — общее время пребывания в аэротенке: $t = \frac{(C_1 - C_2)}{R \times a_i}$

$$\text{Следовательно: } \theta = \frac{(C_1 - C_2) \times a_i}{R \times a_i \times Y(C_1 - C_2)} = \frac{1}{RY} = \frac{1}{\mu}, \text{ или } \theta = \frac{1}{\mu}$$

В результате получаем известное из литературы [9] выражение:

$$1/\mu = 1/\mu_{max} \times (K_c + C_2)/C_2 - 1/k_d \text{ или } \mu = \mu_{max} \times C_2 / (K_c + C_2) - k_d$$

Но для существующей сточной воды прирост определяется не только биологическими факторами.

Согласно современным представлениям в математическом моделировании прирост определяется следующими составляющими:

- 1) количеством инертной части взвешенного ХПК, которое напрямую переходит в прирост;
- 2) количеством не гидролизованного биоокисляемого взвешенного вещества;
- 3) приростом гетеротрофов, фосфат аккумуляторов, нитрификаторов без учета биомассы, образовавшейся при отмирании;
- 4) отмершей биомассы — количества отмерших микроорганизмов без учета гидролиза отмершей биомассы;
- 5) инертной части биомассы — часть отмершей биомассы, не поддающаяся гидролизу;
- 6) добавленной в результате химического осаждения зольной части ила.



Очевидно, что компоненты, перечисленные в пунктах 1, 2, 5 и 6 добавляются к приросту, учитывающему только факторы роста микроорганизмов и их отмирания. Для быстро растущих видов, в первую очередь, гетеротрофов, возникающая в расчетных системах разница не столь значима и эффективность очистки по БПК (ХПК) можно рассчитывать как с использованием кинетического подхода, так и через возраст ила. В то же время для микроорганизмов нитрификаторов с малыми скоростями роста и малой долей в биоценозе расчет объема через возраст ила предпочтителен, так как дополнительный прирост, не учитываемый при расчёте по кинетическому подходу, может приводить к снижению количества или отсутствию данных микроорганизмов в биоценозе. Так же отсюда следует, что формулы, определяющие прирост ила, являются важнейшими при расчете объема аэротенка с использованием возраста ила.

При использовании математического моделирования удержание (концентрации отдельных условных видов) микроорганизмов рассчитываются через возраст ила, а результат очистки — через время пребывания и скорость реакции, учитывающую расчетные концентрации условных видов. Таким образом, при математическом моделировании реализуются совместно оба подхода к расчету аэротенков.

Другим, альтернативным методом расчёта сооружений является использование нагрузки на ил. Известно, что нагрузка на ил [9, 10] связана как с возвратом ила, так и с эффективностью очистки и является хорошим эмпирическим параметром для расчета аэротенков. В то же время, параметр нагрузки считается недостаточно точным для расчёта аэротенков с биологическим удалением азота и фосфора [11]. Поэтому данный параметр рекомендуется использовать для расчета объема аэротенков только при наличии достаточных эмпирических данных или в качестве проверочного параметра.

Методики, принятые для сравнения и их анализ

Для сравнения выбраны следующие методики:

№ 1. Методика *Treatment Waste Water TWW «ООО Домкострой»* [4], [11] — неоднократно, более чем на 20 объектах, использовалась авторами для предварительного расчёта аэротенков перед математическим моделированием и оценке необходимого объема аэротенков на стадии предпроектных проработок.

№ 2. Методика *ATV-DVWK-A 131E, 2000* — немецкая методика для расчета аэротенков. Одна из наиболее применяемых в Европейских странах методик расчета. С использованием этой методики запроектировано большое количество хорошо работающих аэротенков в Европе.

№ 3. Китайский стандарт для расчета аэротенков *HJ576-2010* [13]. Эти методики малоизвестны за пределами Китая, однако основаны на опыте проектирования более 3000 очистных сооружений. После введения данного стандарта в 2011 году с его использованием в Китае дополнительно строится 1360 станций на общую производительность 290 млн. м³/сутки. На 80% станций применён процесс А₂/О.

№ 4. Метод расчета аэротенков с применением программного комплекса GPS-X. Данный комплекс является одним из наиболее совершенных программных продуктов для расчёта сооружений очистки сточных вод. С использованием данного программного комплекса в России рассчитано более 20 объектов с общей производительностью до 7 млн. м³/сут.

Таблица 1.

Table 1.

Сравнительные характеристики стоков различных городов

Comparative characteristics of waste-waters of different cities

Город размещения очистных сооружений	Влияние промстоков	Коэффициент коррекции/ Фактор запаса	Причины нарушения процесса нитрификации
г. Казань	Влияние промстоков химических и других производств.	0,75 / 1,33	Влияние промстоков и неуправляемый кислородный режим.
г. Набережные Челны	Влияние СОЖ	0,9 / 1,11	Влияние промстоков на рост нитрификаторов и нарушение кислородного режима при поступлении СОЖ.
г. Кирово-Чепецк	Влияние промстоков химического производства.	0,94 / 1,064	Влияние промстоков на рост нитрификаторов и неуправляемый кислородный режим
г. Киров	Влияние стока биохимзавода с высоким биокисляемым ХПК.	1	Влияние промстока на рост нитрификаторов отсутствует, но при неуправляемом кислородном режиме нитрификация нарушается вследствие падения концентраций кислорода при поступлении промстоков.

Наиболее упрощенным методом расчёта из представленных, является расчет №3 по НН576-2010 при отсутствии лимита по углероду — БПК₅/общий азот ≥ 4. Кроме того вода должна удовлетворять следующим требованиям:

- БПК₅/ХПК ≥ 0,3;
- БПК₅/ТР ≥ 17 (БПК₅ к общему фосфору), где ТР — totalP — содержание общего фосфора;
- Общая щелочность (мг СаСО₃) не менее 3,6 на 1 мг азота аммонийного, при этом учитывается, что удаление 1 мг БПК дает дополнительно 1 мг щелочности.

Расчет объема аэротенка производится по нагрузке на ил по БПК₅, которая принимается по сухому веществу в диапазоне 0,1–0,3 кг БПК₅/г СВ в сутки. Концентрация активного ила рекомендуется 3,5 г/л, процесс в конфигурации А₂/О, соотношение анаэробной, аноксидной и аэробной зоны как 1:1:4, коэффициент рециркуляции ила 100%. При этом аэротенк должен приближаться к вытеснителю — длинна к ширине коридора в диапазоне 5–10, количество коридоров, как правило,



не менее 2. Так же необходима проверка по нагрузке по азоту на аэробную зону — менее 0,05 кг TN — total N — общий азот/кг СВ в сутки и по фосфору на анаэробную зону менее 0,06 кг TP — total P — общий фосфор/кг СВ в день.

Такой упрощенный подход обусловлен необходимостью большого объема проектирования новых станций. При этом принимается, что в оговорённых благоприятных условиях будет достигаться необходимый уровень очистки по БПК₅ — до 10 мг/л и азоту — общий азот (по N) менее 15 мг/л, и возможный уровень биологического удаления фосфора. Доведение концентрации фосфора до 0,5 мг/л производится физико-химическими методами (здесь приводятся наиболее жёсткие требования к качеству очистки в Китае). Следует отметить, что в зависимости от температуры воды, соотношения ХПК к БПК и других факторов проектировщик имеет возможность изменять общую нагрузку на ил в 3 раза, что позволяет адаптировать метод расчета к условиям конкретной станции, но требует опыта проектирования.

Другим методом относительно несложного расчета, где так же используется нагрузка на ил, является методика № 1 Treatment Waste Water TWW «ООО Домкопстрой», предназначенная для предварительных расчетов сооружений. Для разработки методики наряду с литературными данными, использованы данные математического моделирования действующих станций. При этом качество сточных вод характерно в основном для периода начала 2000-х годов, т.е. для низкоконтрированных стоков с неблагоприятными соотношениями по БПК, азоту и фосфору. Данный метод непрерывно уточняется с увеличением опыта расчета действующих сооружений в условиях изменяющихся концентраций с применением математического моделирования. В основе метода лежит выбор аэробного, анаэробного и общего возраста активного ила. Аэробный возраст ила рекомендуется принимать для температуры воды 15 °С, которая по нашим наблюдениям является наиболее низким значением температуры воды, фиксируемым на средних и крупных станциях (включая ОСК г. Якутск) в условиях раздельной системы канализации, принятой в России. Так же учитывается необходимость достижения глубокой нитрификации до концентраций азота аммонийного менее 0,4 мг/л. При этом величина аэробного возраста рекомендуется 7,5 суток. Поправки к возрасту ила для других температур следует делать по графикам, приведенным в [4], [11], [12].

Анаэробный возраст ила рекомендуется 3 суток для обеспечения роста микроорганизмов ацидогеназа, осуществляющих дополнительную наработку ЛЖК при недостатке легко окисляемой органики в условиях низкоконтрированных стоков.

Общий возраст ила в соответствии с типичными результатами моделирования для обеспечения оптимального прохождения процессов удаления, как азота, так и фосфора рекомендуется в диапазоне 14–16 суток.

Для определения объема сооружений и прироста ила используется взаимосвязь между возрастом и нагрузкой на ил. Для определения объема сооружений через величину установленной по графику (рис. 1) нагрузки рекомендуется исполь-

зовать дозу ила 3,5 г/л. Рекомендуемая конфигурация процесса МУСТ.

Наилучшая сходимость методики с результатами моделирования показана для типичных городских сточных вод. Диапазон значений БПК₅ 100–250 мг/л, БПК₅/ХПК — 0,4–0,6, Азот аммонийный (по N) 25–35 мг/л, фосфор фосфатов (по P) 3–6 мг/л.

Методика расчета аэротенков, применяемая в Германии — ATV-DVWK-A 131E, предназначенная для проектирования аэротенков и вторичных отстойников с удалением азота и фосфора. Методика применяется для расчёта сооружений по очистке хозяйственно-бытовых и близких к ним по составу стоков со средним соотношением БПК₅/ХПК = 0,5. В вводной части методики имеется дополнительное предупреждение о возможности увеличения содержания трудно биоокисляемого и инертного ХПК при сбросе промышленных и высококонцентрированных стоков.

В основе методики лежит определение необходимого возраста ила. Наибольшее внимание уделяется аэробному возрасту ила, необходимому для роста нитрификаторов. При этом для определения возраста ила минимальная рекомендуемая температура 12 °С. Это соответствует принятой в Германии схеме с совместным отведением городских и ливневых стоков на очистные сооружения. При расчете аэробного возраста ила принимается концентрация азота аммонийного в очищенной воде равной 1 мг/л. Так же принимается, что диктующим по времени обработки является нитрификация, окисление органических веществ происходит быстрее, чем окисление азота. Поэтому в расчётной формуле отсутствует член уравнения Моно, описывающий зависимость скорости роста от концентрации аммонийного азота. Величина возраста ила, равная 3,4 (таблица № 2, колонка «методика ATV131», в строке «аэробный возраст ила»), трактуется как «минимальная величина возраста ила» при температуре 15 °С, необходимая для роста нитрификаторов. Для обеспечения устойчивой нитрификации вводится инженерный фактор SF. Величина этого фактора увязана с производительностью сооружений и в стандарте принимается в диапазоне 1,45–1,8. Так же допускается корректировать величину SF по результатам изучения реальных колебаний нагрузки. Уменьшение SF с увеличением производительности станции отражает как меньшие колебания нагрузки, так и в определённой степени изменение гидродинамики аэротенков. Для крупных станций

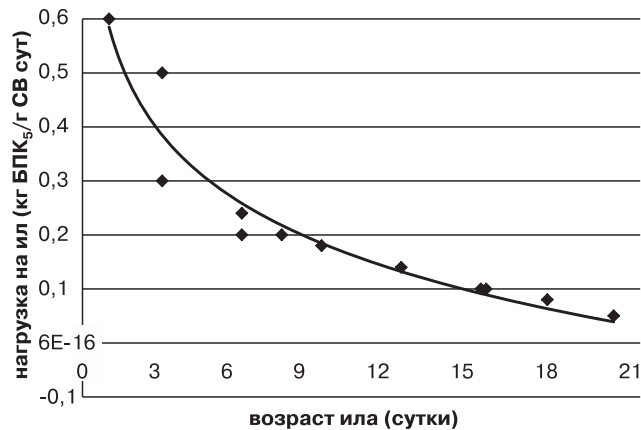


Рис. 1. Взаимосвязь нагрузки и возраста ила

Fig. 1. Relationship between load and age of sludge



конструктивно обычно применяются более длинные сооружения с большим количеством коридоров, т.е. гидродинамика сооружений стремится к вытеснителю.

Для определения общего объема аэротенков в условиях удаления азота и фосфора к объему аэробной зоны добавляется объем денитрификатора и анаэробной зоны.

Объем денитрификатора рассчитывается по отношению удаляемого нитратного азота $S_{NO_3,D}$ и поступающего БПК₅ — $C_{BOD,IAТ}$. Количество удаляемого азота нитратов рассчитывается по полному балансу азота: общий азот на входе *минус* азот нитратов на выходе *минус* азот аммонийный на выходе *минус* азот органический на выходе *минус* азот, включенный в биомассу.

В отечественной практике провести данный расчёт достаточно сложно, так как

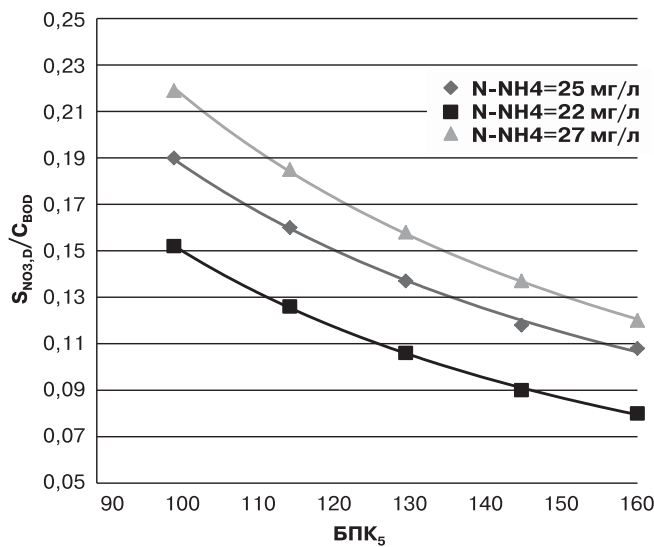


Рис. 2. Зависимость $S_{NO_3,D}/C_{BOD}$ от БПК₅, мг/л, поступающего в аэротенк

Fig. 2. Dependence of $S_{NO_3,D}/C_{BOD}$ on BOD₅, mg/l, incoming into an aeration tank

$$\frac{S_{NO_3,D}}{C_{BOD,IAТ}} = \frac{0,75OU_{C,BOD}}{2,9} \times \frac{V_D}{V_A}$$

$$\frac{2,9S_{NO_3,D}}{0,75OU_{C,BOD} \times C_{BOD,IAТ}} = \frac{V_D}{V_A}$$

$$OU_{C,BOD} \left[\frac{\text{кг}O_2}{\text{кг}BOD} \right] = 0,56 + \frac{0,15t_{SS} \times F_t}{1 + 0,17t_{SS} \times F_t}$$

Где $\frac{V_D}{V_A} \left[\frac{\text{мг } O_2 \text{ возврат кислорода при денитрификации}}{\text{мг } O_2 \text{ потребление кислорода на окисление БПК при денитрификации}} \right]$

на большинстве сооружений не определяется общий азот, а также органический азот на выходе. Для типичной городской сточной воды можно рекомендовать величину общего азота 1,3–1,4 от концентрации азота аммонийного, азот органический на выходе и азот, включенный в биомассу в соответствии с ATV — 2 мг/л и 0,04–0,05 мгN/мг БПК₅ поступающего.

Для упрощения расчетов на рис. 2 представлены графики значения в зависимости от величины БПК₅, поступающего на аэротенки при концентрациях азота аммонийного на входе в аэротенки 22, 25 и 27 мг/л и очистки по азоту нитратов до 8 мг/л и азоту аммонийному менее 0,4 мг/л.

Анализ формулы для определения соотношения объемов аноксидной V_D и аэробной зоны V_A можно провести следующим образом (*слева*):

Следовательно, соотношение объема аноксидной и аэробной зоны определяется балансом кислорода, возвращаемого при денитрификации и потребляемого в этом процессе на окисление БПК. При этом считается, что в условиях денитрификации скорость процесса составляет 75% от аэробных условий и вводится поправка, определяющая потребление кислорода на 1 мг окисляемого БПК₅ — $OU_{C,BOD} \text{ мг } \frac{O_2}{\text{мг БПК}}$. Величина этой поправки зависит от возраста ила t_{SS} и температуры F_t . При этом строго оговаривается, что данная величина справедлива, только если соотношение ХПК/БПК₅ ≤ 2,2. При более высоких значениях рекомендуется определять поправку с использованием респирометрического эксперимента [15].

Величину соотношения зоны денитрификации и аэробной зоны для предвключённых денитрификаторов и аналогичных процессов можно определять по таблице 3 в методике ATV [2, см. в № 2], предложенной в ATV, основанной на эмпирических данных, однако эта величина будет характерна для температуры 10–12 °С и если для денитрификации будет использоваться только часть легко окисляемого БПК. Процессы периодической и одновременной нитри-денитрификации рекомендуется применять при высоких соотношениях БПК и денитрифицируемого азота с увеличением объема денитрификации около 50%. При этом значение соотношения V_D/V_A более 0,5 не рекомендуется.

В отечественной практике при низко концентрированных водах при реализации схемы нитри-денитрификации на Люберецкой станции данное соотношение принималось 0,6–0,7 с успешными результатами [14]. Соотношение объемов денитрификатора и нитрификатора для температур 15°С и 20°С и возрасте ила 15 суток, рассчитанное по формуле, рекомендуемая ATV, представлено на рис. 3. Для сравнения приведена кривая для температур 10–12°С в соответствии с таблицей 3 в методике ATV [2, см. в № 2].

Разница в расчётных величинах, полученных с использованием формулы на основе баланса кислорода, и рекомендаций с использованием эмпирических данных при высоких значениях соотношения БПК к денитрифицируемому азоту объясняется более высокими скоростями окисления при использовании легко окисляемого БПК. Чем большая часть БПК используется для удаления азота, тем более кривая с использованием эмпирических данных по таблице приближается к расчетным

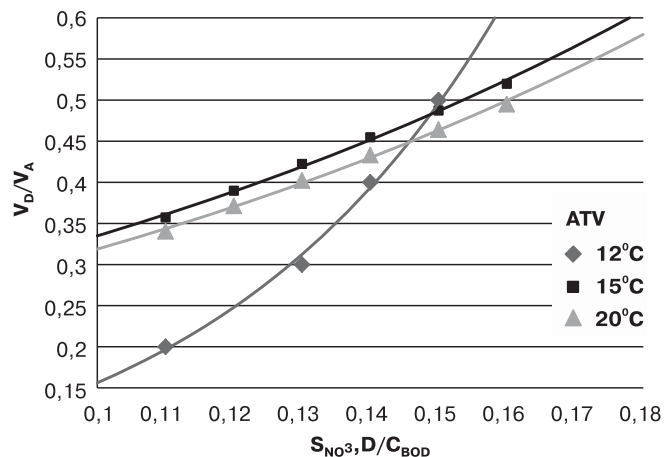


Рис. 3. Выбор соотношения объемов V_D/V_A

Fig. 3. Selection of ratio of volumes V_D/V_A



величинам с использованием баланса кислорода. Таким образом, в условиях средних и слабо концентрированных стоков величину соотношения зон денитрификации и нитрификации в схемах с удалением как азота, так и фосфора при расчётах по ATV можно рекомендовать в пределах 0,3–0,6.

Для удаления фосфора время пребывания в анаэробной зоне с учетом рецикла принимается от 0,5 до 0,75 часа. Это время соответствует наиболее часто встречающемуся времени потребления ЛЖК и активному выделению фосфора в условиях контактных экспериментов. При этом биологическое удаление фосфора рекомендуется сочетать с физико-химическим осаждением. Так же в условиях низких зимних температур рекомендуется использовать анаэробную зону для денитрификации, а большую часть фосфора удалять с применением реагента.

В пересчете на поступающий расход с учетом рекомендуемого рецикла ила 75–100% время пребывания в анаэробной зоне составит 0,9–1,5 часа.

Количество фосфора, удаляемого биологически, рекомендуется принимать 0,01–0,15 БПК₅ от поступающего на аэротенки, дополнительно учитывается 0,01 мг фосфора на 1 мг БПК₅ потребляемого на рост микроорганизмов. Таким образом, в целом биологически удаляется 0,02 — 0,025 мг фосфора на 1 мг поступающего БПК₅.

Общий возраст ила рассчитывается с учетом объема денитрификатора и анаэробной зоны.

Прирост ила в расчетах по ATV складывается из прироста ила, происходящем при удалении соединений углерода $SP_{D,C}$ и прироста за счет биологического удаления и осаждения фосфора.

Считается, что при биологическом удалении фосфора на 1 мг биологически удаленного фосфора образуется 3 мг взвешенных веществ, при удалении фосфора с использованием железа образуется 6,8 мг взвешенных веществ на 1 мг удаленного фосфора и при использовании алюминия образуется 5,3 мг взвешенных веществ на 1 мг удаленного фосфора.

Прирост ила при удалении углерода определяется через общую массу БПК₅ кг/день и складывается из прироста ила за счет окисления органических веществ и взвешенных веществ, находившихся в воде. При этом учитывается, что взвешенные вещества гидролизуются и окисляются, поэтому в формуле вычисления прироста присутствует возраст ила и температура. При увеличении возраста ила и температуры гидролиз и окисление взвешенных веществ проходят глубже и прирост ила сокращается.

Представленная эмпирическая формула будет адекватно описывать прирост ила, если основная часть окисляемых органических соединений хорошо отражается через величину БПК₅. В случае наличия промстоков с трудно окисляемым ХПК, которое не отражается величиной БПК₅, но окисляется в аэротенках, прирост ила, рассчитанный по данным рекомендациям, может быть занижен. В этом случае прирост может быть более точно рассчитан по приложениям 1 (appendix 1) и 3 (appendix 3) в методике ATV [2] с использованием фракционированного ХПК по алгоритму, близкому к математическим моделям.

Для вычисления объема аэротенка через возраст ила и массу ила в аэротенке диапазон рекомендуемых доз ила составляет 3–4 г/л.

Совмещение методов расчета через возраст ила и кинетического метода используется в китайском стандарте HJ576-2010 в случае неблагоприятного соотношения азота к углероду — $\text{БПК}_5/\text{общий азот} \leq 4$. При этом рекомендуются схемы процесса на основе УСТ. Расчет рекомендуется для широкого диапазона температур, но минимальную температуру следует принимать 15°C при общесплавной системе, что объясняется более высокими температурами в основной и южной части Китая.

Аэробный возраст ила рассчитывается, исходя из скорости роста нитрификаторов. Величина μ_{max} принимается 0,47 сутки, что практически аналогично методике ATV, но при этом расчет можно вести для выбранной концентрации аммонийного азота в очищенной воде, т.е. скорость роста нитрифицирующих микроорганизмов выражена через уравнение Моно. Несмотря на коррекцию скорости роста нитрификаторов для обеспечения устойчивости процесса так же водится инженерный фактор F , причем диапазон значений от 1,5 до 3. Такой широкий диапазон фактора запаса объясняется возможным влиянием промстоков при высоких отношениях ХПК к БПК₅. Если допускается диапазон значений $\text{БПК}_5/\text{ХПК} \geq 0,3$, то максимально $\text{ХПК}/\text{БПК}_5 = 3,3$, в то время как при расчётах по ATV основные зависимости справедливы при $\text{ХПК}/\text{БПК}_5$ менее 2,2.

Таким образом, проектировщик должен в зависимости от наличия промстоков, коэффициента неравномерности, конструкции сооружения изменять коэффициент запаса практически в 2 раза.

Продолжение статьи читайте в номере 2.

Использованная литература

1. Свод правил СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения/ Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85. М. — 2012. — С. 1–92.
2. Standard ATV-DWVK-A 131E, Dimensions of Single-Stage Activated Sludge Plants. — 2000. — 57 p.
3. GPS-X 5.0 Technical Reference. Copyright 1992–2006 Hydromantis, Inc.
4. А. Н. Элов, В. И. Баженов. Расчет аэротенков с удалением биогенных элементов/Сборник докладов конгресса «Вода: экология и технология». М., Экватэк, — 2008.
5. Мешенгисер Ю. М., Есин М. А., Смирнов А. В. Энергосберегающий подход к реализации технологии удаления биогенных элементов на сооружениях очистки воды/ Сборник материалов X международной научно производственной конференции// Решение проблем экологической безопасности в водохозяйственной отрасли. Новосибирск 1–2 октября. — 2014.
6. Строительные нормы и правила СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. М. — 1986.
7. Строительные нормы и правила СНиП II-32-74. . Канализация. Наружные сети и сооружения. М. — 1975.
8. К.М. Морозова. Принципы расчета систем биологической очистки сточных вод/ Журнал ВСТ. — 2009. — 1. — С. 26–31.
9. Вавилин В. А., Васильев В. Б. Математическое моделирование процессов биологической очистки сточных вод активным илом / Наука. — 1979.
10. Элов А. Н., Николаев В. Н. Интенсификация глубокой очистки сточных вод в аэротенках путем оптимизации возраста ила / Обзорная информация. ИЭЖКХ. — 1989.



11. М. Хенце. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы/ М., Мир. — 2004.
12. Эпов А. Н. Канунникова М. А. Разработка типовых решений по автоматизации процессов биологической очистки сточных вод с совместным удалением азота и фосфора/ Журнал НДТ. — 2014. — № 3.
13. Technical Specifications for Anaerobic-Anoxic-Oxic Activated Sludge Process HJ 576—2010 / Китайские национальные экологические стандарты. — 2010.
14. А. Н. Эпов, В. А. Загорецкий, Д. А. Данилович, Ф. А. Дайнеко, Н. А. Белов, С. Е. Березин, В. И. Баженов. Реконструкция аэротенков Люберецкой станции/ с — 2000. — 4. — С. 1–3.
15. М. А. Канунникова, А. Н. Эпов. Респирометрическое определение кинетических коэффициентов уравнения скорости нитрификации/ Журнал Водоснабжение и Канализация. — 2009. — 4.

References:

1. Code of rules, SP 32.13330.2012. Kanalizacija. Naruzhnye seti i sooruzhenija [Sewerage. Public utilities], Revised edition of SNiP 2.04.03-85, M., 2012. pp. 1–92 (in Russian).
2. Standard ATV-DWK-A 131E, Dimensions of Single-Stage Activated Sludge Plants. — 2000. — 57 p. (in English).
3. GPS-X 5.0 Technical Reference. Copyright 1992-2006 Hydromantis, Inc (in English).
4. A. N. Jepov, V. I. Bazhenov. Raschet ajerotenkov s udaleniem biogennyh jelementov [Calculation of aeration tanks with biogenic elements removal], collection of reports of the congress «Water: ecology and technology», M., ECWATECH, 2008 (in Russian).
5. Meshengiser Ju. M., Esin M. A., Smirnov A. V. Jenergosberegajushhij podhod k realizacii tehnologii udaleniya biogennyh jelementov na sooruzhenijah ochistki vody [Energy saving approach to the implementation of the technology of biogenic elements removal on water treatment facilities], The collection of materials of the X international scientific-production conference, The problems of ecological security in the water sector, Novosibirsk 1–2 of October, 2014 (in Russian).
6. Stroitel'nye normy i pravila SNiP 2.04.03-85. Kanalizacija. Naruzhnye seti i sooruzhenija [Building Code (SNiP) 2.04.03-85. Sewerage. Public utilities], M., 1986 (in Russian).
7. Stroitel'nye normy i pravila SNiP II-32-74. Kanalizacija. Naruzhnye seti i sooruzhenija [Building Code (SNiP) II-32-74. Sewerage. Public utilities], M., 1975 (in Russian).
8. K. M. Morozova. Principy rascheta sistem biologicheskoi ochistki stochnykh vod [The principles of calculation of biological wastewater treatment systems], Water Supply and Sanitary Technique, 2009, 1, pp. 26–31 (in Russian).
9. Vavilin V. A., Vasil'ev V. B. Matematicheskoe modelirovanie processov biologicheskoi ochistki stochnykh vod aktivnym ilom [Mathematical modeling of biological wastewater treatment by activated sludge], Nauka, publ., 1979 (in Russian).
10. Jepov A. N., Nikolaev V. N. Intensifikacija glubokoi ochistki stochnykh vod v ajerotenkah putem optimizacii vozrasta ila [Intensification of deep cleaning of wastewater in aeration tanks by optimization of sludge age.], Survey information, Academy of municipal economy named. K. D. Pamfilova, 1989 (in Russian).
11. M. Khentce. Ochistka stochnykh vod. Biologicheskie i khimicheskie protsessy [Wastewater treatment. Biological and chemical processes], M., Mir, 2004 (in Russian).
12. Epov A. N. Kanunnikova M. A. Razrabotka tipovykh reshenii po avtomatizacii protsessov biologicheskoi ochistki stochnykh vod s sovmestnym udaleniem azota i fosfora [Development of standard solutions for automation of processes of biological wastewater treatment with joint removal of nitrogen and phosphorus.], Best available techniques, journ., 2014, №3 (in Russian).
13. Technical Specifications for Anaerobic-Anoxic-Oxic Activated Sludge Process HJ 576—2010/ Chinese National Environmental standards, 2010 (in English).
14. A. N. Epov, V. A. Zagorskii, D. A. Danilovich, F. A. Daineko, N. A. Belov, C. E. Berezin, V. I. Bazhenov. Rekonstrukcija aerotenkov Liubereckoi stantcii [Reconstruction of the Lyubertsy aeration station], ZhKKh, journ., 2000, 4, pp. 1–3 (in English).
15. M. A. Kanunnikova, A. N. Epov. Rеспирометрическое определение кинетических коэффициентов уравнения скорости нитрификации [Respirometry determination of kinetic coefficients of the nitrification rate law], Water supply and sanitary techniques, journ., 2009, 4 (in Russian).