



АЭРОТЕНКИ ПО РАСЧЕТУ

Особенности проектирования сооружений биологической очистки в условиях высоких и низких температур

В странах Европейского Союза, США, ЮАР и Японии в 80-х годах в связи с ухудшением качества воды в реках и озерах, вызванных процессами эвтрофикации, была осознана необходимость удаления из сточных вод биогенных элементов. На протяжении последующих лет в каждой из перечисленных стран была проведена экспериментальная работа, целью которой являлось исследование процессов деятельности автотрофных бактерий, точнее, нитрификантов, ответственных за преобразование аммония в газообразный азот, а также факторов, влияющих на скорость протекания данного процесса. На следующем этапе велась разработка методик расчета по расширению существующих и строительству новых очистных сооружений с биологическим удалением биогенных элементов. С накоплением опыта эксплуатации производили оптимизацию работы аэротенков и уточнение методик расчетов. Таким образом, на данный момент в странах Западной Европы, США, Японии, ЮАР накоплен многолетний опыт в проектировании сооружений данного типа.

В странах Южной Америки, Азии и Восточной Европы, а также в России ужесточения на сбросе сточных вод относительно биогенных элементов были введены в конце 90-х годов. В России данные требования действуют с июня 2000 года [1].

Возникает вопрос о возможности использования опыта, накопленного в одних странах, для проектирования очистных сооружений в других странах, например, России. И если такая возможность предоставляется,

Целью биологических очистных сооружений, вне зависимости от температурной зоны их расположения, является эффективная и при этом экономичная очистка сточных вод как от органических, так и от биогенных элементов, обеспечиваемая в течение всего года. При проектировании сооружений биологической очистки большое внимание уделяется характеристике стоков, при этом учитывается химический состав сточной воды, а также ее температура. Расчет сооружений очистки ведется с целью выполнения предельно допустимых концентраций на сбросе в водоем. Для определения особенностей проектирования сооружений биологической очистки из различных климатических зон в данном исследовании проведено сравнение методик расчета из пяти стран: Германии, Дании, США, ЮАР и Японии.

то какой из методик расчета следует доверять?

В поиске ответа на данный вопрос было проведено сравнение методик расчета аэротенков по удалению биогенных элементов из таких стран как Германия, Дания, Соединенные Штаты Америки, Южно-Африканская Республика и Япония. Методики расчета были преднамеренно выбраны из стран расположенных на различных континентах и в различных климатических зонах (Рис. 1).

ОПИСАНИЕ МЕТОДИК РАСЧЕТА

Описание методик расчета включает в себя описание требований на предельно допустимые концентрации на сбросе, типичные для пяти выбранных стран характеристики сточных вод, а также последовательность методик расчета аэротенков.

Германия

В Германии требования на предельно допустимые концентрации загрязнений на сбросе задаются в зависимости от размера очистного со-

оружения [2]. Чем больше очистное сооружение, тем больше его влияние на окружающую среду, тем соответственно строже предоставляемые к нему требования (Таблица 1).

Стоит отметить, что ограничения по концентрациям аммонийного азота и фосфора действительны только для сооружений с производительностью более 10 000 м³/сут. и ужесточаются для сооружений с производительностью более 100 000 м³/сут.

В Германии формирование достаточно высоких средних концентраций коммунальных сточных вод объясняется преобладанием раздельных коммунальной и дождевой канализационных сетей. При этом стоит отметить, что температура сточной воды в зимний период не опускается ниже 10°C (Таблица 2).

Наиболее распространенной методикой расчета в Германии является рабочий лист A 131, разработанный немецкой водной ассоциацией (DWA) [4] (Схема 1).

Расчет базируется на определении минимального аэробного возраста активного ила, затем задается соотношение объема зоны денитрификации к общему объему. Для немецких очистных сооружений данное соотношение обычно равно 0,3. Далее следует вычисление общего возраста активного ила. После расчета необходимого количества кислорода следует вычисление прироста активного ила и инкорпорация в нем азота. При составлении баланса азота также определяется количество образовавшегося в процессе нитрификации нитрата. В случае если соотношение количества нитрата к количеству органических веществ не равняется требуемому для протекания процесса денитрификации, следует выбрать другое соотношение объемов. В положительном случае определяется нагрузка на ил и общий объем аэротенка.

■ Рис. 1. Страны, выбранные для проведения сравнения методик расчета





Дания

В Дании требования на предельно допустимые концентрации на сбросе зависят от возраста очистного сооружения (Таблица 3).

На новых очистных сооружениях с производительностью более 5 000 м³/сут. и на старых очистных сооружениях с производительностью более 15 000 м³/сут. требуется удаление био-генных элементов, при этом среднегодовая концентрация общего азота не должна превышать 8 мг/л, а фосфора не более 1,5 мг/л. В Дании зачастую проводят совместную очистку производственных и коммунальных сточных вод, это служит объяснением несколько повышенного соотношения ХПК к БПК (Таблица 4).

В Дании одной из распространенных методик расчета аэротенков по удалению азота и фосфора является методика, разработанная Jansen [7] (Схема 2).

Расчет базируется на определении минимального аэробного возраста активного ила. Далее следует определение прироста ила в аэротенке и объем зоны нитрификации. С составлением баланса азота одновременно определяется удельная скорость денитрификации и соответственно объем зоны денитрификации. Общий объем аэротенка определяется путем суммирования объемов зон нитрификации и денитрификации. Затем рассчитывается необходимое для процессов очистки количество кислорода.

США

В США национальные требования к ПДК не ограничивают концентрацию био-генных элементов на сбросе сточных вод. Несмотря на это, во многих регионах установлены строгие региональные требования [8], при которых биологический показатель кислорода не должен превышать 10 мг/л, а концентрация аммонийного азота должна быть менее 1 мг/л (Таблица 5).

В США концентрации сточных вод колеблются значительно в зависимости от региона. Приведенные в таблице 6 средние концентрации схожи с концентрациями сточных вод на территории Германии. Зимняя температура сточных вод на основной территории страны превышает 12°C.

Наиболее известной методикой расчета является методика, разработанная агентством по экологической защите (EPA) в 1993 году [10] (Схема 3). Так же как и в предыдущих методиках, в основу расчета заложено определение минимального необходимого возраста ила. Общий объем аэротенка является суммой объемов зон нитрификации и денитрификации, рассчитанных отдельно друг от друга при помощи определения удельной скорости процессов, протекающих в обеих зонах.

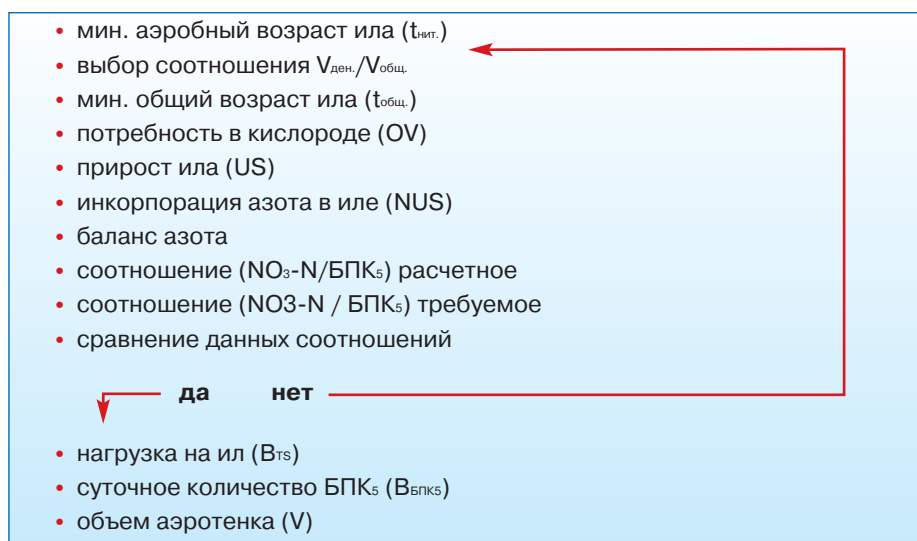
■ **Таблица 1.** Требования на предельно допустимые концентрации на сбросе загрязнений в Германии

Параметр	I < 1 000 ЭЖ	II 1 000 - 5 000 ЭЖ	III 5 000- 10 000 ЭЖ	IV 10 000- 100 000 ЭЖ	V >100 000 ЭЖ
ХПК (мг/л)	150	110	90	90	75
БПК ₅ (мг/л)	40	25	20	20	15
Взв.В (мг/л)	-	-	-	-	-
NH ₄ -N (мг/л)	-	-	-	18	13
Р _{общ.} (мг/л)	-	-	-	2	1

■ **Таблица 2.** Средняя концентрация сточных вод в Германии [3].

Параметр	ХПК, мг/л	БПК ₅ , мг/л	Взв.В, мг/л	N _{общ.} , мг/л	Р _{общ.} , мг/л	T _{зима} , °C
Концентрация	548	319	208	59	8	> 10

■ **Схема 1.** Последовательность расчета по методике А 131 в Германии



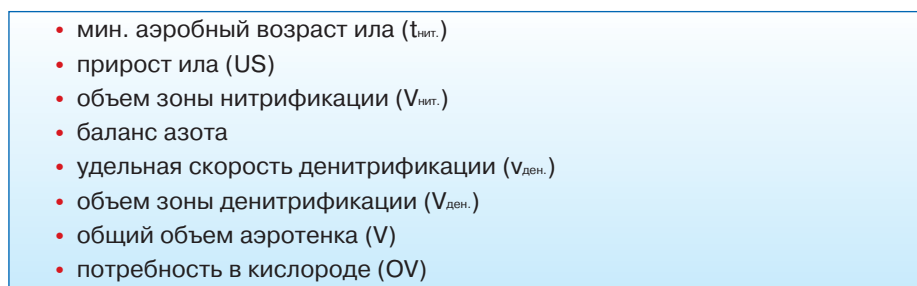
■ **Таблица 3.** Требования на предельно допустимые концентрации загрязнений на сбросе в Дании [5]

Параметр	I < 5 000 ЭЖ	II 5 000 - 15 000 ЭЖ (старые о.с.)	III > 15 000 ЭЖ (старые о.с.)	IV > 5 000 ЭЖ (новые о.с.)
БПК ₅ (мг/л)	-	-	15	15
Взв.В (мг/л)	-	30	30	30
NH ₄ -N (мг/л)	-	-	8	8
Р _{общ.} (мг/л)	-	1,5	1,5	1,5

■ **Таблица 4.** Средняя концентрация сточных вод в Дании [6].

Параметр	ХПК, мг/л	БПК ₅ , мг/л	Взв.В, мг/л	N _{общ.} , мг/л	Р _{общ.} , мг/л	T _{зима} , °C
Концентрация	455	163	-	36	7,8	6 - 7

■ **Схема 2.** Последовательность расчета по датской методике



**ЮАР**

В ЮАР в зависимости от чувствительности принимающего сточные воды водоема установлены два вида требований: общие и специальные. В специальных требованиях БПК не должно превышать 5 мг/л, а концентрация азота составляет менее 1 мг/л. Также на выходе требуются очень низкие концентрации нитратов (Таблица 7).

В ЮАР в связи с низким потребле-

нием воды, формируются достаточно высокие концентрации сточных вод, почти в 2 раза превышающие средние концентрации в Германии. Температура сточных вод в ЮАР не опускается ниже 15°C.

Одна из наиболее известных методик расчета была создана водным исследовательским комитетом (WRC) в 1984 году [12] (Схема 4). Последовательность расчета аналогична методи-

ке расчета Немецкой водной ассоциации.

Япония

В Японии требования ПДК на сбросе сточных вод назначаются в зависимости от плотности населения региона страны [13]. В некоторых высоко заселенных областях требуется снижение как БПК, так и общего азота до 5 мг/л (Таблица 9).

По сравнению с рассмотренными странами на территории Японии формируются довольно низкие концентрации сточных вод, связанные с высокой нормой водопотребления [7]. Средняя температура сточных вод в зимний период не опускается ниже 15°C (Таблица 10).

Расчет аэротенков базируется на определении минимального аэробного возраста ила в зимний период, а также допустимой нагрузки на активный ил. Далее определяются общий объем аэротенка и объем зоны денитрификации. В случае если удельная скорость денитрификации недостаточно велика - изменяют нагрузку на активный ил. Расчет завершается вычислением необходимого количества кислорода воздуха (Схема 5).

Сравнение методик расчета

Для возможности сравнения различных методик расчета и выявления их различий одно модельное очистное сооружение с типичными для Российской Федерации концентрациями сточных вод было рассчитано по каждой из пяти выбранных методик. Данные средние концентрации были определены в ходе исследования более 40 очистных сооружений из различных городов Российской Федерации [14]. Для упрощения проведения вычислений все методики расчета были запрограммированы. Сравнение велось для таких основных величин как возраст активного ила, кинетические параметры, факторы надежности, прирост ила и объем аэротенка.

Размер модельного очистного сооружения был принят 10 000 м³/сут., средние концентрации сточной воды на входе в аэротенк представлены в Таблице 11.

Для исследований был выбран широкий диапазон температуры сточной воды от 3 до 30°C. Также стоит отметить, что концентрация сточной воды в Российской Федерации в два раза и более ниже той, что типична в выше представленных странах. Расчет велся для получения следующих концентраций на выходе из аэротенка:

БПК₅ = 10 мг/л, взвешенные вещества = 10 мг/л, NH₄-N = 1 мг/л, NO₃-N = 9,1 мг/л.

АЭРОБНЫЙ ВОЗРАСТ АКТИВНОГО ИЛА

Величина минимального аэробного возраста активного ила определяется для предотвращения выноса нитрифицирующих бактерий с избыточным илом и их накопления в аэротенке. Так как рост нитрификаторов зави-

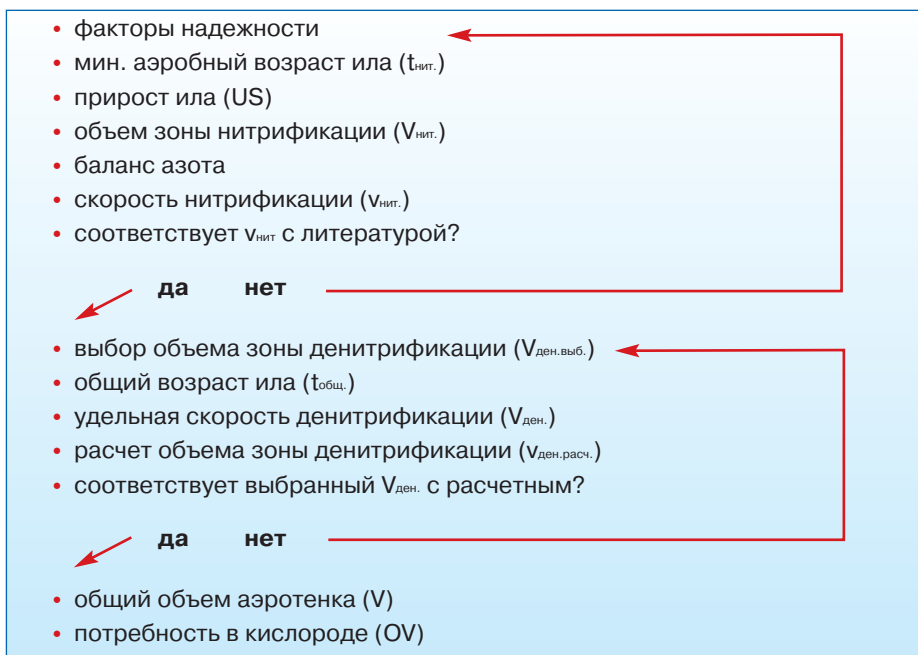
■ **Таблица 5.** Требования на предельно допустимые концентрации загрязнений на сбросе в США [8]

Параметр	Национальные требования	Региональные требования
БПК ₅ (мг/л)	45	< 10
Взв.В (мг/л)	45	< 10
NH ₄ -N (мг/л)	-	< 1
P _{общ.} (мг/л)	-	0 - 0,2

■ **Таблица 6.** Средняя концентрация сточных вод в США [9]

Параметр	ХПК, мг/л	БПК ₅ , мг/л	Взв.В, мг/л	N _{общ.} , мг/л	P _{общ.} , мг/л	T _{зима} , °C
Концентрация	500	220	220	43	7	> 12

■ **Схема 3.** Последовательность расчета по американской методике



■ **Таблица 7.** Требования на предельно допустимые концентрации загрязнений на сбросе в ЮАР [11]

Параметр	Общие требования	Специальные требования
ХПК (мг/л)	75	30
БПК ₅ (мг/л)	10	5
Взв.В (мг/л)	25	10
NH ₄ -N (мг/л)	10	1
NO ₃ -N (мг/л)	-	1,5
PO ₄ -P. (мг/л)	-	1

■ **Таблица 8.** Средняя концентрация сточных вод в ЮАР [11]

Параметр	ХПК, мг/л	БПК ₅ , мг/л	Взв.В, мг/л	N _{общ.} , мг/л	P _{общ.} , мг/л	T _{зима} , °C
Концентрация	750	370	400	73	15	> 15



сит от температуры, за расчетную температуру во всех перечисленных странах принята критическая зимняя температура сточной воды.

В Германии при расчете возраста ила учитывается температура, скорость роста нитрификаторов и фактор надежности (см. формулу (1) на стр. 42).

В Дании возраст активного ила определяется с помощью представленной диаграммы 1, которая составлена из опыта эксплуатации очистных сооружений (формула (2)).

В США расчет ведется по более сложной формуле, в которой предусматриваются три фактора надежности, концентрация аммонийного азота на сбросе, концентрация кислорода, pH и скорость роста нитрификантов.

В ЮАР расчет (формула (3)) ведется по формуле, аналогичной американскому расчету, при этом дополнительно учитывается скорость распада клеток нитрификаторов, которая также зависит от температуры сточной воды.

В Японии расчет (формула (4)) ведется по достаточно упрощенной формуле.

На диаграмме 2 представлены результаты расчета минимального возраста активного ила, требуемые для модельного сооружения в диапазоне температуры от 3 до 30°C.

Стоит отметить, что при типичной зимней температуре сточной воды равной 10°C, три методики: немецкая, датская и японская - рекомендуют аэробный возраст ила равный 10 суткам. При этом методика из ЮАР рекомендует возраст ила равный 20 дням, а американская методика - 35 дням. С понижением температуры разногласия между странами увеличиваются. Так, для очистных сооружений, на которых в зимнее время температура опускается до 5°C, японский метод рекомендует принять возраст ила равным 15 дням, в то время как американцы гарантируют протекание процессов нитрификации только при возрасте ила в 60 дней.

Причины разногласий заключаются не только в том, что национальными методиками используются различные формулы расчета, но и в выборе различных кинетических коэффициентов и более того различных факторов надежности. В таблице 12 указан ряд кинетических коэффициентов, таких как скорость роста и распада клеток нитрификаторов и гетеротрофных бактерий и коэффициенты скорости потребления субстрата, используемые для расчетов в пяти выбранных странах. Так, например, при одинаковой температуре, скорость роста немецких нитрификаторов в три раза выше скорости роста нитрификаторов из ЮАР. Разница данных величин обуславливается тем, что скорость роста нитрификаторов была определена при различной концентрации сточной воды. Более того, данные ис-

■ Схема 4. Последовательность расчета по методике ЮАР

- мин. аэробный возраст ила ($t_{\text{нит.}}$)
- выбор соотношения $V_{\text{ден.}} / V_{\text{общ.}}$
- мин. общий возраст ила ($t_{\text{общ.}}$)
- гетеротрофная и инертная фракция ила
- баланс азота
- автотрофная фракция ила
- прирост ила (US)
- объем аэротенка (V)
- удельная скорость денитрификации ($v_{\text{ден.}}$)
- объем зоны денитрификации достаточен?

да нет

- объем зоны нитрификации ($V_{\text{нит.}}$)
- потребность в кислороде (OV)

■ Таблица 9. Требования на предельно допустимые концентрации загрязнений в Японии [13]

Параметр	Без удаления биогенных элементов	С удалением биогенных элементов
БПК ₅ (мг/л)	< 20	5 - 9
Взв.В (мг/л)	< 70	3 - 6
N _{общ.} (мг/л)	-	5 - 13
P _{общ.} (мг/л)	-	0,3 - 1

■ Таблица 10. Средняя концентрация сточных вод в Японии

Параметр	ХПК, мг/л	БПК ₅ , мг/л	Взв.В, мг/л	N _{общ.} , мг/л	P _{общ.} , мг/л	T _{зима} , °C
Концентрация	300	180	-	38	4	> 15

■ Схема 5. Последовательность расчета по японской методике (разработанной Ichimura) [7]

- мин. аэробный возраст ила ($t_{\text{нит.}}$)
- объем зоны нитрификации ($V_{\text{нит.}}$)
- выбор нагрузки на ил (BTS)
- объем аэротенка (V)
- объем зоны денитрификации ($V_{\text{ден.}}$)
- удельная скорость денитрификации ($v_{\text{ден.}}$)
- удельная скорость денитрификации достаточна?

да нет

- потребность в кислороде (OV)

■ Таблица 11. Средняя концентрация сточных вод, поступающих на модельное сооружение

Параметр	ХПК, мг/л	БПК ₅ , мг/л	Взв.В, мг/л	N _{общ.} , мг/л	P _{общ.} , мг/л	T _{зима} , °C
Концентрация	170	85	110	22	8	3 - 30

■ Таблица 12. Кинетические и стехиометрические коэффициенты

Страна	$\mu_{\text{нит.}}$ (1/сут)	$b_{\text{нит.}}$ (1/сут)	$b_{\text{гет.}}$ (1/сут)	$Y_{\text{нит.}}$ (г/г)	$Y_{\text{гет.}}$ (г/г)	kN (мг N/л)
Германия	0,319	0,031	0,057	-	0,60	-
Дания	-	-	-	-	-	-
США	0,288	-	0,060	-	0,70	1
ЮАР	0,133	0,030	0,180	0,10	0,45	0,3
Япония	-	-	0,025 - 0,035	-	0,5 - 0,60	-



■ **Формулы расчета минимального аэробного возраста активного ила**

Германия

$$t_{\text{мин}} = SF \cdot 3,4 \cdot 1,103^{(15-T)}, \text{сут} \quad (1)$$

США

$$t_{\text{мин}} = \frac{SF \cdot S_1 \cdot S_2}{\mu_{\text{мин}} \cdot e^{0,098 \cdot (T-15)} \cdot \frac{NH_4 - N}{NH_4 - N + K_{N,T}} \cdot \frac{O_2}{O_2 + k_{O_2}} - (1 - 0,833 \cdot (7,2 - pH))}, \text{сут} \quad (2)$$

ЮАР

$$t_{\text{мин}} = \frac{SF}{\mu_{\text{мин}} \cdot 1,123^{(T-20)} \cdot \frac{NH_4 - N}{NH_4 - N + K_{N,T}} \cdot 1,123^{(T-20)} \cdot \frac{O_2}{O_2 + k_{O_2}} - b_{\text{мин}} \cdot 1,029^{(T-20)}}, \text{сут} \quad (3)$$

Япония

$$t_{\text{мин}} = 20,6 \cdot e^{(-0,0627 \cdot T)}, \text{сут} \quad (4)$$

■ **Формулы определения прироста ила**

Германия

$$US = B_{\text{БПК}_5} \cdot (0,75 + 0,6 \cdot \frac{B_{36,B}}{B_{\text{ПК}_5}} - \frac{(1-0,2) \cdot 0,17 \cdot 0,75 \cdot t_{\text{общ}} \cdot 1,072^{(T-15)}}{1 + 0,17 \cdot t_{\text{общ}} \cdot 1,072^{(T-15)}}) \quad (5)$$

Дания

$$US = (0,7... - ...0,8) \cdot B_{\text{БПК}_5} \quad (6)$$

США

$$US = \frac{Y_{\text{сет}} \cdot (B_{\text{ПК}_{5,\text{вход}}} - B_{\text{ПК}_{5,\text{выход}}}) \cdot Q_{\text{сут}}}{0,6 \cdot (1 + b_{\text{сет}} \cdot t_{\text{сет}})} \quad (7)$$

ЮАР

$$US = \frac{Y_{\text{сет}} \cdot Q_{\text{сут}} \cdot X_{\text{ПК}} \cdot (1 - f_p - f_m)}{(1 + b_{\text{сет}} \cdot f_{\text{сет}} \cdot t_{\text{общ}})} \cdot (1 + f_{\text{и.сет}} \cdot b_{\text{сет}} \cdot f_{\text{сет}} \cdot t_{\text{общ}}) + \frac{Q_{\text{сут}} \cdot X_{\text{ПК}} \cdot f_m}{f_{\text{ХПК}_{\text{ТСО}}}} + \frac{Y_{\text{мин}} \cdot Q_{\text{сут}} \cdot N_{\text{мин}}}{(1 + b_{\text{мин}} \cdot f_{\text{мин}} \cdot t_{\text{мин}})} \quad (8)$$

Япония

$$US = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot (a \cdot B_{\text{ПК}_{5,\text{рас.орг}}} + b \cdot TS_{\text{орг}})}{(1 + c \cdot t_{\text{мин}})} \quad (9)$$

■ **Формулы для расчета объема аэротенка**

Германия

$$V = \frac{US \cdot t_{\text{общ}}}{TS}, \text{м}^3 \quad (10)$$

Дания

$$V = V_{\text{мин}} + V_{\text{ден}} = \frac{t_{\text{мин}} \cdot US}{TS} + \frac{Q_{\text{сут}} \cdot (NO_3 - N)_{\text{ден}}}{0,75 \cdot TS \cdot v_{\text{ден}}}, \text{м}^3 \quad (11)$$

США

$$V = V_{\text{мин}} + V_{\text{ден}} = \frac{US \cdot t_{\text{мин}}}{TS_{\text{орг}}} + \frac{S_1 \cdot (NO_3 - N)_{\text{ден}} \cdot Q_{\text{сут}}}{v_{\text{ден}} \cdot 1,08^{(T-20)} \cdot 0,6 \cdot TS} = \frac{US \cdot t_{\text{общ}}}{TS}, \text{м}^3 \quad (12)$$

ЮАР

$$V = V_{\text{мин}} + V_{\text{ден}} = \frac{t_{\text{мин}} \cdot US}{TS} + \frac{Q_{\text{сут}} \cdot (NO_3 - N)_{\text{ден}}}{0,75 \cdot TS \cdot v_{\text{ден}}} = \frac{US \cdot t_{\text{общ}}}{TS}, \text{м}^3 \quad (13)$$

Япония

$$V = V_{\text{мин}} + V_{\text{ден}} = \frac{t_{\text{мин}} \cdot US}{TS} + \frac{(NO_3 - N)_{\text{ден}}}{v_{\text{ден}} \cdot TS}, \text{м}^3 \quad (14)$$

следования часто проводились в лабораторных условиях, значительно отличающихся от реальных.

Различия состоят также в выборе фактора надежности (SF), учитывающего колебания концентраций сточной воды, залповые сбросы стоков, кратковременное понижение температуры и др.

Так, в Германии фактор надежности принимается в зависимости от размера очистного сооружения:

SF = 1,8 при нагрузке ила $B_{\text{БПК}_5} < 1\ 200$ кг/сут., соответствующей 20 000 ЭЖ

SF = 1,45 при нагрузке ила $B_{\text{БПК}_5} > 6\ 000$ кг/сут., соответствующей 100 000 ЭЖ

В США предусмотрены три фактора надежности: кроме общего фактора надежности учитываются факторы колебания концентрации азота в течение одного дня и одного месяца:

SF = 1,25 общий фактор надежности

SF1 = 1,2 недельные колебания $N_{\text{общ}}$

SF2 = 1,7 дневные колебания $N_{\text{общ}}$

В Южной Африке выбор фактора надежности зависит от требуемой концентрации аммония на сбросе сточных вод в водоем:

SF = 1,25 - 1,35 при $NH_4-N > 10$ мг/л

SF = 1 при $NH_4-N < 10$ мг/л

В Дании и Японии факторы надежности отсутствуют.

ПРИРОСТ АКТИВНОГО ИЛА

Следующая величина, влияющая на объем аэротенка - это прирост активного ила (US, кг/сут.). Прирост ила определяется по формулам (5)-(9).

При сравнении данных формул были выделены следующие особенности:

1. В Германии и в ЮАР расчет ведется для всего объема аэротенка, т.е. к расчету принимается общий возраст активного ила, в то время как методики расчета США и Японии предполагают, что масса ила увеличивается только в аэрируемой части аэротенка.

2. Различия в определении прироста гетеротрофных бактерий заключаются в основном в величине стехиометрических коэффициентов. Так же стоит обратить внимание на то, что в методике расчета из ЮАР для вычисления прироста ила используется ХПК, в то время как в других странах БПК.

3. Также существуют различия в определении инертного прироста ила, заключающиеся в выборе различной величины зольности ила.

4. Автотрофный прирост ила определяется только в методике Южной Африканской Республики.

На диаграмме 3 демонстрируется величина общего прироста ила в зависимости от температуры сточной воды.

Наибольший прирост ила предполагается в японской методике и наименьший в южно-африканской методике расчета. При этом температура



сточной воды не оказывает влияние на прирост ила, рассчитанного по датской методике, и весьма незначительное влияние на прирост ила, определенного по немецкой и южно-африканской методиках расчета.

ОБЪЕМ АЭРОТЕНКА

Общий объем аэротенка определяется либо как сумма отдельно вычисленных аэробного и анаэробного объемов, либо из произведения общего возраста активного ила на прирост ила (см. формулы (10)-(14) на стр. 42).

Во всех методиках расчета объем зоны нитрификации определяется по одинаковой формуле. При определении объема зоны денитрификации различия состоят в том, что в методике расчета США и ЮАР в отличие от методик расчета Германии, Дании и Японии, к расчету принимается только органическая часть ила.

Результаты расчета объема аэротенка представлены на диаграмме 4.

Из расчетов следует, что определенный по американской методике объем аэротенка, в два раза превышает остальные. При использовании японской методики расчета большой объем аэротенка выходит даже при средней и высокой температуре сточных вод. Рассчитанные по немецкой и южно-африканской методикам, объемы аэротенков являются достаточно схожими по величине. Наименьший объем аэротенка требуется исходя из расчетов по методике из Дании.

В итоге при расчете одного и того же модельного очистного сооружения, с целью достижения заданных концентраций на выходе, используя различные методики расчета, получены разные значения объема аэротенка.

Рассмотрим причины разногласий методик при определении объема аэротенка:

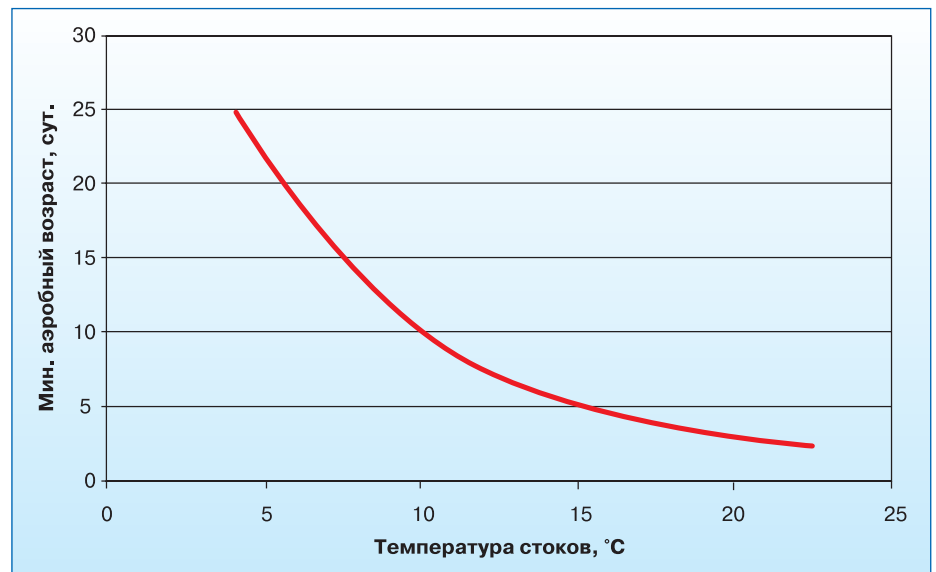
1. Сравнительно небольшой объем аэротенка, рассчитанный по немецкой методике, объясняется высокой скоростью роста нитрификаторов, ведущей к низкому возрасту активного ила. При этом прирост ила имеет достаточно высокое значение.

2. Из расчета по датской методике следует, что влияние температуры на прирост ила незначительно, вместе с тем высокая скорость денитрификации способствует получению наименьшего объема аэротенка.

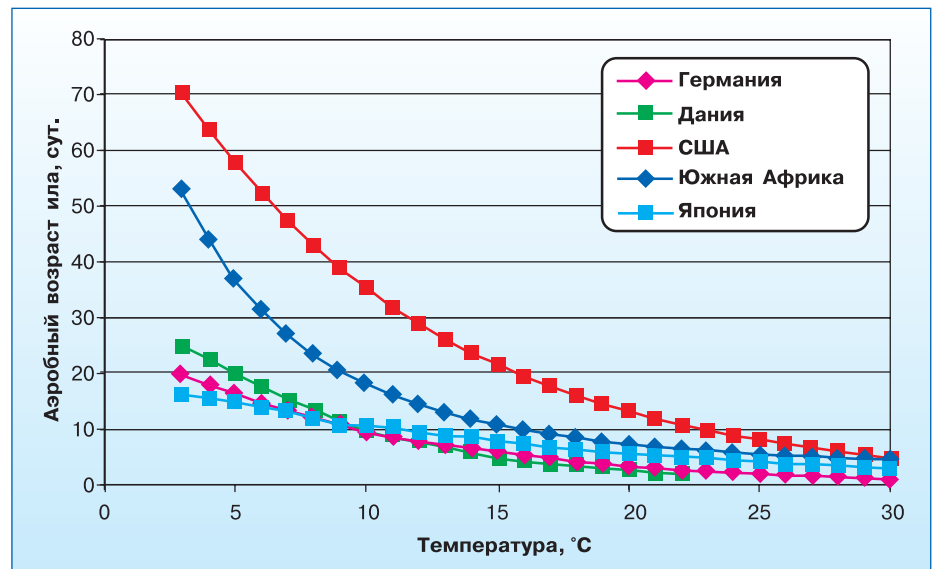
3. Высокие факторы надежности являются причиной высокого возраста активного ила и вместе с тем большого объема зоны нитрификации в американском расчете. Низкая удельная скорость денитрификации обуславливает высокий объем зоны денитрификации.

4. По результатам методики ЮАР, при довольно высоком требуемом возрасте ила, объем аэротенка не велик, что объясняется очень низким приростом ила.

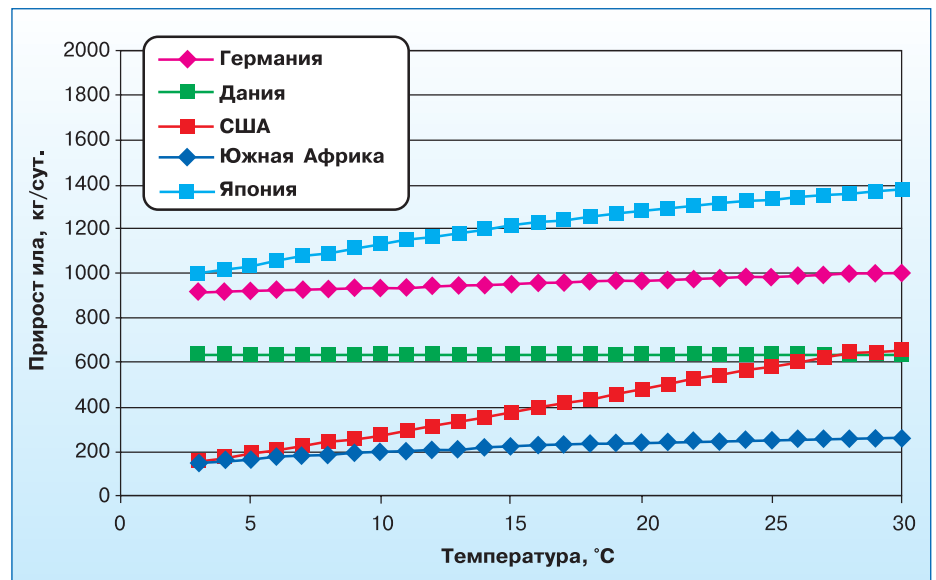
■ Диаграмма 1. Минимальный аэробный возраст ила в датской методике расчета



■ Диаграмма 2. Аэробный возраст ила при температуре стоков от 3 до 30°С



■ Диаграмма 3. Прирост активного ила при температуре сточных вод от 3 до 30°С





5. По японской методике расчета высокий прирост ила является причиной большого объема аэротенка во всем диапазоне температур.

Кто же прав? Какую из методик стоит выбрать, чтобы построить эффективные и, более того, экономичные аэротенки? И есть ли гарантия того, что применение одной из национальных методик в другой стране с другой характеристикой сточных вод и другими требованиями на сброс, будет таким же успешным, как в стране, где она была разработана.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ РАБОТА И ЕЕ ЦЕЛИ

В поисках ответов на выше поставленные вопросы на кафедре водоснабжения и водоотведения Рурского университета в Германии был проведен ряд лабораторных эксперимен-

тов. Целью экспериментальной работы являлось определение минимального возраста активного ила, необходимого для достижения ПДК [1] на очистных сооружениях с типичной для Российской Федерации характеристикой сточных вод [14].

Экспериментальная установка

Экспериментальная лабораторная установка изображена на рисунке 2, схема установки представлена на рисунке 3. Данная установка использовалась для исследования влияния температуры на возраст активного ила, прирост ила, структуру ила и определения кинетических параметров нитрифицирующих бактерий. Исследования проводились при температуре от 3 до 20°C. Температура изменялась при помощи термостатов. Расход сточной воды равен 15 л/сут. Концент-

рации подаваемой на установку сточной воды соответствуют концентрациям, типичным для российских сооружений биологической очистки (Таблица 11).

Установка состоит из трех реакторов циклического действия или SBR:

- реактора с взвешенным илом
- реактора с прикрепленным илом (биофильтр)
- реактора для референции (констант 15°C).

Результаты экспериментов

Определенные в результате экспериментов значения минимального аэробного возраста активного ила, представленные на диаграмме 5, свидетельствуют о том, что рекомендуемый немецкой, датской и японской методиками аэробный возраст активного ила при температуре ниже 10°C не являлся достаточным для поддержания процессов нитрификации в реакторе с взвешенной биомассой. Аэробный возраст активного ила, рекомендуемый методиками из ЮАР и США, в два и более раза превышал возраст активного ила, определенный в ходе экспериментов. Поэтому, несмотря на гарантию полного процесса нитрификации, аэротенки, рассчитанные по методикам из США и ЮАР, будут иметь избыточный размер и являться не экономичными.

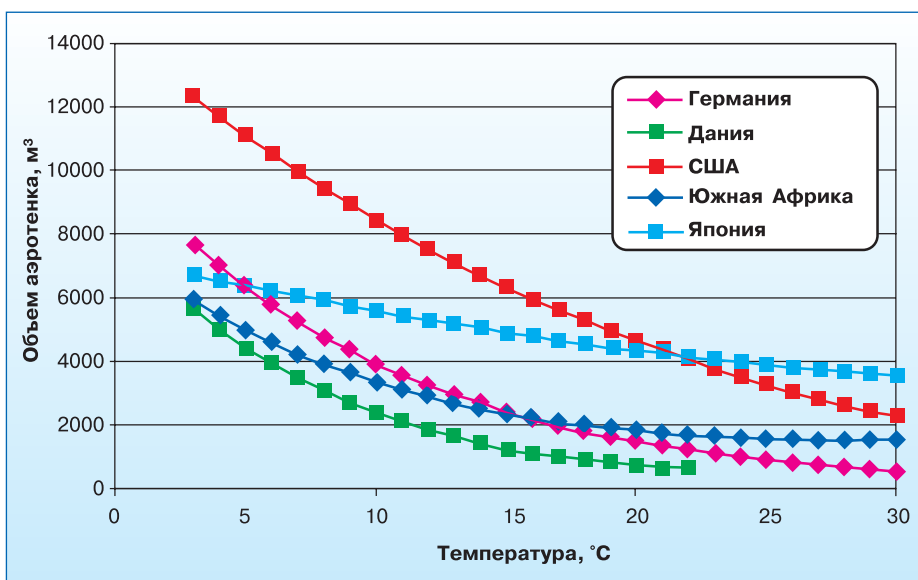
В реакторе с прикрепленной биомассой для полной нитрификации потребовался аэробный возраст активного ила меньший, чем рекомендуемый всеми национальными методиками расчета. Данный факт объясняется накоплением биомассы нитрификаторов в слоях биопленки и тем самым предотвращением ее выноса из реактора при отводе избыточного ила.

ВЫВОДЫ

Из сравнения пяти национальных методик расчета аэротенков для удаления биогенных элементов при определении расчетных величин, таких как возраст активного ила, его прирост и объем аэротенка, были выявлены большие различия. Данные различия были особенно выражены в диапазоне низких температур.

При температуре ниже 10°C, результаты экспериментов подтвердили заниженную величину возраста активного ила, рекомендуемую немецкой [4], датской [7] и японской [7] методиками. Поэтому для расчета аэротенков, в которых температура сточных вод может понижаться ниже 10°C и средние концентрации соответствуют типичным концентрациям для территории России, не рекомендуется принимать данные методики расчета. Методики расчета из Германии, Дании и Японии целесообразно применять для расчета аэротенков с температурой сточных вод выше 10°C, для применения методик расчета ниже дан-

■ **Диаграмма 4.** Объем аэротенка при температуре сточных вод от 3 до 30°C



■ **Рис 2.** Экспериментальная установка для исследований при температуре от 3 до 20°C



Международный экологический форум

ЭКОЛОГИЯ БОЛЬШОГО ГОРОДА



РОССИЯ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
ВЫСТАВОЧНЫЙ КОМПЛЕКС «ЛЕНЭКСПО»
18-20 МАРТА 2009

УПРАВЛЕНИЕ ОТХОДАМИ: ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

Промышленная выставка-ярмарка оборудования и технологий по сбору, переработке, транспортировке, рециклингу, утилизации, обезвреживанию и захоронению отходов производства и потребления.

ВОДООЧИСТКА

Выставка оборудования и технологий по очистке сточных вод, промышленной водо-подготовке, водоснабжению и водоотведению. Очистка акваторий.

ВОЗДУХООЧИСТКА

Выставка оборудования и технических средств по защите атмосферного воздуха от стационарных и передвижных источников загрязнения.

ПРИРОДООХРАННЫЕ УСЛУГИ И ОБОРУДОВАНИЕ

Выставка экологического и правового сопровождения проектов, контрольно-измерительного и лабораторного оборудования, средств обеспечения экологической и промышленной безопасности.



Оргкомитет форума: (812) 321 27 18 www.ecology.lenexpo.ru



ной температуры необходима их дальнейшая оптимизация.

Применение методик расчета из Южно-Африканской Республики [12] и Соединенных Штатов Америки [10] может привести к излишнему объему аэротенков при расчетной температуре стоков выше 20°C.

Стоит отметить, что при температуре стоков ниже 5°C ПДК в реакторе с прикрепленной биомассой были достигнуты при аэробном возрасте активного ила на 50% меньше, чем при требуемом возрасте ила в реакторе с взвешенной биомассой. Поэтому применение прикрепленной биомассы является одним из эффективных и экономичных решений для аэротенков с низкой температурой сточных вод. В дальнейших исследованиях запланировано выявление дополнительных преимуществ прикрепленной биомассы.

Марина Терещук,
кафедра водоснабжения
и водоотведения
Рурского университета,
г. Бохум, Германия
Елена Гогина,
кандидат технических наук,
доцент кафедры водоотведения
Московского государственного
строительного университета, Россия

Литература:

1. СанПиН 2.1.5.980-00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод, утв. в РФ с 22.06.2000
2. Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer AbwV - Abwasserverordnung, vom 17. Juni 2004, Deutschland
3. Scheer H. Bemessung von Klaranlagen auf Stickstoff- und Phosphorelimination im internationalen Vergleich
4. DWA-131. Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen, Deutschland, Hennef Mai 2000
5. Danish Society of Engineers, Guideline for Water Pollution Control, 1991
6. Henze M, Internationale Konferenz zur vermehrten biologischen Phosphorelimination, Hannover, 1995
7. Jansen J, Danish design practice for nitrogen removal, Denmark, 1991
8. Water Environmental Federation, Design of municipal wastewater treatment plant, USA, 1992
9. Metcalf & Eddy, Wastewater engineering - treatment, disposal and reuse, 1991
10. EPA - Design Manual for Nitrogen Control. U.S. Environmental Protection Agency, Lancaster, Pennsylvania, 1993
11. Wentzel M, Water Research Group, South Africa, 1996
12. Water Research Commission, Theory, design and operation of nutrient removal activated sludge processes, South Africa, 1984
13. Sewerage Bureau Tokyo, Sewerage in Tokyo, Japan, 1991
14. Tserashchuk M. Erforschung der Grundlagen der Abbauvorgänge beim Belebungsverfahren bei tiefen Temperaturen unter Berücksichtigung der russischen Abwasserbeschaffenheit. Deutschland, Bochum (nicht veröffentlicht).

Рис 3. Схема экспериментальной установки

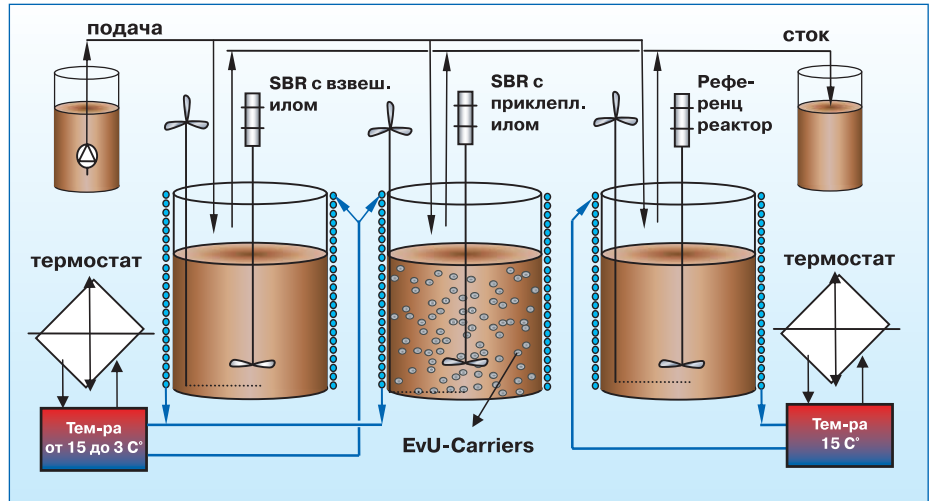
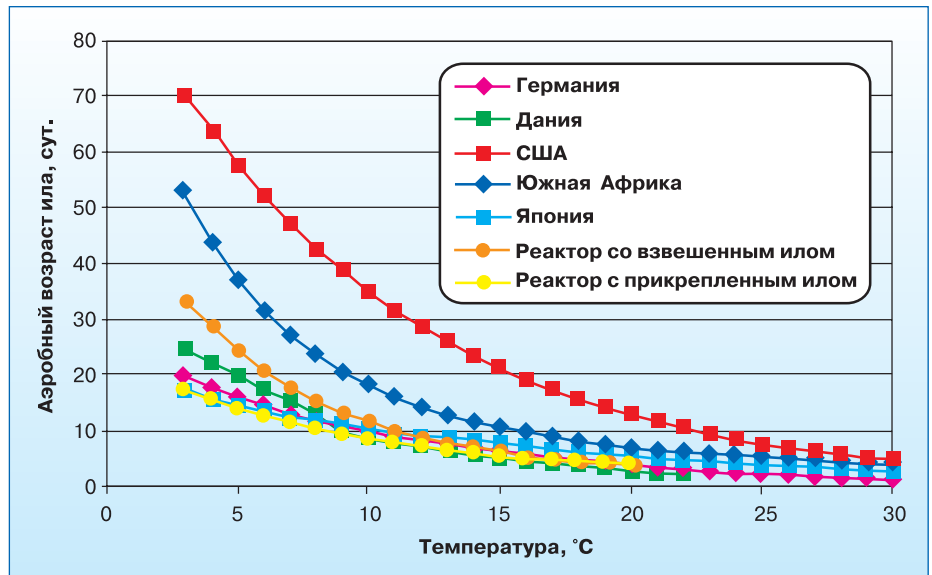


Диаграмма 5. Аэробный возраст ила, определенный экспериментальным методом



Используемые символы и обозначения:

a - потребление БПК₅ при приросте активного ила, г TS/ г БПК₅
 b - потребление органического ила при приросте активного ила, г TS/ г TS_{орг.}
 B_{БПК5} - суточное количество БПК₅, кг БПК₅/сут.
 BTS - нагрузка на активный ил, г БПК₅ / (г TS · сут.)
 b_{гет.} - скорость распада клеток гетеротрофных бактерий, 1/сут.
 b_{нит.} - скорость распада клеток нитрифицирующих бактерий, 1/сут.
 c - скорость распада клеток биомассы, 1/сут.
 f_{гет.} - температурный коэффициент для гетеротрофных бактерий
 f_{нит.} - температурный коэффициент для нитрифицирующих бактерий
 fr - часть растворенного биологически не окисляемого ХПК, %
 ft - часть не растворенного биологически не окисляемого ХПК, %
 f_{плк/тсо.} - фактор пересчета kn - коэффициент половинной скорости потребления субстрата, мг N/л
 kO₂ - коэффициент потребления кислорода, мг O₂/л

N_{ис} - инкорпорация азота в избыточном иле, мг/л
 O₂ - концентрация кислорода, мг/л
 Ov - количество кислорода, кг/сут.
 Q_{сут.} - суточный расход сточной воды, м³/сут
 SF - фактор надежности
 T - температура, °C
 TS - концентрация активного ила, г/л
 TS_{орг.} - органическая часть активного ила, г/л
 t_{лит.} - минимальный аэробный возраст активного ила, сут
 t_{общ.} - общий возраст активного ила, сут.
 US - дневной прирост активного ила (избыточный ил), кг/сут.
 V_{ден.} - объем зоны денитрификации, м³
 V_{ден.} - удельная скорость денитрификации, г NO₃-N / (г TS · сут.)
 V_{нит.} - объем зоны нитрификации, м³
 V_{нит.} - удельная скорость нитрификации, г NH₄-N / (г TS · сут.)
 V_{общ.} - общий объем аэротенка, м³
 Y_{гет.} - коэффициент потребления субстрата гетеротрофными бактериями, г/г
 Y_{нит.} - коэффициент потребления субстрата нитрифицирующими бактериями, г/г
 μ_{нит.} - скорость роста нитрифицирующих бактерий, 1/сут.