

### Глава 3. Поверочные расчеты систем и сооружений водоотведения.

#### 3.1. Поверочный расчет с определением пропускной способности сооружений.

Так как многие сооружения были запроектированы (или переоборудованы) по устаревшим нормативам поверочные расчеты осуществляются для определения фактической пропускной их способности. Фактическая пропускная способность сооружений учитывается при разработке рекомендаций на реконструкцию всего комплекса сооружений водоотведения не зависимо от того, будет ли данное сооружение переоборудоваться. Результаты расчетов необходимы для принятия окончательных решений при выборе оптимальной технологической схемы. Результаты расчета зачастую позволяют откорректировать технологический режим эксплуатации действующих сооружений.

Для выполнения поверочного расчета, возможно, использовать СНиП 2.04.03-85 (Канализация. Наружные сети и сооружения) и другие нормативные документы, а также рекомендации по проектированию, справочные пособия к нормативным документам с примерами расчета, например: «Временные рекомендации по проектированию сооружений для очистки поверхностных сточных вод с территории промышленных предприятий и расчету условий выпуска его в водные объекты» (ВОДГЕО, Госстрой РФ, М, 1983); «Проектирование сооружений для очистки сточных вод» (Справочное пособие к СНиП 2.04.03-85) и др.

В отдельных случаях для ориентировочного определения пропускной способности сооружения расчёт может производиться по объёму данного сооружения с учётом режима поступления и их состава.

Коэффициент неравномерности при расчете принимается с учетом условий подачи сточных вод на очистные сооружения: при самотечном по СНиП 2.04.03-85 (таблица 2, стр.3); при напорном - по производительности насосов в оптимальном режиме работы.

Пример поверочного расчета отдельных сооружений.

А) Приток сточных вод на очистные сооружения 3000 м<sup>3</sup>/сут.

На очистные сооружения стоки подаются насосом с расходом 240 м<sup>3</sup>/ч.

Песколовка

Песколовка принята тангенциального типа диаметром 1,2 м (2 отделения).

Расчет тангенциальных песколовки ведется по формуле:

$$F = \frac{Q_{\max}}{n \cdot q},$$

где:  $F$  – площадь отделения песколовки в плане, м<sup>2</sup>;

$Q_{\max}$  – максимальный расход сточных вод, м<sup>3</sup>/ч;

$N$  – число отделений;

$Q$  – нагрузка на песколовку по воде, 110 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>/ч – СНиП (п.6.28)

$$F = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} = 1,13 \text{ м}^2.$$

Максимальная пропускная способность одного отделения составляет:

$$q_{\max} = F \cdot n \cdot q = 1,13 \cdot 2 \cdot 110 = 248,6 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

**Пропускная способность песколовки (2-х отделений) соответствует производительности насоса.**

Первичные отстойники.

Два первичных вертикальных отстойника были переоборудованы в отстойники с периферийным впуском сточной воды с целью повышения их пропускной способности (Справочник проектировщика. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. М.Стройиздат, 1981, стр.105).

Диаметр отстойника 6 м, глубина отстойной части 3,6 м, коэффициент использования объема 0,65 (СНиП, табл.31).

Исходная концентрация взвешенных веществ в сточной воде 200 мг/л. Принимаем эффект очистки 40%, тогда по расчету гидравлическая крупность составит 2,45 мм/с.

Пропускная способность одного отстойника с нисходяще-восходящим потоком определяется по формуле:

$$q = 1,41 \cdot K \cdot D^2 \cdot u_0 = 1,41 \cdot 0,65 \cdot 6^2 \cdot 2,45 = 81 \text{ м}^3/\text{ч}; \text{ двух отстойников} - 162 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

**Таким образом, несмотря на переоборудование отстойников из вертикальных в отстойники периферийным впуском воды они перегружены по воде в 1,4 раза.**

#### Биологический фильтр

Биофильтр, расположенный в неотапливаемом здании, частично переоборудован. В одной из двух секций выделен отсек с размером в плане 6,7 x 13,0 м, гравийная загрузка в нем удалена и установлена плоскостная загрузка в виде цилиндрических блоков, собранных из рулонных гофрированных полиэтиленовых листов для увеличения пропускной способности. Система распределения сточной воды – струйного типа, вентиляция естественная. Остальные секции не переоборудованы и находятся в нерабочем состоянии.

Загрузка имеет следующие показатели:

$S_{уд}$  – удельная поверхность – 120 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>;

$P$  – пористость – 92%;

$\rho$  – плотность – 80 кг/м<sup>3</sup>;

$H$  – высота слоя загрузки – 2,6 м;

$V$  – объем загрузочного материала – 226 м<sup>3</sup>.

$L_{en}$  – БПК<sub>5</sub> поступающей сточной воды – 168 мг/л.

Расчет ведется по критериальному комплексу («Примеры расчета канализационных сооружений», М, Стройиздат, 1987)

Гидравлическая нагрузка на биофильтр:

$$q = \frac{Q}{V} = \frac{3000}{226} = 13,3 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{сут}$$

Нагрузка по БПК<sub>5</sub>:

$$F = \frac{q \cdot \text{БПК}_5}{S_{уд}} = \frac{13,3 \cdot 168}{120} = 18,62 / \text{м}^2\text{сут}.$$

Критериальный комплекс определяется по формуле:

$$\eta = \frac{P \cdot H \cdot K_m}{F},$$

где  $K_m$  – константа скорости биохимического потребления кислорода, зависящая от средне-зимней температуры воды ( $T=12^\circ\text{C}$ ):

$$K_m = 0,2 \cdot 1,047^{T-20} = 0,2 \cdot 1,047^{12-20} = 0,138.$$

$$\eta = \frac{92 \cdot 2,6 \cdot 0,138}{18,6} = 1,77.$$

Из таблицы 3.12 (стр. 107) определяем, что критериальному комплексу 1,77 соответствует БПК<sub>5</sub> очищенной воды равно 30 мг/л.

**Таким образом, переоборудованный биофильтр может обеспечить только неполную биологическую очистку сточных вод до БПК<sub>5</sub> = 30 мг/л.**

#### Вторичные отстойники

Четыре вторичных отстойника вертикального типа диаметром 8 м. Глубина проточной части 1,2 м.

Вторичные отстойники после биофильтров рассчитываются по гидравлической нагрузке (СНиП, стр. 39).

$$q = 3,6 \cdot K \cdot u_0 = 3,6 \cdot 0,35 \cdot 1,4 = 1,764 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ ч},$$

где  $K$  – коэффициент использования объема зоны отстаивания, 0,35;

$U_0$  – условная гидравлическая крупность биопленки, которая равна 1,4 мм/с.

Площадь поверхности одного отстойника:

$$F = \frac{3,14 \cdot 8^2}{4} = 50,2 \text{ м}^2.$$

**Максимальная часовая пропускная способность одного отстойника**  
 $q_{\max} = F \cdot q = 50 \cdot 1,764 = 88,6 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; **четырёх отстойников – 354 м<sup>3</sup>/ч**, что является достаточным при работе одного насоса с производительностью 240 м<sup>3</sup>/ч.

**Б) Приток на очистные сооружения сточных вод 200 м<sup>3</sup>/сут.**

Сточные воды подаются на очистные сооружения насосами производительностью 80 м<sup>3</sup>/ч.

**Песколовка**

Два отделения, горизонтальной песколовки с круговым движением воды. Диаметр каждого отделения – 2,8 м, ширина лотка 0,5 м, диаметр по оси лотка – 2,3 м, рабочая высота – 0,3 м.

Длина песколовки:  $L = 2,3 \cdot 3,14 = 7,2 \text{ м}$

Площадь поверхности воды:  $F = 0,5 \cdot 7,2 = 36 \text{ м}^2$

Максимальная пропускная способность одного отделения, при гидравлической крупности задерживаемого песка  $U_0 = 18 \text{ мм/с}$ , равна

$$q_{\max} = 3,6 \cdot 0,018 = 0,0648 \text{ м}^3/\text{с} \text{ или } 230 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Производительность насоса – 0,022 м<sup>3</sup>/с. При работе одного отделения песколовки скорость движения воды в лотке составит:

$$v = \frac{q_{\text{нас}}}{W} = \frac{0,022}{0,5 \cdot 0,3} = 0,15 \text{ м/с}$$

В соответствии с положениями СНиП (стр.23, табл.28) для горизонтальной песколовки 0,15 м/с – минимально допустимая скорость движения воды. В то же время оба отделения должны быть рабочими, тогда скорость движения воды в лотках будет в 2 раза меньше и в них будут оседать, кроме песка, органические взвеси, что недопустимо.

**Как показал поверочный расчёт конструктивные размеры песколовки для данных сооружений завышены.**

**В) Приток сточных вод на очистных сооружениях 700 м<sup>3</sup>/сут.**

При развитии поселка количество сточных вод возросло до 1400 м<sup>3</sup>/сут. Для увеличения пропускной способности аэротенка-отстойника, рассчитанного на полное окисление, в аэрируемой части установлен модуль с инертным носителем.

Исходные данные для поверочного расчета:

$W_a$  – объем зоны аэрации - 500 м<sup>3</sup>;

$L_{en}$  – БПК<sub>полн</sub> поступающих стоков в аэротенк – 210 мг/л;

$L_{ex}$  – БПК<sub>полн</sub> очищенных стоков – 15 мг/л;

Принимаем:

$\rho$  – удельная скорость окисления по БПК<sub>полн</sub> для режима полного окисления – 6 мг/г ч (СНиП, п. 6.167);

$a_i$  – доза свободно плавающего активного ила – 4 г/л (п.6.167);

$a_n$  – доза прикрепленной биопленки на загрузке (по эксплуатационным и экспериментальным данным аналогичных сооружений) до 2 г/л;

$S$  – зольность ила – 0,35 (п.6.167);

$K$  – коэффициент часовой неравномерности в часы максимального притока – 1,34.

Расчетное время аэрации составляет:

$$t = \frac{L_{en} - L_{ex}}{(a_i + a_n)(1 - S)\rho} = \frac{210 - 15}{(4 + 2)(1 - 0,35)6} = 8,3 \text{ ч}$$

Пропускная способность аэротенка по объему:

$$Q = \frac{Wa}{K \cdot t} 24 = \frac{500}{1,34 \cdot 8,3} 24 = 1081 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Следовательно, проведенные ранее мероприятия по увеличению пропускной способности до  $1400 \text{ м}^3/\text{сут.}$ , не достаточны.

Г) Действующий аэротенк-вытеснитель (два блока объемом по  $1130 \text{ м}^3$ ) запроектирован по нормативам 1974 г.

Пропускная способность по СНИП 2.04.03-85 при БПК<sub>полн</sub> сточных вод, поступающих на очистку равна  $201 \text{ мг/л.}$

Принимаем для расчета аэротенк с регенерацией активного ила (п.6.141) при следующих исходных данных:

$L_a$  – БПК<sub>полн</sub> поступающей воды –  $201 \text{ мг/л.}$

$L_t$  – БПК<sub>полн</sub> очищенной воды –  $15 \text{ мг/л.}$

$Q_{расч}$  – среднечасовой расход в часы максимального притока (по графику суточного притока,  $k=1,42$ ), равен  $320 \text{ м}^3/\text{ч.}$

Ориентировочно принимаем дозу активного ила  $3 \text{ г/л}$  и иловой индекс  $100 \text{ см}^3/\text{г.}$

Степень рециркуляции активного ила:

$$R = \frac{\frac{a_i}{\frac{1000}{J_i} - a_i}}{\frac{3}{\frac{1000}{100} - a_i}} = 0,43.$$

Определим БПК<sub>полн</sub> сточных вод, поступающих в аэротенк-вытеснитель с учетом разбавления циркуляционным активным илом:

$$La' = \frac{La - Lt \cdot R}{1 + R} = \frac{201 + 15 \cdot 0,43}{1 + 0,43} = 145 \text{ мг/л.}$$

Время аэрации сточной воды в аэротенке:

$$t_a = \frac{2,5}{\sqrt{a_i}} \lg \frac{La'}{15} = \frac{2,5}{\sqrt{3}} \lg \frac{145}{15} = 1,42 \text{ ч.}$$

Произведем предварительный расчет дозы ила в регенераторе:

$$a_r = a_i \left( \frac{1}{2R} + 1 \right) = 3 \left( \frac{1}{2 \cdot 0,43} + 1 \right) = 6,48 \text{ г/л.}$$

По данным таблицы 40 СНИП, при концентрации кислорода в аэротенке  $2 \text{ мг/л.}$ , расчетная удельная скорость окисления составит  $16,6 \text{ мг/г час.}$

Общая продолжительность обработки сточных вод:

$$t_0 = \frac{La - Lt}{R \cdot a_r (1 - S) \rho} = \frac{201 - 15}{0,43 \cdot 6,48 (1 - 0,3) 16,6} = 5,75 \text{ ч.}$$

Период регенерации:

$$t_r = t_0 - t_a = 5,75 - 1,42 = 4,33 \text{ ч.}$$

Продолжительность пребывания в системе аэротенк-регенератор:

$$t_{ar} = (1 + R)t_a + Rt_r = (1 + 0,43)1,42 + 0,43 \cdot 4,33 = 3,9 \text{ ч.}$$

Объем аэротенка:

$$Va = t_a (1 + 0,43) q_{расч} = 1,42 (1 + 0,43) 320 = 650 \text{ м}^3.$$

Объем регенератора:

$$Vr = t_r \cdot R \cdot q_{расч} = 4,33 \cdot 0,43 \cdot 320 = 596 \text{ м}^3.$$

Для уточнения илового индекса определим среднюю дозу ила в системе:

$$a_{cp} = \frac{(1 + R)t_a a_i + Rt_r a_r}{t_{ar}} = \frac{(1 + 0,43)1,42 \cdot 3 + 0,43 \cdot 4,33 \cdot 6,48}{3,9} = 4,7 \text{ г/л.}$$

Нагрузка на  $1 \text{ г}$  беззольного вещества активного ила составит:

$$q_i = \frac{24(La - Lt)}{a_{cp}(1 - S)t_{ar}} = \frac{24(201 - 15)}{4,7(1 - 0,3)3,9} = 349 \text{ мг / гсут}.$$

Иловой индекс при данной нагрузке (по табл.41) равен  $75 \text{ см}^3/\text{г}$ . Уточняем степень рециркуляции.

$$R = \frac{3}{\frac{1000}{75} - 3} = 0,29.$$

Уточняем БПКполн смеси сточных вод с циркуляционным активным илом

$$La'' = \frac{(201 + 15 \cdot 0,29)}{1 + 0,29} = 159 \text{ мг / л};$$

$$t_a = \frac{2,5}{\sqrt{3}} \lg \frac{159}{15} = 1,48 \text{ ч}.$$

Пересчитываем остальные параметры

$$a_r = a_i \left( \frac{1}{2R} + 1 \right) = 3 \left( \frac{1}{2 \cdot 0,29} + 1 \right) = 8,2 \text{ г / л}.$$

$$\rho = 85 \frac{15 \cdot 2}{15 \cdot 2 + 33 \cdot 2 + 0,625 \cdot 15} \left( \frac{1}{1 + 0,07 \cdot 8,2} \right) = 15,4 \text{ мг / гчас}.$$

$$t_0 = \frac{La - Lt}{R \cdot a_r (1 - S) \rho} = \frac{201 - 15}{0,29 \cdot 8,2 (1 - 0,3) 15,4} = 7,26 \text{ ч}.$$

$$t_r = t_0 - t_a = 7,26 - 1,48 = 5,78 \text{ ч}$$

$$t_{ar} = (1 + R)t_a + Rt_r = (1 + 0,29)1,48 + 0,29 \cdot 5,78 = 3,58 \text{ ч}.$$

Требуемые объемы:

$$Va = 1,48(1 + 0,29)320 = 611 \text{ м}^3;$$

$$Vr = 5,78 \cdot 0,29 \cdot 320 = 536 \text{ м}^3.$$

Общий расчетный объем сооружения:  $V = 611 + 536 = 1147 \text{ м}^3$ .

Объем существующих аэротенков  $2260 \text{ м}^3$ .

**По результатам поверочных расчётов пропускная способность аэротенков составляет  $5400 \text{ м}^3/\text{сут}$  сточных вод, при БПК<sub>полн</sub> поступающих стоков -  $200 \text{ мг/л}$  и их очисткой до БПК<sub>полн</sub> -  $15 \text{ мг/л}$ .**

Все выполненные поверочные расчёты должны заканчиваться чёткими выводами о технологических возможностях систем и сооружений или их отдельных узлов или по количественным или по качественным показателям работы для удовлетворения современным требованиям предъявляемым к ним. Должны учитываться изменения нормативных параметров, на которые они были запроектированы в настоящее время или, если они были запроектированы по устаревшим нормативам, не отвечающим современным требованиям, невозможности выполнения этих современных требований.