

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства»  
(ПГУАС)

# **ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ И СООРУЖЕНИЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ**

Методические указания  
к практическим работам  
по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство»

Пенза 2016

УДК 628.1/.2-049.7(075.8)

ББК 38761я730

Э41

Рекомендовано Редсоветом университета

Рецензент – кандидат технических наук, доцент кафедры «Водоснабжение, водоотведение и гидротехника» Е.А. Титов (ПГУАС)

Э41 **Эксплуатация систем и сооружений водоснабжения и водоотведения: методические указания к практическим работам по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» / М.А. Сафронов. – Пенза: ПГУАС, 2016. – 20 с.**

Приведены задачи, а также примеры их решения по темам дисциплины «Эксплуатация систем и сооружений водоснабжения и водоотведения».

Методические указания подготовлены на кафедре «Водоснабжение и водоотведение» и предназначены для студентов, обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство».

© Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2016

© Сафронов М.А., 2016

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Эксплуатация систем и сооружений водоснабжения и водоотведения» составлены в соответствии с учебным планом по строительным направлениям бакалавриата.

В методических указаниях рассматриваются примеры решения типовых задач по дисциплине и затем предлагаются задачи для самостоятельного решения.

Студенты могут использовать методические указания для выполнения расчетно-графических работ, а также контрольных заданий.

Целью изучения дисциплины «Эксплуатация систем и сооружений водоснабжения и водоотведения» является овладение студентами следующими компетенциями:

- знанием правил и технологии монтажа, наладки, испытания и сдачи в эксплуатацию конструкций, инженерных систем и оборудования строительных объектов, образцов продукции, выпускаемой предприятием;
- владением методами опытной проверки оборудования и средств технологического обеспечения;
- владением методами мониторинга и оценки технического состояния и остаточного ресурса строительных объектов, оборудования;
- способностью организовать профилактические осмотры и текущий ремонт, приемку и освоение вводимого оборудования, составлять заявки на оборудование и запасные части, готовить техническую документацию и инструкции по эксплуатации и ремонту оборудования.

В результате изучения дисциплины «Реконструкция систем и сооружений водоснабжения и водоотведения» обучающийся должен:

*Знать:*

– перспективы развития систем водоснабжения и водоотведения, требования к ним, теоретические основы их работы, элементы этих систем, нормы технологических режимов работы систем водоснабжения и водоотведения в нормальных условиях эксплуатации и аварийных ситуациях.

*Уметь:*

– правильно выбирать технологические схемы и режимы для конкретных условий эксплуатации систем ВиВ различного назначения, использовать современные технологии для прочистки, ликвидации засоров и санации трубопроводов систем ВиВ.

*Владеть:*

– современными прогрессивными решениями, методами интенсификации действующих систем, использовать современные технологии, материалы, методы монтажа и эксплуатации;

– методами практического использования современных навигационных систем при розыске существующих сетей ВиВ.

*Иметь представление о:*

– нормативных документах по эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения, нормативных сроках выхода на ремонты сооружений и оборудования, нормативах химико-технологического контроля.

# 1. ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ

## Тема 1. Эксплуатация систем и сооружений водоснабжения

### Занятие 1. Проверка характеристик водопроводных насосных агрегатов в производственных условиях

**Задача.** Эксплуатируемый центробежный насос должен обеспечить расход  $Q=0,1 \text{ м}^3/\text{с}$  и давление на выходе  $p_2=4,7 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$ . Всасывающая труба имеет диаметр  $d=0,3 \text{ м}$  и длину  $L=24 \text{ м}$ , а также фильтр на входе, имеющий местный коэффициент сопротивления  $\xi_\phi=5$ . Всасывание воды осуществляется из открытого резервуара (рис. 1). Коэффициент потерь напора на трение  $\lambda=0,02$ , коэффициент местных сопротивлений в повороте  $\xi_{пов}=0,2$ . Определить высоту всасывания  $H_{вс}$ .

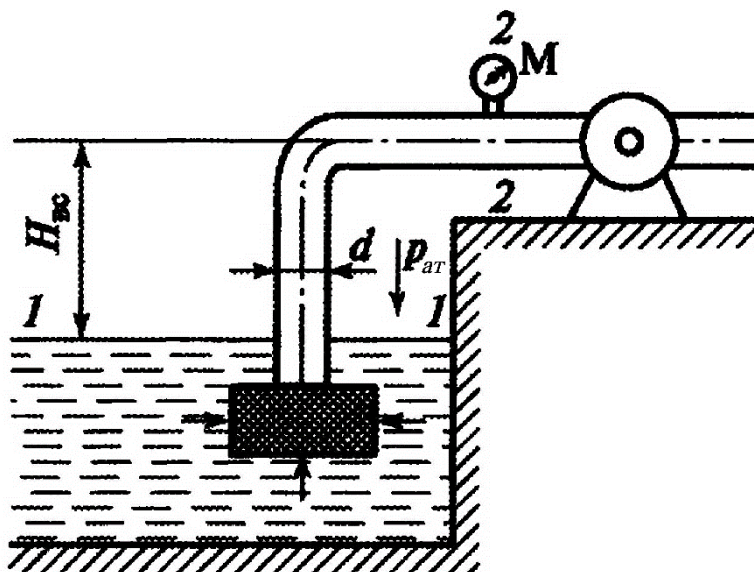


Рис. 1. Схема работы центробежного насоса

*Решение.* На основании уравнения Бернулли, записанного для свободной поверхности воды 1-1 резервуара и сечения 2-2 на входе в насос, имеем

$$H_{вс} = \frac{p_{ат}}{\rho g} - \frac{p_2}{\rho g} - \left( \alpha + \lambda \frac{L}{d} + \xi_\phi + \xi_{пов} \right) \frac{v^2}{2g}.$$

Считая  $\alpha=1$  для турбулентного режима и  $\rho=10^3 \text{ кг/м}^3$ , имеем

$$H_{вс} = \frac{p_{ат} - p_2}{\rho g} - \frac{\alpha + \lambda \frac{l}{d} + \xi_\phi + \xi_{пов}}{\frac{\pi^2}{4} d^4 2g} Q^2 =$$

$$= \frac{10^5 - 4,7 \cdot 10^4}{10^4} - \frac{1 + 0,02 \frac{24}{0,3} + 5 + 0,2}{\frac{3,14^2}{4} 0,3^4 \cdot 2 \cdot 9,81} 0,1^2 = 4,615 \text{ м.}$$

## Занятие 2. Эксплуатация водопроводных трубопроводов

**Задача.** Трубопровод имеет параллельное ответвление (рис. 2). Длины участков трубопровода  $l_1=200$  м;  $l_2=200$  м;  $l_3=150$  м;  $l_4=300$  м; диаметры участков  $D_1=D_4=300$  мм;  $D_2=250$  мм;  $D_3=200$  мм.

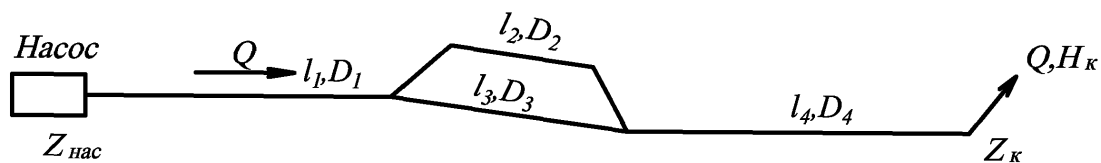


Рис. 2. Схема трубопроводов водопроводной сети

Определить давление, создаваемое насосом для подачи по трубопроводу воды с расходом  $Q = 75$  л/с при отметке оси насоса  $z_{\text{нас}} = 5,0$  м и напоре в конце трубопровода  $H_{\text{к}} = 20$  м, если трубы имеют эквивалентную шероховатость  $\Delta_s=1,0$  мм. Отметка оси трубопровода в конечной точке  $z_{\text{к}} = 8,0$  м.

*Решение.* Определяем расходы на параллельных участках трубопровода, принимая в первом приближении, что режим сопротивления квадратичный, т.е. поправка на квадратичность для второго и третьего участков трубопровода  $\psi_1 = \psi_2 = 1$ . В этом случае

$$Q_2 = Q_3 \frac{K_2}{K_3} \sqrt{\frac{l_3}{l_2}}.$$

Для  $D_2=250$  мм  $K_2^2 = 415352$  л<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>=0,415 м<sup>6</sup>/с<sup>2</sup>, для  $D_3=200$  мм,  $K_3^2 = 127142$  л<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>=0,127 м<sup>6</sup>/с<sup>2</sup>.

Следовательно,  $K_2 = \sqrt{0,415} = 0,644$  м<sup>3</sup>/с,  $K_3 = \sqrt{0,127} = 0,356$  м<sup>3</sup>/с.

Находим расход по второму участку трубопровода через  $Q_3$ :

$$Q_2 = Q_3 \frac{0,644}{0,356} \sqrt{\frac{150}{200}} = 1,57 Q_3.$$

Суммарный расход по трубопроводу

$$Q = Q_2 + Q_3 = 75 \text{ л/с или}$$

$$Q_3 + 1,57 Q_3 = 75. \text{ Отсюда } Q_3 = 29,2 \text{ л/с, } Q_2 = 45,8 \text{ л/с.}$$

Скорость потока на участке 2

$$v_2 = \frac{Q_2 \cdot 4}{\pi D_2^2} = \frac{0,0458 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,25^2} = 0,93 \text{ м/с.}$$

При данной скорости коэффициент на неквадратичность  $\psi_2 = 1,018$ .

Скорость потока на участке 3

$$v_3 = \frac{Q_3 \cdot 4}{\pi D_3^2} = \frac{0,0292 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,2^2} = 0,93 \text{ м/с.}$$

При данной скорости поправка на неквадратичность  $\psi_1=1,018$ .

Так как  $\psi_2=\psi_3$ , то соотношение расходов  $Q_2$  и  $Q_3$  не изменилось, поэтому принимаем ранее полученные расходы на параллельных участках  $Q_2=45,8$  л/с и  $Q_3=29,2$  л/с.

Далее определяем скорости и модули расхода на первом и четвертом участках трубопровода:

$$v_1 = v_4 = \frac{0,075 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,3^2} = 1,06 \text{ м/с.}$$

При данной скорости  $\psi_1=\psi_4=1,014$ . Для  $D_1=D_4=300$  мм,  $K_1^2 = K_4^2 = 1091313$  л<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>=1,091 м<sup>6</sup>/с<sup>2</sup>.

Определяем напор, создаваемый насосом

$$\begin{aligned} H_{\text{нас}} &= H_{\text{к}} + z_{\text{к}} - z_{\text{нас}} + \frac{\psi_1 Q_1^2 l_1}{K_1^2} + \frac{\psi_2 Q_2^2 l_2}{K_2^2} + \frac{\psi_4 Q_4^2 l_4}{K_4^2} = \\ &= 20 + 8 - 5 + \frac{1,014 \cdot 0,075^2 \cdot 200}{1,091} + \frac{1,018 \cdot 0,0458^2 \cdot 200}{0,415} + \\ &\quad + \frac{1,014 \cdot 0,075^2 \cdot 300}{1,091} = 26,6 \text{ м.} \end{aligned}$$

Давление, развиваемое насосом

$$p_{\text{нас}} = \rho g H_{\text{нас}} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 26,6 = 260900 \text{ Па} \approx 261 \text{ кПа} \approx 0,261 \text{ МПа.}$$

### Занятие 3. Определение параметров работы камеры хлопьеобразования

**Задача.** Рассчитать работу вращательно движущейся лопасти в жидкой среде при эксплуатации камеры хлопьеобразования. Глубина воды в камере  $H=3,6$  м. Ширина каждого из двух отделений камеры  $B_0=10,75$  м.

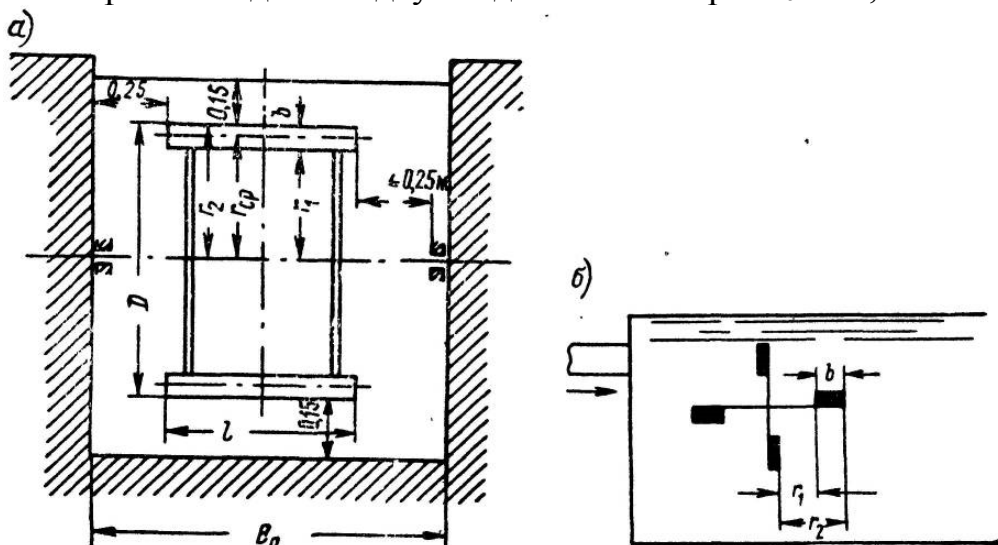


Рис. 3. К расчету лопастной камеры хлопьеобразования: а – рама лопастной мешалки; б – схема размещения четырехлопастной вращающейся рамы в камере хлопьеобразования

*Решение.* Диаметр лопастной рамы (рис. 3)  $D = 3,6 - 2 \cdot 0,15 = 3,3$  м. Зазоры между концами лопастей и боковыми стенками камеры принимаем по 0,15 м. Тогда длина лопасти  $l = (10,75 - 5 \cdot 0,15) : 4 = 2,5$  м, а ширина лопасти  $b = 0,1 \cdot 2,5 = 0,25$  м.

Для данного случая  $b:l = 0,25:2,5 = 0,1$ . Следовательно,  $\psi = 1,1$ . Тогда коэффициент  $k$  может быть определен по формуле

$$k = \frac{\psi \gamma}{2g};$$

$$k = \frac{1,1 \cdot 1000}{2 \cdot 9,81} = 56 \text{ кг} \cdot \text{сек}^2/\text{м}^4.$$

Работу, производимую силой  $P$ , можно определить по формуле

$$P_{\text{раб}} = \frac{y k l u^3}{4} (r_2^4 - r_1^4) \text{ кгс} \cdot \text{м/сек},$$

Принимаем в данной формуле следующие значения величин:  $y=4$ ;  $l = 2,5$  м;  $r_1 = 1,4$  м и  $r_2 = 1,65$  м.

Угловая скорость вращения лопасти определяется по формуле

$$u = \frac{v_0}{r_2};$$

$$u = 0,5 : 1,65 = 0,303 \text{ 1/сек}.$$

Тогда сила  $P$  равна

$$P_{\text{раб}} = \frac{4 \cdot 56 \cdot 2,5 \cdot 0,303^3}{4} (1,65^4 - 1,4^4) = 13,95 \text{ кгс} \cdot \text{м/сек}.$$

Мощность электродвигателя, необходимая для вращения одной лопастной рамы, составит

$$N_{\text{э}} = \frac{P_{\text{раб}}}{102 \eta} = \frac{13,95}{102 \cdot 0,45} = 0,3 \text{ квт}.$$

Применение лопастных камер хлопьеобразования позволяет регулировать интенсивность перемешивания изменением числа оборотов лопастной мешалки.

**Занятие 4.** Проверка по формулам Кэмпа правильности выбора размеров и расчетных параметров камеры хлопьеобразования

**Задача.** Проверить по формулам Кэмпа правильность выбранных размеров и расчетных параметров камеры согласно данным предыдущей задачи.

*Решение.*

*1-я проверка* – соответствие площади лопастей мешалки принятой площади поперечного сечения камеры.



Площадь поперечного сечения камеры, состоящей из двух отделений,

$$F = 2B_0H = 2 \cdot 10,75 \cdot 3,6 = 77,4 \text{ м}^2.$$

Площадь лопастей, находящихся в поперечном сечении обоих отделений камеры (с четырьмя рамами),

$$f_{\text{л}} = 4lb \cdot 4 = 4 \cdot 2,5 \cdot 0,25 \cdot 4 = 10 \text{ м}^2.$$

Отношение площади лопастей к площади поперечного сечения камеры: (10:77,4) 100 ≈ 13% < 15-20%.

2-я проверка – расход мощности для вращения лопастных рам. Относительная, скорость движения лопасти с радиусом вращения  $r_2$  по формуле

$$v = \frac{l \cdot 2 \pi r_2 \alpha}{60}.$$

$$v = \frac{2,5 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 1,65 \cdot 0,75}{60} \approx 0,33 \text{ м/сек.}$$

В данном случае  $l:b=2,5:0,25=10$  и, следовательно,  $\varphi=1,29$ . Тогда расход мощности для вращения четырех лопастных рам, размещенных на одной горизонтальной оси, по формуле Кэмпса составит

$$N=51\varphi f_{\text{л}} v^3$$

$N=51 \cdot 1,29 \cdot 10 \cdot 0,33^3 \approx 23,9$  кгс·м/сек ≈ 0,24 кВт, т.е. менее 0,3 кВт, принятых по расчету.

Так как одновременно действуют два двигателя, то удельный расход мощности на 1 м<sup>3</sup> емкости камеры хлопьеобразования

$$N_{\text{уд}} = \frac{2N}{LB_0H} = \frac{2 \cdot 23,9}{10,8 \cdot 10,75 \cdot 3,6} \approx 0,115 \text{ кгс} \cdot \text{м/сек.}$$

3-я проверка – критерий работы камер с лопастными мешалками по предложенной Кэмпом формуле

$$G = 10 \sqrt{\frac{N_{\text{уд}}}{\mu}},$$

$$G = 10 \sqrt{\frac{0,115}{0,0131}} = 29,6 \text{ сек}^{-1}$$

Безразмерный критерий выразится величиной

$$GT=29,6 \cdot 30 \cdot 60=53280.$$

Безразмерный критерий  $GT$  при продолжительности пребывания воды в камере 30 мин должен быть в пределах 40000–2 100 000 при температуре воды 10°C.

Следовательно, произведенный выше расчет вполне отвечает рекомендуемым значениям критерия, предложенного Кэмпом.

## Занятие 5. Основы расчета надежности систем и сооружений водоснабжения

**Задача.** Определить вероятность безотказной работы  $P(t)$  системы водоснабжения через 100 ч и через 1 год. Интенсивность отказов  $\lambda_c = 5 \cdot 10^{-4}$ , ч<sup>-1</sup>.

Решение:

а)  $t = 100$  ч;  $\lambda t = 5 \cdot 10^{-4} \cdot 100 = 5 \cdot 10^{-2} \ll 1$ ; применяем упрощенную формулу:

$$P(100) = 1 - \lambda t = 1 - 5/100 = 0,95, \text{ или } 95 \%;$$

б)  $t = 1$  год ( $\sim 8000$  ч);  $\lambda t = 5 \cdot 10^{-4} \cdot 8000 = 5 \cdot 10^{-2} \gg 1$ ; упрощенная формула не может быть применена:

$$P(8000) = e^{-\lambda t} = e^{-(5 \cdot 10^{-4} \cdot 8 \cdot 10^3)} = 1/54 = 0,0180, \text{ или } 1,8\%.$$

## Тема 2. Эксплуатация систем и сооружений водоотведения

### Занятие 6. Проверка характеристик канализационных насосных агрегатов в производственных условиях

**Задача.** Определить? какова потеря энергии за сутки эксплуатации канализационного насосного агрегата при регулировании задвижкой насоса, подающего  $Q_R = 0,8$  м<sup>3</sup>/с, при  $\eta_R = 0,73$ , потери напора в задвижке  $h_d = 1,5$  м.

Решение: Теряемая при регулировании мощность

$$\Delta N = 9,81 \cdot Q_R \cdot h_d / \eta_R,$$

где  $h_d$  – напор, теряемый в задвижке;

$\eta_R$  – КПД насоса, соответствующий подаче  $Q_R$ .

$$\Delta N = 9,81 \cdot 0,8 \cdot 1,5 / 0,73 = 16,1 \text{ кВт.}$$

За сутки потеря напора энергии составит  $16,1 \cdot 24 = 386$  кВт·ч.

### Занятие 7. Оценка технологических параметров работы аэротенка в период эксплуатации.

**Задача.** Рассчитать технологические параметры аэротенка-вытеснителя с регенерацией активного ила, применяемого для очистки городских сточных вод, если известно:

- расчетный расход сточных вод  $q_w = 2500$  м<sup>3</sup>/ч;
- концентрация поступающих органических загрязнений в аэротенк  $L_{en} = 370$  мгО/л;
- концентрация органических загрязнений в очищенных стоках  $L_{ex} = 15$  мгО/л;
- доза ила в зоне аэрации  $a_i = 3$  г/л;
- иловый индекс активного ила  $J_i = 100$  см<sup>3</sup>/г;
- среднегодовая температура сточных вод  $T_w = 15^\circ\text{C}$ ;

- средняя концентрация кислорода в аэротенке  $C_0=2$  мг/л.

Решение:

1. Степень рециркуляции активного ила определяется по формуле 52 СНиП 2.04.03-85

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

2. БПК<sub>полн</sub> смеси сточных вод с потоком возвратного активного ила определяется по формуле 51 СНиП 2.04.03-85

$$L_{mix} = \frac{L_{en} + L_{ex} \cdot R_i}{1 + R_i} = \frac{370 + 15 \cdot 0,43}{1 + 0,43} = 263 \text{ мгО/л.}$$

3. Продолжительность обработки воды в аэротенке определяется по формуле 56 СНиП 2.04.03-85

$$t_{at} = \frac{2,5}{\sqrt{a_i}} lq \frac{L_{mix}}{L_{ex}} = \frac{2,5}{\sqrt{3}} lq \frac{263}{15} = 1,8 \text{ ч.}$$

4. Доза ила в регенераторе определяется по формуле 55 СНиП 2.04.03-85

$$a_r = a_i \left( \frac{1}{2R_i} + 1 \right) = 3 \left( \frac{1}{2 \cdot 0,43} + 1 \right) = 6,49 \text{ г/л.}$$

5. Удельная скорость окисления органических веществ в регенераторе определяется по формуле 49 СНиП 2.04.03-85

$$\begin{aligned} \rho &= \rho_{\max} \frac{L_{ex} \cdot C_0}{L_{ex} \cdot C_0 + K_l \cdot C_0 + K_0 \cdot L_{ex}} \cdot \frac{1}{1 + \varphi \cdot a_r} = \\ &= 85 \frac{15 \cdot 2}{15 \cdot 2 + 33 \cdot 2 + 0,625 \cdot 15} \cdot \frac{1}{1 + 0,07 \cdot 6,49} = \\ &= 16,6 \text{ мг БПК}_{\text{полн}} / (\text{г} \cdot \text{ч}), \end{aligned}$$

где  $\rho_{\max}$ ,  $K_l$ ,  $K_0$ ,  $\varphi$  – параметры, принимаемые по табл. 40 СНиП 2.04.03-85 для городских стоков.

6. Продолжительность окисления органических веществ определяется по формуле 54 СНиП 2.04.03-85

$$t_0 = \frac{L_{en} - L_{ex}}{R_i \cdot a_r (1 - S) \rho} = \frac{370 - 15}{0,43 \cdot 6,49 (1 - 0,3) \cdot 16,6} = 10,95 \text{ ч,}$$

где  $S=0,3$  – зольность ила, принимаемая по табл. 40 СНиП 2.04.03-85.

7. Продолжительность регенерации активного ила определяется по формуле 57 СНиП 2.04.03-85

$$t_r = t_0 - t_{at} = 10,95 - 1,8 = 9,15 \text{ ч.}$$

8. Объем аэротенков определяется по формуле 58 СНиП 2.04.03-85

$$W_{at} = t_{at}(1 + R_i)q_w = 1,8(1 + 0,43) \cdot 2500 = 6435 \text{ м}^3.$$

9. Объем регенераторов определяется по формуле 59 СНиП 2.04.03-85

$$W_r = t_r \cdot R_i \cdot q_w = 9,15 \cdot 0,43 \cdot 2500 = 9836 \text{ м}^3.$$

10. Общий объем аэротенков-регенераторов:

$$W = W_{at} + W_r = 6435 + 9836 = 16271 \text{ м}^3.$$

## Занятие 8. Оценка эксплуатационных данных работы метантенка

**Задача.** Оценить эксплуатационные данные о работе метантенков, если доза загрузки равна 11%, влажность загружаемой смеси осадка и ила – 95,5%, зольность – 28%, влажность сброженного осадка – 97,1%, зольность сброженного осадка – 42%. Температура брожения 51,5 °С.

Соотношение загружаемого осадка и ила по беззольному веществу равно 1:1. Газы брожения имеют состав  $\text{CH}_4$ –65 %,  $\text{H}_2$ –0 %,  $\text{CO}_2$ –34 % и  $\text{N}$ –1 %. Выход газа составляет 13 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. В иловой жидкости среднее содержание низших жирных кислот (НЖК) равняется 7,5 мг-экв/л и щелочности – 91 мг-экв/л. Концентрация азота аммонийных солей в иловой воде составляет 845 мг/л.

*Решение.* Метантенки работают в термофильном режиме сбраживания при температуре бродящей массы 51,5 °С, весьма близкой к оптимальной (53 °С). Термофильно сброженные осадки полностью обезврежены в санитарном отношении. Сооружения эксплуатируются в условиях очень низкой для термофильного режима дозы загрузки, составляющей всего 11%, тогда как по нормам проектирования при исходной влажности осадка 95,5 % она может быть принята равной 19 %.

Определим глубину процесса распада органического вещества, для чего выполним ряд предварительных расчетов

Доза  $D_{без}$  составляет

$$D_{без} = 0,11 \cdot 45 (1 - 0,28) = 3,56 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{сут}).$$

В сброженном осадке осталось беззольного вещества:

$$D_{без} = 0,11 \cdot 29,0,58 = 1,85 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{сут}).$$

Распад по беззольному веществу:

$$P_{без} = (D_{без} - D_{сб}) 100/D_{без} = (3,56 - 1,85) 100/3,56 = 48,1\% .$$

Найдем распад по выходу газа. Плотность газов брожения, найденная по справочнику и подсчитанная как среднеарифметическая величина, составляет 1,15 кг/м<sup>3</sup>. При выходе газов 13 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> загружаемого осадка их вес будет: 13·1,15=14,9 кг/м<sup>3</sup> или в расчете на 1 м<sup>3</sup> объема метантенка (что нужно для получения сравнимых величин) 14,9·0,11= 1,64 кг/(м<sup>3</sup>·сут). Распад по газу  $P_r = 1,64 \cdot 100/3,56 = 46,2\%$ .

Предел сбраживания загружаемой смеси (учитывается по выходу газа) при соотношении осадка и ила по беззольному веществу 1:1,  $a_{см} = (53,6 \cdot 1 + 50,5 \cdot 1) / 2 = 52,1 \%$ .

Степень (или глубина) сбраживания осадков, учтенная по выходу газов,  $46,2 \cdot 100 / 52,1 = 89 \%$ .

Из полученных результатов можно сделать следующий вывод. Метантенки работают с низкими дозами загрузки как по объему, так и по беззольному веществу. Вследствие этого получены высокие результаты по степени обработки осадков. Распад по беззольному веществу несколько превышает величину  $P_r$ , что позволяет говорить о практически закончившемся выделении газа (речь идет о таком газовыделении, которое проходит со скоростями, приемлемыми в техническом отношении). Глубина сбраживания осадка составляет 89%, т.е. до теоретически возможного выхода остается недополученным лишь 11 % количества газа. Состав газов брожения и иловой воды свидетельствует о стабильно идущем процессе брожения.

Интересно сравнить также результаты, полученные в процессе эксплуатации, с данными СНиП 2.04.03–85. Согласно этим СНиП, при влажности сырых осадков 95,5 % и  $K_r = 0,27$  ожидаемый распад беззольного вещества, учитываемый по выходу газа, должен составить:

$$U = P_r - (a_{см} - K_r D) / 100 = 52,1 \cdot 0,27 \cdot 11 = 49,03\%.$$

В нашем случае в натуре мы получили  $P_r = 46,2 \%$ , т.е. результат, близкий к тому, который по требованиям СНиП следовало бы получить при  $D = 11 \%$ . Это означает, что при той же степени сбраживания метантенки могли бы обработать осадка больше, чем обработано, т.е. метантенки заметно недогружены.

## Занятие 9. Оценка эксплуатационных данных работы вакуум-фильтра

**Задача.** Проанализировать данные о работе вакуум-фильтра БОУ-40, если за 2500 ч его эксплуатации на промывку было подано 80 тыс.  $m^3$  осадков влажностью 96,8 %, получено после промывки 42 тыс.  $m^3$  осадков влажностью 95 % и получено обезвоженного осадка 12,65 тыс.  $m^3$  влажностью 80 %. Используются реагенты: хлорное железо с дозой 4 % и гашеная известь с дозой 25 % по товарным продуктам. Удельный расход промывной воды составил 3  $m^3/m^3$ .

*Решение.* Выполним предварительные расчеты. Сухого вещества подано на промывку  $80 \cdot 32 = 2560$  т. Получено сухого вещества после промывки и уплотнения  $42 \cdot 50 = 2100$  т. Потеря сухого вещества осадка со сливной водой составила  $2560 - 2100 = 460$  т.

В уплотнитель было подано смеси по объему (при удельном расходе промывной воды 4  $m^3/m^3$ )  $80 \cdot 4 = 320$  тыс.  $m^3$ . Если удалено в виде осадка 42 тыс.  $m^3$ , то объем сливной воды составил  $320 - 42 = 278$  тыс.  $m^3$ . Концентрация взвешенных веществ в сливной воде  $460 / 278 = 1654$  т/тыс.  $m^3 = 1654$  мг/л.

По сухому веществу подано реагентов хлорного железа  $2100 \cdot 0,04 = 84$  т; гашеной извести  $2100 \cdot 0,25 = 525$  т; всего реагентов  $84 + 525 = 609$  т.

Значительная часть добавляемых реагентов оказывается в воде в нерастворенном виде. Это – образующийся гидроксид железа, практически нерастворимый в воде, до 80 % добавляемой извести, в силу малой ее растворимости, и до 5–10 % инородных веществ. Учет всех этих компонентов прямым способом может быть выполнен лишь ориентировочно, но даже такой подсчет показывает, что к сухому веществу осадков по массе добавляется реагентов до 70–80 %. Более определенный ответ на этот вопрос можно получить иным путем, при условии достаточно точно налаженного учета объемов осадков и проведения лабораторного контроля качества осадков. Осадок влажностью 80 % еще не рассыпается, он имеет полугустую консистенцию; для такого осадка можно рассчитать количество сухого вещества исходя из данных по объему и влажности осадка.

Получено сухого вещества после фильтрации  $12,65 - 200 = 2530$  т. Поскольку в осадке сухого вещества было 2100 т, то дополнительные 430 т могут быть отнесены за счет реагентов. К сожалению, в отчетных данных не приведены показатели зольности осадков до и после фильтрации. Столь значительная добавка реагентов должна была повысить зольность осадка на 3–5 %.

Производительность вакуум-фильтра по сухому веществу при площади поверхности фильтра  $40 \text{ м}^2$  с учетом реагентов составит:  $2530000 / (2500 - 40) = 25,3 \text{ кг}/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$ , а без учета реагентов –  $21 \text{ кг}/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$ .

Оценивая полученные результаты, можно отметить, что при вакуум-фильтрации получен осадок удовлетворительного качества по влажности. Производительность аппарата находится в пределах рекомендуемых норм. На обработку осадков затрачено большое количество реагентов, в общей сложности порядка 30 % по массе от массы сухого вещества осадков. Велика потеря сухого вещества осадков (до 20 %) при их промывке и уплотнении. Сливная вода из илоуплотнителя имеет очень высокую концентрацию загрязнений и должна быть в силу этого дополнительно обработана. Добавка этой воды в первичные отстойники заметно отражается на работе последних.

При фильтрации образуется большой объем фильтрата. В нашем примере объем фильтрата составляет более 31 тыс.  $\text{м}^3$  с учетом воды растворов реагентов. Поскольку фильтрат направляется в уплотнитель, то общее количество сливной воды будет больше, чем это определено первичным расчетом. При фильтрации изменяются физико-химические свойства осадков, в них заметно увеличивается доля зольных элементов.

## 2. ЗАДАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Тема 1. Реконструкция систем и сооружений водоотведения

Занятие 1. Проверка характеристик водопроводных насосных агрегатов в производственных условиях

**Задача.** Центробежный насос (рис. 4) подает воду с температурой  $t=15^{\circ}\text{C}$  в бак по новой стальной бесшовной трубе диаметром  $d=125$  мм и длиной  $l_n=27$  м при геометрической высоте нагнетания  $h_n=20$  м. Длина всасывающего трубопровода  $l_в=5$  м при геометрической высоте всасывания  $h_в=3$  м. Насос развивает напор  $H=27$  м. Коэффициенты местных сопротивлений в поворотах  $\zeta_{пов}=0,25$ , в приемном клапане  $\zeta_{пр.кл}=6$ . Определить подачу насоса  $Q$ .

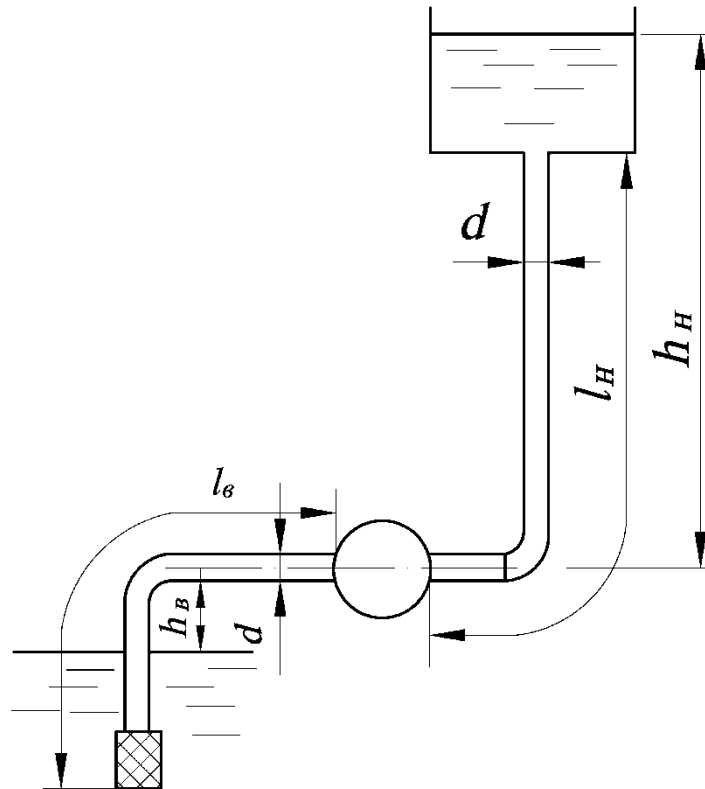


Рис. 4. Схема работы центробежного насоса

Занятие 2. Эксплуатация водопроводных трубопроводов

**Задача.** Вода из водонапорной башни высотой  $H = 15$  м подается по асбестоцементному горизонтальному трубопроводу диаметром условного прохода  $D = 150$  мм на расстояние  $l = 1,5$  км. Определить: а) на какую высоту  $h$  в конце трубопровода будет подаваться вода при расходе  $Q = 16$  л/с; б) какой расход  $Q$  будет в конце трубопровода на высоте  $h = 7$  м.

### Занятие 3. Определение параметров работы камеры хлопьеобразования

**Задача.** Рассчитать работу вращательно движущейся лопасти в жидкой среде при эксплуатации камеры хлопьеобразования (рис. 5). Глубина воды в камере  $H=5$  м. Ширина каждого из двух отделений камеры  $B_0=12$  м.

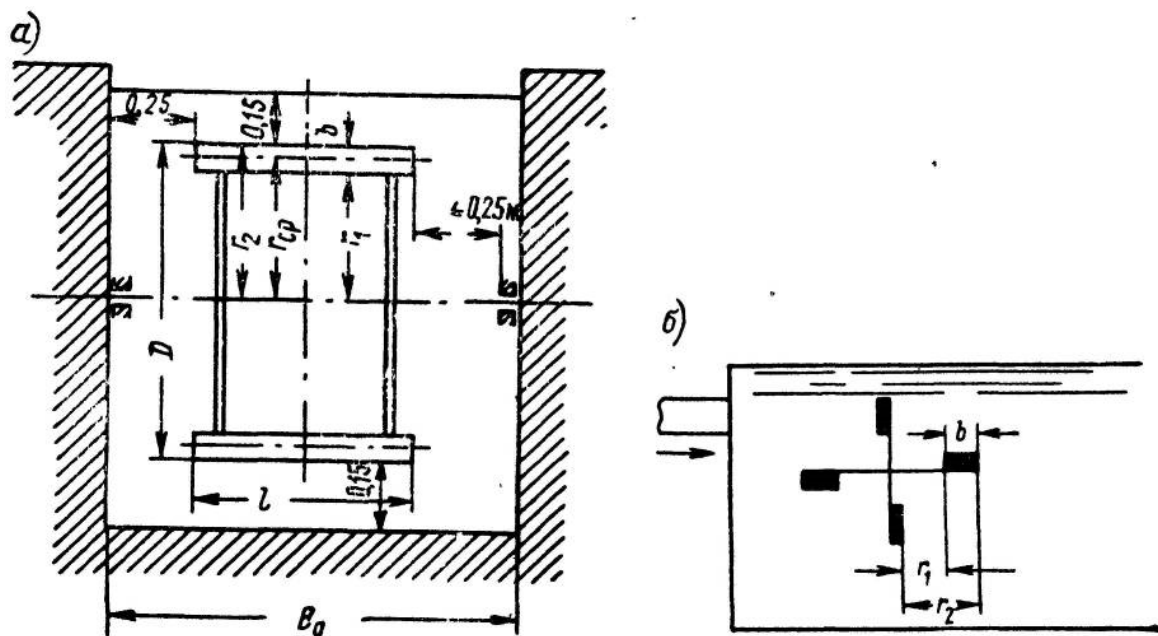


Рис. 5. К расчету лопастной камеры хлопьеобразования:  
а – рама лопастной мешалки; б – схема размещения четырехлопастной вращающейся рамы в камере хлопьеобразования

### Занятие 4. Проверка по формулам Кэмпа правильности выбора размеров и расчетных параметров камеры хлопьеобразования

**Задача.** Проверить по формулам Кэмпа правильность выбранных размеров и расчетных параметров камеры согласно данным предыдущей задачи.

### Занятие 5. Основы расчета надежности систем и сооружений водоснабжения.

**Задача.** Определить суммарное значение интенсивности сказов  $\lambda_c$  системы водоснабжения (рис. 6) и вероятности безотказной работы через 100, 1000, 2000, 4000, 8000 ч непрерывной работы.



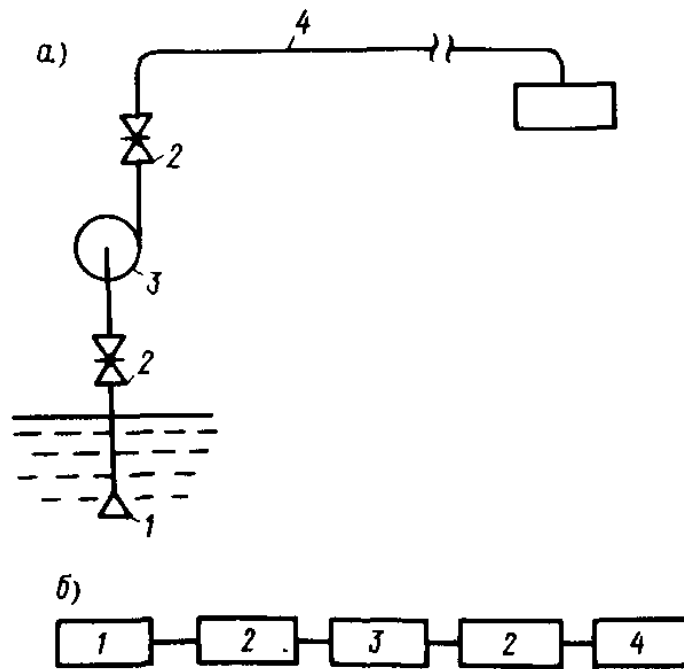


Рис. 6 Расчетная схема по определению  $P(t)$ :

$a$  – принципиальная схема системы;  $b$  – структурная схема системы;  
 $1$  – приемный клапан;  $2$  – задвижки,  $d = 250$  мм;  $3$  – насос;  $4$  – водовод,  $L = 500$  м

## Тема 2. Эксплуатация систем и сооружений водоотведения

### Занятие 6. Проверка характеристик канализационных насосных агрегатов в производственных условиях

**Задача.** Определить, с какой мощностью  $N$  и с какой частотой вращения  $n$  работает установленный электрический двигатель, если производительность насоса  $Q = 300$  м<sup>3</sup>/ч при напоре  $H = 50$  м вод.ст.; частота вращения  $n = 900$  об/мин; КПД насосной установки с учетом всех потерь  $\eta = 0,65$ .

### Занятие 7. Оценка технологических параметров работы аэротенка в период эксплуатации

**Задача.** Рассчитать технологические параметры аэротенка-вытеснителя без регенерации активного ила, применяемого для очистки городских сточных вод, если известно:

- расчетный расход сточных вод  $q_w = 1500$  м<sup>3</sup>/ч;
- концентрация поступающих органических загрязнений в аэротенк  $L_{en} = 150$  мгО/л;
- концентрация органических загрязнений в очищенных стоках  $L_{ex} = 15$  мгО/л;
- доза ила в аэротенке  $a_i = 2$  г/л;
- иловый индекс активного ила  $J_i = 100$  см<sup>3</sup>/г;
- среднегодовая температура сточных вод  $T_w = 14$  °С;
- средняя концентрация кислорода в аэротенке  $C_0 = 2$  мг/л.

## Занятие 8. Оценка эксплуатационных данных работы метантенка

**Задача.** Оценить работу метантенков, если анализ иловой жидкости дал результаты по содержанию жирных кислот в одном метантенке 33 мг-экв/л и щелочности 42 мг-экв/л, а в другом – соответственно 8 и 92 мг-экв/л. Газы брожения в первом метантенке имеют состав  $\text{CH}_4$  – 25 %,  $\text{H}_2$  – 29 %,  $\text{CO}_2$  – 45%, N – 1 %, а во втором – соответственно 65, 1, 33 и 1 %.

## Занятие 9. Оценка эксплуатационных данных работы вакуум-фильтра

**Задача.** Проанализировать данные о работе вакуум-фильтра БГН-50, если за 2000 ч его эксплуатации на промывку было подано 60 тыс. м<sup>3</sup> осадков влажностью 90,3 %, получено после промывки 42 тыс. м<sup>3</sup> осадков влажностью 89 % и получено обезвоженного осадка 11,37 тыс. м<sup>3</sup> влажностью 75 %. Используются реагенты: хлорное железо с дозой 5 % и гашеная известь с дозой 20 % по товарным продуктам. Удельный расход промывной воды составил 4 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Павлинова, И.И. Водоснабжение и водоотведение: учебник для бакалавров [Текст] / И.И. Павлинова, В.И. Баженов, И.Г. Губий. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2015.
2. Абрамов, Н.Н. Водоснабжение [Текст]: учебник для вузов / Н.Н. Абрамов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Интеграл, 2014.
3. Орлов, В.А. Водоснабжение [Текст]: учебник / В.А. Орлов, Л.А. Квитка. – М.: ИНФРА-М, 2015.
4. Фрог, Б.Н. Водоподготовка [Текст]: учебник для вузов / Б.Н. Фрог, А.Г. Первов. – М.: АСВ, 2014.
5. Воронов, Ю.В. Водоотведение [Текст]: учебное издание / Ю.В. Воронов, Е.В. Алексеев, Е.А. Пугачев. – М.: АСВ, 2014.
6. Жмаков Г.Н. Эксплуатация оборудования и систем водоснабжения и водоотведения [Текст] / Г.Н. Жмаков. – М.: ИНФРА, 2005.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
1. ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ .....	5
2. ЗАДАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ .....	15
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	19

Учебное издание

Сафронов Максим Александрович

### ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ И СООРУЖЕНИЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

Методические указания  
к практическим работам  
по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство»

Редактор        Н.Ю. Шалимова  
Верстка        Н.В. Кучина

---

Подписано в печать 14.09.2016.    Формат 60x84/16.  
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.  
Усл.печ.л. 1,16.    Уч.-изд.л. 1,25.    Тираж 80 экз.  
Заказ № 579.

---

Издательство ПГУАС.  
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28.