МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра водоснабжения и водоотведения

РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

Методические указания к практическим занятиям
для студентов направления 270800.62 «Строительство»,
профиль «Водоснабжение и водоотведение»

Казань
2014

УДК 628
ББК 38.76
Б92

Б92 Реконструкция систем водоснабжения и водоотведения: Методические указания к практическим занятиям для студентов направления 270800.62 «Строительство», профиль «Водоснабжение и водоотведение» / Сост.: А.В. Бусарев, А.С. Селюгин. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та, 2014. – 41 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

В методических указаниях приведены материалы практических занятий студентов направления 270800.62 «Строительство», профиль «Водоснабжение и водоотведение» дневной и заочной форм обучения по дисциплине «Реконструкция систем водоснабжения и водоотведения».

Рецензент
Доцент кафедры теплоэнергетики Казанского государственного архитектурно-строительного университета
В.Н. Енюшин

УДК 628
БКК 38.76

© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2014

© Бусарев А.В., Селюгин А.С., 2014

Введение

Целью практических занятий студентов по дисциплине «Реконструкция систем водоснабжения и водоотведения» является освоение методов реконструкции сооружений водоснабжения и водоотведения (ВиВ) путем решения практических задач по совершенствованию водоводов и водопроводных сетей, канализационных и водопроводных насосных станций, станций подготовки природных вод, сооружений механической и биологической очистки сточных вод.

Данные методические указания предназначены для студентов направления 270800.62 «Строительство», профиль «Водоснабжение и водоотведение» дневной и заочной формы обучения.

Занятие № 1

Реконструкция водоводов и водопроводных сетей. Повышение пропускной способности и надежности водоводов

Необходимость реконструкции водопроводных сетей возникает вследствие того, что фактические условия их работы с течением времени начинают отличаться от проектных. Чаще всего отдельные линии или вся сеть работают с гидравлической перегрузкой, что вызывает дополнительные потери напора и недостачу его у потребителей. Появляется необходимость в установке насосных станций подкачки и т.п. Периодическая реконструкция водопроводных сетей вполне закономерна, так как нормальное развитие (укрупнение) населенного пункта периодически требует развития водопроводных сетей.

Перед началом реконструкции водопроводных сетей работа сети тщательно изучается, проводится манометрическая съемка, определяются фактические гидравлические сопротивления трубопроводов разных диаметров, затем выполняется гидравлический расчет кольцевой сети на ПЭВМ для характерных режимов ее работы, анализируются результаты и намечаются пути реконструкции [1].

Для обеспечения требуемой надежности работы водовода при аварии на нем устанавливают переключения, позволяющие исключить из работы аварийный участок. Если водовод, подающий воду в резервуар (башню), состоит из линий одинакового диаметра и длины, то количество переключений n, шт. рассчитывается по формуле [1]:

$$n = \frac{\varepsilon^2 (2m-1) S_{\text{в}}}{(1-\varepsilon^2)(m-1)^2 (S_{\text{ф}} + S_к + S_в)} \qquad (1.1)$$

где ε – коэффициент допустимого снижения подачи воды при аварии; $S_в$ и $S_к$ – сопротивление, соответственно, водовода и коммуникаций насосной

станции, $(с/м^3)^2$ ·м; $S_ф$ – параметр в формуле, описывающей зависимость Q-H насоса; m – количество линий водоводов, шт.

Сопротивление водовода $Sв$, $(с/м^3)^2$·м рассчитывается по формуле [1]:

$$S_в = AL / m^2 , \tag{1.2}$$

где A – удельное сопротивление труб водовода, м/м; L – длина каждой линии водовода, м.

Коэффициент ε зависит от минимального допускаемого расхода воды при аварии, который определяется из условий подачи воды на хозяйственно-питьевые нужды не менее 70% расчетной потребности, а на производственные нужды – по аварийному графику. Величина ε рассчитывается по формуле [1]:

$$\varepsilon = \frac{Q_{авар}}{Q_н} \tag{1.3}$$

где $Q_н$ – расход воды по водоводу при нормальной работе, $м^3/с$.

Переключения на водоводах необходимы лишь в том случае, если n>0. При подаче воды по водоводам из напорного резервуара $S_ф$= 0 и $S_к$= 0. В этом случае имеем [1]:

$$n = \frac{\varepsilon^2 (m-1)}{(1-\varepsilon^2)(m-1)^2} \tag{1.4}$$

Для этого случая число переключений на водоводе зависит не от сопротивления водовода (его длины и диаметра), а лишь от числа линий водовода m и принятого коэффициента ε. При назначенном числе переключений n этот коэффициент рассчитывается по формулам [1]:

– для всасывающего трубопровода:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{(n+1)(m-1)^2 (S_ф + S_к + S_в)}{(2m-1)S_в + (n+1)(m-1)^2 (S_ф + S_к + S_в)}} \tag{1.5}$$

– для напорного водовода:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{(n+1)(m-1)^2}{(2m-1) + (n+1)(m-1)^2}} \tag{1.6}$$

Если водовод состоит из линий различного диаметра или длины, то максимальное расстояние между переключениями l, м рассчитывается по формуле [1]:

$$l = \sqrt{\frac{(n-\varepsilon^2)(S_ф + S_к + S_в)}{\varepsilon^2 (A_{ВА} - A_B)}} \tag{1.7}$$

где $Aв$ – удельное сопротивление водовода из n линий при нормальной работе, $(с/м^3)^2$·м; A_{BA} – то же при выключении одной линии между переключениями на ремонт, $(с/м^3)^2$·м.

Значения A_B и A_{BA} , (с/м^3)^2·м рассчитываются по формулам [1]:

$$A_B = 1/\left(\sum_{i=1}^{m}\frac{1}{\mathrm{A_i}}\right)^2 \tag{1.8}$$

$$A_{BA} = 1/\left(\sum_{i=1}^{m}\frac{1}{\sqrt{\mathrm{A_i}}} - \frac{1}{\sqrt{A_к}}\right)^2 \tag{1.9}$$

где A_i – удельное сопротивление каждой из линий водовода, (с/м^3)^2·м; $\mathrm{A_к}$ – наименьшее удельное сопротивление линий водовода с наибольшим диаметром труб, (с/м^3)^2·м.

При проектировании реконструируемых систем водоснабжения приходится решать задачу увеличения подачи воды по водоводу. Это возможно осуществить следующими способами [1]:

– установкой более мощного насоса или включением в параллельную работу дополнительного однотипного насосного оборудования;

– уменьшением сопротивления водовода за счет дополнительной прокладки еще одной линии водовода;

– совмещением первого и второго способов.

При первом способе определяют расчетные параметры насосного оборудования (расход и напор) [1]:

$$Q_{\text{ну}} = \varphi Q_{\text{н}}\ ; \tag{1.10}$$

$$H = H_г + Q_{\text{ну}}(Sв + Sк) \tag{1.11}$$

где $Q_{ну}$ – увеличенный расход воды, м^3/с; φ – коэффициент увеличения расхода воды по водоводу (φ> 1); $Q_н$ – расход воды, ранее пропускавшийся по водоводу, м^3/с; $H_г$ – геометрическая высота водоподъема, измеряемая между уровнями воды в приемном и аккумулирующем резервуарах, м; *Sв* и *Sк* – сопротивления в коммуникациях насосной станции и водоводах, (с/м^3)^2·м.

Величина S_B (с/м^3)^2·м рассчитывается по формуле [1]:

$$S_{\text{B}} = 1/\left(\sum_{i=1}^{m}\frac{1}{\sqrt{\mathrm{S_I}}}\right)^2 \tag{1.12}$$

где *m* – количество линий водовода.

При втором способе увеличения подачи воды задача сводится к определению длины или диаметра дополнительно прокладываемой линии. Если дополнительно прокладываемый трубопровод имеет такую же длину, как и существующие водоводы, то сначала определяют его сопротивление, а затем по таблицам [2] находят соответствующий ему диаметр.

Сопротивление дополнительно прокладываемой линии S_i (с/м^3)^2·м рассчитывается по формуле [1]:

$$S_i = \left(\frac{\left(S_B \sqrt{S_{BY}}\right) + S_{BY} \sqrt{S_B}}{S_B - S_{BY}} \right)^2 , \qquad (1.13)$$

где S_{BY} – сопротивление усиленного водовода, (с/м^3)^2 ·м.

Величина S_{BY} (с/м^3)^2 ·м рассчитывается по формуле [1]:

$$S_{BY} = \frac{S_B - (\varphi^2 - 1)(S_\Phi + S_K)}{\varphi^2} , \qquad (1.14)$$

где S_Φ – параметр в формуле (1.1).

Если известно удельное сопротивление дополнительно прокладываемой линии A_1, то требуемую длину этой линии *l,* м, (l < L) при условии обеспечения подачи увеличенного расхода воды Q_{HY} существующим насосом рассчитывают по формуле [1]:

$$l = \frac{(S_B - S_{BY})(A_B + 2\sqrt{A_1} A_B + A_1)}{A_B (A_B + 2\sqrt{A_1 A_B}} \qquad (1.15)$$

Если водовод из двух линий одинакового диаметра и длины усиливают трубопроводом с таким же удельным сопротивлением $A_1 = m^2 \cdot A_B$, то длина данного трубопровода рассчитывается по формуле [1]:

$$l = \frac{7{,}2(S_B - S_{BY})}{A_1} = \frac{1{,}8(S_B - S_{BY})}{A_B} \qquad (1.16)$$

В случае подачи увеличенного расхода воды потребителям путем установки более мощного насоса или большего количества насосов с известными характеристиками H-Q и прокладки дополнительной линии, сопротивление которой требуется определить, сначала вычисляют расчетное сопротивление усиленного водовода по формуле [1]:

$$S_{BY} = \frac{S_B - \Delta H / Q_H^2 + S_\Phi - \varphi^2 S_\Phi^1 - S_K (\varphi^2 - 1)}{\varphi^2} \qquad (1.17)$$

где $\Delta H = H_\Phi - H_{CP}$ – увеличение напора, развиваемого более мощным насосом, м.

Далее определяется сопротивление дополнительно прокладываемой линии по формуле (1.13) и длина этой линии, проверяется возможность подачи расчетного расхода воды существующим насосом. Это требование будет выполнено, если фактическое сопротивление водовода, вычисленное

по формуле (1.12) не будет превышать расчетного, определяемого по формуле (1.14).

Задача № 1

Определить расход воды на производственные нужды промпредприятия при аварии, если расход воды по водоводам в нормальных условиях равен 1,2 $м^3/с$. На водоводах, подающих техническую воду на промпредприятия имеется четыре переключения, а число водоводов, по которым подается эта вода, равно двум.

Задача № 2

Подача водопроводной насосной станции второго подъема ВНС-II составляет 240000 $м^3/сут$. Рассчитать параметры данной насосной станции после реконструкции, если коэффициент увеличения расхода равен 1,5; геометрическая высота подъема воды составляет 25 м, сопротивление водовода достигает 156,75 $(с/м^3)^2 \cdot м$, а сопротивление коммуникаций ВНС-II – 3,5 $(с/м^3)^2$.

Занятие № 2

Реконструкция насосных станций для перекачки природных и сточных вод

Водопроводные насосные станции первого подъема (ВНС-I) забирают воду из источников водоснабжения (подземных и поверхностных) и подают ее на водопроводные очистные сооружения (ВОС) или непосредственно потребителям.

При заборе воды из подземных источников (скважин или трубчатых колодцев) со временем наблюдается снижение расходов воды, поступающих на ВНС-I, что вызвано увеличением сопротивления в водоносных горизонтах. Это, в свою очередь, требует изменения Q-H характеристики насосов, установленных на данных насосных станциях. Одним из способов решения этой задачи является переход на забор воды из скважин без использования водоподъемных труб.

При значительном снижении дебета скважины возникает необходимость в замене погружного насоса. В этом случае применяется насос меньшей производительности, а значит меньшего диаметра. Такой насос оборудуется специальным кожухом, позволяющим не только разместить его в обсадной трубе, но и служащим для охлаждения электродвигателя, обтекающим его потоком воды [1].

При заборе воды из поверхностных источников за счет изменения уровня воды в них, может измениться Q-H характеристика напорных водоводов за счет изменения геометрической высоты подъема воды. В этом случае необходимо регулировать работу насосов, установленных на ВНС-I. Наиболее перспективный метод регулирования – изменение частоты вращения насоса с помощью частотных преобразователей [3].

При модернизации и интенсификации работы ВОС с целью увеличения их производительности возникает необходимость подачи большего количества воды потребителю. Для этого необходима реконструкция водопроводных насосных станций второго подъема, которые подают воду из резервуаров чистой воды (РЧВ) в систему водоснабжения населенных пунктов. Такая реконструкция осуществляется путем замены насосного оборудования на более мощное или путем установки на существующих ВНС-II дополнительных насосов.

Важным фактором при реконструкции ВНС-II является экономия электроэнергии на ВНС-II. Одним из путей такой экономии является подача воды питьевого качества потребителю с постоянным напором. Такой режим подачи воды также может обеспечить регулирование насосов, установленных на ВНС-II [1].

Необходимость в реконструкции канализационных насосных станций (КНС) возникает при изменении графика притока сточных вод и их количества, а также при изменении гидравлических характеристик напорных водоводов. Обычно возникает необходимость увеличить производительность КНС и ее требуемый напор. Наиболее простым решением может быть установка дополнительных рабочих насосов или замена существующих насосов на более мощные. В обоих случаях может возникнуть необходимость в увеличении мощности трансформаторов. При реконструкции КНС могут использоваться центробежные насосы с «сухой» установкой или погружные насосы. Наименее затратный метод реконструкции – это сохранение отечественных насосов «сухой» установки. В этом случае оптимизация режимной точки достигается путем обточки рабочего колеса или регулированием работы насосов, установленных на КНС [3].

Расчеты, необходимые при реконструкции насосных станций, производятся по рекомендациям [4; 5]. Принимается число рабочих насосов $n_р$, шт. Расход воды через всасывающий трубопровод $q_{вс}$, м^3/с рассчитывается по формуле:

– для КНС [4] $$q_{вс} = \frac{q_{н.с.}}{n_р}, \qquad (2.1)$$

где $q_{н.с.}$ – требуемая подача насосной станции, м^3/с;

– ВНС-II [5] $$q_{вс} = \frac{q_{н.с.}}{n_{вс}}, \quad (2.2)$$

где $n_{вс}$ – число всасывающих трубопроводов, шт.

Диаметр всасывающего трубопровода $d_{вс}$, мм рассчитывается по формуле [4; 5]:

$$d_{вс} = \sqrt{\frac{4q_{вс}}{\pi \cdot v_{вс}}}, \quad (2.3)$$

где $v_{вс}$ = 1–1,5 м/с – скорость движения воды во всасывающем трубопроводе [4; 5].

Потери напора во всасывающих трубопроводах ВНС-II $h_{вс}$, м рассчитываются по формуле [5]:

$$h_{вс} = 1{,}1 \cdot i_{вс} \cdot l_{вс}, \quad (2.4)$$

где $i_{вс}$ – гидравлический уклон всасывающих трубопроводов [2]; $l_{вс}$ – длина всасывающего трубопровода, м.

Расход воды в напорном водоводе $q_н$, м^3/с рассчитывается по формуле [4; 5]:

$$q_н = \frac{q_{н.с.}}{n_н}, \quad (2.5)$$

где $n_н$ – число напорных водоводов, шт.

Диаметр напорного водовода, мм рассчитывается по формуле [4; 5]:

$$d_н = \sqrt{\frac{4q_н}{\pi \cdot v_н}}, \quad (2.6)$$

где $v_н$=1–2 м/с – скорость движения воды в напорном водоводе [4; 5].

Диаметр напорного трубопровода внутри насосной станции обычно принимается равным диаметру напорных водоводов. Изготавливается он из стальных труб [4; 5]. Напорные водоводы КНС изготавливаются обычно из неметаллических труб [3]. Напорные водоводы ВНС-II изготавливаются из неметаллических труб, а также из стальных и чугунных труб [4; 5].

Потери напора в напорных водоводах $h_н$, м рассчитываются по формуле [4; 5]:

$$h_н = 1{,}1 \cdot i_н \cdot l_н \ , \qquad (2.7)$$

где $i_н$ – гидравлический уклон напорных водоводов [2; 6]; $l_н$ – длина напорных водоводов, м.

Требуемый напор для КНС $H_{тр}$, м, рассчитывается по формуле [4]:

$$H_{тр} = Z_2 - Z_1 + h_н + H_{н.с.} + h_{изл} \ , \qquad (2.8)$$

где Z_2 – отметка поверхности воды в приемной камере очистных сооружений, м; Z_1 – отметка поверхности воды в приемном резервуаре КНС, м; $H_{н.с.}$ =1,5÷2,5 м – потери напора в коммуникациях насосной станции [4; 5]; $h_{изл}$=1÷1,5 м – запас напора на излив.

Величина Z_1, м рассчитывается по формуле [4]:

$$Z_1 = Z_3 - a \ , \qquad (2.9)$$

где Z_3 – отметка дна лотка подводящего коллектора, м; a=1–1,5 м [4].

Требуемый напор для ВНС-II $H_{тр}$, м рассчитывается по формуле [5]:

$$H = Z_5 + Z_4 + h_{вс} + h_н + H_б + h_б + H_{н.с.} \ , \qquad (2.10)$$

где Z_5 – отметка земли в точке водопотребления (у водонапорной башни); Z_4 – отметка воды в резервуаре чистой воды, м; $H_б$ – высота водонапорной башни, м; $h_б$ – высота бака водонапорной башни, м.

Величина Z_4, м рассчитывается по формуле [5]:

$$Z_4 = Z_6 + 0{,}5 \ , \qquad (2.11)$$

где Z_6 – отметка дна резервуара чистой воды, м.

Подача одного насоса $q_{1Н}$, м^3/с рассчитывается по формуле [4; 5]:

$$q_{1н} = \frac{q_{н.с.}}{n_р} \cdot k_i \ , \qquad (2.12)$$

где k_i – коэффициент параллельности работы i-ого насоса [4; 5].

По подаче одного насоса к требуемому напору подбирается марка насоса, устанавливаемого в реконструируемой насосной станции.

Задача № 1

Предложить вариант реконструкции КНС, предназначенной для перекачки хозяйственно-бытовых стоков. Производительность КНС

должна увеличиться с 900 м^3/ч до 1200 м^3/ч. Отметка поверхности воды в приемной камере очистных сооружений составляет 129,18 м, а отметка дна лотка коллектора, подводящего воду к КНС – 70,35 м.

Задача № 2

Предложить вариант реконструкции ВНС-II. Производительность ВНС-II должна увеличиться с 1200 м^3/ч до 1600 м^3/ч . Отметка земли в точке водопотребления – 211,75 м, высота водонапорной башни – 15 м, а высота бака водонапорной башни – 3 м.

Занятие № 3

Выбор технологической схемы очистки питьевой воды при увеличении расхода или ухудшении качества воды в источнике

При увеличении производительности станций водоподготовки необходимо увеличить количество установок, осуществляющих подготовку воды. Это требует значительных капитальных вложений. Кроме того, увеличения числа работающих аппаратов необходимо осуществлять по всей технологической цепочке водоподготовки. Кроме экстенсивного пути реконструкции увеличение производительности водопроводных очистных сооружений возможно за счет использования интенсивных технологий. Применение новейших технологий водоподготовки, кроме увеличения производительности водопроводных очистных сооружений (ВОС), ведет тоже к улучшению качества очищаемой воды, повышению экономической эффективности (снижения эксплуатационных затрат, экономии реагентов, материалов и электроэнергии) [1].

При реконструкции существующих ВОС могут быть внедрены следующие инновационные технологические схемы [1].

При реагентной обработке мутных, цветных вод с использованием отстойников или осветлителей со взвешенным слоем осадка, последующим фильтрованием и обеззараживанием может быть дополнительно применено озонирование перед подачей воды в скорые фильтры с зернистой загрузкой.

При очистке маломутных цветных вод может быть применено первичное озонирование с целью достижения эффекта флокуляции и для окисления органических соединений перед традиционными сооружениями (микрофильтры, фильтры с зернистой загрузкой), а также вторичное озонирование для дезинфекции и дезодорации воды. В южных регионах страны в технологическую схему очистки этих природных вод могут быть включены биореакторы с прикрепленной микрофлорой, образующейся в

результате жизнедеятельности микроорганизмов при аэрации природной воды и ее биофильтрации через специальные насадки.

Опыт работы по удалению из воды антропогенных загрязнений, которые из-за их малой концентрации удаляются обычно на стадии глубокой очистки, показал, что полярные и гидратированные органические вещества (например, фенолы) легче поддаются деструкции озоном, а неполярные (например, углеводороды) лучше извлекаются с помощью сорбции.

Перед вторичным озонированием или сорбцией следует удалить вначале грубодисперсные примеси методом отстаивания, фильтрования или контактного осветления во взвешенном слое осадка.

Очистку методом сорбции следует осуществлять путем фильтрования воды через слой гранулированных активированных древесных углей [1]. Вследствие присутствия в воде различных загрязнений, высокий эффект очистки может быть достигнут лишь при совместном использовании двух или трех типов сорбентов, загруженных в один фильтр [1].

Адсорбционный фильтр представляет собой колонку с неподвижным слоем сорбента, через который фильтруется вода. Крупность зерен сорбента не превышает 0,8–5 мм, а скорость фильтрования находится в пределах 1–12 м/ч [7].

Направления движения воды при ее очистке в адсорбционных фильтрах принимается как сверху вниз, так и снизу вверх. При фильтровании снизу вверх происходит равномерное распределение воды по сечению фильтров, однако в этом случае адсорбционные фильтры имеют значительно более сложную конструкцию, так как в них необходимо предотвращать вынос сорбента с очищенной водой [7].

Адсорбционные фильтры могут работать в напорном (под избыточном давлением) и в безнапорном (со свободной поверхностью воды) режимах. Регенерация загрузки адсорбционных фильтров обычно не предусматривается. Отработанный сорбент после истечения определенного времени выгружается из фильтров, высушивается и вывозится на утилизацию. Площадь адсорбционных фильтров $F_{ад}$, м^2 рассчитывается по формуле [7]:

$$F_{ад} = \frac{Q_p}{v_ф^{ад}}, \qquad (3.1)$$

где Q_p – расчетный расход воды, поступающий на очистку, м^3/ч;

$v_ф^{ад}$ – скорость фильтрования в адсорбционных фильтрах, м/ч.

Число рабочих адсорбционных фильтров при производительности ВОС до 1600 м^3/сут. должно быть не менее четырех. При большей

производительности число рабочих фильтров $N_{ад.ф.}$, шт. рассчитывается по формуле [8]:

$$N_{ад.ф.} = \sqrt{\frac{F_{ад}}{2}}. \qquad (3.2)$$

Если принят один рабочий адсорбционный фильтр, на станции подготовки воды должен устанавливаться один резервный [8]. Схема загрузки адсорбционного фильтра с учетом рекомендаций [7; 8] приведена на рис. 3.1.

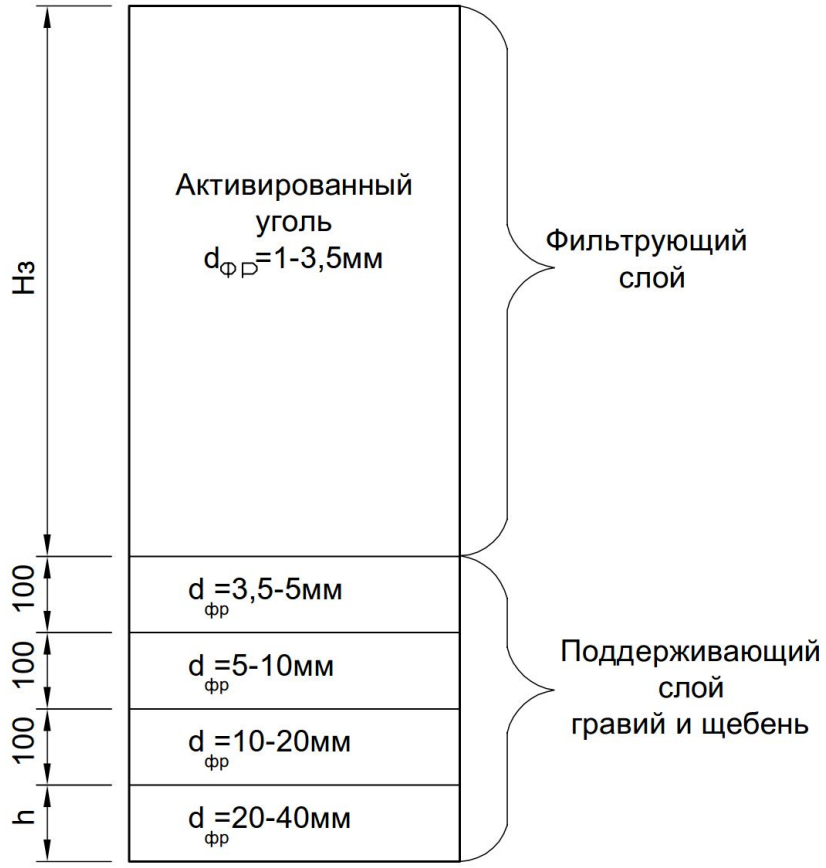

Рис. 3.1. Схема загрузки адсорбционного фильтра

Величина h зависит от диаметра водоотводящей системы [3]. Высота слоя сорбента $H_з$, м рассчитывается по формуле [7]:

$$H_з = \frac{(C_н - C_к)\cdot Q_р \cdot T}{F_{ад}\cdot \gamma}\left(\frac{1}{K\cdot a_{\max}} + \frac{1}{a_{\min}}\right) + H_р, \qquad (3.3)$$

где $C_н$ – концентрация загрязнений в воде, поступающей на очистку, мг/л; $C_к$ – концентрация загрязнений в очищенной воде, мг/л; T – время работы адсорбционного фильтра, ч; γ – насыпная плотность сорбента, г/м^3, [9];

K = 0,6÷0,8 – коэффициент сорбции [7]; $a_{\max}$, $a_{\min}$ – максимальная и минимальная емкость сорбента, определяемые экспериментально, г/м^3; $H_р$= 0,3÷0,5 м – высота резервного слоя [8].

Число параллельного работающих адсорбционных фильтров $N_{ад}$, шт. рассчитывается по формуле [7]:

$$N_{ад} = \frac{H_з}{H_1}, \qquad (3.4)$$

где H_1 – высота слоя загрузки одного адсорбционного фильтра, м.

Общая высота адсорбционного фильтра $H_{ад}^{общ}$,м рассчитывается по формуле [7]:

$$H_{ад}^{общ} = H_з + H_п + H_2, \qquad (3.5)$$

где $H_п$ – высота поддерживающего слоя, м; H_2 – расстояние от верха загрузки до верха фильтра, м.

Для адсорбционных фильтров величина H_2 составляет 0,5–1 м [8]. Потери напора в слое сорбента составляют 0,5 м на 1 м высоты слоя фильтрующей загрузки [7].

В напорных адсорбционных фильтрах в качестве водораспределительного устройства применяется расширительная воронка диаметром 1,5 $d_к$ и высотой $d_к$, где $d_к$ – диаметр подводящего коллектора [7]. В безнапорных адсорбционных фильтрах вода распределяется с помощью лотков. Водосборная система адсорбционных фильтров представляет собой лучевую систему с перфорированными ответвлениями или коллектор с двойными перфорированными ответвлениями [7; 8]. Отверстия на ответвлениях располагаются в шахматном порядке и направлены вверх или вниз под углом 45^0 к ответвлениям. Суммарная площадь отверстий на водосборной системе адсорбционного фильтра $F_{сум}$, мм^2 рассчитывается по формуле [7]:

$$F_{сум} = 5 \cdot 10^{-3} \frac{F_{ад}}{N_{ад.ф.}}. \qquad (3.6)$$

Диаметр отверстий на водосборной системе адсорбционного фильтра принимается равным 10–20 мм [2]. Число отверстий на водосборной системе адсорбционного фильтра $N_{отв}$, шт. рассчитывается по формуле [7]:

$$N_{отв} = \frac{F_{сум}}{f_{отв}}, \qquad (3.7)$$

где $f_{отв}$ – площадь сечения одного отверстия, мм^2.

Скорость движения воды в коммуникациях адсорбционного фильтра составляет 1–1,5 м/с [8].

Водопроводные очистные сооружения производительностью до 5 тыс. м^3/сут. могут иметь в своем составе электродиализные, обратно-

осмотические и ионообменные установки [1]. Выбор технологической схемы водоочистной станции при ее реконструкции производится с учетом технико-экономических показателей. Экономическая и экологическая целесообразность применения биореакторов на первой ступени подготовки природной воды заключается в экономии окислителей и коагулянтов, а также в снижении концентрации хлорорганических соединений при первичном ее хлорировании [1].

ЦНИИЭП разработал и запроектировал инженерное оборудование для водоподготовки производительностью 20, 50 и 100 тыс.м^3/сут. с использованием методов озонирования и сорбции, которое может быть использовано при реконструкции существующих водопроводных очистных сооружений [1]. Технико-экономические расчеты показывают, что стоимость установок ориентировочно составляет 27% от общей стоимости оборудования, используемого при реконструкции ВОС, а стоимость адсорбционных угольных фильтров – 35% [1]. В то же время себестоимость обработки природных вод при внедрении окислительного-сорбционной технологии увеличивается на 30–40 %. Данная технология особенно необходима, если в воде содержится более 1 мг/л марганца и более 15 мг/л железа. При этом принимается двухстадийная очистка природных вод. На первом этапе удаляется железо с помощью упрощенной аэрации и фильтрования природной воды на песчаных фильтрах, а на втором этапе осуществляется окисление марганца озоном с последующим удалением его нерастворимых соединений на песчаных или угольных фильтрах [1].

Задача № 1

Рассчитать напорные адсорбционные фильтры, предназначенные для очистки природных вод от нефтепродуктов. Расход природных вод, поступающих на очистку, составляет 45 м^3/ч. Концентрация нефтепродуктов в воде, поступающей на очистку достигает 2 мг/л, а содержание нефтепродуктов в очищенной воде, применяемой для технического водоснабжения, не должно превышать 0,5 мг/л. В качестве сорбента используется активированный уголь марки АГ-2, для которого $\gamma=6\cdot10^5$ г/м^3 , a_{max}=1 г/м^3, a_{min}=0,11 г/м^3, К=0,8.

Задача № 2

Определить общую высоту безнапорного адсорбционного фильтра предназначенного для очистки природной воды от бензола. Расход природных вод, поступающих на очистку, составляет 5 м^3/ч. Концентрация бензола в воде, поступающей на очистку, достигает 0,85 мг/л, а содержание бензола в очищенной воде, применяемой для технического

водоснабжения, не должно превышать 0,25 мг/л. В качестве сорбента используется активированный уголь марки АГ-3, для которого, $\gamma=5{,}5\cdot10^5$ г/м^3, $a_{max}=1{,}5$ г/м^3, $a_{min}=0{,}14$ г/м^3, К=0,75.

Занятие № 4

Реконструкция сооружений водоочистной станции

Для увеличения производительности водопроводных очистных сооружений и повышения эффективности их работы проводится реконструкция всего комплекса сооружений водоподготовки.

При реконструкции реагентного хозяйства следует применять железосодержащие реагенты (сернокислое и хлорное железо), которое имеет большую эффективность, чем сульфат алюминия. Однако стоимость железосодержащих реагентов больше, чем у глинозема, а коррозионная способность их водных растворов выше. Поэтому в качестве коагулянтов для очистки природной воды возможно использование смеси сернокислого алюминия и хлорного железа в пропорции 1:1 [1]. Для снижения дозы коагулянтов, а также времени пребывания обрабатываемой воды в камере хлопьеобразования, применяется ее искусственное замутнение глинистой взвесью, загрязненными промывными водами фильтров или осадком отстойников [1].

Интенсификация процесса коагуляции возможна путем аэрации обрабатываемой воды, воздействием на нее ультразвука, а также наложением электрического или магнитного поля [1]. При реконструкции реагентного хозяйства водопроводных очистных сооружений следует переходить на дозирование растворов коагулянтов и флокулянтов с помощью насосов – дозаторов [10]. Для очистки природной воды методом коагуляции очень важным является быстрое и равномерное перемешивание обрабатываемой воды с реагентами. Этого можно достигнуть при использовании растворов коагулянтов с низкой концентрацией (до 1%) [1].

Смешение природной воды с реагентами осуществляется обычно в вертикальных (вихревых), дырчатых или перегородчатых смесителях [10].

При реконструкции вихревые смесители оборудуются перфорированными распределителями реагента [1].

В КГАСУ разработан смеситель со струйным элементом, который работает под избыточным давлением [11]. Расчетная схема смесителя со струйным элементом представлена на рис. 4.1. Струйный элемент представляет собой цилиндр, заглушенный с обоих торцов и имеющий перфорированную боковую поверхность. Вода подается в струйный элемент через приточный патрубок. Распространяясь вдоль оси струйного

элемента, вода образует в нем прямой и обратный потоки, а также внешний рецикл [11]. В каждом из перечисленных выше потоков имеет место соответствующее распределение скоростей как в поперечных сечениях, так и по длине струи. Во всех трех частях потока осуществляется турбулентное движение жидкости.

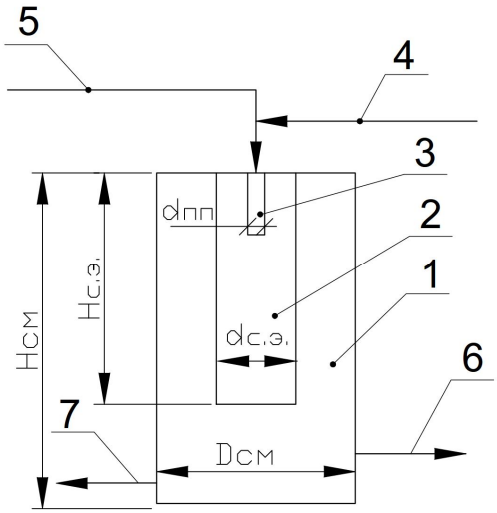

Рис. 4.1. Расчетная схема смесителя со струйным элементом:
1– корпус смесителя; 2 – струйный элемент; 3 – приточный патрубок;
4 – подача обрабатываемой воды; 5 – подача реагента; 6 – отвод воды;
7 – отвод осадка

Молекулы реагента под действием турбулентных пульсаций перемещаются по всему объему жидкости в смесителе. Кроме того, они переносятся и самими потоками [11]. Все это ведет к интенсивному перемешиванию реагента с обрабатываемой водой.

Объем смесителя $W_{см}$, м^3 рассчитывается по формуле [10]:

$$W_{см} = \frac{Q_р \cdot t_{см}}{60}, \qquad (4.1)$$

где $Q_р$ – расчетный расход обрабатываемой воды, м^3/ч; $t_{см}$ – время пребывания воды в смесителе, мин. [10].

Высота смесителя $H_{см}$, м рассчитывается по формуле [10]:

$$H_{см} = \frac{4W_{см}}{N_{см} \cdot \pi \cdot D_{см}^2}, \qquad (4.2)$$

где $N_{см}$ – число рабочих смесителей, шт. [8]; $D_{см}$ – диаметр смесителя, м.

Диаметр приточного патрубка $d_{п.п.}$, мм рассчитывается по формуле [11]:

$$d_{п.п.} = \sqrt{\frac{4Q_p}{N_{см} \cdot \pi \cdot v_{п.п.}}}, \quad (4.3)$$

где $v_{п.п.}$ – скорость истечения воды из патрубка, м/с [11].

Диаметр струйного элемента $d_{с.э.}$, мм рассчитывается по формуле [11]:

$$d_{с.э.} = 10 \cdot d_{п.п.}. \quad (4.4)$$

Длина струйного элемента составляет $l_{с.э.}$, м, рассчитывается по формуле [11]:

$$l_{с.э.} = 5\sqrt{\frac{F_{с.э.}}{2}} + 0{,}25, \quad (4.5)$$

где $F_{с.э.}$ – площадь поперечного сечения струйного элемента, м^2.

Число Рейнольдса в потоке при истечении воды из приточного патрубка Re рассчитывается по формуле [12]:

$$\mathrm{Re} = \frac{v_{п.п.} \cdot d_{п.п.}}{\nu}, \quad (4.6)$$

где ν – кинематическая вязкость обрабатываемой воды, см^2/с [12].

Суммарная площадь отверстий на поверхности струйного элемента $F_{сум}$, мм^2, рассчитывается по формуле [11]:

$$F_{сум} = 0{,}02 \cdot F_{пов}, \quad (4.7)$$

где $F_{пов} = \pi \cdot d_{с.э.} \cdot l_{с.э.}$ – площадь поверхности струйного элемента, мм^2.

Диаметр отверстий на поверхности струйного элемента принимается равным 10–20 мм [11]. Число отверстий на поверхности струйного элемента $n_{отв}$, шт. рассчитывается по формуле [11]:

$$n_{отв} = \frac{F_{сум}}{f_{отв}}, \quad (4.8)$$

где $f_{отв}$ – площадь сечения одного отверстия, мм^2.

Скорость движения воды в коммуникациях смесителя составляет 1–1,5 м/с [11].

При реконструкции ВОС следует применять новые конструкции камер хлопьеобразования [1]:

а) контактные самопромывающиеся камеры со слоем зернистого пенопласта или полистирола;

б) тонкослойные камеры, оборудованные полочными блоками;

в) тонкослойно-эжекционные камеры, имеющие под полочными блоками низконапорные рециркуляторы, через которые подается обрабатываемая вода.

Для горизонтальных и вертикальных отстойников следует применять встроенные камеры хлопьеобразования [1; 11].

При реконструкции отстойников, прежде всего, осуществляется модернизация систем водораспределения и сбора очищенной воды. Кроме того, отстойники оборудуются полочными блоками [1]. Для улучшения гидравлического режима горизонтальных отстойников они оборудуются дырчатыми перегородками. Суммарная площадь отверстий на перегородке составляет 6–8% от площади сечения отстойника. Отверстия имеют диаметр 8–12 мм и располагаются в шахматном порядке [1].

При обработке природных вод, особенно маломутных и цветных, в осветлителях со взвешенным слоем, повышают эффективность их работы за счет увеличения концентрации твердой фазы во взвешенном слое путем рециркуляции ранее образовывавшегося осадка [1].

В процессе реконструкции скорых фильтров, применяемых на водопроводных очистных сооружениях, с целью повышения эффективности их работы увеличивается высота фильтрующего слоя с одновременным укрупнением зерен загрузки, производится замена загрузки на материал с высокой пористостью и развитой поверхностью зерен, применяется двухслойная загрузка, используется тяжелый фильтрующий материал при движении воды в фильтрах снизу вверх [1].

В последнее время на водопроводных очистных сооружениях стали широко применяться фильтры с плавающей загрузкой из полимерных материалов [1]. Реконструкция дренажных систем фильтров для подготовки природных вод также позволяет повысить производительность и эффективность их работы. Хорошие результаты дает применение безгравийных дренажных систем типа «щелевая лента» и «Полидеор» [1].

Интенсификация промывки скорых фильтров, применяемых при водоподготовке, также способствует увеличению эффективности работы этих аппаратов [1]. Для фильтров с песчаной загрузкой возможна замена водяной промывки на водовоздушную. При использовании скорых фильтров с зернистой загрузкой для реагентного умягчения природных вод или их обезжелезивания применяется поверхностная промывка [1]. В последнее время стала применяться чередующаяся промывка [1].

При обеззараживании очищенной воды на ВОС вместо жидкого хлора стали широко применяться гипохлорит натрия, озонирование и ультрафиолетовое облучение [1].

В качестве первой ступени очистки сточных вод после их обработки коагулянтами может быть использована напорная флотация [1].

Схема флотационной установки для очистки природных вод приведена на рис. 4.2.

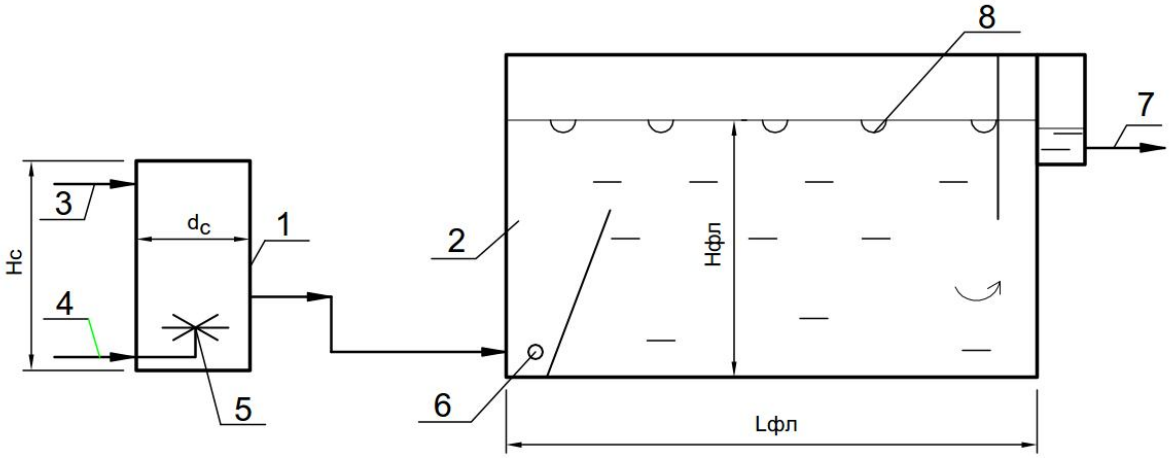

Рис. 4.2. Схема флотационной установки

В состав данной установки входят сатуратор и флотатор. Сатуратор представляет собой напорную емкость, в которой под давлением 0,6–0,8 МПа осуществляется растворение воздуха в обрабатываемой воде, которая подается в этот аппарат насосом. Сжатый воздух подается в сатуратор компрессором. Воздух распределяется в сатураторе с помощью лучевой системы, состоящей из перфорированных ответвлений. Отверстия на ответвлениях направлены вверх и располагаются в шахматном порядке под углом 45^0 к оси ответвлений. Диаметр отверстий на ответвлениях принимается равным 5–8 мм [1].

Из сатуратора вода поступает во флотатор, работающий при атмосферном давлении, что вызывает активное выделение из воды растворенного воздуха. Пузырьки воздуха захватывают частицы загрязнений, заставляя их интенсивно всплывать. На поверхности воды образуется пена, отводимая по лоткам в специальный карман из которого она самотеком поступает в емкость для гашения пены. Распределение воды во флотаторе осуществляется с помощью перфорированного трубопровода отверстия, на котором направлены вверх и располагаются в шахматном порядке под углом 45^0 к оси трубопровода. Диаметр отверстий на водораспределительной системе флотатора принят равным 10–20 мм [13]. Ось водораспределителя располагается на высоте 250–350 мм от дна флотатора [1]. Угол наклона струенаправляющей перегородки во флотаторе к горизонту составляет $60–70^0$ [1].

Объем сатуратора W_c, м^3 рассчитывается по формуле [14]:

$$W_c = \frac{Q_p \cdot t_c}{N_c}, \qquad (4.9)$$

где Q_p – расчетный расход обрабатываемой воды, м^3/ч; t_c = 1–3 мин. – время пребывания воды в сатураторе [14]; N_C – число сатураторов, шт.

Высота сатуратора H_c, м рассчитывается по формуле [14]:

$$H_c = \frac{4W_c}{\pi d_c}, \tag{4.10}$$

где d_c – диаметр сатуратора, м.

Расход воздуха, подаваемого в сатуратор, $Q_в$, м^3/с рассчитывается по формуле [1]:

$$Q_в = 1{,}2 \cdot 10^{-3} \cdot Q_p \tag{4.11}$$

Диаметр воздуховода $d_в$, м рассчитывается по формуле [15]:

$$d_в = \sqrt{\frac{4Q_в}{\pi \cdot v_в}}, \tag{4.12}$$

где $v_в$ = 7м/с – скорость движения воздуха в воздуховоде [15].

Суммарная площадь отверстий на воздухораспределителе сатуратора $F^c_{сум}$, мм^2 рассчитывается по формуле [15]:

$$F^c_{сум} = \frac{Q_в}{v_в^{вых}}, \tag{4.13}$$

где $v_в^{вых}$ = 45 м/с – скорость выхода воздуха из отверстий [15].

Число отверстий на воздухораспределителе сатуратора $N^c_{отв}$, шт. рассчитывается по формуле [15]:

$$N^c_{отв} = \frac{F^c_{сум}}{f^c_{отв}}, \tag{4.14}$$

где $f^c_{отв}$ – площадь сечения отверстия, мм^2.

Глубина воды во флотаторе составляет $H_ф$=1,5–2,5 м. Общая высота флотатора $H_ф^{общ}$, м рассчитывается по формуле [8]:

$$H_ф^{общ} = H_Ф + H_1, \tag{4.15}$$

где H_1=0,5 м – высота борта флотатора над уровнем воды [3].

Площадь зеркала воды во флотаторе $F_{фл}$, м^2 рассчитывается по формуле [1]:

$$F_{фл} = \frac{Q_p}{N_{фл} \cdot q_{фл}}, \tag{4.16}$$

где $q_{фл}$ = 6–8 м^3/ч·м^2 – нагрузка на флотатор [1].

Длина флотатора $L_{фл}$, м рассчитывается по формуле [1]:

$$L_{фл} = \frac{F_{фл}}{B_{фл}}, \tag{4.17}$$

где $B_{фл}$ – ширина флотатора (не более 6 м), м [1].

Время флотации $t_{фл}$, мин. рассчитывается по формуле [13]:

$$t_{фл} = \frac{60 \cdot B_{фл} \cdot L_{фл} \cdot H_{фл} \cdot N_{фл}}{Q_p} \tag{4.18}$$

Продолжительность флотации $t_{фл}$ должна быть не менее 20–30 мин. [14]. Объем пены $W_п$, % рассчитывается по формуле [13]:

$$W_п = 1{,}5 \cdot C, \tag{4.19}$$

где С – концентрация загрязнений в воде, поступающей на очистку, г/л.

Суммарная площадь отверстий на водораспределителе флотатора $F_{сум}^{фл}$, м^2 рассчитывается по формуле [1]:

$$F_{сум}^{фл} = \frac{Q_p}{N_{фл} \cdot v_{отв}^{фл}}, \tag{4.20}$$

где $v_{отв}^{фл}$=20÷25 м/с – скорость истечения воды из отверстий распределительной системы флотатора [1].

Число отверстий на водораспределителе флотатора $N_{ота}^{фл}$, шт. рассчитывается по формуле [13]:

$$N_{отв}^{фл} = \frac{F_{отв}^{фл}}{f_{отв}^{фл}}, \tag{4.21}$$

где $f_{отв}^{ф}$ – площадь сечения отверстия, мм^2.

Методом флотации обрабатываются воды с мутностью до 150 мг/л и цветностью 200^0. Скорость движения воды в коммуникациях флотатора составляет 1 м/с, а в просвете над или под перегородками – 0,02 м/с [1].

Задача № 1

Рассчитать смеситель со струйным элементом для смешения водопроводной и хлорной воды. Расход обрабатываемой воды составляет 10$м^3/ч$.

Задача № 2

Рассчитать флотационную установку очистки природных вод производительностью 50 $м^3$/ч. Мутность воды, поступающей на очистку, составляет 100 мг/л, а ее цветность – 150^0 .

Занятие № 5
Выбор технологической схемы очистки сточных вод при увеличении расхода или ухудшении качественных показателей сточных вод

При увеличении расхода сточных вод или ухудшении качественных показателей стоков возникает необходимость реконструкции канализационных очистных сооружений (КОС). При этом на территории действующих очистных сооружений может быть введено в действие дополнительное технологическое оборудование (экстенсивная реконструкция) или произведенная такая модернизация существующих аппаратов, которая обеспечит необходимое увеличение производительности КОС и эффективности их работы (интенсивная реконструкция) [16].

Основными мероприятиями по реконструкции КОС являются [16]:

– достижение современных требований к сбросу очищенных стоков в поверхностные источники и утилизации осадков, образующихся в процессе очистки сточных вод;

– увеличение пропускной способности и эффективности очистки сточных вод на каждом отдельном этапе или сооружении;

– переход на современные технологии очистки сточных вод с удалением азота и фосфора;

– переход на современное энергоэффективное оборудование;

– ликвидация песковых и иловых площадок с переходом на современные методы обезвоживания песка и осадка;

– создание санитарно-защитных зон, удовлетворяющих современным требованиям;

– полное перекрытие емкостных сооружений с отводом загрязненного воздуха на газоочистку;

– использование технических средств снижения шума.

На рис. 5.1 приведена широко применявшаяся в типовых проектах 90-х годов прошлого века схема очистных сооружений канализации. На очистных сооружениях предусмотрена механическая и полная биологическая очистка сточных вод. Применены следующие сооружения механической очистки: механизированные решетки с прозорами 16 мм, песколовки (горизонтальные, аэрируемые, горизонтальные с круговым движением воды) и первичные отстойники (вертикальные, горизонтальные, радиальные). Сооружения биологической очистки: аэротенки или высоконагружаемые биофильтры, рассчитанные на полную биологическую очистку. Обеззараживания очищенной воды производится хлором. В состав сооружений для обеззараживания воды входят: хлораторная со складом хлора, смеситель и контактные резервуары. Избыточный активный ил уплотняется в илоуплотнителях вертикального или радиального типа и, вместе с осадком из первичных отстойников, поступает в аэробные стабилизаторы или метантенки. Стабилизированный осадок подается в цех механического обезвоживания осадка (ЦМО), оборудованный вакуум-фильтрами, фильтр-прессами или центрифугами. На случай аварии в ЦМО предусмотрены резервные иловые площадки. Очищенная и обеззараженная сточная вода через русловой рассеивающий выпуск сбрасывается в поверхностный источник. Подобная технология позволяет очистить сточную воду от взвешенных веществ и органических загрязнений до 15–20 мг/л и от соединений азота и фосфора на 40%. Она не предназначена для их глубокого удаления. Сооружения для механической обработки осадка работают, как правило, неудовлетворительно и основная нагрузка ложится на иловые площадки.

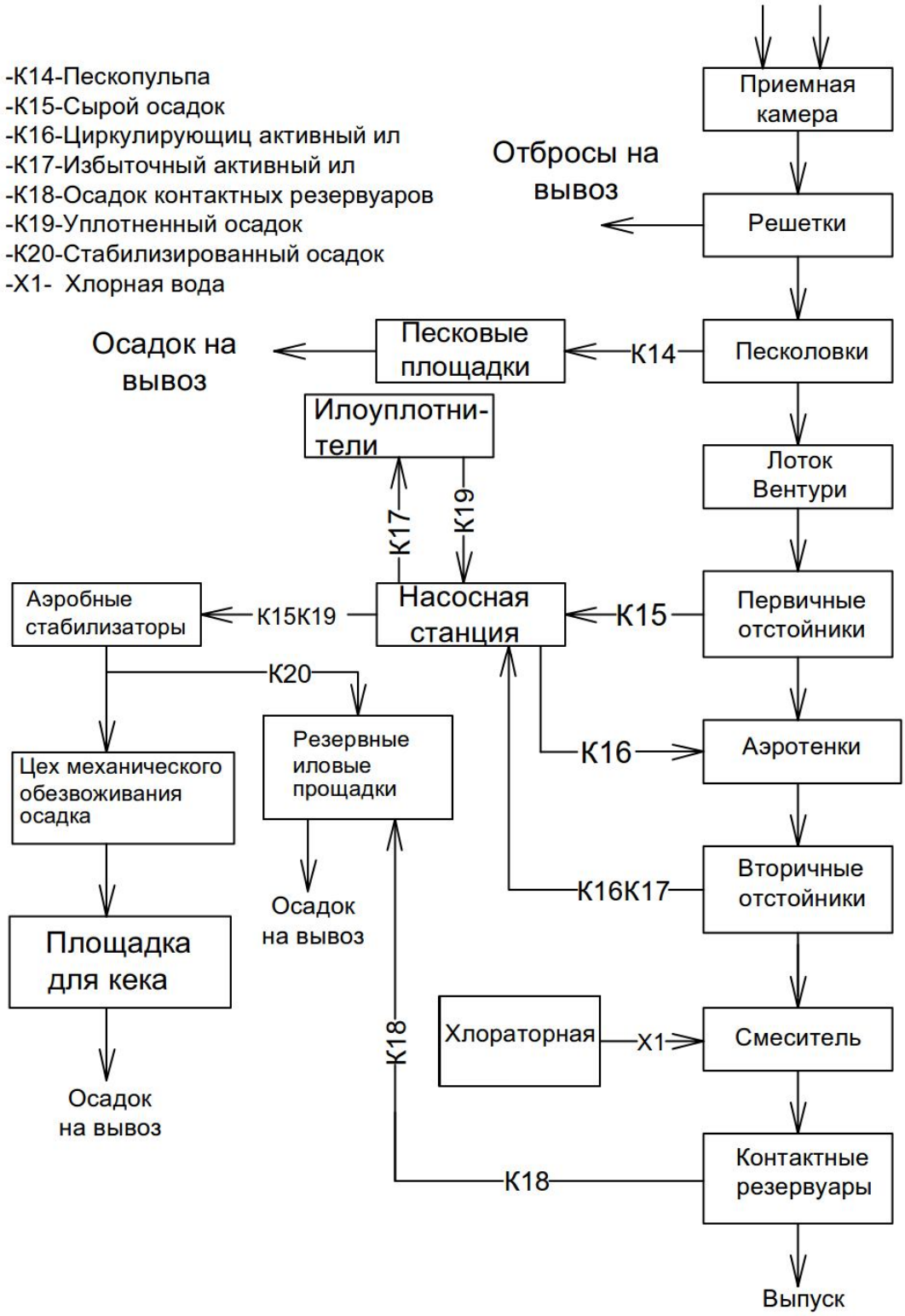

Рис. 5.1. Схема очистной станции до реконструкции

.

На рис. 5.2 приведен вариант реконструкции очистных сооружений: Согласно [17] рекомендуется использовать решетки с прозорами не более 10 мм. В зависимости от принимаемой технологической схемы очистных сооружений допускается применение решеток (сит) с меньшими прозорами, процеживателей, измельчителей, двухступенчатых схем процеживания (грубые и тонкие решетки). Если принято решение об использовании барабанных решеток при реконструкции очистных сооружений, то целесообразно механическую очистку сточных вод производить на комбинированных установках (решетки и аэрируемая пескожироловка), совмещающих в себе операции извлечения из сточных вод твердых включений, песка и всплывающих веществ [18]. Песколовки рекомендуются аэрируемые; обезвоживание осадка из песколовок предпочтительнее производить в песковых бункерах, как более компактных и экологичных по сравнению с песковыми площадками. Сооружения осветления сточных вод рекомендуется применять на очистных сооружениях производительностью свыше 1000 $м^3$/сут. При обосновании допускается отказ от стадии осветления сточных вод. В этом случае прозоры процеживающих решеток должны быть не более 6 мм, а время пребывания в песколовках – не менее 10 мин.

При реконструкции очистных сооружений с переходом на современные технологии с удалением азота или азота и фосфора изменяется функция первичных отстойников. Технологии удаления азота денитрификацией и фосфора в составе избыточного активного ила требует повышенного содержания в сточной воде легкоокисляемых органических веществ (субстрата). Использование этанола или метанола связано с большими экономическими затратами. В то же время осадок первичных отстойников содержит легкодоступные органические вещества, извлекаемые из них в ходе кислого брожения. Сооружения для кислого брожения загрязнений, называемые ацидофикаторами, могут быть самостоятельными (в виде емкостей с перемешиванием), либо включенными в объем первичных отстойников. В последнем случае организуется постоянная циркуляция осадка, а часть объема отстойника выделяется под сбраживатель (ацидофикатор) [19]. При использовании осветления, осветленная вода приобретает темноватый оттенок вследствие образования сульфидов железа. Но высокий эффект осветления в данном случае не требуется. На первый план выходит насыщение субстратом подаваемой на биологическую очистку сточной воды.

При реконструкции очистных сооружений следует учитывать, что согласно [17] при ЭЧЖ более 500 условных жителей должна осуществляться биологическая очистка от соединений азота. При ЭЧЖ более 5000 условных жителей должны применяться специальные методы удаления фосфора.

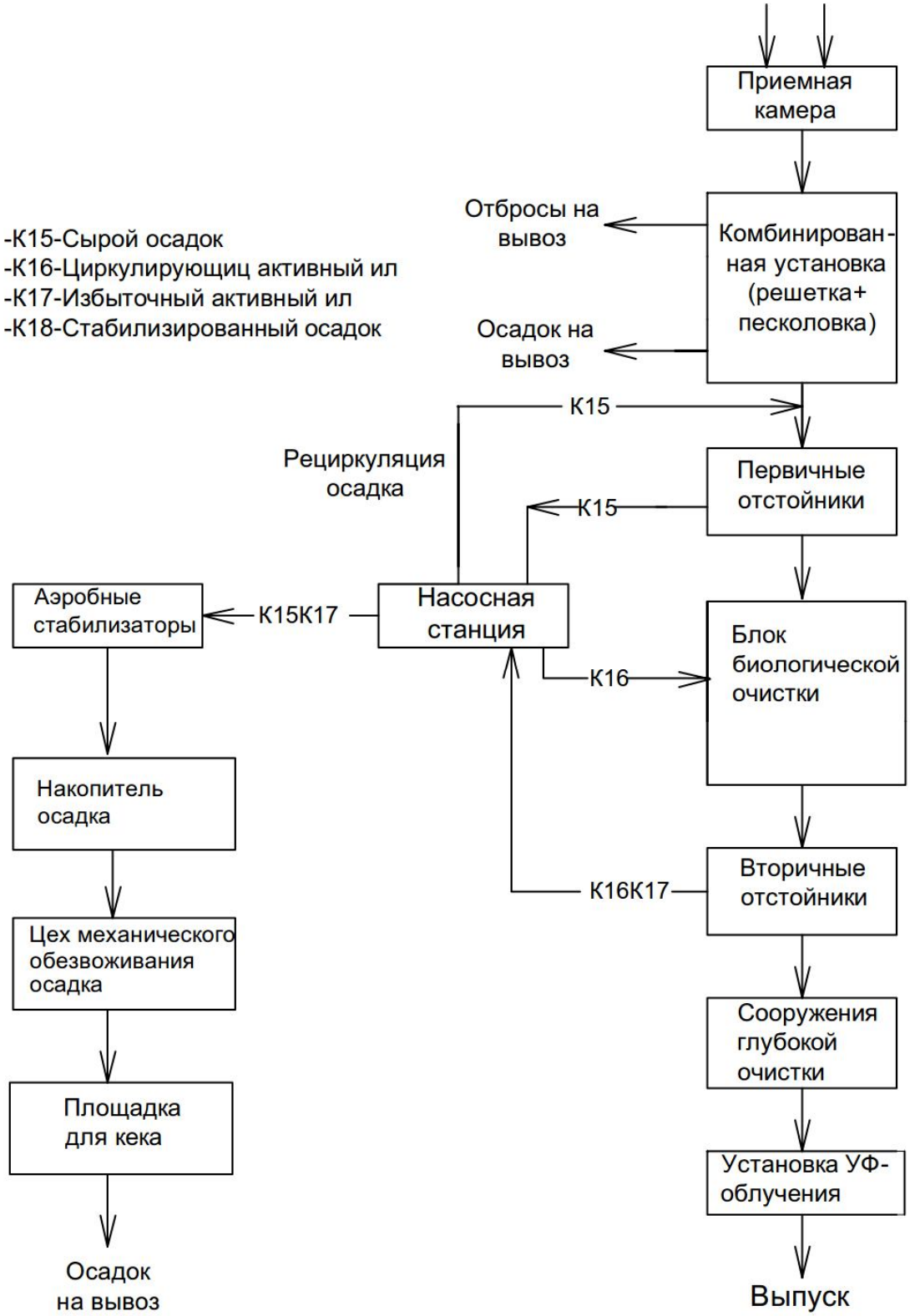

Рис. 5.2. Схема очистной станции после реконструкции

Биологический метод очистки сточных вод от соединений азота основан на процессах нитрификации и денитрификации. Процесс нитрификации представляет собой совокупность реакций биологического окисления аммонийного азота до нитритов и далее до нитратов. В ходе денитрификации происходит окисление органических веществ при восстановлении азота нитратов до свободного азота. В отличие от азота, который может выводиться из системы в газообразном состоянии при денитрификации, фосфор распределяется между илом и очищенной водой. Биологическое удаление фосфора заключается только в выводе его в составе избыточного активного ила. Пребывание в анаэробных, а затем в аэробных условиях приводит к повышению содержания фосфора в активном иле. При удалении избыточного ила происходит выведение фосфора из системы [19].

Биологическая очистка сточных вод осуществляется в блоках биологической очистки (биоблоках). Технология удаления азота и фосфора включает три основных элемента в биоблоке: зону анаэробной обработки смеси ила и сточной воды; аноксидную зону для денитрификации и оксидную (аэробную) зону для проведения нитрификации. Каждая зона биоблока может состоять из нескольких отсеков с различным перемешивающим и аэрационным оборудованием [19].

В качестве сооружений глубокой очистки биологически очищенных сточных вод рекомендуется [20] использование дисковых микрофильтров «Huber RoDisk®» производства компании «Huber». В конструкции фильтра реализован принцип самотечной безнапорной фильтрации с высокой эффективностью задержания взвешенных веществ. При использовании дискового фильтра в качестве третичной ступени очистки, концентрация взвешенных веществ на выходе не превышает 5 мг/л.

Согласно [17] обеззараживание сточных вод, сбрасываемых в водные объекты, рекомендуется производить ультрафиолетовым излучением.

В реконструкции сооружений обработки осадка ведущей тенденцией является переход от естественных методов сушки и уплотнения (иловые карты и гравитационные уплотнители) к механическому сгущению и обезвоживанию. Здесь используется весь имеющийся набор современного оборудования, такого как ленточные и барабанные сгустители, шнековые сгустители, уплотняющие и обезвоживающие центрифуги, ленточные и камерные фильтр-прессы и др. [17]. Осадки очистных сооружений с нагрузкой свыше 50 тыс. ЭЧЖ должны подвергаться стабилизации. Анаэробное (метановое) сбраживание рекомендуется для стабилизации осадков на очистных сооружениях с нагрузкой свыше 100 тыс. ЭЧЖ (при обосновании допускается на сооружениях с нагрузкой 50–100 тыс. ЭЧЖ) [17]. При меньшей нагрузке по ЭЧЖ применяется аэробная стабилизация осадков. Кроме того, учитывая, что иловая вода из метантенков содержит 300–500 мг/л аммонийных соединений и 50–60 мг/л фосфатов, а сливная –

вода из аэробных стабилизаторов – 100–120 мг/л нитратов и 40–50 мг/л фосфатов, целесообразно принять метод аэробной стабилизации. При отсутствии резервных иловых площадок, осадок необходимо направлять в накопители с временем пребывания не менее двух суток и предусматривать дополнительную единицу резервного оборудования для механического обезвоживания осадка [17].

Перед выбором схемы очистки сточных вод определяется необходимая степень их очистки. Предельно допустимое содержание взвешенных веществ в стоках, сбрасываемых в водоем m, мг/л, рассчитывается по формуле [12]:

$$m = P\left(\frac{aQ_p}{q_c} + 1\right) + b, \qquad (5.1)$$

где P – допустимое увеличение содержания взвеси в водоеме после сброса сточных вод, мг/л [12]; а – коэффициент смешения; Q_P – наименьший среднемесячный расход воды в водоеме при 95% обеспеченности, м^3/с; q_c – расход сточных вод, м^3/с; b – концентрация взвеси в воде водоема, мг/л.

Величина q_c, м^3/с рассчитывается по формуле [12]:

$$q_c = \frac{Q_{сут}}{24 \cdot 3600}, \qquad (5.2)$$

где $Q_{сут}$ – среднесуточный расход сточных вод, м^3/сут.

Допустимая $БПК_{полн}$ сточных вод, сбрасываемых в водоем, определяется, исходя из условий минимального содержания растворенного кислорода. Величина $L_{ст}$, мг/л рассчитывается по формуле [12]:

$$L_{ст} = \frac{aQ_p}{0{,}4q_c}\left(O_p - 0{,}4L_p - O\right) - \frac{O}{0{,}4}, \qquad (5.3)$$

где O_p – содержание растворенного кислорода в воде водоема, мг/л; L_p – $БПК_{полн}$ воды в водоеме, мг/л; O – минимальное содержание кислорода в воде водоема, мг/л [12].

Коэффициент смешения a для проточных озер, водохранилищ и морей, имеющих явно выраженное течение, рассчитывается по формуле [12]:

$$a = \frac{(n-1)q_c}{Q_p}, \qquad (5.4)$$

где n – наименьшее разбавление.

Величина n рассчитывается по формуле [12]:

$$n = A\left(0{,}2L / d_0\right)^{PS}, \qquad (5.5)$$

где А – параметр, определяющий разбавление; Р– параметр, зависящий от степени проточности водоема; S – параметр, определяющий относительную глубину водоема; L – расстояние от выпуска до расчетного створа, м; d_0 – диаметр выпускного отверстия, м.

Величина А=1 для сосредоточенных выпусков и А=0,74 для рассеивающих выпусков [12]. Величина Р рассчитывается по формуле [12]:

$$P = \frac{v_m}{1{,}5 \cdot 10^{-5} v_в + v_m}, \qquad (5.6)$$

где v_m – скорость течения воды в водоеме, м/с; $v_в$ – скорость истечения воды из выпуска, м/с.

Величина S рассчитывается по формуле [12]:

$$S = \frac{0{,}325 H_{ср}}{360 + \left(\frac{v}{v}\right) \cdot 10^5}, \qquad (5.7)$$

где $H_{ср}$ – средняя глубина водоема, м.

Задача № 1

Определить коэффициент смешения для проточного водохранилища с расходом воды 10 м^3/с, если расход сточных вод составляет 4800 м^3/сут. расстояние между рассеивающим выпуском и расчетным створом 5,25 км, диаметр выпускного отверстия равен 400 мм, скорость движения воды в водохранилище не превышает 0,95 м/с, скорость истечения воды из выпуска достигает 3,6 м/с, а средняя глубина водохранилища равна 5 м.

Задача № 2

Определить допустимую концентрацию взвеси в сточных водах и их БПК$_{ПОЛН}$ с учетом минимального содержания растворенного кислорода в озере, если коэффициент смешения равен 0,65; расход стоков составляет 5200 м^3/сут., расход воды в озере достигает 12 м^3/с; концентрация взвеси в воде озера не превышает 15 мг/л, содержание кислорода в этой воде составляет 6 мг/л, а ее БПК$_{ПОЛН}$ – 1,85 мг/л. Озеро относится ко второй категории водопользования.

Занятие № 6

Реконструкция сооружений механической очистки сточных вод

Эффект предварительного осветления стоков зависит от эффективности работы решеток, песколовок и первичных отстойников. Улучшение работы решеток возможно за счет применения вместо устаревших более совершенных типов решеток, строгого соблюдения технологического режима их эксплуатации (своевременная очистка от отбросов, регулирование нагрузок на отдельные решетки и др.). При установке новых решеток стремятся уменьшить прозоры с целью увеличения количества задержанных отбросов. Такое решение приводит к уменьшению количества осадков, образующихся в песколовках и первичных отстойниках, к уменьшению нагрузки на все сооружения по обработке осадков. В последнее время широко используются барабанные (роторные) решетки с интегрированной промывкой и уплотнением извлекаемых отходов. Барабанная решетка характеризуется максимальной эффективностью очистки при минимальных затратах на эксплуатацию и техническое обслуживание. Если принято решение об использовании барабанных решеток, то целесообразно механическую очистку сточных вод производить на комбинированной установке (решетки и аэрируемая пескожироловка), совмещающей в себе операции извлечения из сточных вод твердых включений, песка и всплывающих веществ. Установка состоит из следующих узлов: барабанная решетка с интегрированным транспортером и прессом для извлечения и отжима твердых включений; горизонтальная аэрируемая пескожироловка; шнековый транспортер для удаления песка [18].

Повышение эффекта задержания песка в горизонтальных песколовках может быть достигнуто стабилизацией скорости потока с помощью специальных водосливов, а также за счет улучшения работы скребковых механизмов для удаления осадка [1]. Повысить эффективность задержания песка в горизонтальной песколовке с круговым движением воды и существенно увеличив ее производительность можно следующим образом [1]:

– установить в круговом лотке плоские вертикальные решетки, разделяющие его на ряд секций;

– установить в каждой секции свой аэратор;

– установить в центральной зоне песколовки конические перегородки, обеспечивающие максимально полезное использование зоны отстаивания;

– установить в центре песколовки вертикальную телескопическую отводную трубу, погруженную под уровень жидкости на определенную глубину, предназначенную для более эффективного удаления песка из отстойной зоны.

Аэрируемые песколовки могут быть использованы в качестве преаэраторов с биокоагуляцией. Для этого в них организуется подача избыточного активного ила. В этом случае время пребывания воды в аэрируемой песколовке должно быть не менее 10–20 мин. [1].

Для интенсификации работы аэрируемых песколовок можно разделить их рабочую зону вертикальными перегородками на отдельные секции. Перегородки могут быть сплошными не доходящими до дна на 0,2–0,3 м их глубины и до стенок на 0,25–0,3 м, или в виде плоских решеток, устанавливаемые на всю их глубину и ширину [1].

В технологиях глубокой биологической очистки сточных вод от соединений азота и фосфора эффект задержания песка в аэрируемых песколовках зависит от общей продолжительности пребывания воды в песколовке t_s. Начальное содержание песка в воде J_{so} в расчетах рекомендуется принимать 20%. При механическом обезвоживании осадка первичных отстойников, допустимое содержание в нем песка достигает J_{st}=3% [19].

Продолжительность пребывания воды в песколовке t_s, с, рассчитывается по формуле [19]:

$$t_s = \frac{1000}{J_{SO}^{0,8}}\left(\frac{J_{SO}}{J_{st}} - 1\right) \qquad (6.1)$$

Объем одного отделения песколовки W, м^3 рассчитывается по формуле [19]:

$$W = \frac{Q_p \cdot t_s}{N_n}, \qquad (6.2)$$

где Q_p – расчетный расход сточных вод, м^3/с; N_n – число рабочих отделений песколовки, шт.

Величина Q_p, м^3/с рассчитывается по формуле [19]:

$$Q_p = \frac{Q_{сут}}{24 \cdot 3600}, \qquad (6.3)$$

где $Q_{сут}$ – среднесуточный расход сточных вод, м^3/с .

При выборе размеров отделения песколовки следует руководствоваться размерами типовых аэрируемых песколовок [21].

Скорость потока воды в песколовке $v_в$, м/с рассчитывается по формуле [19]:

$$v_в = \frac{Q_p}{B_n \cdot H_n}, \qquad (6.4)$$

где B_n – ширина песколовки, м; H_n – глубина воды в песколовке, м.

Длина песколовки L_n, м рассчитывается по формуле [19]:

$$L_n = \frac{K \cdot H_n \cdot v_в}{U_0}, \qquad (6.5)$$

где K – коэффициент, учитывающий влияние турбулентности на работу песколовки [21]; U_0=13,2 мм/с – гидравлическая крупность песка [21].

Объем задерживаемого песка W_n, м^3/сут. рассчитывается по формуле [19]:

$$W_n = \frac{Q_{сут} \cdot C_{в.в.} \cdot Э_n \cdot J_{so}}{\gamma \cdot 10^6}, \qquad (6.6)$$

где $C_{в.в.}$ – концентрация взвешенных веществ в воде, поступающей в песколовку, мг/л; $Э_n$=30% – эффект очистки сточных вод от взвеси в песколовке [21]; γ=1,5 т/м^3– плотность песка [19].

Осадок смывается при помощи гидросмыва в специальный бункер, диаметр которого равен ширине песколовки. Из бункера песок удаляется либо песковыми насосами, либо гидроэлеваторами [12].

Интенсификация работы первичных отстойников может быть осуществлена следующими способами [1]:

– совершенствованием водораспределительных и водозаборных систем, что позволяет улучшить гидродинамический режим их работы;

– оборудованием существующих отстойников полочными блоками, что позволяет увеличить их пропускающую способность в 5–6 раз;

– предварительной аэрацией сточных вод с биокоагуляцией;

– применением коагулянтов и флокулянтов.

При оборудовании существующих отстойников полочными блоками скорость движения воды в полочном блоке при прямоточной или противоточной схеме движения $v_{бл}$, м/с рассчитывается по формуле [22]:

$$v_{бл} = \frac{Q_p}{3{,}6 \cdot K \cdot N_{отс} \cdot H_{отс} \cdot B_{отс}}, \qquad (6.7)$$

где Q_p – расчетный расход сточных вод м^3/ч; К=0,5÷0,7 – коэффициент использования объема полочного отстойника при прямоточной или противоточной схеме движения [22]; $N_{отс}$– число рабочих отстойников, шт.; $H_{отс}$ – рабочая глубина отстойника, м; $B_{отс}$– ширина отстойника, м.

Число Рейнольдса в полочном блоке Re рассчитывается по формуле [22]:

$$\mathrm{Re} = \frac{v_{бл} \cdot h_{яр}}{K \cdot \nu} \qquad (6.8)$$

где $h_{яр}$ = 0,05÷0,1 м – расстояние между полками в тонкослойном блоке [22]; ν – кинематическая вязкость воды, см^2/с [12].

В полочном блоке сохраняется ламинарный режим движения воды, если Re<700 [12]. Длина полочного отстойника $L_{отс}$, м рассчитывается по формуле [22]:

$$L_{отс} = l_1 + l_{бл} + l_2 + l_3, \qquad (6.9)$$

где $l_1 = B_{отс} \geq 1{,}5\,м$ – длина зоны грубой очистки [22]; $l_{бл}$ – длина полочного блока, м; l_2 – длина зоны выхода из полочного блока, м; $l_3 \geq 1\,м$ – длина зоны дополнительного отстаивания [22].

Величина $l_{бл}$, м рассчитывается по формуле [22]:

$$l_{бл} = \frac{v_{бл} \cdot h_{яр}}{K \cdot U_0}, \qquad (6.10)$$

где U_0 – гидравлическая крупность взвешенных веществ, мм/с.

Величина l_2, м рассчитывается по формуле [22]:

$$l_2 = l_{бл} \cdot \sin(90 - \alpha), \qquad (6.11)$$

где $\alpha = 45^0$ – угол наклона полок тонкослойного блока к горизонту [22].

Задача № 1

Рассчитать аэрируемую песколовку для канализационных очистных сооружений производительностью $Q_{сут}$= 150000 м^3/сут. Концентрация взвеси в сточных водах, поступающих на очистку $C_{в.в.}$=280 мг/л.

Задача № 2

На очистных сооружениях работают четыре первичных отстойника длиной $L_{отс}$= 24 м и шириной $B_{отс}$= 6 м. Рабочая глубина отстойников составляет $H_{отс}$= 3,15 м. Расход сточных вод равен 1200 м^3/ч. Рассчитать размеры полочного блока, позволяющего вдвое увеличить производительность первичных отстойников без снижения их эффективности, если гидравлическая крупность взвеси при +20^{0}С составляет 0,25 мм/с.

Занятие № 7

Реконструкция сооружений биологической очистки сточных вод

Большинство действующих в настоящее время КОС позволяют очистить сточные воды населенных пунктов по взвешенным веществам и органическими загрязнениями ($БПК_{полн}$) до 15–20 мг/л. Глубокая очистка стоков позволяет снизить эти показатели до 3–5 мг/л. В то же время данные очистные сооружения не рассчитаны на глубокую очистку сточных вод от соединений азота и фосфора (они снижают концентрацию этих соединений на 30–40%). Для обеспечения нормативных требований к очищенным стокам необходима реконструкция КОС [1].

Реконструкция аэротенков. Реагентный метод глубокого удаления соединений азота и фосфора связан с большими капитальными и эксплуатационными расходами, поэтому предпочтение отдается биологическим методам очистки сточных вод от данных соединений [19].

Предлагаемая технология предусматривает реконструкцию первичных отстойников и сооружений биологической очистки (аэротенков и вторичных отстойников). Технологии удаления азота денитрификацией и фосфора в составе избыточного активного ила требуют повышенного содержания субстрата (легкоокисляемых органических веществ) в сточной воде, подаваемой на биологическую очистку. Использование химических добавок (этанола, метанола и др.) связано с большими экономическими затратами. В качестве субстрата могут использоваться легкоокисляемые органические вещества, извлекаемые из осадка первичных отстойников (ОПО) в результате его кислого брожения. Предлагаемая технология предусматривает реконструкцию системы первичных отстойников с организацией циркуляции части ОПО в распределительную чашу отстойников и выделение части объема отстойников под сбраживатель (ацидофикатор).

Основным элементом предлагаемой технологи [23] является блок биологической очистки (биоблок). Возможны либо проектирование и строительство новых биоблоков, либо реконструкция действующих аэротенков. Технология биологического удаления соединений азота и фосфора предполагает наличие в биоблоке следующих зон: анаэробной зоны обработки иловой смеси; аноксидной зоны (денитрификатор) и оксидной (аэробной) зоны для нитрификации. Для циркуляции нитратов организуется возврат нитратосодержащей иловой смеси из конца аэробной зоны в аноксидную. Фосфаты и нитраты в анаэробной зоне оказывают взаимное ингибирующее действие, поэтому либо организовывается циркуляция частично денитрифицированного ила из аноксидной зоны в анаэробную, либо в начале биоблока устраивается дополнительная аноксидная зона – предденитрификатор. Пребывание в анаэробных, а

затем в аэробных условиях приводит к повышенному содержанию фосфора в активном иле. В анаэробных условиях, когда в иловой смеси нет растворенного и химически связанного кислорода (в форме нитритов и нитратов) микроорганизмы активного ила приспосабливаются к экстремальным условиям, включая в систему дыхания процессы трансформации фосфора. Бактерии выводят фосфор в виде ортофосфатов и продуцируют низшие кислоты жирного ряда. В аэробных условиях микроорганизмы активно поглощают и накапливают фосфаты в виде полифосфатов. Чередование анаэробных и аэробных условий вызывает миграцию фосфора из клеток микроорганизмов в воду и обратно. Если выводить активный ил из системы в момент максимального поглощения фосфора, то его можно удалить не нарушая прироста биомассы нитрифицирующих бактерий [19]. Технологическая схема глубокой очистки сточных вод от азота и фосфора приведена на рис. 7.1.

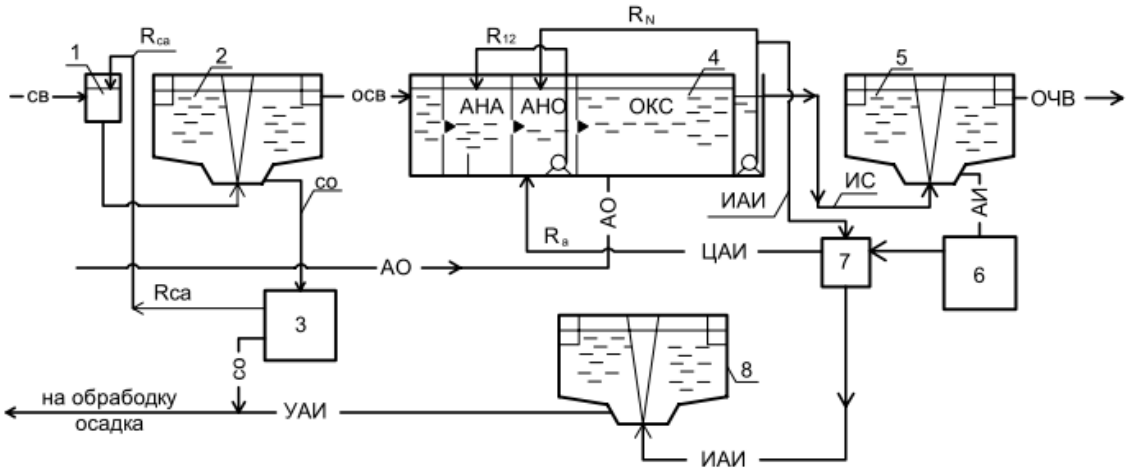

Рис. 7.1. Технологическая схема глубокой очистки сточных вод от азота фосфора: 1– распределительная чаша; 2 – первичный радиальный отстойник; 3 – насосная станция перекачки сырого осадка; 4 – блок биологической очистки; 5 – вторичный радиальный отстойник; 6 – насосная станция перекачки активного ила; 7 – камера переключения активного ила; 8 – илоуплотнитель; СВ – сточная вода; ОСВ – осветленная сточная вода; ОЧВ – очищенная сточная вода; СО – сырой осадок первичного отстойника; ИС – иловая смесь; АИ – активный ил; ЦАИ – циркулирующий активный ил; ИАИ – избыточный активный ил; УАИ – уплотненный активный ил

Сточная вода после аэрируемых песколовок поступает в первичный отстойник – 2. Осветленная вода после отстаивания направляется по отдельному трубопроводу в биоблок – 4 на биологическую очистку с денитрификацией и дефосфотированием. Предусматривается рециркуля-

ция осадка первичных отстойников (R_{CO}) в распределительную чашу – 1, чтобы обеспечить возможность слабого кислого брожения в осадочной части отстойника (увеличивается уровень стояния осадка и время его пребывания в осадочной части) для насыщения осветленных сточных вод органическими кислотами. При этом увеличивается вынос мелких частиц взвеси, снижается эффект осветления, сточная вода насыщается органическими кислотами, что необходимо для эффективного удаления азота денитрификацией и удаления фосфора в составе избыточного активного ила. Реконструируемый аэротенк – 4 по технологии UCT (University Of Cape Town) делится на анаэробную (АНА), аноксидную (АНО) и оксидную (ОКС) зоны. Аноксидная зона является зоной денитрификации; при этом аэробная зона рассчитывается на достаточно глубокую нитрификацию. Из последней секции биоблока организуется возврат иловой смеси в начало аноксидной зоны для рециркуляции нитратов (R_N).

Поскольку фосфаты и нитраты оказывают взаимное ингибирующее действие в анаэробной зоне, то возникает необходимость удаления нитратов из циркулирующего активного ила. Циркулирующий ил (R_{i1}) направляется в аноксидную зону, где осуществляется частичная денитрификация, и далее при помощи рецикла R_{i2} перекачивается в анаэробную зону, в которой осуществляется высвобождение фосфора без ингибирующего влияния нитратов. В аноксидную зону возвращаются нитраты (R_N) из аэробной части.

Перемешивание сточной воды с активным илом и поддержание иловой смеси во взвешенном состоянии в анаэробной и аноксидной зонах осуществляется при помощи погружных пропеллерных мешалок. Аэробное зона оснащена аэрационной системой, например, на базе дисковых аэраторов. Из биоблока иловая смесь поступает во вторичный отстойник – 5. Очищенная вода обеззараживается и сбрасывается в поверхностный источник Циркулирующий активный ил насосной станцией – 6 подается в начало аноксидной зоны. Удаление избыточного активного ила производится либо из линии R_N, либо через камеру переключения – 7 [23].

Реконструкция биофильтров. Одним из путей реконструкции биофильтров сточных вод является рециркуляция. Обычно рециркуляционную воду отбирают после вторичных отстойников и смешивают со стоками, осветленными в первичных отстойниках, что ведет к увеличению нагрузки на вторичные отстойники. Поэтому при рециркуляции необходимо увеличивать число рабочих вторичных отстойников [1]. Эффективность работы повышается, если рециркуляционная вода вместе с биопленкой из осадочной части вторичных отстойников смешивается со стоками, которые подаются в

первичные отстойники. В этом случае стоки уже на этапе первичного отстаивания за счет биокоагуляции подвергаются биологической очистке [1]. Одним из способов интенсификации работы биофильтров является увеличение количества активной биопленки в фильтрующей загрузке. Этого можно добиться применением в качестве загрузочного материала веществ с высокой пористостью [1].

Интенсифицировать работу биофильтров также можно при использовании в них неоднородных по высоте композитных загрузок, чем выше расположен слой загрузочного материала, тем он крупнее. Использование неоднородных загрузок позволяет также интенсифицировать процесс удаления из них загрязнений, исключить заиливание и повысить надежность работы биофильтров [1]. При увеличении в стоках концентрации органических загрязнений, интенсификация работы биофильтров осуществляется путем их перевода на двухступенчатый режим работы. В качестве первой ступени принимаются биофильтры с плоскостной загрузкой [1].

Коэффициент К для биофильтров рассчитывается по формуле [12]:

$$K = \frac{L_{исх}}{L_a}, \tag{7.1}$$

где $L_{исх} - БПК_{полн}$ сточной воды, поступающей на очистку, мг/л; L_a – $БПК_{полн}$ очищенной воды, мг/л.

Степень рециркуляции n_p рассчитывается по формуле [12]:

$$n_p = \frac{L_{исх} - L_{см}}{L_{см} - L_a} \tag{7.2}$$

где $L_{см} - БПК_{полн}$ смеси сточных вод, мг/л.

$$L_{mix} = K \cdot L_a \tag{7.3}$$

Площадь биофильтра при очистке сточных вод с использованием рециркуляции $F_{б.ф.}$, м^2 рассчитывается по формуле [12]:

$$F_{б.ф.} = \frac{Q_{сут}(n+1)}{N_{б.ф.} \cdot q_{б.ф.}}, \tag{7.4}$$

где $Q_{сут}$ – среднесуточный расход сточных вод, м^3/сут; $q_{б.ф.}$ – нагрузка на биофильтр [12]; $N_{б.ф.}$ – число рабочих биофильтров.

Диаметр биофильтра $D_{б.ф.}$, м рассчитывается по формуле [12]:

$$D_{б.ф.} = \sqrt{\frac{4F_{б.ф.}}{\pi}}. \tag{7.5}$$

Эффект очистки сточных вод от органических загрязнений для биофильтров с плоскостной загрузкой при нагрузке по $БПК_{полн}$ на 1 м^2 площади загрузочного материала до 3,5 г/сут составляет $Э_{б.ф.}$=75 % [24]. $БПК_{полн}$ сточной воды на выходе из биофильтров с плоскостной загрузкой L, мг/л рассчитывается по формуле [24]:

$$L = L_{исх}\left(1 - Э_{б.ф.}\right). \qquad (7.6)$$

Для высоконагружаемых фильтров без рециркуляции площадь биофильтра F, м^2 рассчитывается по формуле [12]:

$$F = \frac{Q_{сут}}{N_{б.ф.} \cdot q_{б.ф.}}. \qquad (7.7)$$

Объем загрузочного материала в фильтрах с плоскостной загрузкой W, м^3 рассчитывается по формуле:

$$W = \frac{Q_{сут}}{N \cdot q}, \qquad (7.8)$$

где N – число биофильтров с плоскостной загрузкой, шт.; q – нагрузка на фильтры с плоскостной загрузкой, м^3/м^2·сут [12].

Площадь фильтров с плоскостной загрузкой $F_{п.з.}$, м^2 рассчитывается по формуле [12]:

$$F = \frac{W}{H}$$

где H – высота фильтра с плоскостной загрузкой, м.

Задача № 1

Для очистки сточных вод от органических загрязнений, расход которых составляет 6800 м^3/сут., используются два высоконагружаемых биофильтра диаметром $D_{б.ф.}$=24 м и высотой $H_з$=3 м. Предложить вариант реконструкции биофильтов, если $БПК_{полн}$ сточных вод увеличилась со 120 мг/л до 180 мг/л. $БПК_{полн}$ очищенной воды не должна превышать 20 мг/л. Среднезимняя температура сточной воды составляет +10^{0}С.

Задача № 2

Предложить вариант реконструкции биофильтров на действующих очистных сооружениях, производительностью 1600 м^3/сут . На данных КОС действуют четыре высоконагружаемых биофильтра диаметром =24 $D_{б.ф.}$м и высотой $H_з$=3 м. Среднезимняя температура сточных вод составляет +12^{0}С. $БПК_{полн}$ сточной воды, поступающей на очистку, равна 400 мг/л, а $БПК_{полн}$ очищенной воды не должна превышать 20 мг/л.

Список литературы

1. Татура А.В. Реконструкция систем и сооружений водоснабжения и водоотведения. – Ижевск: Изд-во ИжгТУ, 2003. – 178 с.

2. Шевелев Ф.А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб / Ф.А. Шевелев, А.Ф. Шевелев. – М.: ООО «ИД «БАСТЕТ», 2007. – 336 с.

3. Карелин В.Я. Насосы и насосные станции / В.Я. Карелин, А.В. Минаев. – М.: ООО «ИД «БАСТЕТ», 2010. – 448 с.

4. Расчет и проектирование канализационной насосной станции: Методические указания к курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности 290800 «Водоснабжение и водоотведение» / Сост.: А.Б. Адельшин [и др.]. – Казань: КГАСУ, 2006. – 46 с.

5. Расчет и проектирование водопроводной насосной станции второго подъема: Методические указания к курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности 290800 «Водоснабжение и водоотведение» / Сост.: А.Б. Адельшин [и др.]. – Казань: КГАСУ, 2006. – 47 с.

6. Лукиных А.А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н.Н. Павловского / А.А. Лукиных, Н.А. Лукиных. – М.: ООО «ИД «БАСТЕТ», 2011. – 384 с.

7. Расчет сооружений для очистки производственных сточных вод. Ч. 2. Физико-химическая и биологическая очистка производственных сточных вод. учебное пособие / А.Б. Адельшин [и др.]. – Казань: КГАСУ, 2012. – 60 с.

8. СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – Ввод. 01.01.2013. – М.: Минрегион России, 2013. – 146 с.

9. Водоотводящие системы промышленных предприятий / С.В. Яковлев [и др.]. – М.: Стройиздат, 1990. – 511 с.

10. Кожинов В.Ф. Очистка питьевой и технической воды. Примеры и расчеты. – М.: ООО «БАСТЕТ», 2008. – 304 с.

11. Адельшин А.Б. Интенсификация очистки нефтесодержащих сточных вод на основе применения струйно-отстойных аппаратов / А.Б. Адельшин, Н.И. Потехин. – Казань: КГАСА, 1997. – 207 с.

12. Ласков Ю.М. Примеры расчетов канализационных сооружений / Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов, В.И. Калицун. – М.: ИД «Альянс», 2008. – 255 с.

13. Дикаревский В.С. Канализационные очистные сооружения железнодорожного транспорта / В.С. Дикаревский, И.Н. Караваев, И.И. Краснянский. – М.: Транспорт, 1973. – 288 с.

14. Канализация населенных мест и промышленных предприятий: справочник проектировщика / под ред. В.Н. Самохина. – М.: Стройиздат, 1981. – 639 с.

15. Водоснабжение населенных мест и промышленных предприятий: справочник проектировщика / под ред. И.А. Назарова. – М.: Стройиздат, 1977. – 288 с.

16. Баженов В.И. Реконструкция сооружений на станциях по очистке сточных вод / В.И. Баженов, А.И. Эпов. – Водоснабжение и канализация. – 2010. – № 5–6. – С. 79–91.

17. СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. – Ввод.01.01.2013. – М.: Минрегион России, 2012. – 93 с.

18. Есин М.И. Реконструкция решеток: особенности и инженерные решения / М.И. Есин, А.В. Слепцов, Н.А. Соколов.– Вода и экология. Проблемы и решения. – 2012. – № 12. С. 38–42.

19. Мишуков Б.Г. Расчет очистных сооружений городской канализации: учебное пособие / Б.Г. Мишуков [и др]. – СПб.: СПбГАСУ, 2005. – 175 с.

20. Иоакимис Г.Э. Разработка проекта реконструкции систем канализации г. Хабаровка / Г.Э. Иоакимис, А.О. Душко, О.С. Безверхняя. – Интернет-вестник ВолгГАСУ: Серия «Политематическая». – 2012. – Вып. 2(22). – С.1–12.

21. Расчет сооружений механической очистки сточных вод населенных пунктов: учебное пособие / А.Б. Адельшин [и др]. – Казань: КГАСУ, 2010. – 57 с.

22. Расчет сооружений для очистки производственных сточных вод. Ч. 1. Механическая и химическая очистка производственных стоков: учебное пособие / А.Б. Адельшин [и др]. – Казань: КГАСУ, 2010. – 67 с.

23. Опытно-промышленная линия для биологической очистки сточных вод с денитрификацией и дефосфотированием /А.Б. Адельшин [и др].– Известия КГАСУ. – 2006. – № 2(6).– С. 94–96.

24. Яковлев С.В. Биологические фильтры / С.В. Яковлев, Ю.В. Воронов.– М.: Стройиздат, 1982. – 120 с.

РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

Методические указания к практическим занятиям
для студентов направления 270800.62 «Строительство»,
профиль «Водоснабжение и водоотведение»

Составители: Бусарев Андрей Валерьевич,
Селюгин Александр Сергеевич