ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ **ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ** МАЛОМУТНЫХ ЦВЕТНЫХ ВОД В СЛОЕ ВЗВЕШЕННОГО ОСАДКА

Часть 2

Изложены физико-химические и гидромеханические основы формирования стабильного взвешенного слоя в осветлителях со слоем взвешенного осадка, эксплуатируемых на маломутных высокоцветных холодных водах. Отражены пути повышения санитарно-гигиенической надежности осветлителей со слоем взвешенного осадка. Приведена методика и расчетные зависимости для определения гидравлических и технологических параметров работы осветлителей.

М.Г. Журба*,
доктор технических наук, профессор, руководитель Центра инноваций в области водоснабжения и водоотведения, ОАО «Мосводоканал НИИпроект»

Гидравлические условия функционирования взвешенного слоя осадка

На структурные характеристики формирующегося взвешенного слоя и избыточного осадка, непрерывно удаляемого из коридоров осветления в осадкоуплотнитель через перепускные окна, влияют следующие основные факторы: степень полноты коагуляционного процесса, включающего дозирование растворов коагулянта и флокулянта в исходную воду (I), их смешение (II), отдувка свободной и агрессивной углекислоты (III), рециркуляция осадка, осуществляемая в пределах зоны функционирования взвешенного слоя в коридоре (IV), равномерность и гашение энергии при распределении воды по площади коридора осветлителя (V), критическая скорость восходящего потока осветляемой воды (VI).

Изменение гидравлической нагрузки по обрабатываемой воде и температуры воды в процессе одного цикла очистки и недостаточная равномерность распределения воды по площади осветлительной зоны вызывают завихрения и циркуляционное движение отдельных струй водного потока в пределах взвешенного слоя и вынос наиболее легких хлопьев за пределы его границы. При низких значениях щелочности, температуры, pH и мутности воды эти явления наблюдаются наиболее часто.

Достичь устойчивой и эффективной работы взвешенного слоя в такие периоды становится весьма сложно из-за разницы в плотностях коагулянта и частиц взвеси в исходной воде, а также отрицательного влияния углекислоты, образующейся в результате взаимодействия коагулянта с гидрокарбонатами при больших применяемых дозах коагулянта для обесцвечивания воды. Вследствие последнего наблюдается частичная флотация наиболее легкой неустойчивой взвеси, которая и приводит к ее выносу в зону, расположенную над верхней границей взвешенного слоя.

На *рис. 1* представлена технологическая схема работы коридорного осветлителя с выносным осадкоуплотнителем и фильтром с плавающей загрузкой, а на *рис. 2* – динамика формирования высоты слоя взвешенного осадка во времени.

Кривые 1-3 на *рис. 2* характеризуют роль скорости восходящего потока обрабатываемой воды в коридорном осветлителе, а кривая 4 – (для сравнения) демонстрирует формирование слоя сильно зашламлённого осадка, образующегося при большом содержании взвешенных веществ в исходной воде (до 300-400 мг/л) и удовлетворительных условиях коагуляции и хлопьеобразования в осветлителе с донным осадкоуплотнителем [1].

Теоретические основы процесса очистки воды в осветлителе со взвешенным осадком (**ОВО**) наиболее полно представлены в работах [1-3], а их экспериментальное подтверждение – в работах [1, 4-7].

* Адрес для корреспонденции: fonsvit@bk.ru

Основными структурными характеристиками сформированного взвешенного слоя осадка являются вязкость, плотность гетерофазной системы и удельная концентрация твердой фазы в единице объема жидкости (γ_1), г/см^3, равная:

$$\gamma_1 = \frac{G}{l_в f}, \quad (9)$$

где G – масса твердой фазы в осадке, г; $l_в$ – конечная высота слоя осадка, см; f – площадь зоны сформированного слоя взвешенного осадка, см^2.

До определенной величины давления (P) слоя осадка и воды над ним при деформации структурирования (уплотнения) этой системы γ_1 может определяться по формуле:

$$\gamma_1 = \gamma_0 + aP, \quad (10)$$

где γ_0 – содержание твердой фазы по массе в единице объема неуплотненного осадка, г/см^3, т.е. при отсутствии дополнительного давления P; a – коэффициент уплотнения.

Объемная концентрация, равная доле объема контактной среды, заполненной взвесью, определяется из выражения:

$$C_0 = \frac{C_в}{\gamma_0}, \quad (11)$$

где $C_в$ – массовая концентрация взвеси, равная сухому остатку.

Характер изменения массовой концентрации по высоте сформировавшегося слоя зависит не только от степени скоагулированности частиц взвеси при их определенной начальной концентрации в исходной воде, но и от равномерности распределения входных скоростей потока воды в нижней зоне образующегося слоя, условий образования вихревых потоков [1, 8] и гидравлических условий отвода избытка хлопьевидного осадка в осадкоуплотнитель. Диапазон изменения таких концентраций может быть весьма большим (*рис. 3*).

Важными характеристиками сформированного слоя взвешенного осадка являются также степень структурно-механической гидратации взвеси ($Г_в$), выражаемая формулой:

$$Г_в = \frac{\gamma}{\gamma_0} - \frac{\gamma}{\gamma_T}, \quad (12)$$

где γ_T – плотность частиц твердой фазы, г/см^3, и диаметр образующихся хлопьев во взвешенном слое $d_{хл}$ [2]:

$$d_{хл} = 0{,}136\sqrt{\frac{\nu u_ч a_f}{(\gamma - 1)}}, \quad (13)$$

где $u_ч$ – скорость осаждения частиц, см/с; $\gamma = 1 + 0{,}6\gamma_0$ – плотность взвешенных частиц, г/см^3; a_f – коэффициент формы частиц, принимаемый для хлопьевидной взвеси, равным 1,65 – 2,0; ν – вязкость воды.

Как видно из формулы (10), содержание твердой фазы в слое взвешенного осадка существенно повышается с увеличением давления выше располагаемых слоев осадка в процессе водообработки.

В верхней части слоя осадка, где производится отвод его избытка в осадкоуплотнитель (*рис. 1*), величина $P_{кр} = P_{min}$, где P_{min} относится только к сформированной структуре взвешенного слоя и слоя воды над ним. В пространстве от границы расположения окон до водоотводящих трубопроводов очищенной воды движение самых легких частиц взвеси происходит в разбавленном объеме неуплотненного осадка. В этом объеме осаждение или вынос отдельных мелких хлопьев и коллоидных частиц подчиняется закону соотношения сил тяжести (G_c) и сопротивления осаждения шарообразной частицы (R_c):

$$G_c = \frac{\pi d^3}{6} m(\gamma_ч - \gamma) g, \quad (14)$$

где d – диаметр частиц твердой фазы; m – пористость слоя; g – ускорение свободного падения; $\gamma_ч$ и γ – плотность частиц взвеси и воды, соответственно.

$$R_c = \psi_c \upsilon_c^2 d^2 \nu, \quad (15)$$

где ψ_c – коэффициент сопротивления частицы при стесненном ее осаждении; υ_c – скорость движения воды в порах взвешенного слоя; ν – вязкость воды.

После отвода части осадка с пористостью слоя $m \to 1$ через осадкоприемные окна скорость осаждения частицы в выше расположенном пространстве u_c приближается к скорости ее свободного падения u_r. При равенстве G_c и R_c эти скорости определяются из формулы:

$$u_c = u_r = \sqrt{\frac{\pi d^2 (\gamma_ч - \gamma) g}{6 \psi_c \nu}}. \quad (16)$$

Такому же закону подчиняются и процессы осаждения взвешенных хлопьев в зоне осветления воды в осадкоуплотнителе. Эффект осаждения их будет возрастать с увеличением пути восходящего движения воды ($l_{в.у}$) и глубины осаждения ($l_{ос.у}$). (*рис. 1*).

С точки зрения потенциальной водоочистной способности «идеальным» может считаться слой взвешенного осадка в случае

равномерного распределения твердой фазы по всей его высоте. Однако на практике достичь такого условия не представляется возможным из-за уменьшения $P_{кр}$ с увеличением высоты слоя. Поэтому степень осветления воды в слое в пространстве над перепускными окнами и предотвращение чрезмерного выноса части хлопьев в трубопроводы осветленной воды будет зависеть от неких критических значений концентрации и плотности твердой фазы в верхней части образовавшегося слоя над границей отвода из него избыточной части осадка в осадкоуплотнитель.

Уменьшению выноса части хлопьев в зоны расположения водоотводящих труб осветленной воды будет способствовать увеличение P, создаваемого за счет дополнительного сопротивления $R_з$. Такое сопротивление может быть обеспечено при размещении в этих зонах слоев плавающей гранулированной загрузки. В этом случае при задержании частиц взвеси со временем будет возрастать и давление $P_з$ над слоем взвешенного осадка. Тогда:

$$\Sigma P_{кр} = P_{min} + P_з = (\gamma_0 + 0{,}6\gamma) + P_з \,. \quad (17)$$

Эксперименты, выполненные нами на плавающих загрузках из гранул пенополистирола со средним их диаметром от 0,67 до 5,85 мм и интервалах изменения чисел Рейнольдса от 0,25 до 323 [9], позволили получить расчетную формулу для определения $P_з$ при восходящем фильтровании со скоростью $\upsilon_{э.в}$:

$$P_з = \gamma \frac{P_{э.в.} \upsilon^3_{э.в.}}{\mu g m^3_{э.в.}} \left(\frac{0{,}19\, Re^2_{э.в} + 5{,}04\, Re_{э.в.} - 0{,}23}{Re^3_{э.в.}} \right) l_з, \quad (18)$$

С увеличением продолжительности (t) работы ОВО с фильтром с плавающей загрузкой потери напора в загрузке будут возрастать:

$$h_t = h_{о.в.} + b_t \,, \quad (19)$$

где $h_{о.в.}$ – потери напора в чистой загрузке, b_t – величина прироста потерь напора во времени, м/ч.

Для обеспечения одинакового эффекта очистки воды в зонах осветления (*з.о.*) коридора и осадкоуплотнителя (*з.оу*) важно соблюдать равенство скоростей восходящего потока в них перед плавающими загрузками одинакового состава:

$$\upsilon_{з.о.} = \upsilon_{з.оу} \quad (20)$$

Это равенство обеспечивается соблюдением соотношения распределения расходов воды и площадей коридора осветления ($f_{кор.о}$) и осадкоуплотнения ($f_{оу}$).

$$Q_{ОВО} = Q_{кор.о.} + Q_{оу} \,, \quad (21)$$

$$\upsilon_{з.о.} = \frac{Q_{з.о.}}{f_{кор.о}} \approx \frac{Q_{з.оу}}{f_{оу}} \approx \upsilon_{з.оу} \,. \quad (22)$$

Соотношение площадей зон осветления и уплотнения осадка определяется из рекомендуемого по технологическим соображениям распределения расходов воды между этими зонами в пределах:

$$Q_{з.оу} = (0{,}15 \div 0{,}2) Q_{ОВО}. \quad (23)$$

Размещение плавающего фильтрующего слоя одинаковой высоты с одинаковым грансоставом загрузки в верхней части коридоров осветления и осадкоуплотнителя [10] позволяет не только существенно уменьшить отрицательное воздействие возможных изменений режима гидравлических нагрузок на слой взвешенного осадка и увеличить концентрацию твердой фазы в верхних его слоях, но и дополнительно очистить воду перед поступлением ее в водоотводящие трубы.

Особенностью очистки высокоцветных низкотемпературных маломутных вод в ОВО является то, что разница в концентрации твердой фазы и плотности твердых частиц в начале взвешенного слоя и в точке его отвода через перепускные окна больше, чем при очистке высокомутных вод с большим содержанием взвешенных минеральных частиц.

Эту разницу частично можно компенсировать рециркуляцией наиболее концентрированной нижней части осадка взвешенного слоя и добавлением в обрабатываемую воду перед ОВО мелкодисперсного песка (*рис. 1*). Создание комбинированного взвешенного слоя, в нижней части которого формируется небольшой слой из взвешенного мелкозернистого песка со 100 % расширением ($l_p \approx 0{,}5$ м) и образующихся хлопьев, а в верхней его части ($l_{вз}$ = 1,2 – 2,2 м) только из скоагулированных хлопьев взвеси также будет способствовать более стабильному режиму функционирования взвешенного слоя. В этой же нижней конусной части осветлителя целесообразно размещение эжекторных малогабаритных устройств, работающих только за счет разности давлений воды до и после них.

Гидравлический расчет элементов конструкций ОВО с такими устройствами должен производиться на вторую критическую скорость потока воды через взвешенный слой мелкозернистого песка, соизмеримой со скорос-

тями фильтрования воды через плавающие загрузки в пределах $\upsilon_{ср}$ = 3,5 – 4 м/ч. Это позволит увеличить скорость восходящего потока перед слоем осадка до $\upsilon_в$ = 1,0 – 1,2 мм/с.
Таким образом, в общем случае интенсификация работы коридорных осветлителей со взвешенным осадком может быть достигнута за счет обеспечения:

- оптимальных режимов коагулирования и флокулирования низкотемпературных высокоцветных маломутных вод с одновременной отдувкой избыточной CO_2;
- стабильности подачи расхода воды в зоны формирования слоя взвешенного осадка за счет оборудования осветлителей воздухоотделителями и регуляторами расхода;
- рециркуляции наиболее концентрированной части осадка в нижних границах взвешенного слоя;
- устройства в зоне осветленной воды (над перепускными окнами) фильтрующего слоя из легких полимерных гранул, легко промываемого нисходящим потоком осветленной воды из общего надфильтрового пространства без нарушения режимов работы основного слоя взвешенного осадка;
- равномерности подачи исходной воды, отвода избыточной части осадка в осадкоуплотнитель и отвода осветленной воды из коридора осветления и осадкоуплотнителя.

Для рассматриваемой категории очищаемых природных вод на осветлителях коридорного типа представляется вполне обоснованным устройство на станции дополнительной (вопреки рекомендациям СНиП 2.04.02-84) камеры хлопьеобразования, которая может быть совмещенной со смесителем, оборудованным механической мешалкой с регулируемым числом оборотов.

Закономерности процесса осветления воды в слое взвешенного осадка

При изменении гидродинамических условий обтекания частиц взвеси и хлопьев с увеличением их концентрации в фиксированном по высоте взвешенном слое имеет место стеснение осаждения частиц. Эффективность такого осаждения во многом зависит от пористости взвешенного слоя. При достижении восходящей скорости потока суспензии $\upsilon_в$ своего критического значения, при котором она будет равна величине гидравлической крупности частицы U, псевдоожиженный слой перестает существовать. В работе [2] экспериментально установлена связь между отношением $\beta = \upsilon_в/U$ и объемной концентрацией хлопьев ($C_{об}$) в слое осадка:

$$lg\,\beta = lg\frac{\upsilon_в}{U} = -K_{гх}(1-m) = -K_{гх}C_{об}\ , \quad (24)$$

где $K_{гх}$ – параметр гидродинамической характеристики хлопьев осадка; m – пористость псевдоожиженного слоя. Формула справедлива при значениях $\beta < 0{,}25$ и $K_{гх} = 1 \div 3$.
С изменением пористости слоя по его высоте изменяется и скорость осаждения твердых частиц в нем:

$$\frac{U_{в1}}{U_{в2}} = \frac{m_1 \nu_2}{m_2 \nu_1}\ , \quad (25)$$

где $U_{в1}$, $U_{в2}$, m_1, m_2 – скорости осаждения и пористости элементарных слоев взвешенного осадка, соответственно; ν_1, ν_2 – молярная вязкость жидкости при m_1 и m_2.
В диапазоне объемной концентрации взвеси $C_{об}$ = 0 – 0,25 скорость осаждения может быть определена по формуле:

$$u = u_r\,(1 - 3{,}5\,C_{об}), \quad (26)$$

где u_r – удельная скорость свободного осаждения частиц взвеси.

$$C_{об} = \frac{C_в}{\gamma_0}\ , \quad (27)$$

а γ_0 – удельная концентрация взвеси на единицу объема слоя.
При $C_{об} \geq 0{,}25$ осадок превращается в вязкую массу, приводя к нарушению нормального режима работы осветлителей.
В основу физико-химических представлений задержания взвеси разной дисперсности и устойчивости во взвешенном слое осадка лежат процессы, характерные для контактной коагуляции в зернистом слое. Степень извлечения загрязнений зависит от площади поверхности твердой фазы в единице объема контактной среды и соотношения скорости диффузии частиц в этой среде. В ней изменение концентрации примесей в очищаемой воде (C_o) за промежуток времени (t) может быть выражено дифференциальным уравнением:

$$\frac{dC}{dt} = -bC_oC^*\ , \quad (28)$$

где b – параметр, характеризующий интенсивность контактной коагуляции частиц. Подставляя в (28) значения:

$$dt = \frac{dl}{\upsilon_в}\ , \quad (29)$$

и разделяя переменные:

$$\frac{dC}{C_o} = -b\frac{C^*}{\nu}dl\ , \quad (30)$$

после интегрирования получают формулу для определения эффективности очистки воды

$$\frac{C_{ex}}{C_o} = e^{-b\frac{C^*}{\nu}l} \quad (31)$$

В (28), (30-31) весовая концентрация осадка С* находится по формуле:

$$C^* = \gamma C^*_{об}, \quad (32)$$

где γ – содержание сухого вещества в структуре хлопьев.

Принимая по рекомендациям [2] средние значения параметра гидродинамической характеристики хлопьев осадка $K_{гх}$ = 2,75, параметр γ находят из зависимости:

$$\gamma = -2{,}75 \frac{C^*}{lg\frac{\upsilon}{u}}, \quad (33)$$

Для цветных маломутных низкотемпературных вод $K_{гх}$ должны уточняться технологическими испытаниями для каждого водоисточника. Параметр b в формулах (28)-(30) определяется экспериментально по предварительно построенному в результате технологического моделирования графику вида $lg\upsilon_в \bullet lgu = f(Cx)$.

При изменении качества исходной воды, режимов ее коагулирования, специфики хлопьеобразования и скоростей восходящего потока $\upsilon_в$ в зоне осветления такое моделирование приходится производить каждый раз по-новому. Учитывая, что структура взвешенного слоя в течение рабочего цикла (до момента продувки коридора осветления) постоянно изменяется как во времени, так и по высоте слоя, эффект очистки во взвешенном слое логичнее прогнозировать по зависимости, найденной с помощью теории размерностей, используемой для зернистых фильтров [9]:

$$\frac{C_1}{C_2} = k\left(\frac{l_в}{\upsilon_в t}\right)^{\lambda}, \quad (34)$$

где k и λ – коэффициенты, учитывающие структурные свойства слоя взвешенного осадка и изменения качества исходной воды, найденные по результатам обработки экспериментальных данных; C_1, C_2 – концентрация взвешенных веществ в воде перед слоем и после слоя взвешенного осадка.

Сущность технологического расчета осветлителей со взвешенным осадком без рециркуляторов и фильтра доочистки заключается в нахождении оптимального соотношения скорости восходящего потока и гидравлической крупности взвеси ($\upsilon_в/U$) в различные периоды года и его связи с весовой концентрацией осадка ($C^*_{об}$). Это соотношение, как уже отмечалось ранее, определяет эффективность осветления воды, выраженную через величину C_2/C_1 и высоту слоя взвешенного осадка.

Ключевые слова: качество воды, реагенты, воздухоотделители, слой взвешенного осадка, скорости восходящего потока, фильтры доочистки, равномерность подачи и распределения воды по площади осветлителя, расчетные зависимости

Высоту зоны осветления воды над слоем осадка назначают из гидродинамических условий его функционирования $h_{з.о} = f(\upsilon, l_o)$. На *рис. 4* в качестве примера приведены графики изменения показателей качества осветленной воды, на *рис. 5* – графики потерь напора во взвешенном слое при реагентной обработке воды в зависимости от скорости восходящего потока осветляемой воды и высоты слоя взвешенного осадка.

Как видно из *рис. 4*, с увеличением скорости восходящего потока более 0,6 мм/с мутность воды после слоя взвешенного осадка 1,5 м достигает 18 мг/л и более. При «вялой» коагуляции и недостаточной концентрации твердой фазы и плотности частиц в слое (например, при очистке высокоцветных маломутных вод с низкой щелочностью и без рециркуляции осадка) величина мутности может достигать более 25 мг/л. При такой мутности воды в зоне коридора осветлителя, расположенного выше осадкоотводящих окон, свободное осаждение мелкодисперсных частиц подчиняется соотношению, аналогичному для вертикальных отстойников. Основой метода моделирования процесса осаждения взвеси для этого случая является подобие кривых ее выпадения при разных значениях высот осаждения:

$$\frac{t_н}{t_м} = \left(\frac{h_н}{h_м}\right)^2, \quad (35)$$

где $t_н$, $h_н$ – продолжительность и высота отстаивания, соответственно, в натуре; $t_м$, $h_м$ – в модели.

По такому же закону будет происходить осаждение и в зоне осадкоуплотнителя. Выше взвешенного слоя, в пространстве между осадкоприемными окнами и фильтрующим слоем плавающей загрузки, эффект очистки, определяемый соотношением C_2/C_3 (*рис. 1*), может быть найден аналогично определению эффективности осаждения взвеси в вертикальном отстойнике. Рекомендуемые скорости восходящего потока для коагулируемой взвеси в этой зоне находятся в пределах υ_p = 0,6 – 1,2 мм/с [1, 11].

Принимая эти значения по формуле (36), можно определить площадь зоны осветления одного коридора:

$$F = \frac{\beta q}{3{,}6\upsilon}, \quad (36)$$

где $\beta \approx 1{,}5$ – коэффициент, учитывающий объемное использование зоны; q – расчетный расход воды поступающей в коридор осветления ОВО.

С увеличением сопротивления и роста потерь напора в плавающей загрузке фильтра в рас-

сматриваемом промежуточном пространстве при определенных значениях $\upsilon_p \leq u_0$ образуется вторичный динамичный, но менее концентрированный взвешенный слой. При $\upsilon_p > u_0$ вся оставшаяся мелкодисперсная взвесь будет выноситься на фильтр.

Расчеты по определению критической скорости осаждения показывают, что эффект их осаждения зависит как от диаметра частиц с одинаковой плотностью, так и от степени кинетической и агрегатной остаточной их устойчивости [9].

При устройстве в верхней части слоя осветленной воды в коридоре осветлителя и в осадкоуплотнителе фильтров с плавающей пенополистирольной загрузкой эффект дальнейшей доочистки воды в них определяется из выражения:

$$\frac{C_3}{C_2} k \left(\frac{l_3}{\upsilon_ф t_н} \right)^{\lambda} \left(\frac{d_{ср}}{\upsilon_ф t_н} \right)^{\beta} \left(\frac{\sum h}{\upsilon_ф t_н} \right)^{\gamma}, \quad (37)$$

где C_2 и C_3 – содержание взвешенных веществ после и перед слоем загрузки; $l_з$ – толщина слоя загрузки; $d_{ср}$ – средний диаметр вспененных гранул полистирола; $\sum h$ – потери напора в загрузке за фильтроцикл с продолжительностью $t_н$; $\upsilon_ф$ – скорость фильтрования.

Устройство в зонах осветленной воды фильтров с плавающей загрузкой позволяет стабилизировать технологический режим работы комбинированного сооружения «осветлитель со слоем взвешенного осадка + фильтр с плавающей загрузкой (**ОВО+ФПЗ**)» со скоростями до 3-4 м/ч.

Заключение

В результате выполненных теоретических и экспериментальных исследований разработана методика гидравлических и технологических расчетов нового комбинированного сооружения ОВО+ФПЗ.

Выбор окислителей, коагулянтов и флокулянтов, используемых на первой стадии предподготовки цветных маломутных вод перед осветлителями со взвешенным осадком, должен производиться с учетом сезонного изменения качества воды в водоисточнике в периоды весеннего снеготаяния на водосборных площадях и осенних паводков. Определяющими показателями качества воды в эти периоды являются низкие значения щелочности и температуры воды; увеличение окисляемости, цветности и содержания углекислоты, дополнительно образующейся в процессе коагулирования и солевой состав. Поддержание в течение межпродувочных циклов работы ОВО стабильного структурированного взвешенного слоя обеспечивается своевременной отдувкой CO_2, непрерывной рециркуляцией слоя осадка в коридорах осветлителя, а также регулированием скорости восходящего потока, равномерности поступления исходной воды на ОВО и непрерывного отвода части хлопьевидного осадка в осадкоуплотнитель.

Доказана эффективность упрочнения и концентрирования взвешенного слоя путем создания дополнительного сопротивления движению осветленной воды в пространстве между осадкоотводящими окнами (или трубами) и трубопроводами отвода очищенной воды в сборные карманы ОВО. Такое сопротивление и, следовательно, увеличение давления столба жидкости над слоем взвешенного осадка предложено обеспечить устройством в этом пространстве фильтров с плавающей загрузкой, в которых одновременно осуществляется доочистка воды от мутности, цветности, окисляемости и остаточного алюминия.

Рассмотрены пути интенсификации и доказана возможность эффективной работы ОВО+ФПЗ на низкотемпературных маломутных цветных водах со скоростями восходящего потока в слое взвешенного осадка до 0,8 – 1,1 мм/с.

Литература
1. Радциг В.А. Влияние гидравлических условий хлопьеобразования на ход осветления воды / В.А. Радциг, Т.И. Барышникова // Сб. трудов Уральского политехнического института, № 35 «Очистка природных и сточных вод». М.: Госиздат литературы по строительству и архитектуре, 1953. С. 48-65.
2. Кургаев Е.Ф. Осветлители воды. М.: Стройиздат, 1986. 171 с.
3. Водоснабжение на железнодорожном транспорте (Под ред. Азерьера С.Х.). В 2 т. М.: Трансжелдориздат, 1940. 504 с.
4. Бабенков Е.Д. Очистка воды коагулянтами. М.: Наука, 1977. 356 с.
5. Фрог Б.Н. Исследование процессов очистки высокоцветных маломутных вод для нужд тепловых электростанций. Автореферат дис.... канд. техн. наук. М.: МИСИ, 1972. 20 с.
6. Файншиль Я.Л. Исследование основных закономерностей работы камер хлопьеобразования со слоем взвешенного осадка. Автореферат дис.... канд. техн. наук. М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1970. 24 с.
7. Первов Г.Г. Исследование методов моделирования и интенсификации работы осветлителей. Автореферат дис.... канд. техн. наук. М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1963. 28 с.
8. Доросинский Г.П. Щелевой осветлитель / Сб. трудов Уральского политехнического института, № 35 «Очистка природных и сточных вод». М.: Гос.издат литературы по строительству и архитектуре, 1953. С. 81-96.
9. Журба М.Г. Водоочистные фильтры с плавающей загрузкой. М.: Научн. изд. 2011. 536 с.
10. Журба М.Г., Говорова Ж.М., Говоров О.Б. Осветлитель-фильтр для очистки воды. Патент на изобретение RU № 2339425 C1, B01D 21//08. Бюл. № 33, 27.11.2008. Патент №2339425 РФ (Журба М.Г., Говорова Ж.М., Говоров О.Б.). Осветлитель – фильтр для очистки воды. Заявлено 15.05.2007 г. Опубликовано 27.11.2008 г. Бюл. №33. Приоритет 15.05.2007 г.
11. Клячко В.А. Подготовка воды для промышленного и городского водоснабжения / В.А. Клячко, И.Э. Апельцин. М.: Госиздат литературы по архитектуре, строительству и строительным материалам, 1962. 819 с.

M.G. Zhurba

PHYSICO-CHEMICAL ASPECTS OF CLOUDY WATER TREATMENT IN LAYER OF SUSPENDED SEDIMENT. Part 2

Physico-chemical and hydro-mechanical basis for a stable layer formation of suspended sediments in lighters used in cloudy colored waters are analyzed. Some ways to improve the hygienic safety of lighters with a layer of suspended sediment are discussed. Methods and calculated characteristics of hydraulic and technological parameters of the lighters have been presented.

Key words: water quality, chemicals, air purge, suspended sediment layer, upstream speed, pre-treatment filters, water supply and distribution over the area of lighters, calculated correlations