УДК 628.32

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ АППАРАТА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРИ ОСВЕТЛЕНИИ

Бунина Л.Н.[1], Николенко И.В.[2], Мовчан С.И.[1]

[1,3]Мелитопольский государственный университет имени А.С. Макаренко
Адрес: Запорожская область, г. Мелитополь, пр. Б. Хмельницкого, 18
[1]e-mail: bunina1974@inbox.ru
[3]e-mail: movchantsaa@rambler.ru
[2]Институт «Академия строительства и архитектуры)
ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»
Адрес: 295050 РК г. Симферополь, ул. Киевская, 181
[2]e-mail: nikoshi@mail.ru

Аннотация. Обработка сточных вод промышленного производства сложный и многообразный процесс, зависящий от ряда факторов которым характеризуется данное промышленное производство. В данной статье рассматривается один из вопросов очистки сточных вод, связанный с осветлением сточных вод в аппаратах напорной флотации-коагуляции промышленного производства. На основе разработанных технических и технологических решений усовершенствована конструкция аппарата очистки сточных вод, позволяющая обеспечить более высокую степень осветления сточных вод. Данная цель достигается за счёт установления параллельного ряда шламоотводящих коллекторов с перфорированными стенками крайних коллекторов, снабженных фильтровальными элементами и наклонными лотками, высота которых устанавливается по мере удаления каждого из коллекторов от начала флотокамеры, в средней части которых выполнены отверстия, а в нижней части флотокамеры размещены два конусообразных элемента, один из которых усечённый, соединённый основаниями, а в плоскости соединения оснований конусообразных элементов установлен распределитель газонасыщенной воды, выполненный в виде перфорированных трубопроводов и патрубков. Приведена теория работы коалесценирующего фильтра, где при использовании математических зависимостей, учитываются объёмные концентрации масла на входе в фильтр и на глубине обработке сточных вод, что обеспечивает надёжность работы осветляющих устройств. Определены размеры частиц и эффективность очистки масел на коалесценирующем фильтре.
Предмет исследования: процессы осветления в аппаратах напорной флотации-коагуляции систем оборотного водоснабжения промышленных предприятий.
Материалы и методы исследования: библиографический поиск работы систем оборотного водоснабжения, использующих в локальных схемах обработки сточных вод процессы осветления сточных вод
Результаты: проведенные исследования позволили определить технологические решения усовершенствованной конструкции аппарата очистки сточных вод, которые за счёт произведенной перфорации в переднем коллекторе, сатуратора, эжектора и нерастворимых электродов создаёт условия для более эффективной обработки (осветления) сточных вод. С технической точки зрения, использование конструктивных усовершенствований позволяет обеспечить надёжную работу всего оборудования, когда осветление сточных вод происходит в несколько стадий (этапов). Оптимальная технологическая цепочка обработки сточных вод, выбирается в зависимости от исходной степени их загрязнения и пути дальнейшей рециркуляции водных ресурсов в промышленном производстве.
Выводы: применение теоретических зависимостей, учитывающих объёмные концентрации масла на входе в фильтр и на глубине обработке сточных вод, обеспечивает надёжность работы осветляющих устройств. Надежность работы определяется эффективностью протекания следующих двух процессов: осаждения капель эмульсии из потока на гранулы загрузки фильтра и эффективности удаления осадка с поверхности гранул. При этом осаждение непрерывной пленки масла происходит за счет гравитационных и гидродинамических сил из общего объема загрузки, а эффективность выделения осадка с поверхности гранул существенно зависит от соотношения между их размерами, вязкостью и концентрацией масла.
Ключевые слова: осветление, коллектор, сточные воды, шлам, флотокамера, флотация, тонкослойный модулятор, перфорированные стенки, фильтровальные элементы, конусообразные элементы,

ВВЕДЕНИЕ

На долю промышленности приходится до четверти всего мирового водопотребления, а в большинстве промышленно развитых стран 50…80% общего спроса пресной воды используется в промышленном производстве. В технологических процессах промышленных предприятий потребляется лишь небольшая часть воды. Большая ее часть используется для охлаждения, смешения, очистки, обработки и в другие технологические процессы, которые нагревают или загрязняют водную среду, но не теряют воду и не потребляют ее с включением в готовую продукцию [1]. Это создает возможность рециркуляции водных ресурсов в промышленном производстве, тем самым получая больше продукции с каждого кубометра потребляемой воды. наиболее эффективным и экономичным способом соблюдения требований по загрязнению окружающей среды часто является многократная переработка и повторное использование воды. Важным этапом очистки сточной промышленной воды является ее осветление, то есть удаление из нее взвешенных веществ, которые изменяют цвет воды или делают

ее непрозрачной. Необходимость и степень такой очистки воды зависит от целей последующего ее использования.

Выбор метода осветления – один из главных пунктов при разработке технологии очистки, так как он скажется в дальнейшем на всём процессе водоподготовки. В зависимости от требуемой степени очистки могут применяться разные методы осветления воды, которые основаны на применении различных физических, химических и физико-химических процессов [2, 3]. Осветление рабочих и технических жидкостей, сточных вод и т.п. сложный, многостадийный процесс, являющийся неизменным условием качественной очистки промышленных сточных вод и дальнейшего использования воды в системах промышленного водоснабжения. Осветлители нашли широкое применение в качестве первой ступени осветления воды вместо отстойников. Осветлители рекомендуется применять на станциях производительностью от 5 до 50 тис. $м^3$/сут. Для осветления воды с содержанием взвешенных веществ 50…1500 мг/л и цветностью до 120^0. Кроме осветления и обесцвечивания осветлители могут применяться для реагентного умягчения воды [2].

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Известна установка для очистки сточных вод, содержащая флотатор, флотоотстойник с тонкослойными модулями и потокоформирующими перегородками, фильтр с коалесценирующей загрузкой, средства сбора и отвода флотошлама, трубопровода подачи сточной воды и газосжиженного раствора с установленными на них конфузорными насадками и размещенными на них с зазором, отстойниками – распределителями [4]. Недостатком установки для очистки сточных вод является громоздкость конструктивного исполнения, требующая значительных производственных площадей, что влияет на формирование экономической составляющей очистки сточных вод. Известна конструкция устройства для очистки сточных вод, включающее питающий трубопровод, камеры хлопьеобразования, флотации с расположенными в ней тонкослойными модулями, а также распределитель водовоздушной смеси в виде трубопровода с соплами, расположенный в нижней части камеры флотации по периметру перегородки, разделяющей камеру хлопьеобразования и флотации, скребковое устройство для удаления шлама. Недостатком данного устройства является то, что образующийся шлам в флотокамере имеет значительную влажность. Это происходит из-за того, что отвод шлама осуществляется скребковым устройством, с помощью которого вместе со шламом захватывается значительная часть воды и водных фракций, в той или иной форме. Кроме того, в устройстве, при транспортировке флотошлама скребковыми устройствами происходит его разрушение и попадание осадка в светлую воду, а это снижает эффективность очистки сточных вод.

Представленные результаты исследования разработанной конструкции конусного уплотнителя флотошлама позволяют повысить интенсивность работы, как отдельных составляющих водоочистного оборудования, так и систем оборотного водоснабжения в целом. В соответствии с предлагаемым техническим решением накопление и механическое отведение флотошлама происходит в верхней части вертикальной флотокамеры [5].

Коалесценирующие фильтры широко используются в промышленности для удаления жидких аэрозолей из газов или отделения капель жидкости от эмульсий. Типичные фильтры изготавливаются из нетканых волокон. Волокнистые фильтры способны эффективно удалять капли и частицы микронного и субмикронного размера. Процесс фильтрации очень сложен из-за изменчивости размеров волокон, размеров частиц, смесей частиц и капель, смешивания различных типов капель (масло, вода и т.д.), а также влияния вязкости, поверхностного натяжения и химических реакций между компонентами или с волокнами фильтра. Прогнозирование производительности фильтра в таких сложных условиях затруднено. Производительность фильтра зависит от многих факторов, таких как размеры частиц и волокон, скорость потока, свойства поверхности волокон и т.д. [6].

Дисперсные системы содержат твердые и (или) жидкие частицы, взвешенные в газовой или жидкой среде. Как только образуется дисперсная система, она обычно нестабильна, поскольку со временем будет меняться. Наиболее важным процессом, соответствующим эволюции дисперсных систем, является процесс коагуляции частиц в дисперсной системе. Теория коагуляции аэрозолей связана с процессом адгезии или коалесценции аэрозольных частиц при контакте их друг с другом. Целью этой теории является описание распределения частиц по размерам как функции времени и пространства с математической точки зрения, поскольку дисперсная система претерпевает изменения из-за различных физических воздействий [7].

В работе [8] изучали стохастический процесс двухвидовой коагуляции, который заключался в динамике агрегации, происходящей в кольце. Частицы и скопления частиц, установленные в этом кольце, могли двигаться как по часовой стрелке, так и против нее с вероятностью агрегатироваться, образуя более крупные кластеры. Процесс изучался как аналитически, так и численно с выводом кинетической теории, которая приблизительно описывала динамику процесса. Расчеты показали, как упорядочивается система, когда все частицы и кластеры двигались в одном направлении, в течение длительного времени.

В работе [9] представлена модель коагуляции в растворах электролитов. Процесс коагуляции моделируется так, чтобы включить атомистическое

описание коагуляции, основанное на теории агрегативной устойчивости, в систему Пуассона-Нернста-Планка. По этой причине представленная модель учитывает взаимодействия ближнего и дальнего действия, которые управляют процессом коагуляции.

Применение теоретических зависимостей, учитывающих объёмные концентрации масла на входе в фильтр и на глубине обработке сточных вод, обеспечивают надёжность работы осветляющих устройств, которая определяется эффективностью протекания следующих двух процессов: осаждения капель эмульсии из потока на гранулы загрузки фильтра с образованием за счёт коалесценции непрерывной плёнки масла из объёма загрузки за счёт гравитационных и гидродинамических сил, а также эффективности выделения (удаления) осадка с поверхности гранул существенно зависит от соотношения между их размерами, вязкостью и концентрацией масла.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Всё более высокие требования, предъявляемые в технологии водообработки и водоподготовки, усиливающий дефицит водных ресурсов все это создаёт условия для усовершенствования и разработке технических и технологических решения направленных поиск новых высокоэффективных решений.

Целью исследований усовершенствование процесса осветления обрабатываемых сточных вод в аппаратах напорной флотации, осуществляемой за счёт решения нескольких взаимосвязанных задач.

1. Усовершенствование схемы осветления сточных вод в системе оборотного водоснабжения участка цеха испытания двигателей:

2. Провести испытания и определить технические параметры системы оборотного водоснабжения участка цеха испытания двигателей, в зависимости влажности флотошлама и эффективности очистки сточных вод.

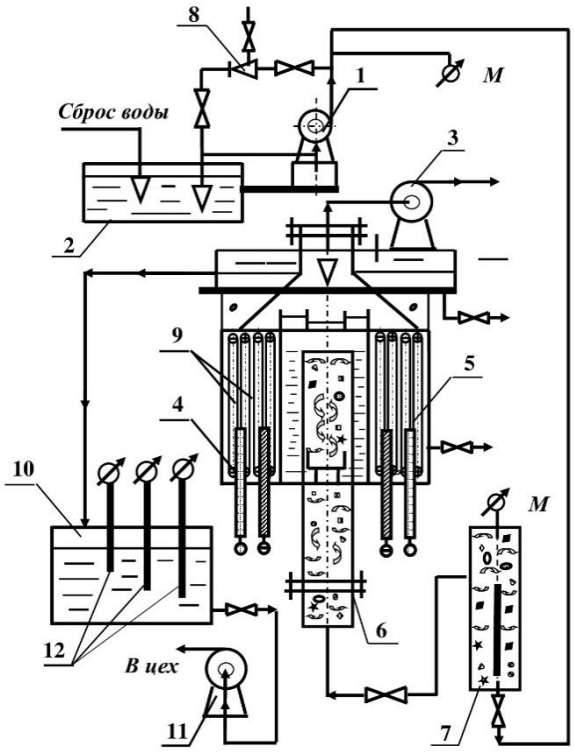


Рис. 1. Принципиальная схема системы оборотного водоснабжения участка цеха испытания двигателей: 1 – насос (марки ВК) подачи воды на очистку сточных вод; 2 – сборный приемник; 3 - насос откачивания флотошлама с установки; 4 – флотокамера; 5 – корпус аппарата; 6 – труба реакционная; 7 - сатуратор; 8 – эжектор; 9 – нерастворимые электроды; 10 – приёмник очищенной воды; 11 – насос (марки НШ) возврата воды на мойку полов и оборудования; 12 – датчик реле уровня ЗРСУ-2.

Fig. 1. Schematic diagram of the recycling water supply system of the engine test shop area: 1 – pump (VK brand) for water supply for wastewater treatment; 2 – prefabricated receiver; 3 - pump for pumping flotation sludge from the unit; 4 – flotation cell; 5 – device case; 6 – reaction tube; 7 - saturator; 8 – ejector; 9 – insoluble electrodes; 10 – treated water receiver; 11 – water return pump (NSH brand) for washing floors and equipment; 12 – ZRSU-2 level relay sensor

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью предлагаемой разработки является снижение влажности шлама и повышение степени очистки сточных вод. Поставленная цель достигается тем, что в известном устройстве, содержащем питающий трубопровод, камеру хлопьеобразования и флотации с тонкослойными модулями, распределитель воды, в нижней части камеры флотации и трубопроводов отвода очищенной воды.

На рис. 1 представлена принципиальная схема системы оборотного водоснабжения участка цеха испытания двигателей. Новым, конструктивным усовершенствованием, является то, что в верхней части флотокамеры установлен параллельный ряд шламотводящих коллекторов с перфорированными стенками крайних коллекторов, снабжённые фильтроосными элементами и наклонными лотками, высота которых увеличивается по мере удаления каждого из коллекторов от начала флотокамеры и, в средней части которых выполнены отверстия, в нижней части флотокамеры размещены два конусообразных элемента, один из которых усечённый, соединенные основаниями, а в плоскости соединения оснований конусообразных элементов установлен распределитель газонасыщенной воды, выполненный в виде перфорированных трубопроводов и патрубков.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Одним из эффективных средств разделения фаз эмульсий (например, эмульсий типа масло) являются коалесценирующие фильтры [10].

Надёжность работы этих устройств определяется эффективностью протекания следующих двух процессов [11]:

- осаждения капель эмульсии из потока на гранулы загрузки фильтра с образованием за счёт коалесценции непрерывной плёнки масла на их поверхности
- удаления образующей плёнки масла из объёма загрузки за счёт гравитационных и гидродинамических сил.

Второй из этих процессов, удаления образующей плёнки, детально исследован в работах [12, 13], где было показано, что эффективная выделения (удаления) осадка с поверхности гранул существенно зависит от соотношения между их размерами, вязкостью и концентрацией масла.

В частности было показано, что при подаче очищаемой воды снизу вверх (*далее будем рассматривать только этот случай*) равновесная толщина масляной пленки на поверхности сферических гранул диаметром составляет:

$$h = \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{2}{\sqrt{3}} - 1\right) \cdot d \cdot \sqrt{\frac{\eta_0}{\eta_w}} \cdot \frac{c(0) - c(z)}{1 - c(0)} \quad (1)$$

где c(0) и c(z) - объёмные концентрации, (г/м^3), соответственно масла на входе в фильтр и на глубине z; η_0, η_w - динамическая вязкость, соответственно масла и воды, Па*с, d – диаметр сферических гранул, м.

В работе [12] показано, что при объемной концентрации масляной фазы $c \geq 10^{-3}$ осаждение капель на гранулы существенно усиливается за счёт укрупнения капель в результате их коалесценции в объеме порового пространства. Рассмотрим этот случай с целью оценки влияния коалесценции капель в объеме капилляров на эффект осаждения капель на гранулы загрузки фильтра.

Для описания коалесцентного разделения фаз эмульсии при прохождении через фильтр, воспользуемся капиллярной моделью порового пространства. Для определенности положим, что загрузка фильтра представляет собой плотную упаковку идентичных сферических гранул. Это позволяет в качестве грубой, но вполне приемлемой модели порового пространства использовать систему линейных капилляров (по два на каждый шар в сечении загрузки), внутренний радиус R_c которых составляет радиус окружности, вписанной между тремя касающимися окружностями, равной радиусу гранул R_d загрузки, т.е.:

$$R_c = \left(\frac{2}{\sqrt{3}} - 1\right) \cdot R_d \approx 0{,}15 \cdot R_c \quad (2)$$

Причём длина этих капилляров L составляет три/вторых высоты загрузки H, а угол смачивания $\alpha = 45^0$.

Так как разделение фаз происходит, главным образом, за счёт седиментации капель эмульсии и осаждения на стенки капилляров, то уравнение, описывающее изменение концентрации масла, имеет вид:

$$\frac{dc}{dt} = -\frac{2 \cdot U_d \cdot c \cdot cos\alpha}{\pi \cdot R_c \cdot (1 - \bar{h})} \quad (3)$$

где c - объёмная концентрация масла;

$$\bar{h} = \frac{h}{R_c} \quad (4)$$

где $\bar{h}$ – относительная толщина пленки масла на стенках капилляра;

h – толщина пленки масла на стенках капилляра, м.

U_d – скорость седиментации капель, описываемых формулой Стокса (в случае, когда вязкость масла η_0 сравнима с вязкостью воды η_w следует использовать формулу Адамара-Рыбчинского [14]:

$$U_d = \frac{2 \cdot \Delta\rho \cdot g \cdot R_d^2}{9 \cdot \eta_w} \quad (5)$$

где R_d – средний радиус капель, м;

g – ускорение свободного падения, м/с^2;

$\Delta\rho$ – разность плотности, соответственно воды и масла, кг/м^3;

η_w – вязкость воды, м^2/с.

Для перехода в формулу (3) от переменных по времени t к переменным по длине l капилляра воспользуемся соотношением между нагрузкой по воде $\bar{U}_w$ и средней по расходу скоростью эмульсии в капилляре:

$$dt = -\frac{\pi \cdot (R_c - \bar{h})^2}{\bar{U}_w \cdot R_d^2 \cdot \sqrt{3}} dl \quad (6)$$

где R_c и $\bar{h}$ – функция от длины капилляра.

Подставляя формулы (1), (4)–(6) в формулу (3), а также учитывая, что α = 45^0, получим кинетическое уравнение коалесценирующего фильтра:

$$\frac{dc}{dl} = -B \cdot \left(1 - \bar{h}\right) \cdot R_d^2 \cdot c \quad (7)$$

где B - осреднённый линейный размер капли, м, определяемый по формуле:

$$. \quad B = \frac{0{,}028 \cdot \Delta\rho \cdot g}{R_d \cdot \bar{U}_w \cdot \eta_w} \quad (8)$$

Здесь следует отметить одно важное замечание. До сих пор предполагали, что все капли имеют одинаковый радиус. В реальности же, как известно, это далеко не так. Обычно имеет место некоторое распределение капель по размерам (чаще всего гамма-распределение). Поэтому, уравнение (7) справедливо лишь для некоторого узкого класса крупности камель, например, вблизи максимума функции распределения. Несмотря на то, что уравнение (7) легко обобщить на случай полидисперсных эмульсий, мы не будем этого делать, чтобы не затруднять понимание физической сущности явления. Заметно, лишь, что как следует из уравнения (7) при прохождении через коалесценирующий фильтр эмульсия будет объединяться, прежде всего, за счёт определения крупных капель, скорость всплывания которых максимальна.

Как уже отмечалось, движение эмульсии в неоднородном гидродинамическом поле влечёт за собой ортокинетическую коалесценцию капель и соответственно рост их размера.

Согласно Смолуховскому, имеем следующее соотношение:

$$\frac{dR_d}{dt} = \frac{4}{3} \cdot \frac{G \cdot \alpha\left(\bar{a}, a\right) \cdot R_d \cdot c}{\pi}, \quad (9)$$

где $\bar{G}$ – осреднённый градиент сдвига течения;

$\alpha\left(\bar{a}, a\right)$ – величина, характеризующая эффективность коалесценции капель в поле простого сдвига [13]:

$$\alpha\left(R_d, \bar{R}_d\right) = E^{0{,}1774} \Big/ (\lambda^2 + 1/\lambda)^{0{,}5322} \left[\ln(\lambda^2 + 1/\lambda^2)\right]^{\frac{1}{2}}, \quad (10)$$

где

$$\lambda = \bar{R}_d / R_d, \quad (11)$$

$$E = A_G \Big/ (144 \cdot \pi \cdot \eta_w \cdot G \cdot \bar{R}_d^3), \quad (12)$$

где A_G – константа Гамакера для системы «масло-вода-масло».

Как следует из приведенных соотношений, наиболее эффективно коалесценируют капли, имеющие близкие параметры при $\lambda \approx 1$.

Наконец, для расчётов необходимо знать величину неоднородности гидродинамического поля в порах фильтра. Если гранулы представляют собой идентичные сферы, то в случае этого воспользоваться формулой, полученной (8):

$$\bar{G} = 3 \cdot \pi \cdot U_\varphi \cdot \Phi(\varphi) \Big/ 20, \quad (13)$$

где

$$\Phi(\varphi) = \frac{\varphi}{32 \cdot (1 - \varphi)} \cdot \frac{336 \cdot \varphi^{-4/3} - 408 \cdot \varphi^{-1} + 72 \cdot \varphi^{-2/3} + 24 \cdot \varphi^{11/3} - 24}{8 \cdot \varphi^{-1} - \varphi^{-2/3} - \varphi^{-1/3}}, \quad (14)$$

где φ - плотность упаковки фильтра, а U_φ - эффективный расход воды в теле фильтра,

связанный с нагрузкой по воде U_w определяется соотношением (10):

$$U_\varphi = \bar{U}_w \cdot \frac{2\cdot(1-\varphi^{5/3})}{2-3\cdot\varphi^{1/3}+3\cdot\varphi^{5/3}-2\cdot\varphi^2}, \quad (15)$$

Положим $1-\bar{h} \approx 1$. Если в уравнении (7) положить $R_d = R_{d_0}$.

где $R_{d_0} = R_d \cdot (l=0)$, то после интегрирования с начальным условием $C\cdot(l=0) = C_0$, получим:

$$C_1(l) = C_0 \cdot \exp\left(-B\cdot R_{d_0}^2 \cdot l\right). \quad (16)$$

Подставляя первую итерацию концентрации масла $C_1(l)$ в (9) и интегрируя с начальным условием $R_d(l=0) = R\cdot d_0$, получим первую итерацию для радиуса капель:

$$R_d(l) = R_{d_0} \cdot exp\left\{\frac{AC_0}{B\cdot R_{d_0}^2}\cdot\left[1-\exp\cdot\left(-B\cdot R_{d_0}^2\cdot l\right)\right]\right\}. \quad (17)$$

Размеры частиц и эффективность очистки масел на коалесценирующем фильтре представлены в табл. 1.

Таблица 1. Размеры и эффективность очистки частиц масел на коалесценирующем фильтре
Table 1. The size and efficiency of cleaning oil particleson the coalescing filter

№ п/п	Начальная концентрация C_0, г/см^3	Начальный размер частиц R_0, см	Размер зёрен загрузки R_g, см	Концентрация масла в очищенной воде C_1, г/см^3	Размер частиц в очищенной воде R_1, см
1.	4x10^{-4}	0,01	1	2,25x10^{-4}	0,001012
2.	4x10^{-4}	0,003	1	2,24x10^{-4}	0,003005
3.	4x10^{-4}	0,005	1	0	0,005002
4.	4x10^{-4}	0,01	1	0	0,010008
5.	4x10^{-4}	0,01	0,01	0	0,010005
6.	4x103	0,01	1	0	0,010006
7.	4x10^3	0,005	1	0	0,005023

Размеры частиц и эффективность очистки масел представлены в табл. 2.

Таблица 2. Моделирование размеров частиц масел на коалесценирующем фильтре
Table 2. Modeling of oil particle sizes on coalescing filter

№ п/п испытаний	[1]Отношение площади коллекторов к площади флотозоны, %	Относительное расстояние между патрубками		Эффективность очистки, %	Влажность флотошлама, %	Примечание в которых происходит следующие процессы
		в ***продольном*** направлении, м	в ***поперечном*** направлении, м			
1.	0,2	0,4	0,4	60	94	происходит кольматация коллекторного осадка
		0,4	0,4	63	95	
		0,4	0,4	64	96	
		0,4	0,4	65	96	
2.	0,3	0,4	0,4	68	94	оптимальное соотношение
		0,4	0,4	68	95	
3.	0,4	0,4	0,4	75	93	
		0,4	0,4	75	95	
4.	0,6	0,4	0,4	76	92	ухудшается выгрузка флотошлама из коллектора
5.	0,7	0,4	0,4	70	96	
6.	0,4	0,1	0,2	68	96	
7.	0,4	0,2	0,3	73	92	
8.	0,4	0,4	0,4	74	93	
9.	0,4	0,5	0,6	76	91	имеет место неустойчивые процессы
		0,5	0,6	77	90,5	
		0,5	0,6	78	90,0	
10.	0,4	0,6	0,7	70	94	снижается эффект флотации
		0,6	0,7	72	95	
		0,6	0,7	71	94	
		0,6	0,7	72	95	

Примечание. В колонке «[1]Отношение площади коллекторов к площади флотозоны, %» рассматриваются основания конусных элементов [15].

ВЫВОДЫ

1. Разработанные технические и технологические решений усовершенствованной конструкции аппарата очистки сточных вод, повышают эффективность очистки сточных вод, за счёт произведенной перфорации в переднем коллекторе, позволяющая отвести из тонкослойного модуля первичной очистки загрязнения в пенный слой.

2. Выпускные отверстия патрубков в продольном направлении движения жидкости смещены друг относительно друга на расстоянии равном (02…05), а величина смещения отверстий патрубков в поперечном движении жидкости по толщине равно (04…06) от величины ширины флотокамеры. Площадь поперечного сечения шламоотводящих коллекторов составляет 03…06 от площади сечения конусных элементов в месте их соединения с основанием.

3. В результате испытаний конструкции аппарата очистки сточных вод установлено что, использование конструктивных усовершенствований позволяет обеспечить надёжную работу всего оборудования, когда осветление сточных вод происходит в несколько стадий. Оптимальная технологическая цепочка обработки сточных вод, выбирается в зависимости от исходной степени их загрязнения и пути дальнейшей рециркуляции водных ресурсов в промышленном производстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гогина Е.С., Гуринович А.Д., Урецкий Е.А. Ресурсосберегающие технологии промышленного водоснабжения и водоотведения: Справочное пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2012. – 312 с.

2. Найманов А.А., Никиша С.Б., Насонкина Н.Г., Омельченко Н.П., Маслов В.Н., Зотов Н.И., Найманова А.А. Водоснабжение. Макеевка: ООО «Норд Компьютер», 2006. – 654 с.

3. Урецкий Е.А., Николенко И.В., Мороз В.В. К вопросу динамики фильтрационного осветления на каркасно-засыпных фильтрах// Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2022, №3(759). – С. 46-55.

4. А.с. №1493619 СССР, МКИ4 С02 F1/24. Установка для очистки сточных вод / Дмухайло Е.И., Васин Н.В., Березин С.Е., Яковлев С.В., Мясников И.Н., Барсукова В.В. // Заявка № 4311561/31-26; заявлено 30.03.89; опубл. 15.07.89, Бюл. №28. С. 6.

5. Епоян С.М., Мовчан С.І. Механизм формирования флотошлама в вертикальной флотокамере // Проблеми водопостачання та гідравліки: Науково-технічний збірник. К.: КНУБА. – 2016. – Випуск 27. –С. 129-137.

6. Andan S., Hariharan S.I., Chase G.G. Modeling of saturation in coalescence filtration // Microscale Physiochemical Engineering Center The University of Akron, Akron, 2008, vol. 43 (8). PP. 1955–1973.

7. Dubovskii P.B. Mathematical Theory of Coagulation. Seoul National University, Research Institute of Mathematics, Global Analysis Research Center, 1994. - 169 p.

8. Escudero C. Kinetic Theory of Two-Species Coagulation // Proceedings of the European Conference on Complex Systems, 2012. PP 1079–108.

9. Herz M., Knabner P. Modeling and simulation of coagulation according to DLVO-theory in a continuum model for electrolyte solutions // Topics Soft Condensed Matter, Analysis of PDEs, Condensed Matter, Mathematics. [Электронный ресурс]. URL: http://arxiv.org/licenses/nonexclusive-distrib/1.0/ (2016-05-27).

10. Росев Г.А., Юфин В.А. Очистка сточных вод и вторичное использование нефтепродуктов. – М.: Недра, 1987. – 224 с.

11. Рулев Н.Н., Седлухо Ю.П. Коллоидно-гидродинамическая теория разделения фаз масляно-водяных эмульсий коалесцирующими фильтрами // Химия и технология воды. – 1990. – Т. 12. № 9. – С. 794-798.

12. Рулев Н.Н., Седлухо Ю.П. Конфигурация масляной пленки, стекающей повертикальной цепочки сферических гранул загрузки коалесцирующего фильтра // Химия и технология воды. – 1989. – Т. 11. № 11. – С. 971-874.

13. Рулев Н.Н., Седлухо Ю.П. Роль гидродинамического и гравитационного механизмов в работе коалесцинирующего фильтра // Химия и технология воды. – 1990. – Т. 12. № 5. – С. 971-874.

14. Рулев Н.Н. Гидродинамика всплывшего пузырька // Коллоидный журнал. – 1980. – Т. 42. №2. – С. 252-263.

15. Мовчан С.І. Дослідження гідродинаміки течії в’язкої рідини в замкненому контурі апаратів напірної флотації // Проблеми водопостачання та гідравліки: Науково-технічний збірник. К.: КНУБА. – 2017. – Випуск 28. – С. 227-235.

REFERENCES

1. Gogina E.S., Gurinovich A.D., Uretsky E.A. Resource–saving technologies of industrial water supply and sanitation: A reference manual. – M.: Publishing House of the DIA, 2012. – 312 p. . (In Russ.).

2. Naimanov A.A., Nikisha S.B., Nasonkina N.G., Omelchenko N.P., Maslov V.N., Zotov N.I., Naimanova A.A. Vodosnabjenie [Water supply]. Makeevka, OOO «Nord Kompbyuter» Publ. 2006. 654 p. (In Russ.).

3. Uretsky E.A., Nikolenko I.V., Moroz V.V. On the dynamics of filtration clarification on frame-backfill filters// Izvestia of higher educational institutions. Construction. - 2022, №3(759). – Pp. 46-55. (In Russ.).

4. A.s. №1493619 SSSR, MKI4 S02 F1/24. Ustanovka dlya ochistki stochnih vod [Wastewater treatment plant], Dmuhailo E.I.,Vasin N.V., Berezin S.E., Yakovlev S.V., Myasnikov I.N., Barsukova V.V., Zayavka № 4311561/31, 26; zayavleno 30.03.89; publ. 15.07.89, Byul. №28. P. 6. (In Russ.).

5. Epoyan S.M., Movchan S.I. Mehanizm formirovaniya flotoshlama v vertikalnoi flotokamere [The mechanism of formation of flotation sludge in a vertical flotation chamber]. Problemi vodopostachannya ta gidravliki_ Naukovo_tehnichnii zbirnik. Kyiv, KNUBA, 2016. Vipusk 27. Pp. 129-137. (in Ukr.)

6. Andan S., Hariharan S.I., Chase G.G. Modeling of saturation in coalescence filtration. Microscale Physiochemical Engineering Center The University of Akron, Akron, 2008, vol. 43 (8). Pp. 1955-1973.

7. Dubovskii P.B. Mathematical Theory of Coagulation. Seoul National University, Research Institute of Mathematics, Global Analysis Research Center, 1994. 169 p.

8. Escudero C. Kinetic Theory of Two-Species Coagulation . Proceedings of the European Conference on Complex Systems, 2012. Pp. 1079-108.

9. Herz M., Knabner P. Modeling and simulation of coagulation according to DLVO-theory in a continuum model for electrolyte solutions .Topics Soft Condensed Matter, Analysis of PDEs, Condensed Matter, Mathematics. [Электронный ресурс]. URL: http://arxiv.org/licenses/nonexclusive-distrib/1.0/ (2016-05-27).

10. Rosev G.A., Yufin V.A. Ochistka stochnih vod i vtorichnoe ispolzovanie nefteproduktov [Wastewater treatment and recycling of petroleum products]. Moscow, Nedra Publ,1987. 224 p. (In Russ.).

11. Rulev N.N., Sedluho Y.P. Kolloidno-gidrodinamicheskaya teoriya razdeleniya faz maslyano_vodyanih emulsii koalesciruyuschimi filtrami [Colloidal-hydrodynamic theory of phase separation of oil-water emulsions by coalescing filters]. Himiya i tehnologiya vodi. 1990. T. 12. № 9. Pp. 794-798. (In Russ.).

12. Rulev N.N., Sedluho Y.P. Konfiguraciya maslyanoi plenki_ stekayuschei po vertikalnoi cepochki sfericheskih granul zagruzki koalesciruyuschego filtra [Configuration of an oil film flowing down a vertical chain of spherical granules loading a coalescing filter]. Himiya i tehnologiya vodi. 1989. T. 11. № 11. Pp. 971-874. (In Russ.).

13. Rulev N.N., Sedluho Y.P. Rol gidrodinamicheskogo i gravitacionnogo mehanizmov v rabote koalesciniruyuschego filtra [The role of hydrodynamic and gravitational mechanisms in the operation of the coalescing filter]. Himiya i tehnologiya vodi. 1990. T. 12. № 5. Pp. 971–874. (In Russ.).

14. Rulev N.N. Gidrodinamika vsplivshego puzirka [Hydrodynamics of a pop-up bubble]. Kolloidnii jurnal. 1980. T. 42. №2. Pp. 252-263. (In Russ.).

15. Movchan S.I. Doslidjennya gidrodinamiki techiї v'yazkoї ridini v zamknenomu konturi aparativ napirnoї flotaciї [Investigation of hydrodynamics of viscous fluid flow in a closed circuit of pressure flotation devices]. Problemi vodopostachannya ta gidravliki: Naukovo-tehnichnii zbirnik. Kyiv: KNUBA, 2017. Vipusk 28. Pp. 227-235. (in Ukr.).

DESIGN IMPROVEMENT AND RESEARCH WASTE WATER TREATMENT APPARATUS DURING CLARIFICATION

Bunina L.N., Nikolenko I.V., Movchan S.I.
Melitopol State University named after A.S. Makarenko

Abstract. Industrial wastewater treatment is a complex and diverse process that depends on a number of factors that characterize this industrial production. This article discusses one of the issues of wastewater treatment related to the clarification of wastewater in pressure flotation devices-coagulation of industrial production. Based on the developed technical and technological solutions, the design of the wastewater treatment apparatus has been improved, allowing for a higher degree of wastewater clarification. This goal is achieved by installing a parallel series of sludge collectors with perforated walls of the extreme collectors, equipped with filter elements and inclined trays, the height of which is set as each of the collectors is removed from the beginning of the flotation chamber, in the middle part of which holes are made, and in the lower part of the flotation chamber there are two cone-shaped elements, one of which is truncated, connected by bases, and in the plane of the connection of the bases of the cone-shaped elements, a distributor of gas-saturated water is installed, made in the form of perforated pipelines and pipes. The theory of operation of the coalescing filter is given, where, when using mathematical dependencies, volumetric oil concentrations at the filter inlet and at the depth of wastewater treatment are taken into account, which ensures the reliability of the clarifying devices. The particle sizes and the efficiency of oil purification on a coalescing filter are determined.

Subject: clarification processes in pressure flotation devices-coagulation of circulating water supply systems of industrial enterprises.

Material and methods: bibliographic search for the operation of circulating water supply systems using wastewater clarification processes in local wastewater treatment schemes/

Results. The conducted research allowed us to identify technological solutions for the improved design of the wastewater treatment apparatus, which, due to the perforation in the front collector, saturator, ejector and insoluble electrodes, creates conditions for more efficient treatment (clarification) of wastewater. From a technical point of view, the use of design improvements makes it possible to ensure reliable operation of all equipment when wastewater clarification occurs in several stages. The optimal technological chain of wastewater treatment is selected depending on the initial degree of contamination and the way of further recycling of water resources in industrial production.

Conclusions: the use of theoretical dependencies that take into account the volumetric concentrations of oil at the filter inlet and at the depth of wastewater treatment ensures the reliability of the clarifying devices. The reliability of operation is determined by the efficiency of the following two processes: precipitation of emulsion droplets from the stream onto the filter loading granules and the efficiency of removal of sediment from the surface of the granules. In this case, the deposition of a continuous film of oil occurs due to gravitational and hydrodynamic forces from the total volume of loading, and the efficiency of precipitation from the surface of the granules significantly depends on the ratio between their size, viscosity and oil concentration.

Key words: clarification, collector, waste water, sludge, flotation chamber, flotation, thin-layer modulator, perforated walls, filter elements, cone-shaped elements,