

ОСАЖДЕНИЕ КАК ПЕРВАЯ СТАДИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Технологический процесс осаждения характерен практически для всех видов очистки сточных вод и в данной статье рассмотрены физические принципы его реализации. Приведены его физическая модель и математическое описание.

Ключевые слова: производственные сточные воды, осаждение, флотация, фильтрование, экономическая эффективность

EDN: JAOTCB



Е.Н. Пирогов



Е.В. Драбкина

Особенность технологических процессов, реализуемых в промышленности, заключается в создании оптимального, с точки зрения, как экономической, так и технологической, диапазона параметров их протекания. Отклонение от данного значения приводит к нарушению равновесия между этими показателями и, как следствие, увеличивает затраты или на размеры и стоимость оборудования, или на эксплуатационные затраты.

Приведенные выше положения указывают на актуальность этой проблемы и поиск технических решений реализации таких природоохранных мероприятий, отвечающих как экономической эффективности для

внедряющих их предприятий, так и безопасности для окружающей среды (1–3).

Экономическую эффективность можно оценить путем сравнения затрат на внедрение технических решений с одной стороны и полученными результатами от применения природоохранного мероприятия в виде исключения штрафных санкций за загрязнение окружающей среды — с другой.

Оценка эффективности (Э) внедрения природоохранного мероприятия оценивается соотношением чистого дисконтированного дохода (ЧДД) к вложенным капитальным вложениям, реализованным в течение года [2]:

Пирогов Евгений Николаевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Теплоэнергетика и водоснабжение на транспорте» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: энергосбережение, теплотехника. Автор более 140 научных работ.

Драбкина Елена Васильевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Теплоэнергетика и водоснабжение на транспорте» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: энергосбережение, теплотехника. Автор более 65 научных работ.

Коваленко Надежда Всеволодовна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры «Экономические теории» Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). Область научных интересов: экономические проблемы развития, экономическая политика, экономический рост, инновационное развитие экономики, государственное регулирование экономики. Автор более 50 научных работ.

Тимошук Виталий Григорьевич, кандидат военных наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика и водоснабжение на транспорте» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: гидравлика, гидрология, водоснабжение и водоотведение. Автор 10 научных работ.

$$\Theta = \frac{\sum (B_i - C_i - \Delta \text{Пр})}{\sum K_i \alpha_i}, \quad (1)$$

где B_i — выручка от реализации процесса утилизации сырья (снижения экологического ущерба, снижения платы за загрязнение окружающей среды); C_i — себестоимость очистки; $\Delta \text{Пр}$ — потери прибыли в основном производстве, связанные с внедрением системы очистки; K_i — капитальные затраты; α_i — коэффициент дисконтирования денежных потоков.

Наиболее эффективным техническим и технологическим решением задачи очистки нефтесодержащих сточных вод, как с точки зрения технической реализации, так и экономической эффективности, представляется применение технологий, включающих различные по принципу действия и аналогичные по своему назначению процессы. Кроме того, получаемый эффект стимулируется внедрением экономических методов, в числе которых введение оплаты за превышение предельно допустимых сбросов — из прибыли предприятия. На обоснованность строительства сооружений для очистки сточных вод промышленного происхождения влияют такие показатели как стоимость строительства, величина платежей за сброс неочищенных стоков в окружающую среду.

При выборе приведенного состава технологического оборудования в качестве оптимального решения учитывается показатель максимального значения чистого экономического эффекта, на величину которого влияют такие показатели как уменьшение

платы за загрязнение окружающей среды, снижение затрат на реализацию природоохранных мероприятий, а также улучшение условий труда и жизни населения. Влияние перечисленных выше факторов на эффективность такого подхода к решению экологических задач представлено на рис. 1, из которого следует, что доходы от очистки сточных вод и размер капитальных вложений являются приоритетными при выборе технологии.

Анализ состава промышленных сточных вод указывает на наиболее распространенные виды загрязнений, к которым относятся нефтепродукты и механические примеси, происхождение которых обусловлено реализуемыми технологическими процессами, а их физические свойства, а именно плотность и растворимость в сточных водах, указывает на эффективность применения таких способов очистки как отстаивание, флотация и фильтрация.

Отстаивание — процесс, при реализации которого происходит разделение под действием сил тяжести твердых частиц. Этот процесс основан на разделении смеси, при котором частицы с большей плотностью, чем вода осаждаются, а нефтепродукты из-за меньшей плотности, чем у воды всплывают.

Комплекс показателей, таких как простота аппаратного оформления технологического процесса при объективном минимуме затрат на его реализацию, указывают на преимущества внедрения данной технологии и, как следствие, приводят к широкому их внедрению в отраслях промышленности.

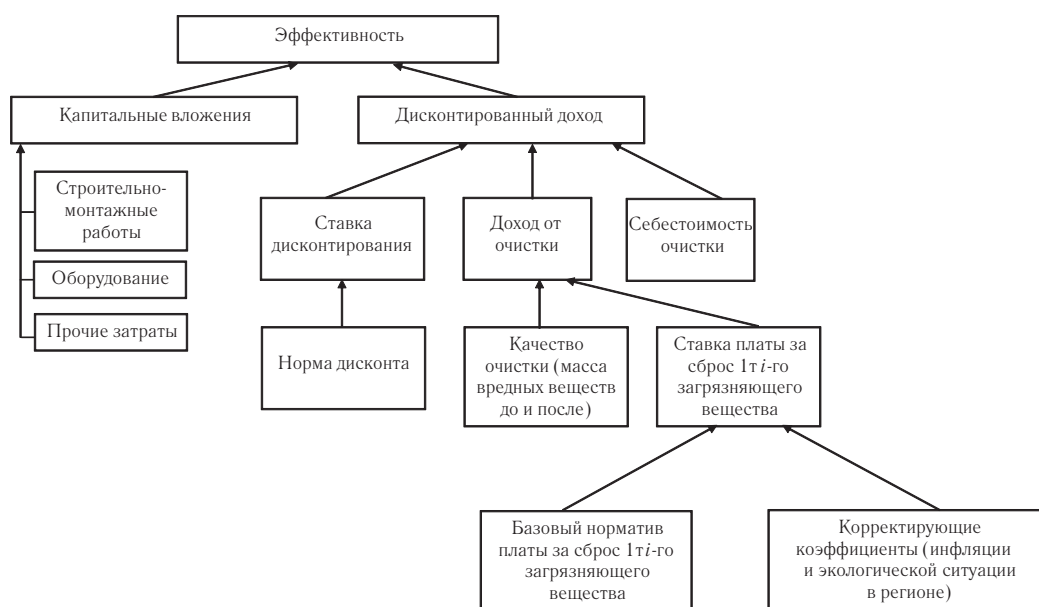


Рис. 1. Факторы, оказывающие влияние на эффективность внедрения системы очистки

Движущей силой этого процесса является разность плотностей ингредиентов, входящих в состав сточных вод, а разделение протекает под действием силы тяжести и силы трения, возникающих в процессе движения твердых частиц и масляных капель. Следует отметить, что их перемещение протекает в противоположном направлении.

$$W_{oc} = \frac{gd_q^2(\rho_q - \rho_{ж})}{18\mu_{ж}} \Psi, \quad (2)$$

где g — ускорение свободного падения; d_q — эквивалентный размеру частицы диаметр, м; ρ_q , $\mu_{ж}$ — соответственно плотность (кг/м^3) и динамическая вязкость

жидкости ($\text{Н} \cdot \text{с/м}^2$) частицы; $\Psi = \frac{c_n}{c_{об}}$, здесь c_n , $c_{об}$ — ко-

эффициенты, учитывающие, соответственно, ее геометрическую форму и отличие от сферической формы при условии сохранения соотношения объемов сферической и реальной частиц с одинаковой массой.

При расчете технологических параметров в качестве модели этого процесса используются основные положения закона Стокса, а физические параметры ($\mu_{ж}$, $\rho_{ж}$ и ρ_q), участвующие в описании процессов осаждения и всплытия, можно принять в рассматриваемом диапазоне их значений постоянными.

Приведенные выше положения справедливы как для процесса осаждения, так и для процесса всплытия капель нефтепродуктов.

Следует отметить, что, хотя процесс всплытия нефтепродуктов для приведенных выше условий протекает также согласно закону Стокса, однако наблюдается различие в механизме описания этих процессов.

В итоге, скорость всплытия нефтепродукта описывается следующим уравнением:

$$W_{всп} = \frac{gd_k^2(\rho_{ж} - \rho_n)}{6\mu_n} \frac{\mu_n + \mu_{ж}}{2\mu_n + 3\mu_{ж}}, \quad (3)$$

где μ_n — коэффициент динамической вязкости нефтепродукта, $\text{Н} \cdot \text{с/м}^2$; d_k , ρ_n — соответственно эквивалентный диаметр (м) сферической капли и плотность нефтепродукта (кг/м^3).

Анализ уравнения (3) показывает, что на скорость всплытия микрокапель нефтепродукта в промывочной жидкости определяющее влияние оказывают такие параметры как размер капель, при этом эта зависимость квадратичная. Возникающие взаимодействия капель нефтепродуктов в процессе их всплытия могут привести к их слиянию и, как следствие, образованию слоя нефтепродукта в верхней части бака-отстойника.

Включение в технологический процесс очистки промышленных сточных вод динамического отстойника позволяет реализовывать этот процесс в непрерывном режиме, что существенно снижает затраты и габаритные размеры установки в целом.

При применении для решения этих задач отстойников динамического типа очистка промывочной жидкости происходит в течение меньшего времени, результатом которого является уменьшение габаритных размеров бака-отстойника.

Конструкция такого устройства и гидравлический режим его работы должен обеспечивать ламинарный режим течения, реализация которого существенно повышает вероятность полного осаждения загрязнений в виде твердых частиц. Условием такого протекания процесса осаждения является выполнение определенных соотношений геометрических размеров бака-отстойника динамического типа: между расходом сточной жидкости и геометрическими размерами каналов рассматриваемой конструкции.

Кроме того, эффективность разделения фракций в динамических отстойниках определяющим образом зависит от реализации пленочного течения в его каналах, что достигается за счет размещения оптимального количества параллельных пластин в пакете при соблюдении оптимального угла их наклона.

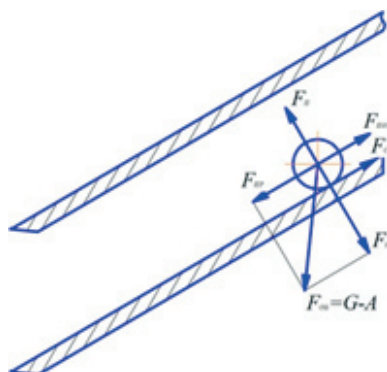
На течение жидкости и движение твердых частиц в межпластинчатых каналах оказывают влияние гидродинамические силы, направление действия которых совпадают с размещением пластин. Кроме них на частицы действует объемная сила, направленная вертикально вниз, а их совместное действие определяет характер движения частиц. В результате скорость движения частиц в канале определяется как расходом жидкости, так и геометрическим оформлением каналов:

$$W_{пот} = Q/\delta b(n-1), \quad (4)$$

где δ , b — соответственно, расстояние между пластинами и их ширина, м; n — количество пластин в пакете, шт.

На эффективное осаждение твердых частиц в наклонных каналах, определяющим образом влияет соотношение между скоростью движения жидкости и геометрической конфигурацией пакета пластин. Таким образом, на эффективность очистки сточных вод определяющим образом влияет характер движения частиц в межпластинчатых каналах, который учитывает соотношение гидродинамической силы потока, продольной составляющей силы тяжести и сопротивления движению частицы по поверхности пластины (рис.2).

а



б

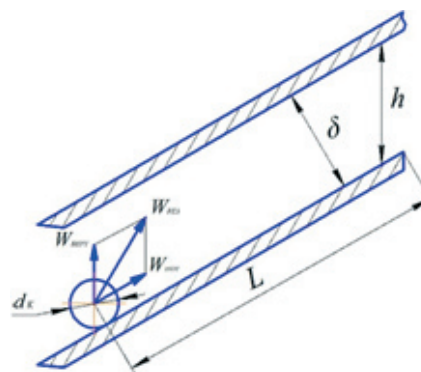


Рис. 2. Особенности комплексного воздействия на частицы загрязнений при их движении в межпластинчатых каналах: а – схема сил, действующих на твердую частицу после ее осаждения на поверхность пластины; б – схема всплытия микрокапли нефтепродукта в межпластинчатом пространстве динамического бака-отстойника

При проектировании динамического бака-отстойника пластинчатого типа принимаются следующие допущения: межпластинчатая полость является плоским каналом с параболическим профилем распределения скоростей при движении жидкости в каналах [5], а скорость потока в окрестностях осевшей частицы принимаем согласно уравнению (5). Распределение скоростей в канале носит параболический вид

$$w = 2W_{\text{пот}} \left(1 - \frac{(\delta - d_{\text{ч}})^2}{\delta^2} \right). \quad (5)$$

Особенность всплытия капель нефтепродукта в канале определяется их комплексным взаимодействием. Оно определяется в результате их комплексного взаимодействия с поверхностью вышележащей пластины и учитывает величину вертикальной составляющей скорости всплытия, а также скорость потока. Это взаимодействие находит отражение в форме записи этого процесса (см. рис. 2)

$$W_{\text{пот}} < \frac{LW_{\text{всп}}}{h_{\text{к}}}, \quad (6)$$

где L – длина пластины; $h_{\text{к}} = \frac{\delta}{\cos \alpha}$ – вертикальная

составляющая пути, пройденного каплей, м; $\cos \alpha$ – косинус угла наклона пластин.

Общий вид конструкции бака-отстойника динамического типа с размещенными внутри него каналов пластинчатого типа представлен на рис. 3. Такое конструктивное исполнение показало свою эффективность в процессе разделения поступающего в отстойник потока на собственно очищенный поток сточной

воды, нефтепродукты и выпадающий осадок механических загрязнений. Конструктивно это решение оформлено в виде разделительной камеры.

Для более глубокой очистки сточных вод применяются технологические решения, основанные на применении процессов флотации с последующим фильтрованием.

«Флотация – метод, применяемый на основной стадии для очистки воды от гидрофобных загрязнений, к которым относятся нефтепродукты, и основанный на создании комплекса частица-пузырек и всплытии его на поверхность. Эффективность флотационного способа может достигать до 90%, а остаточная концентрация нефтепродуктов при определенных условиях не превышает 5–10 мг/л» [3].

На эффективность работы флотатора влияют такие факторы, как размеры пузырьков воздуха, образующихся в устройстве – диспергаторе. Качественный состав загрязнений определяет применяемые для их удаления дополнительные устройства для приготовления реагентов – коагулянта и флокулянта. Их применение позволяет интенсифицировать процесс удаления мелкодисперсных загрязнений. Пример реализации технологии с использованием флотационной машины пневматического действия представлен на рис. 4.

«Флотомашинa включает в себя корпус, разделенный на четыре камеры с установленными в нижней части пористыми аэраторами (рис. 4). В качестве материала аэраторов использовалась маслостойкая резина с размерами пор 0,5 мм. Принцип действия данной флотационной машины следующий. Исходная

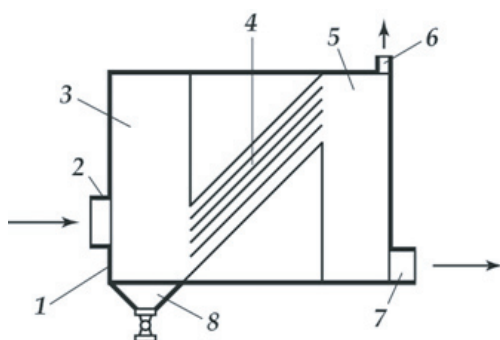


Рис. 3. Конструктивная схема динамического бака-отстойника пластинчатого типа: 1 – корпус; 2 – входной патрубок; 3 – входная камера; 4 – пакет пластин; 5 – разделительная камера; 6 – патрубок для выхода нефтепродукта; 7 – патрубок для выхода промывочной жидкости; 8 – отстойник со сливным вентилем [6]

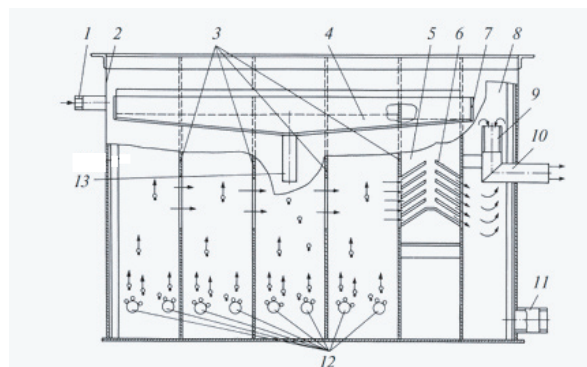


Рис. 4. Схема пневматической флотационной машины: 1 – входной патрубок; 2 – корпус; 3 – межкамерные перегородки; 4 – камеры; 5 – дополнительная камера; 6 – блок тонкослойного освещения; 7 – пенный желоб; 8 – камера очищенной воды; 9 – устройство регулирования уровня жидкости; 10 – выходной патрубок; 11 – патрубок для слива жидкости; 12 – пористые аэраторы; 13 – патрубок отвода пены [3]

вода подается через входной патрубок 1 и далее движется через камеры 4, в которых установлены пористые аэраторы 12. При движении через камеры происходит аэрация воды пузырьками воздуха, подающегося под давлением через пористые аэраторы, и образуются флотокомплексы. Всплывшие флотокомплексы формируют пенный слой, который самотеком удаляется через пенный желоб 7 и патрубок 13. Далее вода поступает в дополнительную камеру 5 с блоком тонкослойного освещения и выводится из машины через устройство регулирования уровня 9 и выходной патрубок 10. Результаты испытаний пневматической флотационной машины показывают, что остаточная концентрация нефтепродуктов не превышает 5 мг/л» [3].

Процесс доочистки воды, прошедшей рассмотренные выше технологические стадии, от остаточного количества эмульгированных нефтепродуктов, происходит с использованием фильтров, работающих на основе реализации процесса сорбции. Оптимальные количественные и качественные показатели процесса фильтрационной доочистки определяются правильным выбором режима работы фильтра, заполненного активированным углем.

В заключение следует отметить, что в представленной статье рассмотрен один из вариантов очистки нефте-содержащих сточных вод, а окончательный выбор технологического решения для таких задач определяется комплексно на основе анализа состава загрязнений и расхода стока. 

Литература

1. Глухов, В. В. Экономические основы экологии : учебник / В. В. Глухов, Т. П. Некрасова. - 3-е изд. - Санкт-Петербург : Питер, 2003. - 384 с. - Текст : непосредственный.
2. Некрасова, Т. П. Экономическая эффективность применения системы очистки сточных вод / Т. П. Некрасова, А. Е. Крючихина. - Текст : непосредственный // Научно-технические ведомости : Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. - 2012. - № 2-1 (144). - С. 64-72.
3. Антонова, Е. С. Интенсификация очистки нефтесодержащих сточных вод энергетических предприятий с использованием флотационной машины с эжекционной системой аэрации с диспергатором : специальность 03.02.08 «Экология (по отраслям)» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук /

Антонова Екатерина Сергеевна; Национальный исследовательский университет «МЭИ». - Москва, 2021. - 189 с. - Текст : непосредственный.

4. Гришин, Л. Б. Совершенствование очистки нефтесодержащих производственных сточных вод : специальность 05.23.04 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Гришин Лев Борисович; Пенз. гос. ун-т архитектуры и стр-ва. - Пенза, 2009. - 144 с. - Текст : непосредственный.

5. Шлихтинг, Герман. Теория пограничного слоя / Герман Шлихтинг ; Пер. Г. А. Вольперта с пятого нем. изд. ; Под ред. Л. Г. Лойцянского. - Москва : Наука, 1969. - 742 с. - Текст : непосредственный.

6. Коваленко, В. П. Разделение продуктов зачистки складских резервуаров и транспортных цистерн для нефтепродуктов с помощью динамического бака-отстойника / В. П. Коваленко, Е. А. Улюкина. - Текст : непосредственный // Наука в центральной России. - 2015. - № 4 (16). - С. 32-41.