



Экономия
топлива
и электроэнергии

Г.А.Роев В.А.Юфин

**ОЧИСТКА
СТОЧНЫХ ВОД
И ВТОРИЧНОЕ
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
НЕФТЕПРОДУКТОВ**



МОСКВА "НЕДРА" 1987

Роев Г. А., Юфин В. А. Очистка сточных вод и вторичное использование нефтепродуктов.— М.: Недра, 1987.— 224 с. (Экономия топлива и электроэнергии).

Рассмотрена проблема очистки сточных вод от нефтепродуктов и нефти на нефтебазах, нефтеперекачивающих станциях, нефте- и газоперерабатывающих заводах, нефтехимических предприятиях. Приведены сведения о новых высокоэффективных способах очистки сточных вод. Подробно изложены методы расчета систем очистки нефтесодержащих сточных вод. Особое внимание уделено вопросам рационального использования вторичного сырья, ресурсосбережению.

Для инженерно-технических работников, занимающихся проектированием и эксплуатацией очистных сооружений предприятий нефтяной, газовой, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности.

Табл. 36, ил. 90, список лит.— 44 назв.

Рецензенты: *Л. А. Мацкин* (Госкомнефтепродукт СССР), *С. П. Макаров* (Госкомнефтепродукт СССР)

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ИЗДАНИЕ

Георгий Андреевич Роев
Всеволод Александрович Юфин

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД И ВТОРИЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Редактор издательства *С. А. Скотникова*
Художественный редактор *В. В. Шутько*
Технический редактор *Е. Л. Закашанская*
Корректор *Л. В. Зайцева*
ИБ № 5625

Сдано в набор 29.04.87. Подписано в печать 07.08.87. Т-01958. Формат 60×90^{1/16}. Бумага типографская № 1. Гарнитура Литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 14,0. Усл. кр.-отт. 14,0. Уч.-изд. л. 16,16. Тираж 5920 экз. Заказ № 1147/74—5. Цена 1 р. 20 к.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра»
#25047, Москва, пл. Белорусского вокзала, 3

Ленинградская типография № 4 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 191126, Ленинград, Социалистическая ул., 14

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года предусмотрено: «Повысить эффективность мер по охране природы. Шире внедрять малоотходные и безотходные технологические процессы. Развивать комбинированные производства, обеспечивающие полное и комплексное использование природных ресурсов, сырья и материалов, исключаящие или существенно снижающие вредное воздействие на окружающую среду... Улучшить охрану недр и комплексное использование минеральных ресурсов. Снижать потери полезных ископаемых при их добыче, обогащении и переработке. Обеспечить сохранность природной среды экономической зоны СССР и континентального шельфа СССР».

В нашей стране ежегодно используют в промышленном производстве десятки миллионов тонн вторичного сырья. Практически на все его виды, за исключением некоторых, не разработаны положения о порядке их поставки. Это снижает ответственность поставщиков, лишает возможности применять к нарушителям экономические санкции. Требуют решения и некоторые другие вопросы, в частности ценообразования, стандартизации, заработной платы работников, организации научно-исследовательских работ в этой области.

Вопрос использования нефтепродуктов в нашей стране приобретает особо важное значение. Имеется несколько причин такого положения: во-первых, защита окружающей среды (особенно водных объектов) от нефтепродуктов, во-вторых, природные запасы нефти пополняются очень медленно. Поэтому рациональное использование нефтяных богатств страны должно быть одним из основных направлений в развитии промышленности нашей страны. Перед работниками нефтяной, нефтехимической промышленности и трубопроводного транспорта стоят большие задачи не только в области добычи, переработки и транспорта нефти, но и в вопросах рационального ее использования, уменьшения естественных потерь, сброса и утилизации отработанных нефтепродуктов, сброса и вторичного использования собранных нефтепродуктов, при авариях на очистных сооружениях нефтебаз и нефтеперекачивающих станциях.

Гл. 4 написана В. К. Липским, гл. 5—Ю. П. Седлухо, гл. 6—Ширшовым А. Н., а гл. 7—П. И. Хайдиным.

ГЛАВА 4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОЦИКЛОНОВ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ИЗ ВОДЫ

РАЗДЕЛЕНИЕ ДВУХФАЗНЫХ ЖИДКИХ СИСТЕМ В ПОЛЕ МАССОВЫХ СИЛ

Один из основных методов разделения двухфазных жидкостей — метод разделения их в поле массовых сил. Этот метод осуществляют или путем использования гравитационных сил, или путем создания в жидкости центробежных сил. Если рассмотреть

в поле массовых сил движение частицы дискретной фазы массой m , находящейся в сплошной жидкой среде, то согласно принципу д'Аламбера можно записать [35].

$$P_m - P_\pi - P_c = m \frac{dv}{dt}, \quad (25)$$

где P_m , P_π и P_c — силы, действующие на частицы, соответственно массовая, избыточного гидростатического давления и сопротивления среды.

Массовая сила

$$P_m = ma, \quad (26)$$

где a — напряжение массовой силы P_m .

Сила избыточного гидростатического давления (подъемная, или архимедова, сила) пропорциональна напряжению массовой силы:

$$P_\pi = m \frac{\rho}{\rho_d} a = P_m \bar{\rho}, \quad (27)$$

где ρ — плотность сплошной фазы; ρ_d — плотность дискретной фазы; $\bar{\rho}$ — относительная плотность фазы.

Если плотность сплошной фазы ρ меньше, чем плотность дискретной фазы ρ_d (т. е. частица «тяжелая» и $\bar{\rho} < 1$), то частица будет двигаться в направлении действия массовой силы и векторы скорости частицы \bar{v} и напряжения массовой силы \bar{a} будут направлены в одну сторону. Внешняя сила, вызывающая движение жидкой частицы,

$$P'_v = P_m - P_\pi = ma(1 - \bar{\rho}).$$

В гравитационном разделителе частица будет опускаться вниз (тонуть), а в центробежном разделителе она будет перемещаться от центра к периферии.

Когда дискретная частица «легкая», т. е. $\rho > 1$, она будет двигаться в сторону, противоположную действию массовой силы. Векторы скорости частицы \bar{v} и напряжения массовой силы \bar{a} будут направлены навстречу друг другу. В гравитационном разделителе такая частица будет двигаться вверх (всплывать), а в центробежном она будет перемещаться от периферии к центру.

В этом случае внешняя сила, действующая на частицу,

$$P''_v = P_m - P_\pi = ma(\bar{\rho} - 1).$$

В общем виде силу сопротивления среды определяют по уравнению

$$P_c = c \frac{\rho v^2}{2} S, \quad (28)$$

где c — коэффициент сопротивления, S — площадь миделевого сечения частицы.

Силы сопротивления среды зависят от большого числа параметров, важнейшими из которых являются геометрическая форма частицы и скорость ее движения относительно сплошной фазы v . При движении частиц с очень малыми скоростями ($Re < 2$) сила сопротивления среды может быть определена теоретически на основании закона Стокса по формуле (для шарообразной частицы)

$$P_c = 3\pi d\mu v, \quad (29)$$

где μ — коэффициент динамической вязкости.

При скоростях частицы, соответствующих $Re < 2$, силу сопротивления определяют на основании различных эмпирических теорий. Подставив в уравнение (25) силы из формул (26), (27) и (28), получим закон движения дискретной частицы в поле массовых сил

$$\frac{dv}{dt} = a - \bar{\rho}a - c \frac{\rho v^2}{2m} S. \quad (30)$$

Для частицы, движущейся под действием гравитационного поля, $a = g$, где g — ускорение свободного падения. Уравнение (30) примет вид:

$$\frac{dv}{dt} = g(1 - \bar{\rho}) - c \frac{\rho v^2}{2m} S.$$

Если же движение частицы происходит в условиях действия поля центробежных сил, то $a = r\omega^2$, где r — радиус траектории частицы; ω — угловая скорость частицы.

Уравнение (30) примет вид:

$$\frac{dv_r}{dt} = r\omega^2(1 - \bar{\rho}) - c \frac{\rho v^2}{2m} S,$$

где v_r — радиальная скорость частицы относительно сплошной среды.

При разделении двухфазных жидкостей в поле массовых сил движение частиц дискретной фазы относительно сплошной фазы происходит, как правило, с малыми скоростями, обеспечивающими ламинарный режим обтекания частиц.

Для ламинарного режима силу сопротивления, действующую на частицу, определяют по закону Стокса с помощью формулы (29). В этом случае можно записать

$$m \frac{dv}{dt} = m(1 - \bar{\rho}) - 3\pi d\mu v. \quad (31)$$

Учитывая, что у шарообразных частиц $m = \frac{1}{6}\pi d^3 \rho_d$, уравнение (31) перепишем в виде

$$\frac{\pi d^3}{6} \rho_d \frac{dv}{dt} = \frac{\pi d^3}{6} (\rho_d - \rho) a - 3\pi d\mu v.$$

или

$$\frac{dv}{dt} = (1 - \bar{\rho}) a - \frac{18\mu v}{d^2 \rho_d g}.$$

При $dv/dt=0$ скорость осаждения

$$v_{oc} = \frac{d^2 (\rho_d - \rho)}{18\mu} a.$$

При движении частицы под действием гравитационной силы

$$v_{oc} = \left(\frac{d^2}{18} \frac{\rho_d - \rho}{\mu} \right) g, \quad (32)$$

а под действием центробежной силы эта скорость

$$v_{oc.ц} = \left(\frac{d^2}{18} \frac{\rho_d - \rho}{\mu} \right) r\omega^2. \quad (33)$$

Так как осаждение частицы под действием поля центробежных сил происходит в радиальном направлении со скоростью $v_r = v_{oc.ц}$, то выражение (33) запишем в виде

$$v_r = \left(\frac{d^2}{18} \frac{\rho_d - \rho}{\mu} \right) r\omega^2. \quad (34)$$

Следует напомнить, что формулы (32) и (33) справедливы для области $Re < 2$.

Учитывая, что $r\omega^2 = v_\tau^2/r$, где v_τ — тангенциальная (окружная) скорость частицы, уравнение (34) можно записать в виде

$$v_r = \left(\frac{d^2}{18} \frac{\rho_d - \rho}{\mu} \right) \frac{v_\tau^2}{r}. \quad (35)$$

Из выражения (32) можно записать

$$\frac{v_{oc}}{g} = \left(\frac{d^2}{18} \frac{\rho_d - \rho}{\mu} \right). \quad (36)$$

Сравнивая уравнения (35) и (36), получим зависимость

$$v_r = v_{oc} \frac{v_\tau^2}{rg}, \quad (37)$$

связывающую радиальную и тангенциальную скорости частицы на определенном радиусе вращения со скоростью осаждения частицы в гравитационном поле.

Из зависимости (37) следует, что чем больше тангенциальная скорость потока и чем меньше радиус траектории частицы, тем больше радиальная скорость частицы (скорость центробежного осаждения).

Величина v_τ^2/rg в формуле (37) представляет собой отношение центробежной $P_{ц}$ и гравитационной P_r сил

$$\frac{P_{ц}}{P_r} = \frac{mv_\tau^2}{mrg} = \frac{v_\tau^2}{rg} = Fr_{ц} \quad (38)$$

и является центробежным критерием Фруда $Fr_{ц}$, в котором в качестве силы инерции представлена центробежная сила. Величину v_τ^2/rg часто называют фактором разделения Φ_p , который является основной характеристикой центробежных аппаратов.

На основании выражений (37) и (38) получаем равенство $v_r = \Phi_r v_{oc}$ и делаем вывод, что скорость центробежного осаждения частицы превышает скорость гравитационного осаждения пропорционально центробежному критерию Фруда или фактору разделения.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ АППАРАТОВ ДЛЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ

Для разделения двухфазных жидкостей в центробежном поле используют различные аппараты, называемые центробежными сепараторами. Эти аппараты получили широкое распространение. Существуют два типа центробежных сепараторов: приводные, в которых вращательное движение жидкости передается от вращающихся элементов конструкции, связанных с приводом, и неподвижные, у которых вращение жидкости возникает в результате тангенциального входа потока в рабочий объем аппарата. Сепараторы первого типа носят название центрифуг, а второго — циклонов и гидроциклонов.

Наиболее эффективные центробежные сепараторы — центрифуги. Фактор разделения Φ_r для них может изменяться в пределах 10^3 — $1,5 \cdot 10^5$. Это позволяет добиваться эффективного разделения двухфазных жидкостей с малыми размерами частиц дисперсной фазы при непродолжительном пребывании жидкости в рабочем объеме аппарата. Однако достижение высоких значений Φ_r , обеспечиваемое за счет увеличения угловой скорости ротора центрифуги, связано с возрастанием требований к прочности и устойчивости центрифуги, усложнением ее конструкции, ограничением ее пропускной способности.

Центрифуги широко используют во многих отраслях промышленности, поэтому они имеют большое число конструктивных разновидностей. Центрифуги применяют для разделения нефтесодержащих сточных вод. Наложение на нефтеводяную эмульсию больших центробежных сил позволяет добиться глубокой очистки. Однако использование их в этой области ограничено в основном тем, что эти аппараты имеют сравнительно небольшую пропускную способность, сложны в устройстве и эксплуатации. В наибольшей мере достоинства центрифуг при разделении нефтеводяных эмульсий проявились на морских и речных судах при очистке балластных и льяльных вод.

Важный фактор, определяющий эффективность центрифуг, — уменьшение длины пути, который должна преодолеть капелька нефти до попадания на свободную поверхность воды или налипания на контактную поверхность. Для этого внутрироторный объем центрифуг разделен конструктивными цилиндрическими вставками на тонкие слои, обеспечивающие минимально возможный путь частицы дисперсной фазы (в современных центрифугах толщина слоя не превышает долей миллиметра).

Характерный пример такой центрифуги — центрифуга конструкции фирмы «Фостер и Мюллер» (США). Нефтеводяная смесь, предварительно очищенная до содержания нефти 30—40 мг/л, поступает через предохранительный фильтр тонкой очистки в горизонтальный барабан, разделенный продольными вставками на большое число секций, где происходит доочистка смеси до содержания нефти меньше 10 мг/л.

При соотношении $v_r \gg \omega (b/l)$ (где ω — максимальная скорость потока вдоль оси центрифуги; b — толщина слоя жидкости между двумя concentрическими вставками; l — длина продольной полости между concentрическими вставками) основная масса капелек нефти войдет в контакт с поверхностью вставок до выхода из ротора. Центрифуги такой конструкции называются центробежно-коалесцирующими аппаратами. Для очистки больших объемов нефтесодержащих сточных вод центрифуги применения не находят.

По сравнению с центрифугами циклоны и гидроциклоны обладают рядом существенных достоинств: просты по конструкции, компактны, дешевы в изготовлении, просты и надежны в эксплуатации.

Несмотря на то что гидроциклоны широко используют и интенсивно изучают в течение нескольких десятилетий, идущий в них процесс разделения неоднородных систем до сих пор недостаточно исследован из-за сложности происходящих в них гидродинамических явлений.

Имеется множество разновидностей напорных гидроциклонов (рис. 40), однако большее число конструкций представляют собой вертикальный корпус, состоящий из верхней цилиндрической части 3, закрытой сверху крышкой 5, к которой примыкает широким основанием нижняя часть, имеющая вид усеченного конуса 2. Двухфазная жидкость поступает в гидроциклон через питающий патрубок 6, установленный тангенциально к цилиндрической части. Подача двухфазной жидкости осуществляется под давлением, в связи с чем такие гидроциклоны называют напорными. Разгрузка гидроциклона проводится через расположенное в вершине конуса отверстие 1 и верхний сливной патрубок 4, установленный в центре крышки по оси гидроциклона.

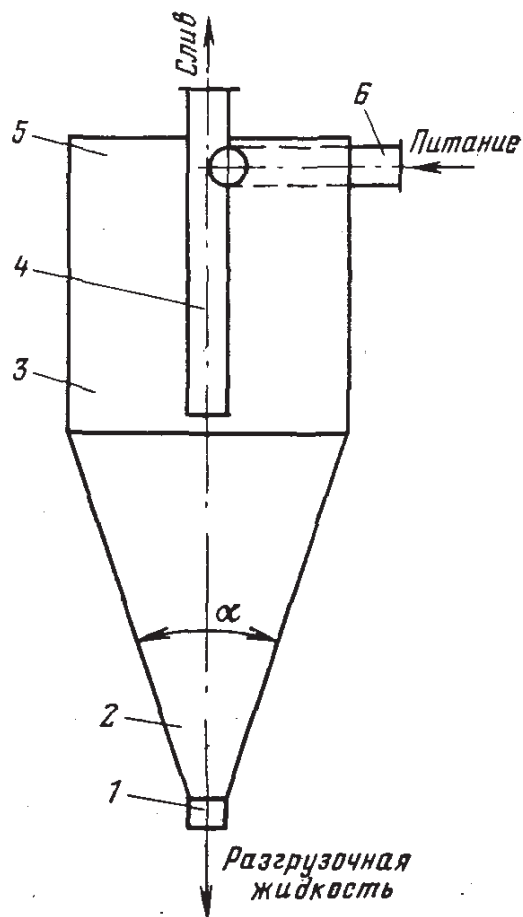


Рис. 40. Напорный гидроциклон

Поле скоростей в напорном гидроциклоне отличается большой сложностью. Жидкость поступает через тангенциально расположенный входной патрубок в верхнюю цилиндрическую часть корпуса и приобретает вращательное спиральное движение, направленное по пристенной области вниз к вершине конуса. В нижней части аппарата нисходящий спиральный поток поворачивается к оси аппарата и по внутренней спирали направляется к верхнему сливному патрубку. В нормально работающем гидроциклоне вдоль его вертикальной оси существует воздушный столб, который имеет, как правило, цилиндрическую форму, а длина его равна высоте гидроциклона. Диаметр воздушного столба определяется главным образом диаметром нижнего сливного патрубка.

Описанная схема движения жидкости по нисходящей и восходящей спиралям дает лишь самое общее представление о движении потоков в гидроциклоне. Наряду с круговыми потоками в гидроциклоне возникают циркуляционные токи в вертикальных плоскостях. Частицы внутри гидроциклона перемещаются по сложной пространственной траектории.

Абсолютная скорость частицы жидкости в гидроциклоне $\bar{v}_{\text{абс}} = \bar{v}_\tau + \bar{v}_r + \bar{v}_z$, где \bar{v}_z — вертикальная скорость частицы.

В обобщенном виде абсолютная скорость потока жидкости — функция давления в аппарате p , расстояния от центра гидроциклона r и высоты z [1]: $v_{\text{абс}} = f(p, r, z)$. Составляющие \bar{v}_τ , \bar{v}_z и \bar{v}_r определяют экспериментальным путем.

Для определения тангенциальной скорости установлена зависимость $v_\tau r^n = \text{const}$, где показатель степени n , зависящий от конструктивных параметров аппарата, может меняться в пределах -1 — 1 , а практически, по данным различных авторов, равен $0,3$ — $0,9$.

Вертикальной скоростью v_z при рассмотрении движения дискретной частицы, как правило, пренебрегают. Такое упрощение обосновывается тем, что центробежная сила значительно превосходит гравитационную, так как фактор разделения для гидроциклона, как правило, лежит в пределах $5 \cdot 10^2 < \Phi_p < 2 \cdot 10^3$. За счет исключения из рассмотрения вертикальной составляющей скорости v_z принимают, что дискретная частица движется в плоскости, перпендикулярной к оси гидроциклона. Это, в свою очередь, позволяет получить значения радиальной скорости частицы на основании зависимости (35).

Более точное описание движения частицы связано с полным учетом гидродинамической природы силы сопротивления, которое испытывает частица, а также с учетом действия всех других сил, действующих на нее.

Важная характеристика работы гидроциклона, определяющая его очистную способность, — предельный диаметр частиц $d_{\text{пр}}$ дискретной фазы, отделяющихся в аппарате.

Для практических расчетов $d_{\text{пр}}$ можно рекомендовать формулы, предложенные А. И. Поваровым.

Для двухфазной жидкости с содержанием твердой фазы менее 10 % (по массе)

$$d_{\text{пр}} = 4,6 \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{D d_{\text{в}} \mu \operatorname{tg}(\alpha/2)}{d_0 p^{0,5} \alpha^{0,6} k_D k_{\alpha} (\rho_{\text{д}} - \rho)}}, \quad (39)$$

где D — диаметр гидроциклона; $d_{\text{в}}$ — диаметр сливного патрубка; μ — коэффициент динамической вязкости суспензии; α — угол конусности; d_0 — диаметр питающей насадки; p — давление на входе в аппарат; $\rho_{\text{д}}$, ρ — плотность соответственно дискретной и сплошной фаз суспензии; k_D , k_{α} — коэффициенты, учитывающие соответственно влияние диаметра D и угла конусности α гидроциклона.

Если содержание твердой фазы составляет более 10 % (по массе), то для определения $d_{\text{пр}}$ используют формулу

$$d_{\text{пр}} = 1,5 \sqrt{\frac{d_{\text{в}} D - C}{d_{\text{н}} k_D p^{0,5} (\rho_{\text{д}} - \rho)}}, \quad (40)$$

где C — концентрация дискретной фазы; $d_{\text{н}}$ — диаметр разгрузочного отверстия.

Наряду с формулами (39) и (40) существует большее число других формул для определения $d_{\text{пр}}$. Это связано с тем, что $d_{\text{пр}}$ зависит не только от физических свойств сплошной и дискретной фаз, но и от конструктивных особенностей аппарата.

Анализируя основные известные формулы для расчета $d_{\text{пр}}$, можно сделать выводы, что до настоящего времени отсутствует общепризнанная методика расчета предельного диаметра частицы [25] и что в некоторых случаях расчет $d_{\text{пр}}$ по различным формулам дает существенное расхождение (среднее квадратичное отклонение составляет 35—150 % и выше) [35].

Пропускную способность гидроциклона V_0 можно рассчитать по эмпирической формуле А. И. Поварова

$$V_0 = 5 k_D d_0 d_{\text{в}} \sqrt{d p}.$$

Эту формулу можно использовать в более простом виде [35]:

$$V_0 = 28,5 d_0 d_{\text{в}} \sqrt{p/\alpha^{0,2}}.$$

ПРИМЕНЕНИЕ НАПОРНЫХ ГИДРОЦИКЛОНОВ

Применение напорных гидроциклонов связано с разделением двухфазных жидкостей, обладающих различными свойствами. Очевидно, что от свойств двухфазных систем зависят конструкция гидроциклонов и их технологические параметры.

Однако из всего многообразия свойств, характеризующих разделение жидкости, в первую очередь на конструкцию и параметры работы гидроциклонов влияют два обстоятельства: в каком

(твердом или жидком) виде представлена дискретная фаза и каково соотношение между плотностями дискретной и сплошной фаз.

Рассмотрим с этой точки зрения работу гидроциклонов.

Гидроциклоны, предназначенные для разделения двухфазной системы твердое тело — жидкость с плотностью дискретной фазы ρ_d большей, чем плотность сплошной фазы ρ , получили широкое распространение для выделения из жидкостей различных твердых частиц. Большое число известных конструкций гидроциклонов предназначено для разделения именно таких двухфазных жидкостей.

Механизм разделения двухфазной жидкости состоит в том, что твердые частицы под действием центробежной силы перемещаются к стенкам гидроциклона и по винтовой траектории перемещаются вниз к нижнему выпускному отверстию, через которое они выводятся из гидроциклона вместе с небольшим количеством жидкости. Осветленная жидкость удаляется из гидроциклона через сливной патрубок, расположенный в его верхней крышке. Когда плотность твердой дискретной фазы меньше, чем плотность сплошной фазы, твердые частицы концентрируются в области, примыкающей к вертикальной оси гидроциклона. Поднимаясь вместе с внутренним круговым потоком вверх, твердые частицы выводятся из гидроциклона вместе с каким-то количеством жидкости через верхний патрубок, а осветленная вода уходит из аппарата через нижнее отверстие.

При механическом разделении систем, образованных двумя жидкостями, справедливы те же физические закономерности, что и при разделении системы твердое тело — жидкость. На практике же обнаруживаются значительные различия, в основном обусловленные тем, что дискретная фаза, распределенная обычно в виде капель в сплошной фазе, ведет себя иначе, чем твердые частицы под действием нагрузок в поле сил сдвига, возникающих во вращающемся потоке внутри разделительного аппарата. М. Бонет обратил внимание на такой экспериментальный факт: при разделении в гидроциклоне эмульсий существует такая критическая скорость на входе в гидроциклон, при достижении которой происходит резкое падение эффективности разделения. Этому явлению дается физическое объяснение. По мере возрастания скорости потока на входе, т. е. с ростом пропускной способности гидроциклона, увеличивается тангенциальная скорость v_t у стенки циклона. Значение v_t возрастает в направлении от наружной стенки к оси гидроциклона. На расстоянии радиуса r_i , соответствующего радиусу сливного патрубка, эта скорость достигает своего наибольшего значения, а затем снижается до нуля. Наибольшая окружная скорость — определяющая с точки зрения разделительной способности гидроциклона, так как отношение v_{ti}/r_i представляет собой наибольшее достигаемое в аппарате напряжение центробежной силы.

Если рассмотреть движение капли, вращающейся с тангенциальной скоростью v_{ti} на радиусе r_i , то условием равновесия дей-

ствующих на каплю центробежной силы и силы сопротивления будет выражение

$$\frac{\pi}{6} d^3 \Delta \rho \frac{v_{\tau i}^2}{r_i} = 3 \pi d \nu r_i \mu,$$

где $v_{\tau i}$ — тангенциальная составляющая скорости потока на радиусе r_i ; $\Delta \rho$ — разность плотностей дискретной и сплошной фаз.

Тогда предельный диаметр капли, рассчитанный из этих условий равновесия,

$$d_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{18 \mu \nu r_i}{\Delta \rho v_{\tau i}^2}}, \quad (41)$$

откуда следует, что по мере возрастания тангенциальной скорости (в данном случае это эквивалентно возрастанию скорости потока на входе) в гидроциклоне будут отделяться все меньшие капли и с увеличением скорости потока на входе будет снижаться предельный размер капель, что повышает тем самым эффективность разделения.

Однако приведенные рассуждения справедливы только для выделения из жидкости твердых частиц, которые сохраняют постоянные размеры. При разделении систем жидкость — жидкость такого постоянства не наблюдается.

Если повышать скорость на входе в гидроциклон, то возрастает и напряжение центробежной силы, т. е. увеличиваются градиент сдвига и напряжение сдвига, действующие на каплю. Вначале в поле сдвигающих сил капля сохраняет свою форму и лишь вращается вокруг своей оси. С повышением нагрузок капля деформируется, а затем происходит ее разрушение, в результате чего образуются две капли меньшего размера. Диаметры вновь образованных капель могут оказаться меньшими, чем предельный диаметр, определяемый из формулы (41), и, следовательно, действующей в потоке центробежной силы уже недостаточно для отделения вновь образовавшихся более мелких капель. В этом случае гидроциклон, разрушая капли дискретной фазы и не отделяя их от сплошной среды, начинает работать как эмульгатор.

Для точного расчета режима работы гидроциклона (режим разделения или эмульгирования) необходимо знание критических напряжений, действующих на диспергированные капли. На каплю действуют различные силы: тяжести, центробежная, вязкости, сдвига и поверхностного натяжения, которая всегда препятствует разрушению капли.

Соотношения этих сил с силой поверхностного натяжения можно представить в виде безразмерных критериев:

для силы тяжести

$$K_1 = \frac{d^2 \Delta \rho g}{\sigma} = We / Fr,$$

где σ — коэффициент поверхностного натяжения; We — число Вебера; Fr — число Фруда;

для центробежных сил

$$K_2 = \frac{d^2 \Delta \rho v_{\tau i}^2}{\sigma r_i} = \frac{We}{Fr} \Phi_p;$$

для сил вязкости

$$K_3 = \mu \frac{v_{\tau i}}{\sigma} = \frac{We}{Re};$$

для сил сдвига

$$K_4 = \mu \frac{v_{\tau i} d}{\sigma r_i} = \frac{We}{Re} \frac{1}{r_i}. \quad (42)$$

Во вращающемся потоке в циклоне на капли в основном действует поле сил сдвига. Поэтому определяющим критерием для процесса разрушения капли будет критерий K_4 . При значениях K_4 меньших, чем его критическое значение, гидроциклон будет работать в режиме разделителя, при значении K_4 больших, чем его критическое значение, — в режиме эмульгатора. М. Бонет не указывает критическое значение критерия K_4 . Однако из анализа выражений (42) следует, что результаты разделения будут ухудшаться при незначительном поверхностном натяжении, высокой вязкости сплошной среды и возрастании градиента сдвига.

Для разрушения капель жидкости имеет значение наряду с производительностью циклона по исходному материалу и концентрации компонентов в исходном продукте также и то, какой из них — легкий или тяжелый — составляет дискретную фазу.

Примером использования гидроциклонов для разделения системы жидкость — жидкость в случае, когда плотность дискретной фазы больше плотности сплошной фазы, являются работы Ю. Н. Болдырева по изучению возможности отделения воды из нефтепродукта. Отделение воды проводили в конических гидроциклонах с углом конуса от 3 до 10° и внутренним диаметром оснований каждая от 26,3 до 55,1 мм. В результате проведенных экспериментов установлена возможность применения гидроциклона для отделения воды из масла и топлива, причем эффективность отделения возрастает при многократной очистке в гидроциклоне. В работе получены зависимости эффективности отделения воды из масла и топлива от давления на входе в гидроциклон. Из анализа этих зависимостей следует, что повышение давления на входе не всегда приводит к росту эффективности отделения. Минимальной эффективности соответствует минимальное давление на входе. Этот факт, по-видимому, подтверждает вывод М. Бонет о том, что решающее значение имеет скорость на входе в гидроциклон, определяющая критерий для сил сдвига K_4 . С повышением давления на входе возрастает скорость на входе и K_4 приобретает значения выше критического, что приводит к эмульгированию дискретной фазы.

Перспективная область применения гидроциклонов — использование их для выделения нефти из нефтесодержащих сточных вод. В этом случае приходится иметь дело с системой жидкость — жидкость, у которой плотность дискретной фазы меньше, чем у сплошной. В производственных условиях были проведены исследования гидроциклонов в НГДУ «Альметьевскнефть». При этом использовали гидроциклоны следующих размеров:

Номер гидроциклона	1	2	3	4
Диаметр цилиндрической части, мм . . .	33	75	75	100
Диаметр отверстия питающего патрубка, мм	6	15	15	20
Диаметр разгрузочного отверстия, мм . . .	4	10; 26	10; 26	8
Угол конусности, градус	10	5	10	5
Высота цилиндрической части, мм	33	46,2	46,2	100—400
Диаметр сливного отверстия, мм	8	20	20	25

Данные проведенных экспериментов свидетельствуют о том, что эффект осветления возрастает с уменьшением диаметра и угла конуса гидроциклона (табл. 13).

Поскольку нефтесодержащие сточные воды содержат механические примеси, которые также необходимо удалять, делаются многочисленные попытки использовать для очистки таких сточных вод трехпродуктовые гидроциклоны (рис. 41), в которых происходит одновременное выделение легкой фазы 1 — нефтепродукта и тяжелой фазы 3 — песка (механических примесей). Легкая фаза выводится через верхний сливной патрубок, тяжелая фаза — через нижнее (песковое) отверстие, а для вывода осветленной жидкости служит дополнительный выход из гидроциклона, расположенный в его верхней части.

Конические гидроциклоны отличаются друг от друга расположением входных тангенциальных патрубков и патрубков выводов

Т а б л и ц а 13

Результаты выделения нефти из сточных вод

Номер гидроциклона	Давление на входе в гидроциклон, МПа	Концентрация нефтепродуктов в воде, мг/л			Эффект осветления, %
		В исходной жидкости	В верхнем сливе	В разгрузочной жидкости	
1	0,064	1657,07	1675,45	14,57	99,12
1	0,074	146,9	275,6	9,71	93,4
2	0,17	3521,36	4835,76	258,85	92,85
2	0,17	2002,44	5616,8	610,5	69,51*
3	0,25	1987,9	2102,2	85,6	96
3	0,15	25,1	131,3	20,5	18*
4	0,16	450,2	532,4	74,2	84
4	0,16	701,49	820,3	255,5	64

* Эффект осветления при диаметре разгрузочного отверстия $d_H = 26$ мм.

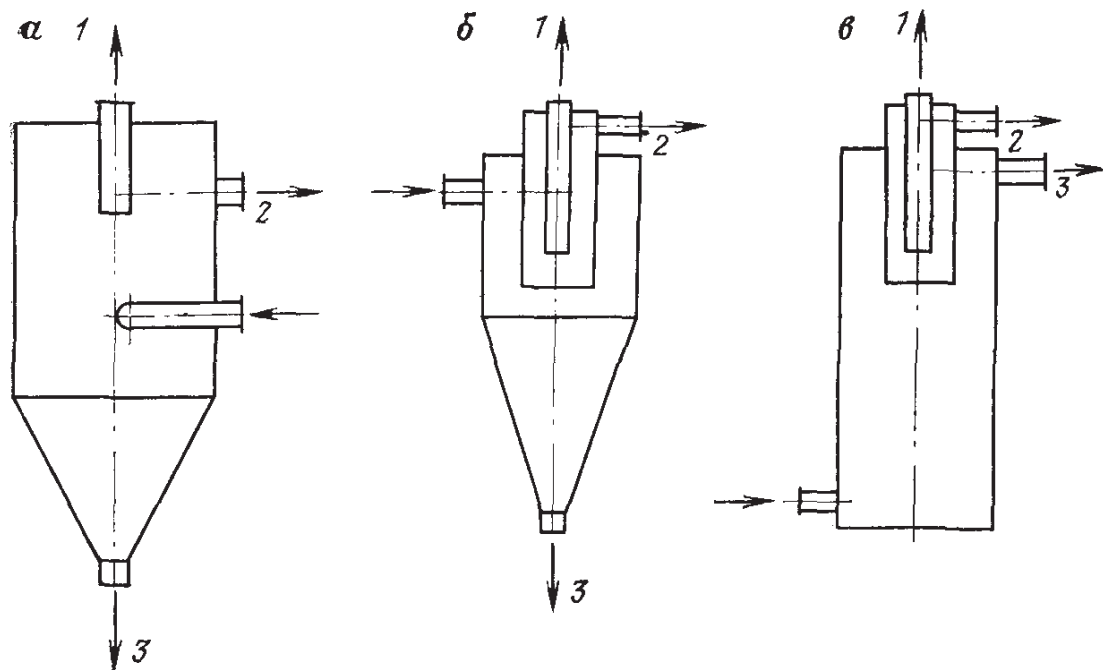


Рис. 41. Трехпродуктовые гидроциклоны:

а, б — конические; *в* — цилиндрический; *1* — легкая фаза; *2* — смесь фаз; *3* — тяжелая фаза

из гидроциклонов осветленной трехкомпонентной смеси. В первом гидроциклоне (см. рис. 41, *а*) исходный продукт подается через тангенциальный патрубок, установленный ниже конца центрального главного патрубка, через который разгружается легкий компонент. Смесь разгружается через тангенциальный патрубок, установленный в верхней цилиндрической части, тяжелый компонент и твердые частицы — через отверстия в вершине конуса. Во втором гидроциклоне (см. рис. 41, *б*) исходный продукт поступает через тангенциальный патрубок, расположенный в верхней части гидроциклона. Через крышку аппарата в гидроциклон входят два коаксиальных патрубка. Через внутренний патрубок разгружается легкий компонент, а по наружному патрубку и имеющемуся в его верхней части тангенциальному патрубку — смесь компонентов. Тяжелый компонент и твердые частицы из исходного продукта разгружаются через отверстия в верхней части конуса.

В цилиндрическом гидроциклоне (см. рис. 41, *в*) продукт разделения поступает через тангенциальный патрубок, расположенный в нижней части аппарата. В верхней части аппарата имеются два коаксиальных патрубка. Через внутренний происходит разгрузка легкого компонента. С помощью наружного через тангенциальный патрубок, расположенный в его верхней части, выделяется смесь компонентов, а тяжелый компонент разгружается через тангенциальный патрубок, расположенный под крышкой корпуса.

Визуальные наблюдения за цилиндрическим гидроциклоном диаметром 80 мм с питающим отверстием диаметром 16,5 мм показали, что при давлении на входе в гидроциклон более 0,03 МПа разделения компонентов не происходит, при давлении 0,02—

Таблица 14

Технические показатели работы гидроциклона

Давление на входе, МПа	Скорость на входе, м/с	Пропускная способность, л/с			Содержание нефти в продукте, %			
		Т	С	Л	Т	С	Л	И
0,008	1,65	0,1	0,129	0,118	0,33	1,57	23,1	8,51
0,01	1,775	0,107	0,161	0,130	0,134	1,77	15,7	5,87
0,012	2,005	0,112	0,183	0,138	0,13	0,43	22	2,3
0,014	2,98	0,182	0,189	0,260	0,235	0,365	8,8	3,8
0,016	3,33	0,195	0,183	0,330	0,443	0,738	14,1	6,71
0,018	3,81	0,212	0,188	0,410	0,08	0,093	9,9	5,05
0,02	4,4	0,211	0,209	0,512	0,176	1,15	12,9	7,38

Примечание. Т, С и Л — фазы соответственно тяжелая, смешанная (смесь) и легкая; И — исходный продукт.

0,03 МПа разделение происходит неэффективно, а при давлении 0,006—0,02 МПа гидроциклон работает как разделитель.

Из табл. 14 видно, что 90—95 % нефти, поступающей в гидроциклон, разгружается через центральный сливной патрубок, в среднем 1,5 % уносится вместе с водой, а остальная нефть находится в промежуточном продукте. Оптимальная скорость на входе в гидроциклон $v_{вх} = 3 \div 4,5$ м/с. В то же время отмечается, что в зависимости от конструкции и размеров гидроциклона соотношения размеров его отверстий и концентрации нефти в исходном продукте и оптимальное давление на входе могут меняться.

Оценивая перспективы использования напорных гидроциклонов для очистки нефтесодержащих сточных вод следует отметить, что, несмотря на то, что по сравнению с гравитационными отстойниками гидроциклоны работают со сравнительно большей гидравлической нагрузкой, пропускная способность отдельного гидроциклона невелика. Поэтому эффективность их использования для очистки нефтесодержащих сточных вод во многом связана с созданием батарейных гидроциклонов [33] и мультигидроциклонов. Это дает возможность, используя гидроциклоны небольших диаметров и обеспечивая тем самым достаточную эффективность разделения фракций, добиваться необходимой пропускной способности.

Другое важное направление использования гидроциклонов для очистки нефтесодержащих сточных вод — создание двух- и трехступенчатых технологических схем очистки. И наконец, весьма эффективным может оказаться объединение гидроциклонов с другими аппаратами для разделения (тонкослойными отстойниками, флотаторами, коалесцентными фильтрами и т. д.) в едином технологическом комплексе. Правильно подобранная комбинация аппаратов позволит, в полной мере используя преимущество каждого из них, компенсировать присущие им недостатки.

УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ БЕЗНАПОРНЫХ ГИДРОЦИКЛОНОВ ДЛЯ СБОРА НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ С ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ

Образование на свободной поверхности различных водных объектов плавающего слоя нефти — широко распространенный и очень опасный вид загрязнения воды. На открытых морских акваториях, в портах, на поверхности рек, озер, болот появление плавающего слоя нефти, как правило, связано с авариями на морском и речном транспорте, нефтепромысловых или нефте- и нефтепродуктопроводах [2].

В этих случаях загрязнения носят единовременный залповый характер, при этом они могут быть очень большими по поражаемой площади и количеству поступившей в водоемы нефти. Ликвидация последствий залповых выбросов нефти в водоемы направлена как на уменьшение вредных экологических воздействий, опасность которых хорошо известна [26], так и на сбор потерянных нефтепродуктов с целью их дальнейшего использования.

Очень остро стоит задача сбора нефтепродуктов, плавающих на свободной поверхности, в сфере производства. На промышленных предприятиях целого ряда отраслей, прежде всего на нефтехимических предприятиях, крупных нефтебазах, автохозяйствах, металлургических комбинатах, в состав очистных сооружений входят некоторые водоохранные объекты, такие, как отстойники (песколовки), нефтеловушки, пруды дополнительного отстоя и другие, на поверхности которых постоянно находится слой нефтепродуктов. Существование этого слоя приводит к большим потерям наиболее ценных легких фракций нефтепродуктов, испаряющихся в атмосферу, и создает неблагоприятные экологические последствия из-за загазованности атмосферы углеводородами.

Таким образом, создание эффективного технологического оборудования для сбора нефтяных загрязнений с поверхности воды — актуальная техническая задача, решение которой позволит ослабить вредное экологическое воздействие потерянных нефтепродуктов и вернуть их для дальнейшего использования.

Применяемые в настоящее время технологические схемы и методы улавливания, сбора и отделения нефти, плавающей на свободной поверхности, весьма разнообразны. Если обобщить обширные материалы, имеющиеся в специальной литературе, то все разработанные к настоящему времени методы можно разделить на механические, физико-химические и биологические. Преобладающим является использование механических методов сбора, эффективность которых в ряде случаев повышается путем комбинирования их с физико-химическими методами, такими, например, как поглощение жидких углеводородов сорбентами.

Механические методы сбора нефтяных загрязнений с поверхности воды и их отделение от воды реализуются по различным конструктивным и технологическим схемам. Сюда прежде всего относится использование переливных устройств, работающих на

принципе перетекания поверхностного слоя воды, несущего на себе нефтяную пленку, через водосливную стенку в нефтесборную емкость. Находят применение устройства шнекового типа. В частности, используют горизонтальные шнеки с лопастями постоянного уменьшающегося шага. По мере продвижения вдоль шнека захваченная нефтяная пленка утолщается пропорционально уменьшению шага. Устройства адсорбционного типа выполняют в виде бесконечной ленты и троса, погружаемых в нефтяные загрязнения. Затем загрязнения, пропитавшие адсорбирующие элементы, с помощью валков отжимают в нефтесборную емкость. Адсорбирующий материал в виде порошка или отдельных кусков также можно наносить на поверхность нефтяного пятна и затем после пропитывания нефтью механическим методом собирать с поверхности воды и освобождать от нефти. Устройства адгезионного типа основаны на свойстве нефти налипать на некоторые материалы, которые не смачиваются или плохо смачиваются водой. Нефтяные загрязнения налипают на поверхность вращающегося барабана, вертикальных дисков или бесконечной ленты, погруженных в воду, а затем при помощи скребка их скабливают в сборные емкости.

Известны конструкции устройств, в которых для отделения нефтяных загрязнений от воды используют центробежные силы. Вращательное движение жидкости может быть вызвано или в неограниченном объеме (как за счет интенсивного подповерхностного стока, так и за счет работы импеллера), или внутри объема, ограниченного специальным корпусом. Во втором случае жидкость может приводиться во вращение путем организации тангенциального ее входа в пространство корпуса.

Использование подповерхностного стока или импеллера приводит к появлению вертикального вихревого шнура (линейного вихря), что связано с образованием на свободной поверхности характерной воронки; организация тангенциального входа вызывает внутри корпуса течение, аналогичное течению в гидроциклоне.

Каждый из указанных способов приведения жидкости во вращение имеет свои преимущества и недостатки, однако вне зависимости от способа закручивания жидкости нефтяная пленка, находящаяся на ее поверхности, перемещается к центру вращения, где создается ее скопление, удобное для откачивания.

Из рассмотрения только одного из видов борьбы с нефтяными загрязнениями поверхности водоемов — механического следует, что к настоящему времени созданы сотни разновидностей конструкций нефтесборных снарядов и устройств. С одной стороны, возрастающее число конструкций нефтесборных устройств свидетельствует о том, что процесс испытания временем технических решений в этой области еще не завершился, а с другой — отражает тот объективный факт, что из-за различий условий, в которых происходят нефтяные загрязнения, связанных с наличием большого числа разновидностей акватории и разнообразием свойств нефтяных загрязнений, разными масштабами загрязнений

и метеорологическими условиями, невозможно во всех случаях успешно вести борьбу с нефтяными загрязнениями с помощью одного универсального метода.

Для очистки водоемов от нефти получают распространение безнапорные гидроциклоны (БГЦ), что объясняется рядом преимуществ:

чрезвычайной простотой конструкции, лишенной каких-либо подвижных частей, обеспечивающей легкость их изготовления и простоту и надежность эксплуатации;

эффективным сбором нефтяных загрязнений в виде пленки в широком диапазоне ее толщин в различных ситуациях — на водотоках и в покоящейся жидкости;

легкой трансформацией применительно к условиям сбора загрязнений, хорошей компоновкой в единые технологические комплексы с другими элементами технических средств, предназначенных для сбора нефтяных загрязнений.

Представляют интерес две разновидности БГЦ: с одним входным каналом, предназначенная для работы в условиях относительного движения жидкости, и несколькими входными каналами — для работы в покоящейся жидкости.

Первая из указанных конструктивных разновидностей БГЦ (рис. 42) состоит из цилиндроконического корпуса 1 с входным каналом 2, примыкающим к цилиндрической части корпуса. Внизу конической части корпуса тангенциально расположен патрубок 3 отвода осветленной воды. Внутри корпуса соосно с ним размещен патрубок 4 отвода уловленной нефти. Безнапорный гидроциклон работает следующим образом: аппарат опускают в водоем так, что боковые стенки входного канала оказываются частично погруженными в воду, при этом его ориентируют входным каналом навстречу набегающему потоку. Включают насос откачки из аппарата осветленной воды, соединенный шлангами с тангенциальным патрубком 3. Частично из-за слива воды из рабочего объема БГЦ через патрубок 3, частично под воздействием набегающего потока воды с нефтяной пленкой на поверхности через входной канал 2 тангенциально поступает нефтесодержащая вода в цилиндрическую часть корпуса 1 и приобретает вращательное движение. Под действием центробежных сил более тяжелые частицы жидкости (вода) отбрасываются к стенкам корпуса и, проходя по спиральной траектории вниз, выводятся за его пределы по тангенциальному патрубку 3. Более легкие частицы (нефть) концентрируются в центре рабочего объема корпуса, образуя в верхней части скопление в виде клубка. Нефть из этого клубка через патрубок 4 отводится в нефтесборную емкость. Откачка нефти может проводиться насосом или осуществляться самотеком (например, в случае использования вакуумной нефтесборной емкости). Регулировку работы БГЦ осуществляют путем изменения расхода откачиваемой нефти. Безнапорный гидроциклон с одним входным каналом может работать также в покоящейся жидкости.

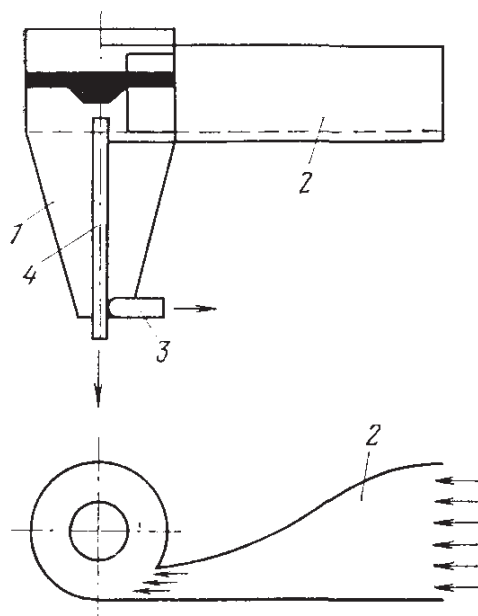


Рис. 42. Безнапорный гидроциклон с одним входным каналом

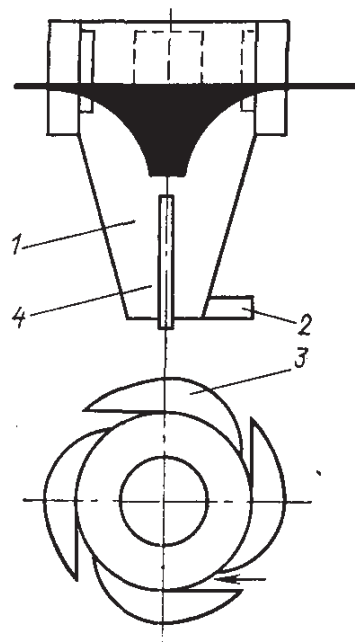


Рис. 43. Безнапорный гидроциклон с четырьмя входными каналами

Вторая конструктивная разновидность БГЦ, предназначенная для работы в покоящейся жидкости, отличается от первой только устройством входного приспособления (рис. 43). В данном случае входное приспособление выполнено в виде нескольких, расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга входных каналов. Форма боковых стенок канала обеспечивает безотрывное движение жидкости в области перед входом в устройство и исключает образование застойных зон, тем самым предотвращая скопления загрязнений. Аппарат включает в себя цилиндроконический корпус 1 с размещенными на его цилиндрической части входными приспособлениями 3 для ввода очищаемой воды, выполненными в виде нескольких расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга пар вертикальных стенок, одна из которых, тангенциально примыкающая к корпусу, плоская, а вторая криволинейная, выпуклая в сторону плоской стенки. Каждая пара плоской и криволинейной стенок образуют плавно суживающиеся профилированные в горизонтальном сечении входные каналы. С целью придания боковым стенкам каналов жесткости последние по торцам между собой и с цилиндрической частью корпуса могут быть соединены горизонтальными нижней и верхней пластинами, в результате чего образуются замкнутые полые объемы, создающие запас плавучести. В нижней части корпуса расположен тангенциальный патрубок отвода осветленной воды 2 и патрубок отвода уловленной нефти 4, размещенный в корпусе соосно с ним.

Аппарат работает следующим образом. После установки его в неподвижной жидкости так, чтобы плоскость свободной поверхности пересекала цилиндрическую часть корпуса на определенной

глубине, жидкость, находящаяся вблизи устройства в результате слива воды через патрубок отвода осветленной воды 2, подтягивается со всех сторон к стенкам входного приспособления и по тангенциальным входным каналам попадает в рабочий объем устройства.

Площадь живых сечений входных отверстий зависит от заглубления: при опускании аппарата площадь живых сечений увеличивается, а при подъеме — уменьшается.

Под действием центробежных сил вода отбрасывается к стенкам корпуса и, пройдя по спиральной траектории вниз, выводится за его пределы по тангенциальному патрубку. Нефть концентрируется в центре рабочего объема, откуда отводится через патрубок.

Важная особенность предложенных конструкций состоит в том, что патрубок для слива нефти помещен в нижнюю часть аппарата под свободную поверхность и представляет собой трубку, ориентированную по вертикальной оси аппарата и выходящую из него через дно конической части. Использование этой конструктивной схемы слива уловленной нефти оказало положительное влияние на эффективность работы аппарата. Механизм такого влияния, по-видимому, состоит в том, что на вращательное движение жидкости, возникающее в гидроциклоне в результате ее тангенциального входа, накладывается вращательное движение, вызванное появлением линейного вихря вектора, обусловленного сливом жидкости через сток, расположенный в районе свободной поверхности. Суперпозиция двух движений увеличивает скорость вращательного движения жидкости и, следовательно, центробежную силу, что улучшает условия скопления нефти в центре аппарата. В то же время увеличение скорости вращательного движения жидкости, происходящее за счет эффекта «вихревой воронки», не сопровождается увеличением макротурбулентности в потоке, как это было бы, если бы такая же скорость была достигнута лишь за счет соответствующей скорости тангенциального входа жидкости в гидроциклон. Отсутствие таких возмущений делает скопление нефти более устойчивым.

Лабораторные исследования безнапорных гидроциклонов проводили в Новополоцком политехническом институте на прозрачных моделях. Стенд для исследования безнапорных гидроциклонов с одним входным каналом (рис. 44) состоит из напорного 11 и питающего 1 баков, центробежного насоса 3, конфузора с успокоительным каналом 4 и открытого рабочего участка 5, в котором устанавливают исследуемую модель БГЦ. Вода насосом 3 подается из питающего бака 1 в напорный бак 11, откуда она под действием гидростатического напора вытекает через конфузور 4 в рабочий участок 5, имеющий прозрачные боковые стенки. Из рабочего участка вода, перетекая через водосливную стенку, в виде свободной струи возвращается в питающий бак.

Регулирование скорости движения жидкости в рабочем участке происходит за счет изменения положения уровня свободной

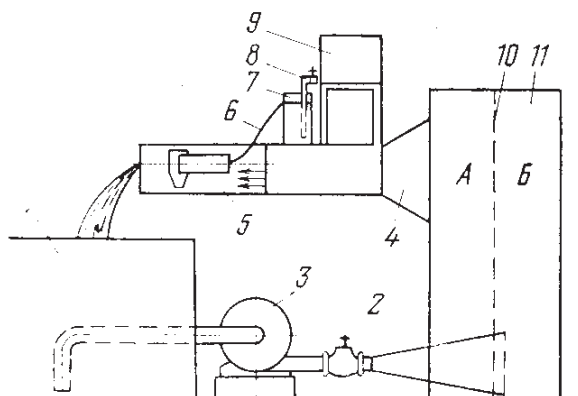


Рис. 44. Стенд для исследования безнапорных гидроциклонов в потоке жидкости

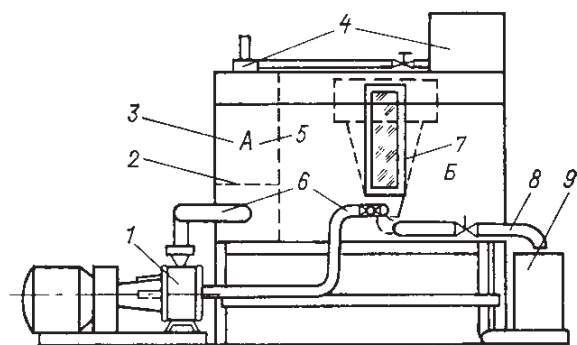
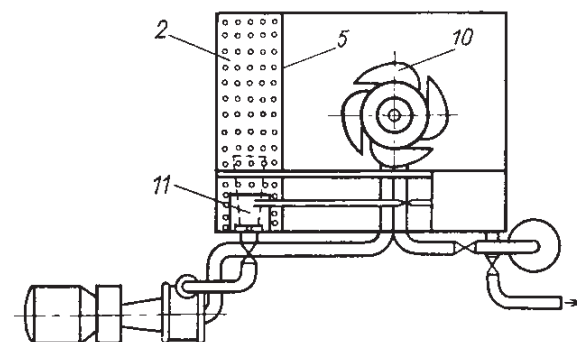


Рис. 45. Стенд для исследования безнапорных гидроциклонов в неподвижной жидкости



поверхности воды в напорном баке, который устанавливают с помощью задвижки 2 на нагнетающей линии центробежного насоса 3.

Приемный патрубок всасывающего трубопровода центробежного насоса загнут вниз, и его входное сечение расположено вблизи дна питающего бака. Это уменьшает попадание в напорный бак эмульгированных нефтяных загрязнений, которые в основном сосредотачиваются в районе свободной поверхности. Также для уменьшения попадания нефти в поток, проходящий через рабочий участок, напорный бак разделен вертикальной перегородкой 10 на две секции. Вода из нагнетающего трубопровода поступает в секцию Б, и содержащаяся в ней нефть всплывает. В рабочий участок поступает вода из секции А. В нижней части перегородки имеется ряд отверстий, через которые из секции Б вода, содержащая минимум нефти, перетекает в секцию А. Скорость движения жидкости в рабочем участке зависит от геометрического напора на водосливе.

Экспериментальная установка оборудована системой подачи нефти, которая состоит из питающего резервуара 9, трубопровода с запорно-регулирующей арматурой 8, промежуточной емкости 7 и криволинейной подающей плоскости 6. Нефть из питающего резервуара самотеком по трубопроводу поступает в промежуточную емкость, передняя стенка которой выполнена в виде водослива с примыкающей к нему криволинейной поверхностью. Нефть, переливаясь через кромку водослива, в виде сплошной тонкой пленки стекает по криволинейной поверхности, которая примыкает к свободной поверхности потока с незначительным зазором. Ширина криволинейной плоскости соответствует ширине входного канала безнапорного гидроциклона, поэтому вся нефть, поступившая

в поток, направляется в гидроциклон. Количество подаваемой нефти регулируют вентилем на трубопроводе 8.

Для опытов с безнапорным гидроциклоном, имеющим четыре входных канала, использовали другую экспериментальную установку (рис. 45), которая включает: металлический резервуар 3; модель БГЦ 10; систему слива осветленной воды, состоящую из центробежного насоса 1 и трубопроводов 6 с запорно-регулирующей аппаратурой; систему слива уловленной нефти, состоящую из трубопровода 8 с запорно-регулирующей арматурой и резервуара 9 для сбора уловленной нефти; систему подачи нефти на свободную поверхность 4.

Резервуар состоит из двух отсеков А и Б, разделенных перегородкой 5. В верхней части перегородки 5 имеется прямоугольный вырез, через который объемы жидкости, находящиеся в отсеках, сообщаются между собой в районе свободной поверхности. В нижнюю часть отсека А насосом 1 подается вода. Вода поступает в отсек через расходящийся конический насадок. Для устранения возмущений на свободной поверхности над коническим насадком 11 по всей площади отсека А установлен перфорированный дефлектор 2. На свободную поверхность воды в резервуаре А подается нефть. Для подачи нефти на свободную поверхность применяют приспособление (см. рис. 44). Нефть растекается по свободной поверхности в виде пленки и вместе с потоком воды, перетекающей из отсека А в отсек Б через вырез в перегородке 5, поступает в отсек Б. В центре отсека Б неподвижно установлена модель БГЦ. Для наблюдения и фотографирования внешней картины явлений, происходящих при работе модели БГЦ, в стенке отсека Б выполнен иллюминатор 7. Отсек оборудован системой наружного и подводного освещения.

Всасывающая линия трубопровода системы слива осветленной воды начинается в нижней части конической секции корпуса БГЦ, а нагнетающая линия этой системы заканчивается коническим насадком. Таким образом, осветленная вода насосом 1 перекачивается из отсека Б (проходя через БГЦ) в отсек А, а оттуда снова поступает в отсек Б. Расход воды в системе регулируют вентилем.

Условленная нефть из БГЦ удаляется самотеком через патрубок слива уловленной нефти по трубопроводу и поступает в резервуар 9 для сбора уловленной нефти.

В ходе исследований на прозрачных моделях с диаметрами цилиндрической части 50, 100, 250 и 500 мм проводили наблюдения внешней картины течения в безнапорном гидроциклоне.

Входные каналы испытанных безнапорных гидроциклонов оборудованы вертикальными криволинейными стенками, конфигурация которых обеспечивает безударный вход жидкости в канал. При этом обеспечивается улавливание поверхностных слоев набегающего потока. Возвратных течений на свободной поверхности внутри канала и огибающих течений перед входным каналом нет.

Характер течений во входном канале зависит от скорости набегающего потока, ширины входного отверстия, глубины погружения нижней границы входного отверстия под свободную поверхность и расхода через сливные патрубки. Если скорость потока в канале достигает определенных предельных значений, то перед входным отверстием на свободной поверхности образуется подъем жидкости, свидетельствующей о возросшем сопротивлении. Такой подъем — неблагоприятное обстоятельство, так как он препятствует попаданию нефтяной пленки в гидроциклон.

В рабочем объеме работающего гидроциклона вращательное движение жидкости сопровождается образованием на свободной поверхности воронки, глубина которой увеличивается с возрастанием скорости набегающего потока и увеличением пропускной способности гидроциклона.

На характер течения внутри рабочего объема гидроциклона оказывает влияние глубина погружения нижней границы входного отверстия. При малых ее значениях в рабочий объем поступает ограниченное количество жидкости, которое не обеспечивает достаточно интенсивного вращения. Увеличение погружения нижней кромки свободной поверхности благоприятно сказывается на образовании в рабочем объеме вращательного движения жидкости. Однако чрезмерное увеличение погружения приводит к «запиранию» гидроциклона, так как поступающая в гидроциклон жидкость не успевает уходить через сливное отверстие.

Сильное влияние на внешнюю картину течения в рабочем объеме оказывает ширина входного отверстия. Уменьшение ширины входного отверстия способствует созданию в рабочем объеме гидроциклона более равномерного вращательного движения жидкости, однако чрезмерное сужение входа приводит к «запиранию» входного канала.

Неблагоприятно также чрезмерное увеличение ширины входного отверстия, так как струя жидкости, втекающая в рабочий объем, сталкивается с вращающейся массой жидкости, что приводит к появлению значительных возмущений как на свободной поверхности, так и во всем объеме вращающейся жидкости. Ширина и высота входного отверстия зависят также от числа входных каналов, питающих безнапорный гидроциклон.

Нефтяная пленка, находящаяся на поверхности жидкости во входном канале, попадая в рабочий объем гидроциклона, образует во вращающейся жидкости сплошной нефтяной клубок, располагающийся в центральной части рабочего объема и примыкающий к свободной поверхности. Диаметр клубка в среднем составляет 50—70 % от диаметра цилиндрической части гидроциклона, а его высота зависит от толщины пленки собираемой нефти и расхода через патрубок слива нефти. Если установить расход через верхний сливной патрубок соответствующим количеству нефти, поступающей в гидроциклон при заданной толщине пленки, то объем клубка сохраняется постоянным при длительной работе гидроциклона.

Нефтяной клубок вращается вместе со всей жидкостью, находящейся в рабочем объеме гидроциклона. Устойчивость границ нефтяного скопления зависит от размеров гидроциклонов. У аппаратов диаметром 500 мм границы нефтяного скопления очень устойчивы. У гидроциклона диаметром 250 мм при увеличении высоты нефтяного скопления от его нижней части начинают отрываться отдельные капли нефти, которые могут быть унесены через патрубок слива воды. У гидроциклонов диаметром 100 и 50 мм разрушения нефтяного скопления и уноса капелек нефти удавалось избежать лишь в узком диапазоне параметров, характеризующих их работу.

На рис. 46 дан график зависимости относительной критической высоты нефтяного скопления $\bar{S}_{кр}$ от коэффициента расхода воды C_q при различных значениях глубины погружения аппарата H , полученный в экспериментах с моделью диаметром 250 мм, имеющей один входной канал. Под критической высотой нефтяного скопления $S_{кр}$ понимают его высоту, при которой скопление нефти начинает разрушаться и нефть уносится через патрубок для слива воды. При высоком коэффициенте расхода воды C_q относительная критическая высота $\bar{S}_{кр} = S_{кр}/H$ уменьшается. Аналогичное влияние на $\bar{S}_{кр}$ оказывает увеличение глубины входного отверстия H .

Основные закономерности, характеризующие работу БГЦ различных конструкций, были установлены экспериментальными методами.

Рассмотрим результаты экспериментов с безнапорным гидроциклоном диаметром 250 мм, имеющим один входной канал.

Один из основных показателей, характеризующих эффективность работы безнапорного гидроциклона,—концентрация уловленной нефти

$$K = (V_n/V_{ж}) 100 \%,$$

где $V_{ж}$ — объем пробы, отобранной из патрубка отвода уловленной нефти; V_n — объем нефти, содержащейся в отобранной пробе, ко-

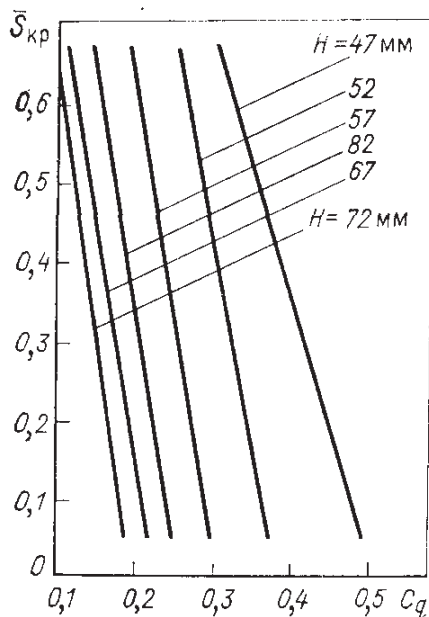


Рис. 46. График зависимости $\bar{S}_{кр} = f(C_q)$

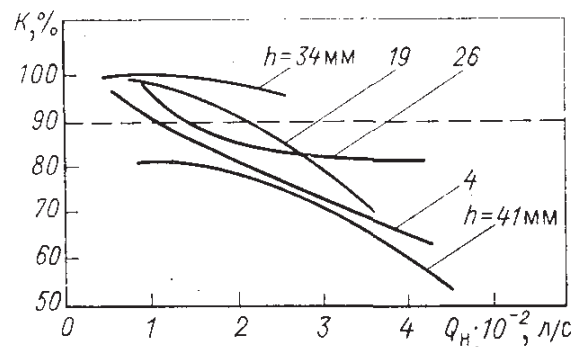


Рис. 47. График зависимости $K = f(Q_n)$

торый зависит от высоты входного отверстия N , положения верхнего конца патрубка отвода уловленной нефти относительно нижней кромки входного отверстия h , расхода осветленной воды Q_B и расхода через патрубок отвода уловленной нефти Q_H .

Когда БГЦ работает в неподвижной жидкости, на концентрацию уловленной нефти наиболее сильное влияние оказывают положение верхнего конца патрубка отвода уловленной нефти h и расход через этот патрубок Q_H (рис. 47). Из графиков можно выделить параметры, обеспечивающие концентрацию уловленной нефти выше 90 %, которую можно считать приемлемой для промышленных условий. Наибольшая концентрация нефти наблюдается при больших значениях N и h . При больших значениях h значения Q_H почти не влияют на концентрацию. С уменьшением значений h увеличение значений Q_H ведет к уменьшению значения K . Эксперименты показали, что правильно выбранная высота патрубка может обеспечить высокие концентрации в широком диапазоне эксплуатационных параметров БГЦ.

При работе БГЦ в потоке набегающей жидкости во всем исследованном диапазоне параметров обеспечивается 100 %-ная концентрация уловленной нефти. Повышение концентрации в данном случае по сравнению с работой БГЦ в покоящейся жидкости объясняется большей компактностью и устойчивостью образуемого в БГЦ нефтяного скопления.

Рассмотрим результаты экспериментов с БГЦ диаметром 500 мм, имеющим четыре входных канала, которые проводили в покоящейся жидкости. Увеличение числа входных каналов позволило увеличить интенсивность вращательного движения жидкости в БГЦ без увеличения возмущений на свободной поверхности, возникающих при входе в рабочий объем БГЦ струй жидкости, а следовательно, и без эмульгирования нефти, находящейся на свободной поверхности.

Концентрация уловленной нефти K в значительной мере зависит от расхода осветленной воды Q_B (рис. 48). Концентрации нефти, близкие к 100 %, обеспечиваются при $Q_B > 14$ м³/ч. При таких значениях Q_B высокая концентрация нефти достигается при всех испытанных значениях диаметра сливной трубки d и толщины слоя нефти δ . При $Q_B < 14$ м³/ч концентрация нефти уменьшается. В этой области значений Q_B концентрация зависит от δ . При больших значениях δ в отсеке концентрация нефти высока.

Эксперименты позволили выявить оптимальный диаметр трубки слива уловленной нефти. Наиболее высокие концентрации уловленной нефти были получены при сливной трубке, имеющей диаметр 16 мм. Однако при таком диаметре не обеспечивается удаление из БГЦ всей поступающей в него нефти, что приводит к появлению уноса. При $d = 37$ мм уноса нефти не наблюдается, но при этом получаются невысокие концентрации уловленной нефти. Оптимальный диаметр трубки для данной модели $d = 26$ мм, при котором достигаются сравнительно высокие значения концентрации и не наступает явление уноса нефти.

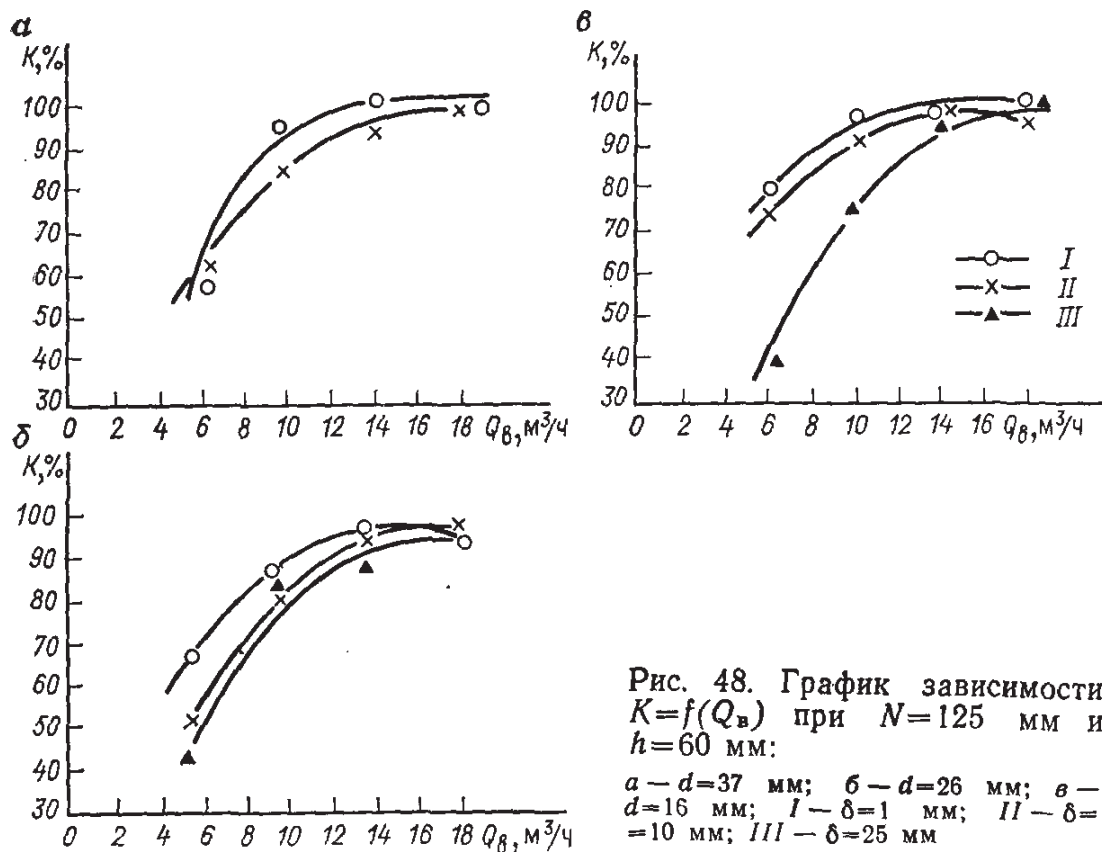


Рис. 48. График зависимости $K=f(Q_{в})$ при $N=125$ мм и $h=60$ мм:

$a - d=37$ мм; $б - d=26$ мм; $в - d=16$ мм; I — $\delta=1$ мм; II — $\delta=10$ мм; III — $\delta=25$ мм

Влияние расхода через систему слива уловленной нефти $Q_{н}$ на концентрацию уловленной нефти K было исследовано при $Q_{в} = 14$ м³/ч и $d=26$ мм. В результате установлено, что изменение $Q_{н}$ слабо влияет на K .

Рассмотрим более подробно влияние толщины слоя нефти δ на эффективность работы БГЦ, и прежде всего на концентрацию уловленной нефти K (рис. 49). Влияние δ на K увеличивается с уменьшением $Q_{в}$. Механизм такого влияния состоит в следующем. Толщина слоя оказывает влияние на концентрацию уловленной нефти за счет того, что от δ зависят размеры нефтяного скопления. При малых δ размеры нефтяного скопления невелики и поэтому любое изменение количества поступающей нефти, которое зависит от δ , сильно влияет на размеры скопления и тем самым на характер поступления нефти из скопления в улавливающий патрубок. С ростом толщины слоя увеличиваются и размеры скопления, что создает благоприятные условия для эвакуации нефти из него. В этом случае дальнейшее увеличение размеров скопления, вызываемое ростом δ , уже не повышает концентрации уловленной нефти, которая и без того достигла предела.

Правильность предложенного механизма подтверждает также влияние $Q_{в}$ на K . Эта зависимость проявляется через влияние размеров нефтяного скопления на концентрацию K . При малых значениях $Q_{в}$ нефтяное скопление невелико, следовательно, во всасывающий патрубок системы слива уловленной нефти наряду с нефтью поступает значительное количество воды. С увеличением $Q_{в}$ растут размеры нефтяного скопления и уменьшается захват

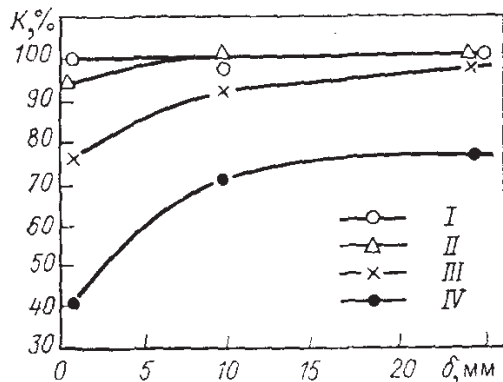


Рис. 49. Графики зависимости $K=f(\delta)$ при различных значениях $Q_{в}$ (м³/ч): I — 6; II — 10; III — 14; IV — 18

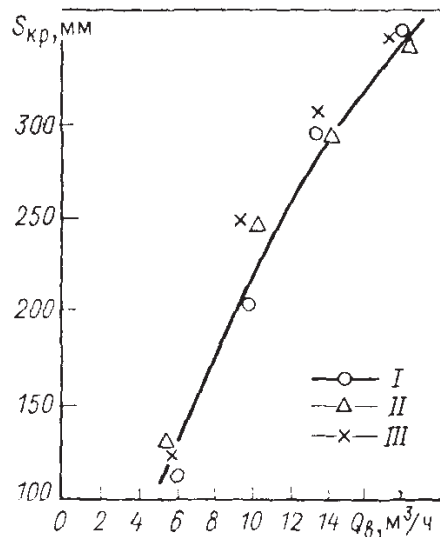


Рис. 50. График зависимости $S_{кр}=f(Q_{в})$ $N=125$ мм, $h=60$ мм, $d=26$ мм и различных значениях δ (мм): I — 1; II — 10; III — 25

воды всасывающим патрубком. Из данных экспериментов видно, что при $Q_{в}=14$ м³/ч обеспечиваются концентрации, близкие к 100 %, при всех значениях δ .

Таким образом, обобщая рассмотрение характера влияния на концентрацию K толщины слоя нефти δ и расхода осветленной воды $Q_{в}$, можно сделать следующий вывод: для получения высокой концентрации K надо обеспечить существование в БГЦ нефтяного скопления большого размера. В то же время увеличение размеров нефтяного скопления ограничивается наступлением уноса нефти из рабочего объема БГЦ. Представленный на рис. 50 график зависимости критической высоты скопления $S_{кр}$ от $Q_{в}$ и δ позволяет установить предельную высоту скопления, которую можно допустить при различных значениях $Q_{в}$. Критическая высота скопления нефти $S_{кр}$ не зависит от толщины нефтяного слоя δ . Это объясняется тем, что механизм поступления уноса нефти, т. е. механизм разрушения нефтяного скопления, прежде всего зависит от интенсивности вращательного движения жидкости, обуславливающего устойчивость и компактность нефтяного скопления. При этом не имеет значение интенсивность, с какой нефтяное скопление достигло критической высоты. А значение слоя нефти δ определяет именно интенсивность роста размеров нефтяного скопления.

При эксплуатации БГЦ необходимо стремиться к установлению режимов, обеспечивающих критическую высоту нефтяного скопления. Это значительно упростит управление БГЦ, так как при этом исключается влияние толщины слоя нефти.

Важный параметр, обуславливающий эффективность работы БГЦ, — расход через патрубок слива уловленной нефти $Q_{н}$. Естественно, что для обеспечения устойчивой работы БГЦ необхо-

димо, чтобы соблюдалось равенство между количеством поступающей в БГЦ нефти и количеством нефти, откачиваемой из него. Однако от Q_H зависит не только количество нефти, эвакуируемой из БГЦ, но и интенсивность вращения жидкости в аппарате, так как слив жидкости через патрубок d вызывает эффект вихревой воронки. Следовательно, Q_H оказывает влияние на высоту нефтяного скопления как путем регулирования количества содержащейся в нем нефти за счет ее откачки, так и путем изменения интенсивности вращения жидкости (механизм этого влияния аналогичен механизму влияния на высоту нефтяного скопления расхода Q_B).

Величина Q_H может также влиять на концентрацию условленной нефти. Однако характер этого влияния сильно зависит от высоты нефтяного скопления и взаимного положения верхнего торца патрубка слива уловленной нефти и нижней границы нефтяного скопления. Если рассматривать благоприятный случай, когда нижняя граница нефтяного скопления ниже верхнего торца патрубка, т. е. он как бы погружен в нефтяной клубок, то Q_H слабо влияет на K .

Следует подчеркнуть, что рассмотренные конструкции безнапорных гидроциклонов предназначены только для отделения из воды нефти, находящейся в виде пленки или слоя на свободной поверхности, т. е. они осуществляют функции сбора нефти. Выделение из воды нефтяных капель, распределенных в ее толщине, происходит в этих аппаратах неэффективно.

ПРИМЕНЕНИЕ БЗНАПОРНЫХ ГИДРОЦИКЛОНОВ ДЛЯ СБОРА НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ С ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ

В соответствии с условиями, в которых осуществляют сбор нефтяных загрязнений, можно применять различные технологические схемы использования БГЦ. Одна из областей эффективного использования БГЦ — ликвидация нефтяных загрязнений различных водных объектов вследствие аварий на нефте- и нефтепродуктопроводах.

Рассмотрим разработанную для такого случая технологическую схему сбора нефтяных загрязнений с использованием БГЦ с поверхности неподвижной воды. Эту схему можно применять при сборе нефти как с поверхности водоемов с неподвижной водой (озера, болота, имеющие зеркала чистой воды), так и с поверхности некоторых водотоков (ручьи, малые реки). При сборе нефти с поверхности небольших водотоков их, как правило, перегораживают земляными плотинами с перепускными трубами, заложенными в их теле. Это позволяет предотвратить распространение нефтяного загрязнения по всей длине ручья или малой реки и попадание его в более крупную реку, притоком которой является загрязненный водоток, и одновременно локализовать нефтяное загрязнение на свободной поверхности неподвижной воды в верхнем бьефе.

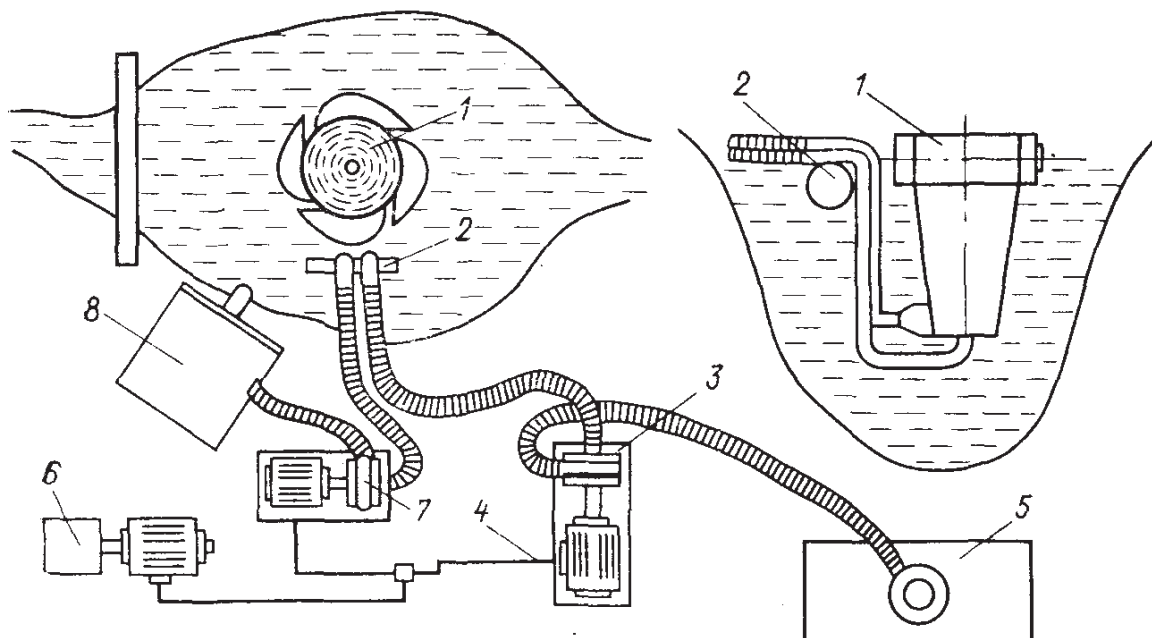


Рис. 51. Схема расстановки оборудования при работе безнапорного гидроциклона в неподвижной жидкости

Для сбора нефтяных загрязнений с поверхности неподвижной воды используют БГЦ с четырьмя входными каналами. Схема расстановки оборудования при сборе нефтяных загрязнений представлена на рис. 51. С помощью автокрана БГЦ 1 помещают в водоем, при этом часть акватории, покрытую нефтью, предварительно ограждают бонами. Заданные значения осадки и выборку крена БГЦ осуществляют с помощью балластировки водой емкостей, образованных стенками входных каналов, и установки дополнительных плавучестей 2, воспринимающих вес трубопроводов, отходящих от БГЦ. Аппарат с помощью гибких шлангов подключают к всасывающим шлангам центробежного насоса 7 для слива воды и нефтяного насоса 3. Осветленная вода, прошедшая насос 7, по гибкому шлангу сливается в водоем или в случае необходимости в специально подготовленный котлован 8, где отстаивается и через переливную трубу сливается в водоем. Уловленная нефть насосом 3 подается или в нефтесборную емкость, или в земляной котлован 5, откуда в дальнейшем может быть закачана в магистральный трубопровод или вывезена для дальнейшего использования. Питание электродвигателей насосов проводится от передвижного дизель-генератора 6 по кабелям 4.

Для сбора нефтяных загрязнений с поверхности движущейся жидкости используют БГЦ, имеющие один входной канал. Для увеличения пропускной способности устройства применяют сдвоенный БГЦ, который целесообразно использовать в комплекте с боковыми ограждениями. Такое сочетание технических средств локализации и сбора позволяет задержать распространение нефтяной пленки вниз по течению реки и направить ее к нефтесборному устройству.

По результатам опытно-промышленной эксплуатации был расчитан экономический эффект от применения БГЦ для сбора нефти с поверхности воды при ликвидации последствий аварии на магистральном нефтепроводе.

Предотвращенный ущерб от аварийных разливов нефти

$$\Sigma Y_n = Y_n^n + Y_{n/x}^n,$$

где Y_n^n — предотвращенный ущерб в нефтяной отрасли,

$Y_n^n = \sum_{i=1}^n m_i C_i$; $Y_{n/x}^n$ — предотвращенный народнохозяйственный

ущерб, $Y_{n/x}^n = Y_{уд} \frac{m}{\text{ПДК} \cdot 10^{-6}}$; m — масса собранной нефти i -го

качества; C_i — цена на нефть i -го качества; i — вид собранной нефти по ее качественным характеристикам в зависимости от сроков и места сбора; n — количество видов собранной нефти по качественным характеристикам; $Y_{уд}$ — удельный эффект; ПДК — предельно допустимая концентрация по нефтепродуктам.

Эксплуатация установки, основанной на использовании безнапорных гидроциклонов и позволяющей собирать разлитую нефть на поверхности воды, требует дополнительных приведенных затрат в расчете на 1 т собранной нефти.

Безнапорные гидроциклоны используют для повышения эффективности процесса сбора и удаления слоя нефтепродуктов с поверхности водоохраных объектов НПЗ. Преимущество БГЦ перед существующими способами сбора нефтепродуктов с поверхности воды заключается в том, что БГЦ позволяет получить концентрацию собранного нефтепродукта выше 90 %.

На очистных сооружениях НПЗ были проведены опытно-промышленные испытания БГЦ для сбора нефтепродуктов с поверхности песколовки системы канализации завода. Испытывали БГЦ с одним входным каналом с диаметром цилиндрической части 250 мм. Безнапорный гидроциклон был помещен в одну из песколовок перед нефтесборной трубой входным каналом навстречу потоку сточной воды. Глубину погружения аппарата регулировали путем заполнения боковых карманов водой (конструкция БГЦ предусматривает возможность его работы на плаву за счет полых боковых карманов). Фиксирование БГЦ осуществляли трубопроводами, по которым проводили откачивание осветленной воды и уловленных нефтепродуктов.

Толщина слоя нефти в разных опытах была от 3 мм и выше. Анализ проб, проводимый в лаборатории очистных сооружений НПЗ, показал, что средняя концентрация уловленного нефтепродукта составляет 91 %. Проводили также отборы проб очищенной воды одновременно из трубопровода слива осветленной воды БГЦ и коллектора отвода осветленной воды песколовки. При сравнении результатов анализа этих проб было установлено, что при содержании нефтепродуктов в коллекторе отвода осветленной

воды песколовки 20 000 мг/л среднее содержание нефтепродуктов в трубопроводе осветленной воды БГЦ составляет 1000 мг/л.

Эффективность работы БГЦ в значительной мере зависит от типа сооружения, на котором его применяют, и расположения БГЦ в сооружении. В частности, уменьшение концентрации собранного при промышленных испытаниях нефтепродукта по сравнению с его концентрацией при лабораторных экспериментах (95—100 %) объясняется тем, что в песколовках из-за небольших размеров сооружения водонефтяная смесь с высоким содержанием эмульгированной нефти не успевает отстаиваться. Использование БГЦ на нефтеловушках должно быть более эффективным, так как там на выходе из сооружения эмульгированная нефть содержится в очень малых количествах.

Располагать БГЦ в сооружении надо так, чтобы обеспечить равномерное поступление пленки нефтепродуктов с каждой точки акватории. Например, при сборе нефтепродуктов с поверхности песколовки и нефтеловушек возможны следующие варианты размещения БГЦ: линейный, шахматный, клиновидный. Эффективным признан линейный способ размещения, при котором остаточное количество водонефтяной эмульсии, не собираемой БГЦ, будет минимальным. При сборе нефтепродуктов с поверхности прудов дополнительного отстаивания или биологических прудов наиболее целесообразен шахматный способ. Число БГЦ выбирают в зависимости от размеров очистного сооружения, а также от времени, за которое необходимо собрать нефтепродукты.

Возможны различные схемы обвязки БГЦ технологическими трубопроводами, выбор которых зависит от вида сооружений, количества нефтепродуктов в сточной воде, характера проводимых работ (реконструкция или проектирование нового сооружения), конструктивных особенностей сооружений. При реконструкции нефтеловушек и песколовки предпочтительнее схема обвязки с насосной станцией. В этом случае из-за того, что сооружения располагают, как правило, рядом друг с другом, целесообразна одна насосная станция, так как имеется возможность откачивания собранных нефтепродуктов и осветленной воды одними насосами одновременно с нескольких сооружений. Для откачки осветленной воды можно использовать насосы различных конструкций (обычно центробежные), а также эжекционные насосы там, где имеется возможность их установки.

Откачивание нефтепродуктов можно проводить как насосами, так и самотеком. Возможно также применение вакуумной емкости. Удаление нефтепродуктов при помощи центробежного насоса нежелательно, так как при этом происходит дополнительное эмульгирование нефтепродуктов, а также не исключено подсасывание воздуха со свободной поверхности через патрубок слива нефти, в результате чего возникают воздушные пробки и падает подача центробежного насоса. При удалении нефтепродуктов с применением вакуумной емкости, вакуумный насос создает разрежение в ней, куда уловленные нефтепродукты поступают из

БГЦ. Для создания вакуума в емкости можно использовать водовоздушный эжектор, в котором в качестве рабочей жидкости применяют поток, откачиваемой из БГЦ осветленной воды. Транспортируемая жидкость — воздух, находящийся в вакуумной емкости. Таким образом, работа БГЦ обеспечивается с помощью одного центробежного насоса. Наиболее предпочтительна схема обвязки, предусматривающая удаление нефтепродуктов из БГЦ самотеком за счет перепада уровней нефти в нефтесборном колодце и на поверхности очищаемой воды в сооружении, подобно удалению нефтепродуктов по нефтесборным трубам.

При сборе нефтепродуктов с поверхности сооружений типа прудов дополнительного отстаивания и биологических прудов можно использовать схему, особенностью которой является то, что нефтепродукты собираются с поверхности этих сооружений по мере накопления. Поэтому оборудование выполняют легкоъемным и мобильным.

Вводу в эксплуатацию БГЦ должно предшествовать проведение их пуско-наладочных испытаний, цель которых — уточнение оптимальных параметров, обеспечивающих эффективную работу аппарата и определение методов управления ими. Перед пуско-наладочными испытаниями должны быть проведены простейшие подготовительные мероприятия: обеспечен доступ к БГЦ для визуальных наблюдений за свободной поверхностью жидкости в БГЦ; установлены расходомеры на линиях слива осветленной воды и уловленной нефти; организован отбор проб на этих линиях; проводили измерение толщины слоя нефти в водоеме. При пуско-наладочных испытаниях необходимо установить оптимальное соотношение значений Q_v и Q_n , обеспечивающих максимальное (близкое к 100 %) значение K . При этом должны гарантироваться длительная устойчивая работа БГЦ и отсутствие уноса в условиях изменяющихся с течением времени значений δ .

Порядок действия при пуско-наладочных испытаниях направлен на то, чтобы в БГЦ сформировалось нефтяное скопление с высотой, обеспечивающей откачку из него нефти с производительностью, равной расходу поступающей в БГЦ нефти, при максимальной концентрации и без уноса. Выполнение этой элементарной задачи значительно затрудняется тем, что невозможно проводить прямое визуальное или инструментальное наблюдение за высотой нефтяного скопления. О ней судят по концентрации уловленной нефти в осветленной воде.

При эксплуатации БГЦ рационально использовать в одном из двух режимов работы: непрерывном или периодическом. Непрерывный режим работы БГЦ устанавливают в случаях, когда в него поступает большое количество нефти, что обеспечивает образование нефтяного скопления большой высоты. Когда толщина нефтяного слоя небольшая и нефть поступает в малых количествах, БГЦ включают в работу периодически, по мере того как в водоеме накапливается нефтяной слой достаточной высоты. При этом БГЦ может работать непродолжительное время с большими

значениями Q_n или более продолжительное время с небольшими значениями Q_n .

При включении БГЦ выполняют операции в следующей последовательности:

1) включают насос линий слива осветленной воды и устанавливают его подачу;

2) одновременно проводят непрерывный отбор проб из трубопровода слива осветленной воды;

3) включают систему слива уловленной нефти с максимальным расходом при появлении в пробах осветленной воды следов нефти, свидетельствующих о начале режима уноса;

4) после исчезновения в пробах осветленной воды следов нефти фиксируют расход в системе слива уловленной нефти и после этого начинают его постепенно уменьшать; одновременно начинают регулярный периодический отбор проб из этой системы;

5) постепенное уменьшение расхода уловленной нефти $Q_{н1}$ проводят до тех пор, пока в пробах осветленной воды вновь не появятся следы нефти; расход $Q_{н2}$, соответствующий возникновению уноса, фиксируют;

6) устанавливают максимальный расход в системе слива уловленной нефти; затем БГЦ отключают при удалении из сепарационного отсека излишек нефти;

7) вновь проводят операции пп. 1, 2 и 3;

8) после исчезновения в пробах осветленной воды следов нефти в системе слива уловленной нефти устанавливают расход Q_n ($Q_{н1} > Q_n > Q_{н2}$);

9) путем изменения Q_n в интервале ($Q_{н2}$, $Q_{н1}$) добиваются максимальной концентрации нефти в пробах уловленной нефти, одновременно контролируя отсутствие следов нефти в пробах осветленной воды.

Когда не удастся получить требуемой эффективности работы БГЦ, значения Q_n или положение верхнего торца патрубка слива уловленной нефти следует изменить, после чего все операции повторяют в описываемой последовательности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Адельшин А. Б., Иванов И. Н.* Осветление сточных вод с применением напорных гидроциклонов. — Нефтегазопромислое дело, 1976, № 8.
2. *Алиев Н. А.* Предотвращение загрязнения моря при разработке морских нефтяных месторождений. **М., Недра**, 1981.
3. *Байков У. М., Мансуров М. Н., Минигазимов Н. С.* Промысловые испытания коалесцирующего фильтра-отстойника для очистки нефтесодержащих сточных вод. — Нефтегазопромислое дело, 1977, № 10.
4. *Борьба с потерями нефти и нефтепродуктов при их транспорте и хранении/Ф. Ф. Абузова, И. С. Бронштейн, В. Ф. Новоселов и др.* **М., Недра**, 1981.
5. *Грановский И. Г., Лавров И. С., Смирнов О. В.* Электрообработка жидкостей. **Л., Химия**, 1976.
6. *Григоров О. Н.* Электрокинетические явления. **Л.**, изд. ЛГУ, 1973.
7. *Духин С. С.* Электропроводность и электрокинетические свойства дисперсных систем. Киев, Наукова думка, 1975.
8. *Духин С. С., Дерягин Б. В.* Электрофорез. **М., Наука**, 1976.
9. *Зонтаг Г., Штрэнге К.* Коагуляция и устойчивость дисперсных систем. Пер. с нем. **Л., Химия**, 1973.
10. *Жуков А. И., Монгайт И. Л., Родзиллер И. Д.* Методы очистки производственных сточных вод. **М., Стройиздат**, 1977.
11. *Измайлова В. Н., Кантор Л. А., Сумм Б. Д.* Метод изучения устойчивости эмульсий возле поверхности твердых тел. — Коллоидный журнал АН СССР, 1984, № 4.
12. *Карелин Я. А., Соколов А. Г.* Экспериментальное исследование очистки сточных вод от эмульгированной нефти в напорном отстойнике. — В кн.: Проектирование водоснабжения и канализации. **М.**, 1968.
13. *Карелин Я. А., Попова И. А., Евсеева Л. А., Евсеева О. Я.* Очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов. **М., Стройиздат**, 1982.
14. *Карпинский Ю. И.* Оптимизация условий очистки нефтесодержащих сточных вод при статическом отстаивании. — Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов, 1978, № 1.
15. *Кизевальтер Б. В.* Об определении скоростей свободного и стесненного падения частиц. — Тр. Механобра, 1971, вып. 136.
16. *Кизевальтер Б. В.* Теоретические основы гравитационных процессов обогащения. **М., Недра**, 1979.
17. *Классен В. И.* Омагничивание водных систем. **М., Химия**, 1978.
18. *Коган В. Б.* Теоретические основы типовых процессов химической технологии. **Л., Химия**, 1977.
19. *Кульский Л. А.* Теоретическое обоснование технологии очистки воды. Киев, Наукова думка, 1968.
20. *Лавров И. С., Грановский М. Г., Смирнов О. В.* Применение неоднородного электрического поля для очистки нефтесодержащих вод. — Журнал прикладной химии, 1972, № 1.
21. *Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.* Механика, электродинамика. **М., Наука**, 1969.
22. *Логинов В. И.* Обезвоживание и обессоливание нефтей. **М., Химия**, 1979.
23. *Мазаманиди Н. Д., Ковалева Г. И.* Экспериментальные данные о действии нефти на некоторые химические свойства воды. — Океанология, 1972, т. 12, вып. 5.
24. *Мазаманиди Н. Д., Ковалева Г. И., Зобова Н. А.* Об определении растворимых в морской воде нефтепродуктов и нефтеных кислот. — Океанология, 1975, т. 15, вып. 3.
25. *Мустафеев А. М., Гутман Б. М.* Гидроциклоны в нефтедобывающей промышленности. **М., Недра**, 1981.

26. *Нельсон—Смита*. Нефть и экология моря. М., Прогресс, 1977.
27. *Огнева Л. Г., Платиканов Д. Н., Шальт С. Я.* Исследование коалесценции и устойчивости капель воды на границе раздела углеводород—вода прямым наблюдением углеводородной пленки.— *Колоидный журнал АН СССР*, 1984, № 3.
28. *Очистка буровых сточных вод от механических примесей на гидроциклонной установке/А. М. Мустафаев, Б. М. Гутман, М. А. Караев, В. П. Ершов.* — *Изв. вузов. Нефть и газ*, 1977, № 2.
29. *Позднышев Г. Н.* Стабилизация и разрушение нефтяных эмульсий. М., Недра, 1982.
30. *Покровский В. Н., Аракчеев Е. П.* Очистка сточных вод тепловых электростанций. М., Энергия, 1980.
31. *Последние достижения в области жидкостной экстракции/Под ред. К. Хансена.* Пер. с англ. М., Химия, 1974.
32. *Проскураков В. А., Шмидт Л. И.* Очистка сточных вод химической промышленности. Л., Химия, 1977.
33. *Пути интенсификации работы отстойников системы подготовки сточных вод к заводнению/Я. А. Карелин, В. Н. Красновекин, Ф. И. Мутин и др.* М., изд. ВНИИОНГ, 1977.
34. *Роев Г. А.* Очистные сооружения газонефтеперекачивающих станций и нефтебаз. М., Недра, 1981.
35. *Романков П. Г., Курочкина М. И.* Гидромеханические процессы химической технологии. Л., Химия, 1982.
36. *Сильверстейн Р., Басслер Г., Моррил Т.* Спектрометрическая идентификация органических соединений. Пер. с англ. Под ред. А. А. Мальцева. М., Мир, 1977.
37. *Скирдов И. В., Понаморов В. Т.* Очистка сточных вод в гидроциклонах. М., Стройиздат, 1975.
38. *Стахов Е. А.* Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий хранения и транспорта нефтепродуктов. Л., Недра, 1983.
39. *Установки очистки нефтепромысловых сточных вод с коалесцирующими насадками/А. Б. Адельшин, Ф. И. Мутин, Н. С. Уртилова и др.* М., изд. Цинтихимнефтемаш, 1983.
40. *Фритц Дж., Шенк Г.* Количественный анализ. М., Мир, 1978.
41. *Христенко С. И.* Транспорт и окружающая среда. Киев, Наукова думка, 1983.
42. *Шохин В. И., Лопатин А. Г.* Гравитационные методы обогащения. М., Недра, 1980.
43. *Яковлев С. В., Калицун В. Н.* Механическая очистка сточных вод. М., Стройиздат, 1972.
44. *Strathmann H.* Membrane separation processes.— *Journal of Membrane Science*, 1981, v. 9, n. 1—2, p. 121—189.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава 1. Вторичное использование нефтепродуктов после очистки нефтесодержащих сточных вод	4
Глава 2. Расчет и основы конструирования отстойников	10
Характеристика загрязненности воды нефтью	10
Принцип выбора схемы очистных установок	14
Анализ работы очистных сооружений	18
Выкачка балластных вод на нефтебазу	21
Экономическая целесообразность очистки сточных вод	26
Глава 3. Отстойники	40
Статические отстойники	40
Динамические отстойники	56
Тонкослойные отстойники	67
Флотаторы	77
Глава 4. Использование гидроциклонов для извлечения нефтяных загрязнений из воды	88
Разделение двухфазных жидких систем в поле массовых сил	88
Принцип действия аппаратов для центробежного разделения	92
Применение напорных гидроциклонов	95
Устройство и принцип действия безнапорных гидроциклонов для сбора нефтяных загрязнений с поверхности воды	102
Применение безнапорных гидроциклонов для сбора нефтяных загрязнений с поверхности ВОДЫ	114
Глава 5. Фильтрация нефтесодержащих сточных вод	119
Общие сведения о водонефтяных эмульсиях	121
Фильтры с зернистой загрузкой	130
Фильтры с загрузкой из полимерных материалов	135
Коалесцирующие фильтры	138
Глава 6. Очистка сточных вод	174
Применение электрического поля	174
Комбинированное применение электрического и магнитного полей для интенсификации процессов очистки сточных вод от нерастворимых примесей	179
Воздействие скрещенных однородных электрического и магнитного полей на процесс отделения от воды диспергированного нефтепродукта	182
Исследование механизма ускорения процесса отделения диспергированного нефтепродукта под действием однородных скрещенных электрического и магнитного полей	187
Отделение диспергированного нефтепродукта в скрещенных полях в условиях потока	201
Глава 7. Очистка сточных вод мембранным методом	206
Мембраны	206
Микрофильтрация	209
Ультрафильтрация	212
Обратный осмос	219
Список литературы	222