

$$[\Delta N_R] \leq 10\eta([R_{ad}] + [R_{aD}]), \quad (13)$$

где $[R_{ad}]$ и $[R_{aD}]$ — предельно допустимые параметры шероховатости поверхности. Для наиболее используемых размеров (от 18 до 120 мм) при прессовании (продольный метод соединения) можно принять $[R_{ad}] = 1,25$ мкм и $[R_{aD}] = 2,5$ мкм. При нагреве или охлаждении деталей (поперечный метод) значения $[R_{ad}]$ и $[R_{aD}]$ увеличиваются в два раза.

Поправку на температурное расширение определяют по формуле [4]:

$$\Delta N_t = [\alpha(t_D - t) - \alpha_d(t_d - t)]d_n, \quad (14)$$

где α_d и α_D — коэффициенты линейного расширения материала вала и втулки; t_d и t_D — рабочие температуры отверстия и вала (подставляется поочередно верхнее и нижнее значение диапазона); $t = 20$ °С — температура сборки [2].

Еще одна корректировка методики заключается в том, что в формулах (7) и (8) параметр ΔN_t приведен в скобках, так как нужно учитывать рабочий диапазон температур и рассчитывать ΔN_t для верхнего и нижнего значений диапазона, и следующее:

1) если значение ΔN_t положительное, то можно подставить его только в формулу для определения N_{Tmin} , потому что отверстие расширится больше вала и необходимо компенсировать данное уменьшение натяга, а если еще подставить ΔN_t (как предлагалось ранее) в формулу для определения N_{Tmax} , то до теплового рабочего расширения при сборке из-за увеличения натяга произойдет выход за границу предела текучести;

2) если отрицательно, то в формулу N_{Tmax} , так как вал расширится больше и необходимо компен-

сировать увеличение натяга, а если еще подставить отрицательное ΔN_t (как предлагалось ранее) в формулу для определения N_{Tmin} , то до выхода на рабочую температуру, но уже при рабочей нагрузке возможен выход за границу наименьшего давления, что приведет к потере относительной неподвижности элементов.

Таким образом, существенно дополнена методика расчета и выбора посадок с натягом для соединения «вал — втулка со шпонкой». В новой методике учтены все виды нагружения (крутящий момент, радиальная, осевая и консольная нагрузки), получены зависимости для определения наибольшего натяга из условия быстрой разбираемости соединения. Корректировка натягов проводится с ограничением величины снимаемой шероховатости поверхностей вала и втулки и учетом отклонений формы поверхностей. Разработана методика анализа тепловых деформаций элементов при различных условиях хранения и эксплуатации, что учитывается при расчете предельных натягов.

Список литературы

1. Метрология, стандартизация и сертификация: учебное пособие / О.А. Леонов [и др.]; под ред. О.А. Леонова. — М.: КолосС, 2009. — 568 с.
2. Леонов О.А., Бондарева Г.И., Шкаруба Н.Ж. Оценка качества измерительных процессов в ремонтном производстве // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. — 2013. — № 2 (58). — С. 36–38.
3. Леонов О.А., Темасова Г.Н., Шкаруба Н.Ж. Экономика качества, стандартизации и сертификации: учебник. — М.: ИНФРА-М, 2014. — 252 с.
4. Якушев А.И., Бежелукова Е.Ф., Плуталов В.Н. Допуски и посадки ЕСДП СЭВ для гладких цилиндрических деталей (расчет и выбор). — М.: Изд-во стандартов, 1978.

УДК 665.004.5

В.П. Коваленко, доктор техн. наук

Е.А. Улюкина, доктор техн. наук

А.Н. Зотов

Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева

ОЧИСТКА НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ВОД В ДИНАМИЧЕСКОМ БАКЕ-ОТСТОЙНИКЕ

При функционировании объектов системы нефтепродуктообеспечения образуется большое количество нефтесодержащих вод, причиной появления которых являются поверхностные стоки на территории объекта, промывочные жидкости при зачистке цистерн, резервуаров и трубопроводов, проливы при сливно-наливных и заправочных операциях. Утилизация многофазных смесей, содержащих водонефтяную эмуль-

сию, пластичные и твердые отходы органического и минерального происхождения, представляет сложную техническую проблему. Особое значение имеет решение этой проблемы для сельскохозяйственной сферы, где промышленная канализация, позволяющая производить очистку таких жидкостей, как правило, отсутствует, а существующие очистные сооружения являются недостаточно эффективными.

Очистка жидкостей от нефтепродуктов и других загрязнений осуществляется различными методами, однако всем им присущи определенные недостатки. Более эффективным является применение комбинированных методов очистки, комплексное использование которых позволит добиться максимального эффекта. Для полной очистки таких жидкостей целесообразно последовательно применять их предварительную очистку в гравитационных отстойниках, их доочистку регенеративными или деструктивными методами и утилизацию образовавшихся при очистке твердых и пластичных отходов биохимическими методами или путем беспламенного термического разложения.

При гравитационной очистке обеспечивается эффективное удаление из жидкости твердых частиц минеральных и органических загрязнений. Наряду с этим в отстойнике протекает процесс седиментации эмульгированных в воде нефтепродуктов, что способствует их частичному удалению. Однако использование статического отстойника, являющегося устройством периодического действия, связано с значительными затратами времени и не дает требуемого результата. Более эффективно использовать для этой цели устройство непрерывного действия — динамический отстойник, в котором процесс очистки жидкости и процесс ее выдачи из отстойника протекают одновременно. Полное осаждение твердых частиц загрязнений будет происходить при следующем условии:

$$\tau_{\text{п}} > \tau_{\text{ос}}, \quad (1)$$

где $\tau_{\text{п}} = V_{\text{от}} / Q$ — продолжительность пребывания очищаемой жидкости в отстойнике, с; $V_{\text{от}} = lbh$ — объем жидкости в отстойнике, м³; l и b — соответственно длина и ширина отстойника, м; h — уровень жидкости в отстойнике; Q — пропускная способность отстойника, м³/с.

При ламинарном режиме течения жидкости условие полного осаждения твердых частиц загрязнений в отстойнике примет такой вид:

$$lbh / Q > h / W_{\text{ос}} \quad \text{или} \quad Q < lbW_{\text{ос}}, \quad (2)$$

т. е. пропускная способность динамического отстойника пропорциональна площади его рабочей поверхности и не зависит от уровня очищаемой жидкости.

Для случая выделения микрокапель нефтепродукта из жидкости в уравнении (1) следует заменить продолжительность осаждения твердых частиц $\tau_{\text{ос}}$ на продолжительность всплытия микрокапель нефтепродукта $\tau_{\text{всп}}$.

Гораздо эффективнее очистка жидкости происходит в динамических отстойниках при тонкослойном осаждении загрязнений, которое осуществляется путем установки в отстойнике наклонно-

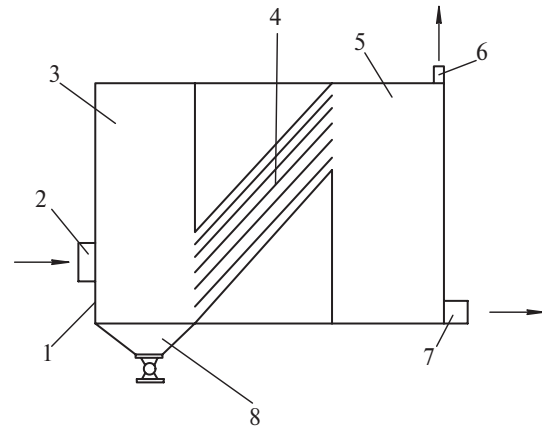


Схема динамического бака-отстойника пластинчатого типа:

- 1 — корпус; 2 — входной патрубок; 3 — входная камера; 4 — пакет пластин; 5 — разделительная камера; 6 — патрубок для выхода нефтепродукта; 7 — патрубок для выхода очищенной жидкости; 8 — сборник загрязнений со сливным вентиляем

го пакета параллельных пластин, что существенно увеличивает площадь его рабочей поверхности. Этот принцип использован в конструкции динамического бака-отстойника (рисунок).

Осаждение частицы происходит в межпластинном пространстве бака-отстойника при совместном воздействии гидродинамической силы потока, объемной силы и силы сопротивления среды. Под действием гидродинамической силы потока скорость частицы равна его средней скорости в поперечном сечении межпластинного пространства:

$$W_{\text{пот}} = Q / \delta b(n - 1), \quad (3)$$

где Q — пропускная способность динамического отстойника, м³/с; m ; δ — расстояние между пластинами, м; n — количество пластин в пакете, шт.

Вертикальная скорость осаждения частицы равна алгебраической сумме объемной силы, вектор которой направлен вертикально вниз, и силы сопротивления среды, вектор которой направлен вертикально вверх.

Объемная сила, действующая на частицу при осаждении, такова:

$$F_{\text{об}} = G - A = c_{\text{об}} d_{\text{ч}}^3 g (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{ж}}), \quad (4)$$

где $G = c_{\text{об}} d_{\text{ч}}^3 g \rho_{\text{ч}}$ — гравитационная сила, Н; $A = c_{\text{об}} d_{\text{ч}}^3 g \rho_{\text{ж}}$ — архимедова сила, Н; $d_{\text{ч}}$ — размер частицы (диаметр равнообъемного шара), м; $c_{\text{об}}$ — коэффициент объема, характеризующий отклонение формы частицы от сферической формы; $\rho_{\text{ч}}$ — плотность частицы, кг/м³; $\rho_{\text{ж}}$ — плотность нефтесодержащей жидкости, кг/м³.

Сопротивление среды зависит от режима движения частицы и физических свойств жидкости. При достаточно малых размерах частицы ее осаждение будет происходить в ламинарном режиме,

тогда сила сопротивления среды равна сумме сил трения между частицей и жидкостью:

$$F_c = \frac{\lambda \rho_{ж} c_{п} d_{ч}^3 W_{ос}}{2}, \quad (5)$$

где λ — коэффициент сопротивления жидкой среды; $W_{ос}$ — скорость осаждения частицы, м/с; $c_{п}$ — коэффициент поверхности, характеризующий соотношение между поверхностью частицы и поверхностью равнообъемного шара.

При постоянной скорости осаждения частицы, когда сила сопротивления среды будет равна разности сил тяжести и подъемной силы, справедливо равенство

$$c_{об} d_{ч}^3 g (\rho_{ч} - \rho_{ж}) = \frac{\lambda \rho_{ж} c_{п} d_{ч}^3 W_{ос}}{2}. \quad (6)$$

Отмечается [1], что при ламинарном режиме осаждения частицы коэффициент сопротивления среды, определенный экспериментально, следующий:

$$\lambda = \frac{24}{Re} = \frac{24 \mu_{ж}}{W_{ос} \psi d_{ч} \rho_{ж}}, \quad (7)$$

где Re — критерий Рейнольдса, характеризующий гидродинамическое подобие при движении потоков жидкости (в рассматриваемом случае при обтекании осаждающейся частицы нефтесодержащей жидкостью); $\mu_{ж}$ — динамическая вязкость жидкости, Н·с/м²; $\psi = \frac{c_{п}}{c_{об}}$ — коэффициент формы частицы.

Скорость осаждения частицы в нефтесодержащей жидкости составит

$$W_{ос} = \frac{g d_{ч}^2 (\rho_{ч} - \rho_{ж})}{18 \mu_{ж}} \psi. \quad (8)$$

Величины $\mu_{ж}$, $\rho_{ж}$ и $\rho_{ч}$, характеризующие свойства жидкости и загрязняющих ее твердых частиц для конкретных условий эксплуатации, практически постоянны, и анализ выражения (8) показывает, что скорость осаждения частиц пропорциональна площади их проекции на горизонтальную плоскость.

Всплытие микрокапель нефтепродукта в отстойнике приближенно можно рассматривать как процесс обратный осаждению твердых частиц, однако их механизмы различны, так как плотность твердых загрязнений больше плотности исходной жидкости, а плотность нефтепродукта меньше плотности исходной жидкости, в то же время твердые частицы загрязнений и микрокапли нефтепродукта имеют различное фазовое состояние.

Объемная сила в этом случае такова:

$$F_{об} = A - G = \frac{1}{6} \pi d_k^3 g (\rho_{н} - \rho_{ж}), \quad (9)$$

где d_k — диаметр сферической микрокапли нефтепродукта, м; $\rho_{н}$ — плотность нефтепродукта, кг/м³.

При всплытии микрокапли нефтепродукта на поверхности будут возникать перемещения, влияющие на скорость всплытия капли из-за увеличения силы сопротивления среды. Поэтому величина силы сопротивления среды будет иметь следующий вид:

$$F_c = \pi \mu_{ж} W_{всп} d_k \frac{2\mu_{ж} + 3\mu_{н}}{\mu_{ж} + \mu_{н}}, \quad (10)$$

где $W_{всп}$ — скорость всплытия микрокапли нефтепродукта в отстойнике, м/с; $\mu_{н}$ — динамическая вязкость нефтепродукта, Н·с/м².

Тогда скорость всплытия микрокапель нефтепродукта такова:

$$W_{всп} = \frac{g d_k^2 (\rho_{н} - \rho_{ж})}{6 \mu_{ж}} \frac{\mu_{ж} + \mu_{н}}{3 \mu_{ж} + 2 \mu_{н}}. \quad (11)$$

Условие осаждения твердой частицы, находящейся на входе в межпластинное пространство в верхней его точке, имеет определенный вид:

$$W_{пот} \leq \frac{L W_{ос}}{h_{ч}}, \quad (12)$$

где L — длина пластины, м; $h_{ч} = \delta / \cos \alpha$ — вертикальный путь, пройденный частицей при осаждении, м; α — угол наклона пластин, град.

После осаждения частицы на поверхность пластины она подвергается воздействию гидродинамической силы потока, продольной составляющей объемной силы и силы сопротивления движению частицы по поверхности пластины, которые имеют следующие значения:

$$F_{пот} = \frac{\Phi}{4} \rho \pi d_{ч}^2 w^2 \psi; \quad (13)$$

$$F_{пр} = \rho_{ж} g \left(\frac{\rho_{ч}}{\rho_{ж}} - 1 \right) \frac{\pi d_{ч}^3}{6} \sin \alpha \psi; \quad (14)$$

$$F_c = f(F_{н} - F_{п}), \quad (15)$$

где $F_{пот}$, $F_{пр}$ и F_c — соответственно гидродинамическая сила потока, продольная составляющая объемной силы и сила сопротивления движению частицы, Н; $F_{н} = \left(\frac{\rho_{ч}}{\rho_{ж}} - 1 \right) \frac{\pi d_{ч}^3}{6} \cos \alpha \psi$ — нормальная составляющая объемной силы, Н; $F_{п} = \rho_{ж} w \frac{dw}{d\delta} c_{об} d_{ч}^3$ — лобовая подъемная сила, Н; $f = 0,7 \dots 0,8$ — коэффициент трения; w — скорость потока в окрестностях осевшей частицы, м/с; $\frac{dw}{d\delta}$ — поперечный градиент скорости.

Скорость потока в окрестностях осевшей частицы определяется выражением, приведенным в работе [2], для рассматриваемого случая имеет такой вид:

$$w = 2W_{пот} \left(1 - \frac{(\delta - d_{ч})^2}{\delta} \right). \quad (16)$$

Учитывая, что $d_{ч} \leq \delta$, после преобразований получим

$$w = 4W_{\text{пот}} \frac{d_{ч}}{\delta}. \quad (17)$$

Без учета влияния лобовой подъемной силы, имеющей малую величину из-за незначительно-го поперечного градиента скорости в окрестностях осевшей частицы, то перемещение осажденных частиц вдоль пластины и последующий их отвод с ее поверхности произойдет при следующем условии:

$$F_{\text{пр}} \geq F_{\text{пот}} + F_{\text{с}}. \quad (18)$$

Процесс всплытия микрокапель нефтепродукта, их осаждения на нижнюю поверхность вышележащей пластины и удаления их с этой поверхности происходит под воздействием вертикальной скорости всплытия, полученной по формуле (11), и скорости потока, найденной по формуле (3). Условие всплытия микрокапли нефтепродукта, находящейся на входе в межпластинное пространство в нижней его точке, и ее осаждения на нижнюю поверхность вышележащей пластины имеет такой вид:

$$W_{\text{пот}} < \frac{LW_{\text{всп}}}{h_{\text{к}}}, \quad (19)$$

где $h_{\text{к}} = \frac{\delta}{\cos \alpha}$ — вертикальный путь, пройденный микрокаплей, м.

Необходимо также учитывать растекание капли по этой поверхности, зависящее от краевого угла смачивания. В данном случае суммарное сопротивление перемещению микрокапли по нижней поверхности пластины возрастает на силу сцепления капли с этой поверхностью:

$$F_{\text{пр}} + F_{\text{пот}} > F_{\text{с}} + F_{\text{сц}}. \quad (20)$$

Сила сцепления капли с поверхностью пластины, направленная перпендикулярно этой поверхности, может быть приближенно найдена из следующего выражения:

$$F_{\text{сц}} = (1 - \cos \theta) \sigma_{\text{в-н}} l, \quad (21)$$

где θ — краевой угол смачивания, град; $\sigma_{\text{в-н}}$ — поверхностное натяжение на границе «вода—нефтепродукт», Н/м; $l = \pi d_{\text{кон}}$ — длина линии соприкосновения капли с пластиной после растекания, м; $d_{\text{кон}} = d_{\text{к}} \gamma$ — диаметр контакта капли на пластине м; $\gamma = \frac{4 \sin^2 \theta}{2 + \cos^2 \theta - 3 \cos \theta}$ [3] — фактор растекания.

По мере слияния капель при взаимном соприкосновении происходит их укрупнение и перемещение по поверхности пластины в соответствии с выражением (20), так как левая часть этого выражения увеличивается по мере возрастания объема капли. Установлено [4], что этот процесс про-

исходит при условии, если угол наклона пластины не меньше определяемого по следующей формуле:

$$\alpha = \arctg f. \quad (22)$$

При коэффициенте трения $f = 0,75$ угол наклона пластин $\alpha = 36,87^\circ$, т. е. перемещение капли и ее сход с нижней поверхности пластины при меньшем угле наклона невозможны.

Таким образом, основными конструктивными параметрами пакета пластин динамического бака-отстойника являются длина пластины, угол ее наклона и зазор (расстояние между соседними пластинами).

Длина пластины выбирается исходя из габаритных размеров динамического бака-отстойника. Определение оптимального угла наклона пластины и вертикального зазора между пластинами осуществлялось экспериментально путем поочередного монтажа в емкости лабораторной установки, имитирующей динамический бак-отстойник, трех пар пластин с различным углом наклона: 45° , 30° и 15° , с последующим изменением зазора между ними при помощи микрометрического приспособления в интервале от 2 до 5 мм. В результате проведенных экспериментов установлено, что наибольшая эффективность очистки нефтесодержащей жидкости от твердых частиц в динамическом баке-отстойнике достигается при угле наклона пластин, равном 45° , однако данные, полученные при различных углах наклона в диапазоне $15..45^\circ$ различаются незначительно. Результаты экспериментов по определению оптимальной величины зазора между пластинами также различаются незначительно. Это объясняется тем, что при увеличении угла наклона пластины увеличивается параллельная ее поверхности составляющая действующей на частицу объемной силы, но одновременно уменьшается продолжительность пребывания частицы в межпластинном пространстве, а эти факторы оказывают на эффективность очистки противоположное воздействие, которое взаимно компенсируется. Аналогично, при уменьшении расстояния между пластинами уменьшается длина траектории осаждения частицы, но при этом возрастает скорость воздействующего на частицу потока очищаемой жидкости, а эти факторы также оказывают на эффективность очистки противоположное влияние и взаимно компенсируются. Полученные результаты приведены в табл. 1.

Эффективность отделения нефтепродукта при использовании динамического бака-отстойника определялась путем анализа содержания нефтепродукта в эмульсии на входе в устройство и на выходе из него. Поскольку в отличие от твердых частиц, перемещение микрокапель нефтепродукта по поверхности пластины будет происходить при угле ее наклона не менее 37° , при проведении указан-

Таблица 1

Содержание твердых частиц загрязнений в водонефтяной эмульсии после ее очистки в динамическом баке-отстойнике в зависимости от угла наклона пластин и расстояния между ними

Угол наклона, град	Расстояние между пластинами	Содержание механических загрязнений, % (масс)	Максимальный размер частиц, мкм
45	2	0,30	25
	3	0,27	30
	4	0,29	30
	5	0,29	30
30	2	0,28	25
	3	0,29	30
	4	0,30	30
	5	0,31	30
15	2	0,31	30
	3	0,28	30
	4	0,31	30
	5	0,32	30

ных экспериментов выбран угол наклона пластин 45°. Полученные результаты при начальном содержании нефтепродукта в эмульсии 90 г/л приведены в табл. 2.

Проведенные экспериментальные исследования позволяют сделать вывод, что очистка нефтепродукта от твердых частиц и эмульгированного в ней нефтепродукта с помощью динамического бака-отстойника позволяет удалить значительное количество твердых загряз-

УДК 664.854:634.22+664.864.039.5:634.22

Г.Г. Юсупова, доктор с.-х. наук

Р.Х. Юсупов, доктор техн. наук

Т.А. Толмачева, канд. биол. наук

Э.И. Черкасова, канд. с.-х. наук

Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева

РЕГУЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ УГЛЕВОДНО-АМИЛАЗНОГО КОМПЛЕКСА ЭНЕРГИЕЙ СВЧ-ПОЛЯ

Качество пшеничной муки регламентируется четырнадцатью обязательными показателями. Одним из наиболее важных является число падения. Число падения (ЧП) — показатель, характеризующий хлебопекарные свойства пшеничной муки и активность α -амилазы.

Определяя ЧП муки, можно судить о состоянии крахмала и активности расщепляющих крахмал ферментов — амилаз. Они расщепляют крахмал с образованием декстринов и мальтозы [1].

Содержание нефтепродукта в водонефтяной эмульсии при ее очистке в динамическом баке-отстойнике в зависимости от расстояния между пластинами

Расстояние между пластинами, мм	Содержание нефтепродукта в эмульсии, г/л	Эффективность отделения нефтепродукта, %
2	56	37,8
3	55	38,
4	55	38,9
5	50	44,4

нений с размером частиц более 25...30 мкм и отделить свыше трети нефтепродукта. Очищенная в динамическом баке-отстойнике жидкость может повторно использоваться для технических целей, однако для достижения установленных норм предельно допустимого содержания в ней нефтепродукта требуется применение дополнительных устройств.

Список литературы

1. Чугаев Р.Р. Гидравлика. — Л.: Энергия, 1975. — 600 с.
2. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. — М.: Наука, 1969. — 742 с.
3. Южный Э.М. К микроскопическому определению размеров капель масляных туманов // Коллоидный журнал. — 1958. — Т. 4. — № 4. — С. 507–510.
4. Кузнецов М.Е. Обезвоживание дизельного топлива в нефтехозяйствах колхозов и совхозов статическими сепараторами: дис. ... канд. техн. наук. — М., 1984. — 160 с.

ГОСТ Р 52189–2003 «Мука пшеничная. Общие технические условия» устанавливает значения числа падения для различных сортов муки. Стандартом установлена нижняя граница допустимых значений числа падения, верхний предел этого показателя не нормируется.

Низкие значения ЧП (ниже 150 с) свидетельствуют о повреждении зерен крахмала. Тесто из такой муки получается расплывчатое. При значении ЧП от 150 до 180 с тесто получается излишне