

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССОВ ИСПАРЕНИЯ
И ДЕСОРБЦИИ МЕТАНОЛА И ЭФИРНЫХ МАСЕЛ
ИЗ БЕНТОНИТОВЫХ ГЛИН ТАДЖИКИСТАНА**

Б.Р.Бокиев, А.Б.Бадалов,
С.К.Насриддинов, Дж.Д.Давлатмиров
[E.mail. ksucta@elcat.kg](mailto:ksucta@elcat.kg)

Макалада Таджикистандын бентонит топурактарын ыплас сууларды тазалоого колдоноордо аткарылуучу технологиялык процесстер берилген.

В статье изложены технологические процессы подготовки и использования бентонитовых глин Республики Таджикистан для очистки сточных вод.

In the article are given technological processes of preparation and utilization of Tajikistan Republic bentonitic clays for waste-water treatment.

Фундаментальные исследования адсорбционных термических и термодинамических свойств природных сорбентов – бентонитовых глин – позволяют произвести научно обоснованный подбор сорбентов и сорбируемых веществ, а также разработать наиболее рациональный технологический режим процесса очистки производственных отходов и сточных вод от вредных выбросов. Возможность и эффективность применения местных бентонитовых глин Таджикистана в различных отраслях производства, сведения об их строении, физико-химических и адсорбционных свойствах приведены во многих работах /1-4/.

В данной работе приведены результаты системных исследований процессов испарения метанола и эфирного масла мяты и их десорбции из бентонитовых глин Каратагского и Султанободского месторождений Таджикистана.

Исследование проведено методом тензиметрии с мембранным нуль-манометром в равновесных условиях /5, 6/. Применение данного метода обусловлено тем, что исследования проводятся в закрытой системе с маленьким объемом мембранной камеры (около 10-20 см³) и имеется возможность изучения крайне замедленных процессов до достижения равновесного состояния, а также их кинетики.

Равновесное состояние в изученных системах было достигнуто путем изотермической выдержки каждой фигуративной точки на кривой зависимости давления пара от температуры (барограмма) в течение 6-10 часов (для процесса испарения) и 20-24 часов (для процесса десорбции) до достижения постоянного значения. Равновесие проверялось также по совпадению кривой барограммы при нагреве и охлаждение системы. Давление в системе измерялось с точностью ± 50 Па, а температура $\pm 0,2$ градуса.

Экспериментальные данные, приведенные в виде $\lg P$ от обратной температуры, обработаны по методу наименьших квадратов при 95%-ном доверительном уровне с использованием t – значения коэффициента Стьюдента [7].

Исследование процесса испарения метанола проведено в интервале температур 298...340 К в равновесных условиях. Обработанные данные позволили вывести уравнения и по ним рассчитать термодинамические характеристики процесса испарения метанола, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1

Уравнение барограммы и термодинамические характеристики
процесса испарения метанола

| Уравнение барограммы | Термодинамические характеристики процесса |
|----------------------|-------------------------------------------|
|----------------------|-------------------------------------------|

| | | $\Delta T, K$ | ΔH_{298}^0 , кДж·моль ⁻¹ | ΔS_{298}^0 , Дж·моль ⁻¹ ·К ⁻¹ | Источник |
|------------|------------|---------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------|
| А | В | | | | |
| 1,841±0,02 | 5,493±0,05 | 298-340 | 35,31±0,6 | 108,2±1,8 | Опыт /8/ |
| 1,835 | 5,469 | 280-426 | 35,27 | — | |

Результаты исследования процесса десорбции метанола из бентонитовых глин Султонабада в интервале температур 298...425 К показали, что процесс десорбции начинается при температурах свыше 310 К и протекает в две стадии (рис. 1).

Обработанные экспериментальные данные позволили составить уравнения барограмм отдельных ступеней процесса десорбции метанола и на их основе рассчитать термодинамические характеристики обеих ступеней процесса (табл. 2).

Представляет практический интерес изучение процесса десорбции естественной влаги из бентонитовых глин, измельченных в естественных условиях. Исследования, проведенные в интервале температур 300...550 К, показали, что процесс десорбции естественной влаги из бентонитовых глин Каратага начинается при температурах свыше 370 К и протекает в две стадии (рис. 2).

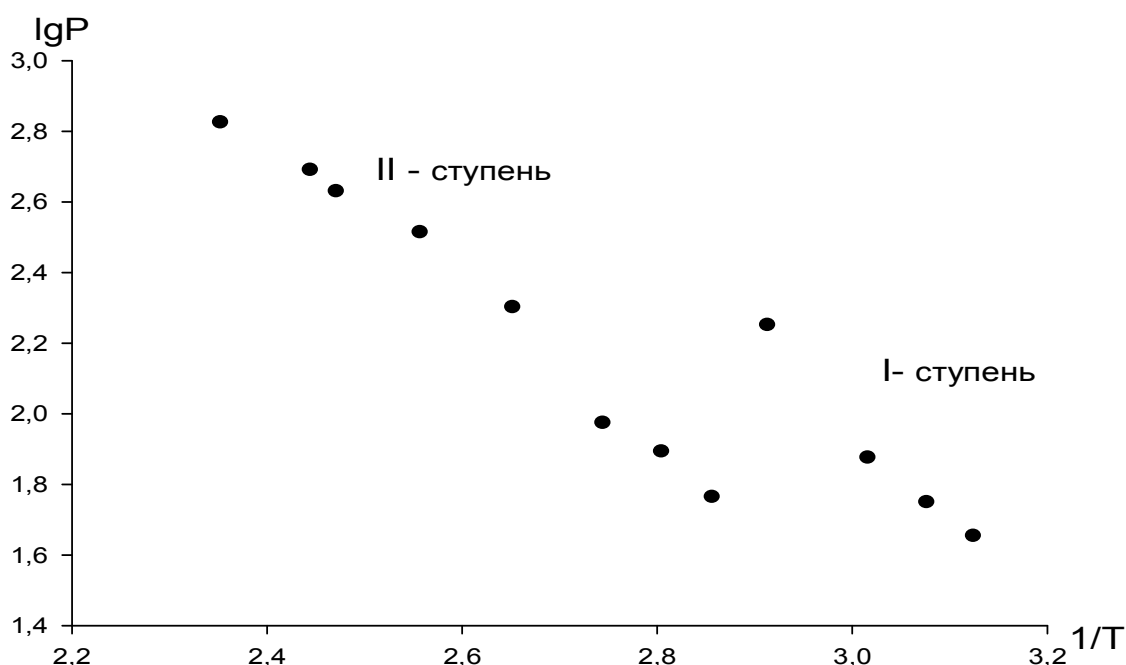


Рис. 1. Зависимость $\lg P = f(1/T)$ процесса десорбции метанола из бентонитовых глин Султанонобада

Таблица 2

Уравнения барограммы и термодинамические характеристики ступеней процесса десорбции метанола из сорбента

| Ступени процесса | $\Delta T, K$ | Уравнение барограммы | | Термодинамические характеристики | |
|------------------|---------------|----------------------|---|----------------------------------|-----------------------------------|
| | | | | ΔH_T^0 , кДж / моль | ΔS_T^0 , Дж / моль · К |
| | | А | В | | |
| | | | | | |

| | | | | | |
|----|---------|-----------|-----------|-----------|---------|
| I | 315-343 | 2,84±0,02 | 7,62±0,05 | 13,01±0,6 | 34,88±2 |
| II | 350-425 | 2,19±0,02 | 5,15±0,05 | 10,00±0,6 | 23,57±2 |

Таблица 3

Уравнение барограммы и термодинамические характеристики процесса десорбции естественной влаги из бентонита Каратага

| Ступени процесса | ΔT , К | Уравнение барограммы | | Термодинамические характеристики | |
|------------------|----------------|----------------------|-----------|----------------------------------|----------------------------|
| | | | | ΔH_T^0 , кДж/моль | ΔS_T^0 , Дж/моль·К |
| | | А | В | | |
| I | 374-448 | 1,25±0,02 | 2,54±0,05 | 5,72±0,3 | 11,64±0,8 |
| II | 467-550 | 1,42±0,02 | 2,09±0,05 | 6,47±0,3 | 9,57±0,8 |

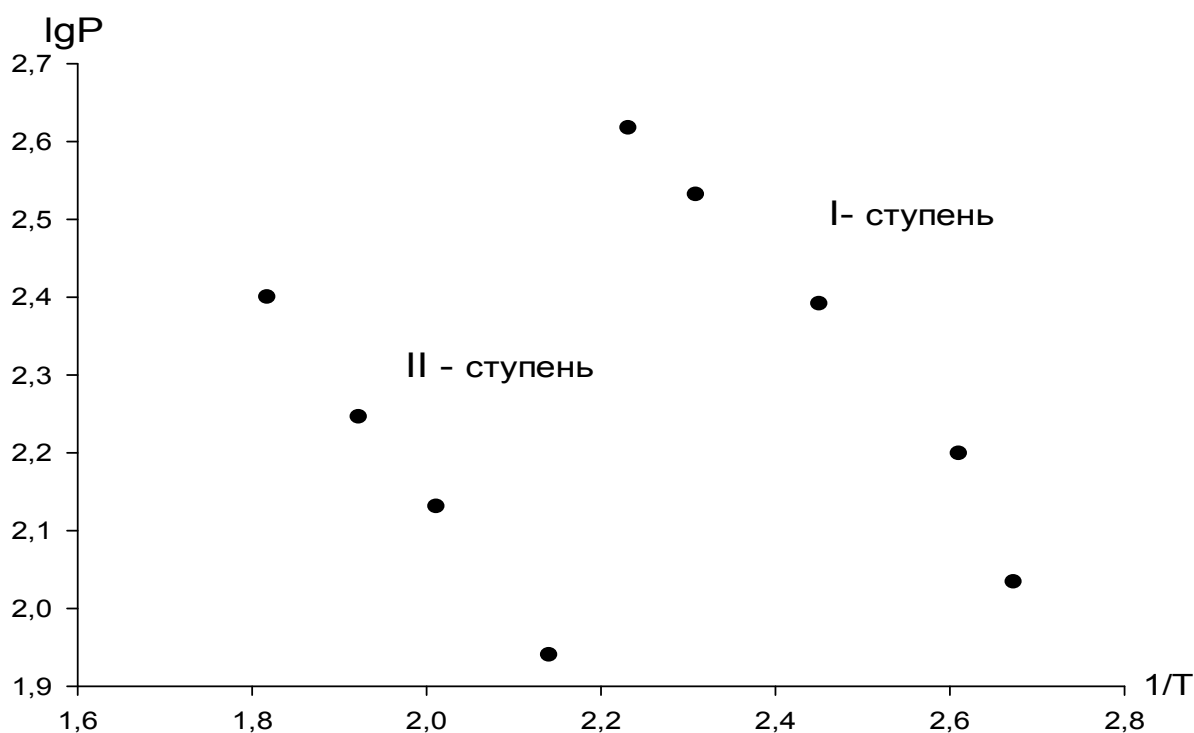


Рис. 2. Зависимость $\lg P = f(1/T)$ процесса десорбции естественной влаги из бентонита Каратага

Проведено также изучение процессов испарения эфирного масла мяты и его десорбции из регенированных бентонитовых глин Каратага. Исследование, проведенное в интервале температур 300...510 К, показало, что процесс испарения эфирного масла мяты начинается при температурах 310 К и протекает в одну стадию. Уравнение барограммы и термодинамические характеристики данного процесса приведены в табл. 4.

Процесс десорбции эфирного масла мяты из бентонитовых глин Каратага начинается при температурах свыше 350 К и протекает в одну стадию. Результаты расчетов приведены в табл. 4.

Уравнение барограммы и термодинамические характеристики процессов испарения и десорбции эфирного масла мяты из бентонитовых глин Каратага

| Процесса | $\Delta T, K$ | Уравнение барограммы | | Термодинамические характеристики | |
|-----------|---------------|----------------------|-----------------|----------------------------------|----------------------------------------|
| | | | | $\Delta H_T^0, \text{кДж/моль}$ | $\Delta S_T^0, \text{Дж/моль} \cdot K$ |
| | | А | В | | |
| Испарения | 310-510 | $1,82 \pm 0,01$ | $3,70 \pm 0,03$ | $8,33 \pm 0,1$ | $16,91 \pm 0,3$ |
| Десорбция | 356-450 | $1,50 \pm 0,02$ | $2,50 \pm 0,05$ | $6,84 \pm 0,3$ | $11,44 \pm 0,6$ |

Таким образом, полученные сведения позволяют подобрать оптимальные условия десорбции изученных соединений из бентонитовых глин и их регенерации.

Список литературы

1. Кариев А.Р., Бабаева В.С. Бентонитовые глины палеогена Юго-Западного Таджикистана и возможности их практического использования // Изв. АН Тадж. ССР, отд. физ.-матем., хим. и геологич. наук. – Душанбе: АН ТадССР, 1991, – № 3. – С. 23-28
2. Кариев А.Р. Бентониты Таджикистана в народном хозяйстве. – Душанбе, 1997. – С.7-17.
3. Арипов Э.А. Природные минеральные сорбенты, их активирование и модифицирование. – Ашхабад: Фан, 1970. – 119 с.
4. Кариев А.Р. Бентониты Таджикистана: их классификация, генезис и применение в народном хозяйстве. – Душанбе: Дониш, 2001. – 233 с.
5. Суворов А.В. Термодинамическая химия парообразного состояния. – Л.: Химия, 1970. – 208 с.
6. Жарский И.М., Новиков Г.И. Физические методы исследования в неорганической химии. – М.: Высшая школа, 1988. – 271 с.
7. Гордон А., Форд Р. Спутник химика. – М.: Мир, 1976. – 541 с.
8. Справочник химика. Том 1. – 2-е изд. – М.-Л.: Химия, 1966. – 695 с.

УДК 628.5:629.336 (043)

Абу София Мухамед

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД

Макалада ыплас сууларды тазалоодогу колдонулуучу тазалагыч курулмалардын оптималдуу иштешине мүмкүнчүлүк туудурган туруктуу тендемелер берилген.

В статье представлены критериальные уравнения для моделирования процессов очистки сточных вод, которые позволяют установить оптимальные параметры очистных сооружений.

The article considers criterion equations for wastewater treatment processes modeling that allow to determine purification plant's parameters.

Наличие разнообразных источников образования продуктов нефти (нефтепродукты – НСВ) и значительное их отличие по составу от других видов сточных вод определяют применение различных методов очистки. Изменение концентрации нефтепродуктов в производственных сточных водах значительно усложняет унификацию методов очистки и подразумевает необходимость подробного исследования для каждой отдельной категории сточных вод.

Применение коалесцирующих фильтров дает возможность качественно и количественно оптимизировать процесс очистки нефтепродуктов сточных вод и уменьшить затраты на проектирование и строительство сооружений. Создание комплексной физическо-критериальной модели коалесценции на локальных сооружениях позволяет проектировать различные реальные сооружения для очистки НСВ (со значительным изменением состава исходных сточных вод) на основании изучения процессов очистки в лабораторных и полупромышленных условиях. В зависимости от сложности поставленной задачи критериальная модель, на основании которой осуществляется реализация физической модели, может быть полной, частично полной или упрощенной. В случае, если результаты моделирования реализуются на одном конкретном натурном объекте, для определенного класса НСВ можно ограничиться составлением упрощенной критериальной модели. При условии дальнейшего переложения результатов эксперимента на проектирование очистных сооружений с различными по составу загрязнениями, объемами сточных вод и другими особенностями (материал каркаса сооружений, плавающей загрузки и т.п.) возникает необходимость учета всех потенциально влияющих на процесс параметров и, следовательно, составления полной критериальной модели.

Процесс очистки нефтепродуктов сточных вод в коалесцирующих фильтрах является сложным и многофакторным. Оптимальность очистки определяется зависимостью от большого числа геометрических, кинематических и динамических параметров. Создание физической модели коалесцирующих фильтров требует выполнения норм полного динамического подобия системы «модель – натуральный объект». Определяющим параметром при физическом и критериальном моделировании может служить либо концентрация нефтепродуктов на выходе из фильтра $C_{нфп}$, либо, что является более удобным, выраженный в безразмерной форме эффект очистки по нефтепродуктам $\mathcal{E}_{нфп}$:

$$\mathcal{E}_{нфп} = \frac{(C_{нфп}^{исх} - C_{нфп})}{C_{нфп}^{исх}} \cdot 100\%,$$

(1)

где $C_{нфп}^{исх}$ – концентрация нефтепродуктов на входе в фильтр, мг/дм³; $C_{нфп}$ – концентрация нефтепродуктов на выходе из фильтра, мг/дм³.

К основным параметрам, влияющим на характер прохождения очистки нефтепродуктов сточных вод в коалесцирующем фильтре, относятся следующие: свойства очищаемой жидкости, плавающей загрузки и материала каркаса фильтра; параметры, характеризующие степень взаимодействия изучаемой системы с окружающей средой; кинематические характеристики, связанные с движением воды и деформацией загрузки; динамические характеристики, определяющие влияние на систему внешних и внутренних сил.

Функциональная зависимость определяющего процесс параметра $C_{нфп}$ от параметров, влияющих на его численное значение, имеет вид [114, 144]:

$$\mathcal{E}_{нфп} = F(\rho_{ж}; \rho_{з}; d_{з}; \sigma_{ж}; \sigma_{н}; F_{ф}; h_{сл}; \Delta_{ст}; C_{нфп}^{исх}; t_{з}; t_{р}; T_{возд}; \vec{V}; Q),$$

(2)

где $\rho_{ж}$ и ρ_3 – плотность сточной жидкости и материала загрузки, кг/м^3 ; $\sigma_{ж}$ и $\sigma_{н}$ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости и нефтепродуктов; F_{ϕ} – площадь фильтра, м^2 ; $h_{\text{сл}}$ – высота слоя загрузки, м ; $A_{\text{ст}}$ – шероховатость стенок фильтра, м ; t_3 – время зарядки фильтра, ч ; t_p – время работы фильтра с постоянным эффектом очистки, ч ; $T_{\text{возд}}$ и $T_{\text{в}}$ – температура воздуха и воды соответственно, $^{\circ}\text{C}$; \vec{V} – скорость и направление фильтрования, м/ч ; Q – расход обрабатываемой воды, $\text{м}^3/\text{с}$.

Для упрощенного моделирования ряд параметров не имеет определяющего значения, и ими можно пренебречь. Так, на исследуемой полупроизводственной модели используется загрузка, применяемая и на реальных фильтрах, поэтому d_3 и ρ_3 остаются постоянными. Шероховатостью стенок для частичного решения задачи моделирования можно пренебречь ввиду незначительности контакта жидкости и каркаса фильтра. Сточная нефтесодержащая жидкость, исследуемая на модели, полностью соответствует реальной, поэтому $\rho_{ж}$, $\sigma_{ж}$ и $C_{\text{нфп}}^{\text{исх}}$ являются величинами постоянными. Температурой воздуха и жидкости также пренебрегаем, так как исследования проводились в полупроизводственных условиях в достаточно большой промежуток времени.

В связи с принятыми допущениями и граничными условиями уравнение преобразуется в уравнение (2):

$$\mathcal{E}_{\text{нфп}} = F(\sigma_{н}; F_{\phi}; h_{\text{сл}}; t_3; t_p; \vec{V}).$$

(3)

Для определения возможности переложения полученных результатов исследования на натурные объекты необходимо вычислить масштабы подобия и определиться с граничными условиями геометрических, кинематических и динамических характеристик, предполагаемых для производственных установок. Установление характера подобия между собой возможно при составлении критериального уравнения, описывающего данный процесс:

$$\mathcal{E}_{\text{нфп}} = F(Eu; Fr; Re; Ho; We),$$

(4)

где Eu – критерий (число) Эйлера, представляющий собой отношение гидродинамических сил к силам инерции:

$$Eu = \frac{\Delta P}{\rho_{ж} \cdot \vec{V}^2};$$

(5)

Fr – критерий (число) Фруда, являющийся мерой отношения сил инерции к силе тяжести:

$$Fr = \frac{\vec{V}^2}{g \cdot l};$$

(6)

Re – критерий (число) Рейнольдса, представляющий собой меру отношения сил инерции к силам трения:

$$Re = \frac{\vec{V}^2 \cdot d_{\phi}}{\nu};$$

(7)

Ho – критерий гомохронности, учитывающий изменение параметров работы фильтров с течением времени:

$$Ho = \frac{\vec{V} \cdot t}{h_{\text{сл}}};$$

(8)

We – критерий (число) Вебера, учитывающий воздействие на системы сил поверхностного натяжения:

$$We = \frac{\rho_{\text{ж}} \cdot V^2 \cdot l}{\sigma}.$$

(9)

Совокупность выражений (5) – (9) позволяет учесть вклад в процесс очистки всех параметров, входящих в уравнение (3).

Учитывая тот факт, что скорости движения очищаемой воды достаточно малы (в пределах до 6 м/ч), можно говорить о режиме движения потока, близком к ламинарному. В этом случае уравнение (4) преобразуется в уравнение

$$\mathcal{E}_{\text{фпп}} = F(La; Fr; Ho; We),$$

(10)

где La – критерий Лагранжа, применяемый для ламинарного движения жидкости:

$$La = Eu \cdot Re = \frac{\Delta P \cdot d_{\phi}}{\eta \cdot \bar{V}}.$$

(11)

При упрощенном моделировании одним из граничных условий является требование соблюдения закономерности в соотношении между высотой слоя загрузки и времени фильтрования как для модели, так и для натурального объекта:

$$\frac{t_{\text{м}}}{h_{\text{сл.м}}} = k \cdot \frac{t_{\text{н}}}{h_{\text{сл.н}}} = \text{const},$$

(12)

поэтому критерием Фруда (Fr) в этом случае можно пренебречь.

Критерием Вебера (We) выражают соотношение между силами вязкости, действующими в модельных и натуральных условиях. Предполагая, что загрузка работает как один слой и загрязняется равномерно, критерием Вебера (We) также можно пренебречь, при этом уравнение (10) примет вид:

$$\mathcal{E}_{\text{нфп}} = F(La; Ho).$$

(13)

Определяемым критерием является критерий гомохронности (Ho), так как эффект очистки, для стационарных условий, зависит только от величины рабочего цикла t_p . Поэтому уравнение (12) в явной форме запишется в виде:

$$Ho = F(La).$$

(14)

Условия моделирования при этом сводятся к виду:

$$\left. \begin{array}{l} La = \text{idem}; \\ \mathcal{E}_{\text{нфп}} = Ff(Ho). \end{array} \right\}$$

(15)

При соблюдении пропорциональности в отношении между $\mathcal{E}_{\text{нфп}}$ и t_p и отношением (t_p / t_p) определяются масштабы подобия длины α_l (в данном случае для высоты слоя загрузки фильтра); скорости фильтрования α_v ; расхода α_Q .

При приближенном моделировании имеем:

$$\left. \begin{array}{l} \alpha_v = \alpha_1^3 \\ \alpha_Q = \alpha_1^{1,5} \end{array} \right\}.$$

(16)

Минимальный масштаб длины α_l нормируется соотношением максимально допустимых чисел Рейнольдса

$$\alpha_1^{3/2} = \frac{Re_{\text{м}}}{Re_{\text{н}}};$$

$$\alpha_1^{\min} = \left(\frac{V \cdot \Delta_m \cdot \sqrt{\lambda_m}}{14v} \right)^2, \quad (17)$$

где λ_m – коэффициент гидравлического трения.

При значительном колебании концентрации исходной сточной воды по нефтесодержащим компонентам (и различном составе этих компонентов), при применении различной плавающей загрузки (и т.п.) произвольно пренебрегать какими-либо составляющими уравнения (2) нельзя. Кроме того, в реальных фильтрах из-за значительной толщины слоя загрузки различные по высоте уровни плавающей загрузки работают неодинаково. Олеофильность материала загрузки, имеющая непосредственный характер при изменении состава и концентрации поступающей на фильтр сточной воды, изменяющаяся по слоям в сторону движения сточной воды, делает необходимым послойный учет вклада в оптимальную работу фильтра соответствующих параметров.

Полностью функциональная зависимость для определения эффекта очистки $\mathcal{E}_{\text{нфп}}$ имеет вид /3-6/:

$$\mathcal{E}_{\text{нфп}} = F(\rho_{\text{ж}}; \rho_3^{\text{исх}}; \rho_3^{\text{1р}}; \rho_3^{\text{2р}}; \rho_3^{\text{3р}}; \sigma_{\text{ж}}; \sigma_{\text{н}}; \sigma_{\text{ст}}; F_{\text{ф}}; h_{\text{ст}}; \Delta_{\text{ст}}; C_{\text{нфп}}^{\text{исх}}; t_3; t_p; T_{\text{возд}}; T_{\text{в}}; \Delta h_i^{\text{ст}}; \vec{V}; Q), \quad (18)$$

где $\rho_3^{\text{исх}}$ – исходная плотность материала загрузки, кг/м³; $\rho_3^{\text{1р}}; \rho_3^{\text{2р}}; \rho_3^{\text{3р}}$ – плотность материала в первом, втором и третьем (по движению воды) слое, приобретаемая за время его рабочего цикла, кг/м³; $\sigma_{\text{ст}}$ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости вблизи поверхности стенок фильтра (учитывает смачиваемость поверхности); $\Delta h_i^{\text{ст}}$ – потери напора в каждом из слоев, м.

Ряд параметров в уравнении (18) взаимосвязаны и могут быть выражены через один из них. Так, потери напора в фильтрующей загрузке ($\Delta h_i^{\text{ст}}$) связаны с загрязнением загрузки, то есть с изменением ее плотности ($\rho_3^{\text{1р}}$):

$$\Delta h_i^{\text{ст}} = F(\rho_3^{\text{1р}}). \quad (19)$$

Расход сточной жидкости, пропускаемый через фильтр (Q), может быть выражен через геометрические и кинематические параметры:

$$Q = F(F_{\text{ф}}; V), \quad (20)$$

а функционально иметь вид:

$$Q = F(\rho_3^{\text{1р}}; \Delta h_i^{\text{ст}}). \quad (21)$$

При создании критериальной и физической модели необходимо выполнять ряд граничных условий $\Gamma_{\text{р}}$. Ограничиваются те параметры, которые для поддержания оптимальной работы фильтра должны иметь определенные численные значения, а именно:

$$\Gamma_{\text{р}} = F(Q; P(\Delta h_i^{\text{ст}}); C_{\text{нфп}}; V; t_3; t_p). \quad (22)$$

Все граничные условия можно разделить на группы, что дает возможность их учета соответствующими критериями подобия:

$$\Gamma_{\text{р}}^{\text{I}} \sim \{V; Q; P(\Delta h_i^{\text{ст}})\}; \quad (23)$$

$$\Gamma_{\text{р}}^{\text{II}} \sim \{C_{\text{нфп}}; t_3; t_p\}. \quad (24)$$

Пределы допустимых величин W_{\min} и W_{\max} учитываются при определении условий моделирования. С учетом условий (19) и (20) уравнение (17) преобразуется следующим образом:

$$\Theta_{\text{нфп}} = F(\rho_{\text{ж}}; \rho_{\text{з}}^{\text{исх}}; \sigma_{\text{ж}}; \sigma_{\text{н}}; \sigma_{\text{ст}}; F_{\text{ф}}; h_{\text{сл}}; \Delta_{\text{ст}}; C_{\text{нфп}}^{\text{исх}}; t_3; T_{\text{возд}}; T_{\text{в}}; \bar{V}). \quad (25)$$

Изменение температуры окружающего воздуха ($T_{\text{возд}}$) и сточной воды ($T_{\text{в}}$) учитывается при выборе масштабов подобия и расчетных зависимостей тех параметров, которые зависят от ее колебаний:

$$(\rho; \sigma) = F(T). \quad (26)$$

Уравнение (25) в критериальной форме записывается следующим образом:

$$\Theta_{\text{нфп}} = F(Eu_i; Fr; Re; Ho; We; We_{\text{ст}}), \quad (27)$$

где Eu_i – число (критерий) Эйлера, относится к каждому из основных слоев загрузки; $We_{\text{ст}}$ – определяется для пристеночной зоны и учитывает различные условия фильтрации в глубине загрузки и около каркаса фильтра.

Преобразуя уравнение (27), получим следующий вид его записи:

$$\Theta_{\text{нфп}} = F(La; Fr; Ho; We; We_{\text{ст}}). \quad (28)$$

Если плотность жидкости на модели и на производственной установке одинакова, то

$$\alpha_{\rho_{\text{ж}}} = \frac{\rho_{\text{м}}^{\text{ж}}}{\rho_{\text{н}}^{\text{ж}}}; \quad \text{и (29) } \alpha_{\rho_{\text{ж}}} = \alpha_i \quad \text{или} \quad \alpha_{\Delta h} = \alpha_i; \quad \alpha_v = \sqrt{\alpha_1}; \quad \alpha_Q = \alpha_1^{1.5}. \quad (30)$$

Условия моделирования сводятся к выполнению условий:

$$\left. \begin{array}{l} La = \text{idem} \\ Ho = \text{idem} \\ V_{\text{м}} \leq V_{\text{кр}} \\ We = \text{idem} \\ \sigma_{\text{ст.м}} = \sigma_{\text{ст.н}} \end{array} \right\} (31) \quad \text{или} \quad \left. \begin{array}{l} \frac{\Delta P_{\text{м}}}{V_{\text{м}}} = \frac{\Delta P_{\text{н}}}{V_{\text{н}}} \\ \left(\frac{t_3}{t_p} \right)_{\text{м}} = \alpha_t \cdot \left(\frac{t_3}{t_p} \right)_{\text{н}} \\ V_{\text{м}} \leq V_{\text{кр}} \\ We = \text{idem} \\ \sigma_{\text{ст.м}} = \sigma_{\text{ст.н}} \end{array} \right\}, \quad (32)$$

то есть, в общем случае, моделирование работы коалесцирующих фильтров сводится к обеспечению жесткого подобия систем по времени, качественному составу загрузки и соблюдению минимальных допустимых скоростей движения сточной жидкости. Одним из главных условий является идентичность материала каркаса модели и производственной установки.

Масштабы моделирования для условий (31) и (32) соответствуют требованиям (16) и (17), но необходимо ввести масштаб подобия для сил поверхностного натяжения α_{σ} :

$$\alpha_{\sigma} = \alpha_l^2. \quad (33)$$

При несоблюдении условия (29), то есть при необходимости моделирования процессов фильтрации для нефтесодержащих сточных вод с различным (или изменяющимся во времени) составом необходимо использовать следующие зависимости для масштабов подобия:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_V &= \alpha_v \cdot \sqrt{\alpha_l} \\ \alpha_p &= \alpha_l \cdot \alpha_p^2 \cdot \alpha_V \\ \alpha_Q &= \alpha_l^{1,5} \cdot \alpha_V^{1,5} \end{aligned} \right\} \quad (34)$$

При возникновении необходимости прогнозирования эффекта работы фильтра при изменении качественных характеристик загрузки методика моделирования должна подчиняться условию сохранения характера зависимости между толщиной слоя и потерями напора за время t_p . В этом случае определяемым критерием подобия является критерий гомохронности Но, а определяющий параметр находится из эмпирической зависимости между скоростью фильтрования V и толщиной слоя загрузки $h_{сл}$.

Учитывая тот факт, что для экспериментальных исследований используется та же загрузка фильтров, что и для производственных установок, и, выполняя условие равенства напоров перед фильтрами, выделим параметры, изменение которых дает возможность создавать уменьшенные экспериментальные модели, а также определить масштабы подобия этих параметров: линейный масштаб (отношение линейных размеров модели и натурной установки) $\alpha_l \approx 0,2$; масштаб скорости α_v – до 0,2; масштаб расхода $\alpha_Q \approx 0,008$.

При расчетных параметрах производственных очистных сооружений, находящихся в пределах: по диаметрам фильтров ($d_{ф}$) – до 1,5-2 м; по скорости движения потока (V) – до 10 м/ч; по расходу, пропускаемому через фильтр, (Q) – до 50 м³/ч. Используя полученные масштабы подобия, определим размеры экспериментальной установки: $d = 0,3$ м; высота фильтров $h = 1,75$ м; скорость фильтрования $V = 1,5-5,5$ м/ч; расход воды $Q = 0,11-1,18$ м³/ч.

Вычисленные при помощи критериального анализа характеристики полупроизводственного экспериментального фильтра дают возможность использования полученных результатов исследования при проектировании реальных производственных установок.

Экологические программы по улучшению состояния окружающей среды промышленно развитого региона, входящего в состав Восточно-Казахстанской области, предусматривают внедрение на всех предприятиях региона локальных систем очистки промышленных стоков. Особое внимание уделяется нейтрализации воздействия на экологическую обстановку сброса значительного количества нефтесодержащих сточных вод. Значительное колебание расходов нефтесодержащих сточных вод, образующихся на различных предприятиях, требует создания универсальной экспериментальной установки, моделирующей работу реальных очистных сооружений. При этом результаты экспериментальных исследований должны перекладываться на проектируемые и внедряемые в производство реальные системы очистки.

Одним из современных методов, применяемых для очистки нефтесодержащих сточных вод, является метод коалесценции. Данный метод основан на процессе слияния (укрупнения) капель эмульгированных в воде нефтепродуктов. Технологически процесс коалесценции может быть осуществлен в коалесцирующих фильтрах с загрузкой из материала, к которому предъявляются определенные требования; главные их них – гидрофобность и олеофильность материала. С этой точки зрения оптимальными являются полимерные зернистые и волокнистые материалы.

К параметрам, определяющим функциональное состояние системы очистки нефтесодержащих сточных вод, можно отнести следующие:

– геометрические параметры (площадь фильтра $F_{ф}$, м²; высота слоя загрузки $h_{сл}$, м; шероховатость стенок фильтра $\Delta_{ст}$, мм; диаметр зерен загрузки d_3 , мм);

– кинематические параметры (скорость и направление фильтрации \vec{V} , м/ч);

– динамические параметры (расход обрабатываемой воды Q , м³/ч; время зарядки фильтра t_3 , ч; время работы фильтра с постоянным эффектом очистки t_p , ч; плотность материала загрузки ρ_3 , кг/м³).

При соблюдении условия использования в экспериментальной установке и в производственной системе очистки одной и той же загрузки и материала корпуса фильтра с одинаковой шероховатостью стенок количество определяющих процесс очистки параметров уменьшается.

Выводы

1. Был проведен анализ параметров, определяющих процесс очистки нефтесодержащих сточных вод на коалесцирующих фильтрах при различных условиях моделирования.

2. Составлены критериальные уравнения, являющиеся основой для различного моделирования процессов фильтрования на коалесцирующих фильтрах для экспериментальных исследований и для производственных условий.

3. Определены масштабы подобия и выбраны пределы оптимальных геометрических, кинематических и динамических параметров экспериментальных моделей и реальных производственных установок.

Список литературы

1. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. – М.: Химия, 1989. – 448 с.

2. Седлухо Ю.П., Ключин А.А., Бавтот Д.П. О коалесценции нефтепродуктов при фильтрации сточных вод через гидрофобные полимерные материалы //Нефтяное хозяйство. – 1982. – № 11. – С.38-42.

3. Минигазимов Н.С. Совершенствование технологии подготовки нефтепромысловых сточных вод, используемых для заводнения нефтяных месторождений: Дис. ... канд. техн. Наук. – Уфа: БашНИПИнефть, 1983. – 166 с.

4. Мутин Ф.И. Разработка и моделирование аппаратов для очистки нефтесодержащих сточных вод с применением контактной массы: Дис. ... канд. техн. наук. - Казань: КХТИ, 1986. – 224 с.

5. Белоцерковский О.М. Численное моделирование в механике сплошных сред. – М.: Наука, 1994. – 442 с.

6. Чухин В.А. Передвижная маслотовушка /Псковский ЦНТИ. – Информационный листок.