

## ТЕЧЕНИЕ И НАГРЕВ НЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ В СИСТЕМЕ ТРУБЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ

*Р.А. Кербалиев, А.А. Алиева, У.А. Керимова*  
Институт Нефтехимических Процессов  
им. Академика Ю.Г. Мамедалиева, НАНА, Аз1025,  
Азербайджан

### АННОТАЦИЯ

«Течение и нагрев нефтяных эмульсий в системе трубчатых теплообменников нефтепереработки».

Рассматриваются вопросы течения нефтяных эмульсий и теплообменных аппаратов с осаждением различных частиц на теплообменной поверхности.

Показано влияние на осаждение турбулентной и поперечной миграции частиц. Предложены и решены модели теплообмена для нагрева нефтяной эмульсии в последовательно-соединенных теплообменниках нефтепереработки.

Особенностью течения нефтяных эмульсий (НЭ) в трубчатых аппаратах теплообмена является попутное осаждение твердых частиц (глина, песок и другие примеси, содержащиеся в сырой нефти на теплообменной поверхности).

Отложения на внутренней поверхности труб ухудшают условия теплообмена (нагрев НЭ) и оказывает существенное влияние на гидродинамику потока (режим течения, скорость потока, перепад давления и т.д.), что отражается на выходных параметрах.

Осаждение на теплообменной поверхности частиц различного сорта определяется множеством факторов, среди которых важно выделить гидродинамические и термодинамические условия, реологические свойства дисперсной системы, адгезионную совместимость частиц с обтекаемой поверхностью, физико-химические превращения в пограничном слое, размер и концентрацию частиц, ориентацию обтекаемой поверхности и т.д.

Вместе с тем отложившийся слой может оказать обратное влияние на все виды переносов

субстанции, а также на коалесценцию и дробление капель в нефтяной эмульсии.

Анализ течения нефтяных эмульсий в трубах показал, что отложение на поверхности ухудшает теплообмен с внешней средой, причиной чего является убывание коэффициента теплопередачи. Постепенное наращивание толщины отложившегося слоя частиц в трубах ведет к уменьшению проходного сечения и соответственно к увеличению потери давления и скорости потока.

Уменьшение температуры потока по времени на выходе из системы отрицательно оказывается на разделении нефтяной эмульсии в отстойных аппаратах. Течение дисперсных частиц (капель) в трубах определяется наличием различных сил, действующих на частицы и порождающих скорости их миграции, среди которых важно выделить следующие: скорости турбулентной и поперечной миграции частиц (капель) основанная на эффекте Магнуса определяется как [4]:

$$V_L = 0,03a^{1/2}(Vdv/dy)^{1/2}$$

Переходя к безразмерным координатам, имеем:

$$V_L = R_m U_+ (dU_+/dY_+)^{1/2}$$

Где  $R_m = 0,03(aU_*^3/\nu)^{1/2}$ ,  $y_+ = yU_*/\nu$ ,  $U_+ = \nu/U_*$ ,  $U_* = \sqrt{\tau/\rho}$ ,

$a$  – размер частиц (капель),  $\nu$  – скорость потока,  $y$  – координата.

Полагая распределение скорости несущей фазы в виде: [4]

$$y_+ \leq 21,5, U_+ = Ay_+^{3/2} e^{-0,05y_+};$$

$$y_+ \geq 21,5, U_+ = y_+ \left[ \left( \frac{0,53}{R_+} \right) y_+^2 + 0,85y_+ + 14 \right]^{-1},$$

получим зависимость скорости подъемной миграции от координаты:

$$y_+ \leq 21,5, V_L = A^{\frac{3}{2}} y_+^{\frac{3}{4}} e^{-0,075y_+} + (1,5 - 0,05y_+)^{\frac{1}{2}} R_m;$$

$$y_+ \geq 21,5, V_L = \frac{y_+ [14 - (0,53/R_+) y_+^2]^{1/2} R_m}{[(0,53/R_+) y_+^2 + 0,85y_+ + 14]^2} \quad (1),$$

где  $A \approx 0,02$ .

Исходя из условий  $\partial V_L / \partial y_+ = 0$ , определяем максимальное значение скорости подъемной миграции  $V_{Lmax} / R_m = 0,67$  при  $y_+ = 18,68$ .

Таким образом, скорость подъемной миграции частиц, увеличиваясь в вязком слое, достигает наибольшего значения в переходной зоне, а в зоне развитой турбулентности уменьшается. Значение скорости подъемной миграции на стенке можно определить по первой формуле (1), положив  $y_+ = a_+ = aU_+ / \nu$ . При этом предполагается, что частица вращается на поверхности благодаря разности скоростей несущей фазы на стенке ( $V=0$ ) и на расстоянии от стенки равном  $a$ .

$$\frac{V_{Tmax}}{V_{Lmax}} \approx 0,75 M_p^2 \frac{\Delta\rho}{\rho} \left[ \frac{a}{V} \right]^{3/2} U_*^{3/2} \quad (2)$$

Где  $M_p^2$  – степень увлечения частиц средой,  $\tau_p$  – время релаксации,  $\nu$  – вязкость.

Численные расчеты по формуле (2) для частиц в нефтяной эмульсии ( $T = 50^\circ\text{C}$ ,  $\nu_H = 0,223 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ ,  $\rho_H = 850 \text{ кг}/\text{м}^3$ ,  $\Delta\rho = 500 \text{ кг}/\text{м}^3$ ) и в воздухе ( $\nu_B = 0,15 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ ,  $\rho_B = 1,29 \text{ кг}/\text{м}^3$ ) показали, что при динамической скорости  $U_* = 1,0 \text{ м}/\text{с}$  скорость турбулентной миграции для частиц  $V_T$  для воздуха превосходит скорость подъемной миграции для частиц размером  $a = 5+50 \text{ мкм}$ , в 50-1500 раз, хотя для нефтяной среды получается обратная картина  $V_T / V_L = 0,015+0,5$ .

Особенно подобное различие усиливается при течении тяжелых нефтей с низкими температурами ( $N_H = 150 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$  при  $T = 10^\circ\text{C}$ ). Очевидно, для систем жидкость - твердая частица это объясняется

$$\begin{cases} \frac{\partial T_1}{\partial \theta} + v_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} = q_{11}(T_2 - T_1), \\ \frac{\partial T_2}{\partial \theta} \pm v_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} = q_{22}(T_1 - T_2), \\ T_1(\theta, x)|_{\theta=0} = T_1(x), T_1(\theta, x)|_{x=0} = T_{10}, \\ T_2(\theta, x)|_{\theta=0} = T_2(x), T_2(\theta, x)|_{x=0} = T_{20} \end{cases} \quad (3)$$

Где  $T_1, T_2$  – температуры нефтяной эмульсии и нагревающего агента;  $v_1, v_2$  – скорости потоков в трубном и межтрубном пространствах;  $q_{11} = kF_1L / (\rho_1 c_1 U_1 V_1)$ ,  $q_{22} = kF_2L / (\rho_2 c_2 U_2 V_2)$ ,  $k$  – коэффициент теплопередачи;  $F_1, F_2$  – внутренние и наружные поверхности труб;  $\rho_1, c_1$  – плотность и теплоемкость потоков,  $L$  – длина труб,  $U_1$  – объемы потоков.

Система (3) решается методом сеток с учетом краевых условий и отложения различных частиц на поверхности теплообмена. Предложенный алгоритм расчета позволяет учесть взаимное влияние температуры и скорости потока на отложение и

Очевидно, точность  $y_{+max}$  определяется степенью адекватности описания профиля скорости  $U_+$  в переходной зоне.

Аналогичный характер имеет скорость турбулентной миграции частиц:

$$V_T = 1/2 \frac{M_p^2 \tau_p}{\nu} U_*^3 U_+^2 \frac{dU_+}{dy_+}$$

пиковое значение, которых достигается при  $y_+ = 12,7$  [5].

Сравнивая максимальное значение турбулентной и подъемной миграции, получим:

тем, что время релаксации в жидкостях намного меньше, чем в газах.

Таким образом, наличие различных видов миграций частиц может оказать существенное влияние на перемещение частиц (капель) лишь в толщине пограничного слоя, хотя в ядре потока более ощутимым является гравитационная составляющая. Вместе с тем наличие различных сил, обуславливающих перемещение частиц (капель) в объеме потока оказывает большое влияние на осаждение твердых частиц на поверхности и на коалесценцию и дробление капель в потоке [2].

В нефтепереработке нагрев нефтяной эмульсии осуществляется в системе трубчатых теплообменников. Расчет системы теплообменников с целью прогнозирования с течением времени температуры на входе в отстойные аппараты осуществляется на основе уравнений переноса тепла:

наоборот, влияние распределения толщины отложившегося слоя по теплообменникам на перенос тепла и импульса, на гидродинамические и тепловые параметры в каждом аппарате, с учетом переменных теплофизических свойств потоков в трубном и межтрубном пространствах.

На рис.1 представлены изменения толщины отложений ( $\beta = 1 - \delta/R$ ,  $\delta$  – толщина отложений,  $R$  – радиус трубы) по длине десяти последовательно соединенных теплообменников ЭЛОУ АВТ в течение года их работы.

На рис.2 представлена кривая изменения температуры на входе в отстойный аппарат и ее сравнение с промышленными данными. Как следует из

этого рисунка, через год эксплуатации системы температура на входе в отстойники уменьшается на 15-20° С по мере отложения на поверхности загрязнений.

Наибольшее отложение частиц наблюдается в теплообменниках 7-10, где температура нефтяной эмульсии является высокой. В первых теплообменниках в виду низкой температуры толщина отложений незначительна по сравнению с последними. Уменьшение температуры на входе в отстойники очевидно ухудшает разделение нефтяной эмульсии за счет увеличения его вязкости.

Следует отметить, что сужение капала в трубах теплообменников приводит к турбулизации потока ( $Re = Re_0 \beta^{-1}$  – число Рейнольдса) и следовательно к увеличению вероятности столкновения капель и их коалесценции. Особенно такая турбулизация потока заметна в теплообменниках 7-10. Следовательно, наряду с отрицательными последствиями ухудшения теплообмена в трубах теплообменников создаются определенные условия для увеличения интенсивности трубной деэмульсации нефтяной эмульсии.

#### Литература:

1. Келбалиев Г.И. Моделирование нестационарных процессов в теплообменных аппаратах. «Теоретические основы химических технологий», 1962 г., т. 16, № 1, с. 38-43

2. Келбалиев Г.И. Теплообмен в процессах течения многофазных систем с отложением на поверхности. «Теоретические основы химических технологий», 1985 г., т. 19, № 2, с. 199-208

3. Келбалиев Г.И. Особенности течения многофазных систем с отложением на поверхности. «Теоретические основы химических технологий», 1987 г., т. 21, № 1, с. 132-136

4. Соу С. Гидродинамика многофазных систем. М.: Мир, 1971 г.

5. Медников Е.П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей. М.: Наука, 1981 г.

#### РАСЧЕТ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕАКЦИИ ОКИСЛЕНИЯ БЕНЗОЛА В ФЕНОЛ В ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР (300-1100)°С

1). Энтальпия

Расчет энтальпии процесса окисления бензола в фенол производился по формуле.

$$\Delta H = \Delta H^0 + \int C_p dT \quad (1)$$

Температурная зависимость теплоемкости от температуры определяется по формуле

$$C_p = a + bT + cT^2 \quad (2)$$

Подставляя значение теплоемкости из (2) в соотношение (1), получим

$$\Delta H = \Delta H^0 + \int (a + bT + cT^2) dT = \Delta H^0 + \int_{T_1}^{T_2} (adT + bTdT + cT^2 dT) \quad (3)$$

Решение уравнения (3) в аналитическом виде выражается следующим соотношением

$$\Delta H = \Delta H^0 + a(T_2 - T_1) + b\left(\frac{T_2^2}{2} - \frac{T_1^2}{2}\right) + c\left(\frac{T_2^3}{3} - \frac{T_1^3}{3}\right) \quad (4)$$

Учитывая что, интервал температур очень широкий (300-1100)°С было решено разделить его на несколько подинтервалов

1. (300-400)°С
2. (400-500)°С
3. (500-600)°С
4. (600-700)°С

5. (700-800)°С

6. (800-900)°С

7. (900-1000)°С

8. (1000-1100)°С

Таким образом, расчет энтальпии производится исходя из определенных интервалов

1. (300-400)°С

$$\Delta H_1 = \Delta H^0 + a(400 - 300) + b\left(\frac{400^2}{2} - \frac{300^2}{2}\right) + c\left(\frac{400^3}{3} - \frac{300^3}{3}\right)$$

2. (400-500)°С

$$\Delta H_2 = \Delta H_2^0 + a(500 - 400) + b\left(\frac{500^2}{2} - \frac{400^2}{2}\right) + c\left(\frac{500^3}{3} - \frac{400^3}{3}\right)$$

3. (500-600)°С

$$\Delta H_3 = a(600 - 500) + b\left(\frac{600^2}{2} - \frac{500^2}{2}\right) + c\left(\frac{600^3}{3} - \frac{500^3}{3}\right)$$

4. (600-700)°С

$$\Delta H_4 = a(700 - 600) + b\left(\frac{700^2}{2} - \frac{600^2}{2}\right) + c\left(\frac{700^3}{3} - \frac{600^3}{3}\right)$$

5. (700-800)°С

$$\Delta H_5 = a(800 - 700) + b\left(\frac{800^2}{2} - \frac{700^2}{2}\right) + c\left(\frac{800^3}{3} - \frac{700^3}{3}\right)$$

6. (800-900)°C

$$\Delta H_6 = a(900 - 800) + b\left(\frac{900^2}{2} - \frac{800^2}{2}\right) + c\left(\frac{900^3}{3} - \frac{800^3}{3}\right)$$

7. (900-1000)°C

$$\Delta H_7 = a(1000 - 900) + b\left(\frac{1000^2}{2} - \frac{900^2}{2}\right) + c\left(\frac{1000^3}{3} - \frac{900^3}{3}\right)$$

8. (1000-1100)°C

$$\Delta H_8 = a(1100 - 1000) + b\left(\frac{1100^2}{2} - \frac{1000^2}{2}\right) + c\left(\frac{1100^3}{3} - \frac{1000^3}{3}\right)$$

№ пп	Интервал температур, °C	Значение энтальпии в указанных пределах
1	300-400	H(1) = 123684,3
2	400-500	H(2) = 203784,3
3	500-600	H(3) = 303884,3
4	600-700	H(4) = 423984,3
5	700-800	H(5) = 564084,3
6	800-900	H(6) = 724184,3
7	900-1000	H(7) = 904284,3
8	1000-1100	H(8) = 110438,4

УДК 621.313.048

## КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ ИЗОЛЯЦИИ КЛАССА НАГРЕВОСТОЙКОСТИ 220°С ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

**Нейдорфер Харальд.***Профессор, докт. техн. наук, компания Traktionssysteme Austria GmbH  
Браун-Бовери-Штрассе 1, 2351 Вейнер-Ньюдорф, Австрия.***Карпенко Владимир Владиславович***канд. тех. наук, Руководитель Испытательного Центра Тягового Электрооборудования  
Государственного Предприятия «ЗАВОД «ЭЛЕКТРОТЯЖМАШ», г. Харьков.***Василенко Денис Юрьевич***заведующий лабораторией климатических исследований Государственного  
Предприятия «ЗАВОД «ЭЛЕКТРОТЯЖМАШ», г. Харьков.***АННОТАЦИЯ**

Приведены результаты экспериментальных сравнительных исследований стойкости электрической изоляции образцов ТЭМ на основе изоляции класса нагревостойкости 220°С с серийными образцами на основе классов F или H. Построена математическая модель результатов испытаний на влагостойкость. Установлено, что образцы ТЭМ на основе изоляции класса 220°С имеют характеристики изоляции достаточно высокие по сравнению с образцами класса H. На основании результатов сравнительных испытаний подтверждена целесообразность и перспективность применения изоляции класса 220°С, рекомендовано применение полученных математических моделей для исследований целесообразности конструктивных или технологических нововведений.

**Ключевые слова:** электрическая машина, изоляция, класс нагревостойкости, климатические испытания, повышенная и пониженная температура, влажность воздуха, сопротивление изоляции.

**ABSTRACT**

The results of experimental researches of comparative stability of the electrical insulation based on the TEM samples insulation heat resistance class 220° C with serial samples on the basis of class F or H. A mathematical model to predict the results of tests on water resistance is constructed. It was found that samples of TEM-based insulation class 220 ° C insulation characteristics are quite high in comparison with samples of class H. Based on the results of comparative tests confirmed the feasibility and prospects of applying insulation class 220 ° C, recommended application of found models for researches expeditious innovations of design or technology.

**Keywords:** electric machine, insulation, heat resistance class, climatic tests, high and low temperature, air humidity, insulation resistance.