



УДК 665./7: 66-9

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ НАКИПИ И ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ТРУБКАХ ТЕПЛООБМЕННИКА



STUDY OF THE SCALE FORMATION PROCESS AND THE DEPENDENCE OF THE HEAT TRANSFER COEFFICIENT IN THE HEAT EXCHANGER TUBES

Исмаилов Ойбек Юлибоевич

доктор философии (PhD) по техническим наукам,
старший научный сотрудник,
Институт общей и неорганической химии
Академии наук Республики Узбекистан
ismoilovnmpi@mail.ru

Хурмаматов Абдугаффор Мирзабдуллаевич

доктор технических наук,
заведующий лабораторией «Процессы и аппараты
химической технологии»,
Институт общей и неорганической химии
Академии наук Республики Узбекистан
gofuriy_19805@mail.ru

Аннотация. В статье, приведены результаты экспериментальное исследование по влиянию скорости потока сырья на образование накипи внутренней трубе теплообменника и влияние толщины накипи на коэффициент теплопередачи.

Ключевые слова: нефть, скорость потока, температура, число Рейнольдса, вязкость, коэффициента теплопередачи.

Ismailov Oybek Yuliboyevich

Doctor of Philosophy (PhD)
in Technical Sciences,
Senior Research fellow,
Institute of General and inorganic chemistry
of the Academy of Sciences of Uzbekistan
ismoilovnmpi@mail.ru

Khurmamatov**Abdugaffor Mirzabdullaevich**

Doctor of Technical Sciences,
Head of the laboratory «Processes
and devices of chemical technology»,
Institute of General and inorganic chemistry
of the Academy of Sciences Republic of
Uzbekistan
gofuriy_19805@mail.ru

Annotation. In this article presented results of an experimental study of the effect of the flow rate of raw materials on the formation of scale in the inner tube of the heat exchanger and the effect of the scale thickness on the heat transfer coefficient.

Keywords: oil, flow rate, temperature, Reynolds number, viscosity, heat transfer coefficient.

Слой накипи на поверхности теплопередающих трубок теплообменных аппаратов нефтеперерабатывающих предприятий формируется в течении продолжительного времени, под воздействием высокой температуры при малых скоростях теплоносителей, высокой плотности нефтепродукта, увеличение содержания кокса, парафина и механических примесей в нефтепродуктах. С течением времени слой отложений растет, уплотняется и упрочняется, что приводит к увеличению термического сопротивления теплопередающей стенки, снижению значения коэффициента теплопередачи в аппарате и понижению его эффективной работы [1]. Образование этих отложений приводит к существенной потере тепловой энергии, величина которой может достигать от нормируемого $2 \div 8\%$ до 60% от полезно переданной [2]. Дальнейший рост толщины накипи может привести к существенному уменьшению поперечного сечения теплообменных труб по всей их длине, а в отдельных случаях – к их закупориванию, тем самым полностью блокированию работу теплового аппарата [3].

Цель работы – экспериментальное изучение условия образования накипи в горизонтальной трубе в случаях нагревания нефтегазоконденсатной смеси при различных гидродинамических режимах движения потока и влияние толщины накипи на эффективность коэффициента теплопередачи.

Исходя из этой цели, для изучения процессов образования отложений на внутренней стенке горизонтальных труб теплообменников при различных гидродинамических режимах движения потока нефтегазоконденсатного сырья, нами собрана экспериментальная установка и расчётным путём выявлено влияние толщины накипи на эффективность коэффициента теплопередачи.

Образование накипи в теплообменной трубе изучены в экспериментальной теплообменной установки созданной в лаборатории «Процессы и аппараты химической технологии» ИОНХ АН РУз [4]. Опыты по изучению образования накипи в горизонтальной трубе проведены при давлениях $P = 8 \div 50$ кПа, температуре нагревания $t_n = 170$ °С и объемном расходе нефти $V_n = 4 \div 20$ л/мин. При этом, скорость движения нефти по трубе изменялся в пределах $\omega_n = 0,21 \div 1,06$ м/с.

Результаты проведенных экспериментов приведены в нижеследующей таблице.

Поскольку скорость образования отложений на внутренней поверхности стенки теплопередающей трубы трудно контролируема, то для получения статистически значимых результатов экспериментальная установка должна обеспечивать проведение большого количества опытов при идентич-



ных условиях. Исходя из этого, продолжительность каждого эксперимента составила 1440 мин (24 часа). Предел изменения заданного расхода рабочей смеси обеспечивает установления различных картин гидродинамических режимов ее движения в установке.

Таблица – Образование накипи в опытной трубе при различных гидродинамических режимов движения нефти при 170 °С

Расход рабочей смеси, л/мин	Скорость потока, м/с	Число Рейнольдса, Re	Масса накипи, г
4	0,21	2280	0,532
10	0,53	6309	0,477
20	1,06	12660	0,185

Данные таблицы свидетельствуют о том, что в заданном диапазоне расхода нефти от 4 до 20 л/мин её движения в опытной трубе плавно переходит от ламинарного (при $u_{см} = 0,21$ м/с) к турбулентному (при $u_{см} = 1,06$ м/с). При ламинарном режиме масса образованной накипи в трубе составляет 0,532 г, а переходном режиме ее масса уменьшилась до 0,477 г. При турбулентном режиме (при $Re = 12660$) масса отложенной накипи снижается до 0,185 г, соответственно. Графическая интерпретация данных таблицы показывает, что с повышением числа Re отложения в горизонтальной трубе имеют тенденции к снижению.

Также рассчитано зависимости коэффициента теплопередачи от толщины накипи в горизонтальной трубе при движении нефти.

Используя полученные экспериментальные данные определены значения коэффициентов теплоотдачи и величина коэффициента теплопередачи в горизонтальной трубе по известному уравнению [5]:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{\delta_{от}}{\lambda_{от}}},$$

где $\delta_{ст}$ и $\delta_{от}$ – толщина стенки трубы и накипи, м.

Результаты расчета коэффициента теплопередачи в горизонтальной трубе в условиях накипобразования приведены в рисунке.

На рисунке изображены кривые изменения величины коэффициента теплопередачи от растущей толщины накипи на внутренней стенке горизонтальной трубы опытной установки при различных гидродинамических режимах движения нефти.

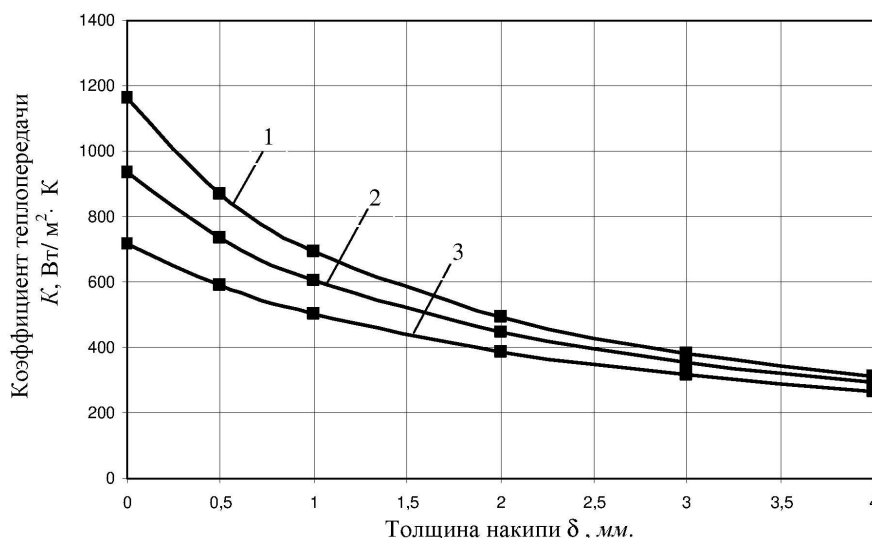


Рисунок – Изменение коэффициента теплопередачи от роста толщины накипи на внутренней стенке горизонтальной трубы при движении нефти: 1 – $Re = 12660$; 2 – $Re = 6309$; 3 – $Re = 2280$

Результаты сравнение кривых 1–3 в рисунке показывает, что с ростом толщины отложений на стенке при всех гидродинамических режимах движения нагреваемой нефти в горизонтальной трубе величина коэффициента теплопередачи имеет тенденции к плавному снижению. В начале опытов, когда слой накипи на внутренней поверхности стенки трубы еще отсутствует и режим движения



нагреваемой смеси ламинарный ($Re = 2280$), коэффициент теплопередачи имеет максимальную величину – $K = 714,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. В дальнейшем, когда толщина накипи в трубе растет до 4 мм, величина коэффициента K резко снижается в 2,6 раза и составляет $266,5 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$.

В переходном режиме движения нефти в трубе ($Re = 6309$), с ростом толщины отложений в трубе до 4 мм, падения величины коэффициента K составляет в 3,2 раза, т.е. от 936,5 до 292,3 $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. В турбулентном режиме движения смеси ($Re = 12660$), с ростом толщины накипи в указанном пределе, значения коэффициента теплопередачи в трубе может снизиться в 4 раза, т.е. от 1274,9 до 318,7 $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$.

Таким образом, на основе проведенных исследований рекомендуется провести подогрев углеводородного сырья в теплообменниках турбулентного режима, что способствует снижению толщину накипи до 5,8 раза и в процессе повышается коэффициент теплопередачи в аппарате.

Литература:

1. Процессы и аппараты химической технологии / А.А. Захарова [и др.]; Под редакцией проф. А.А. Захаровой. – М. : Издательский центр «Академия», 2006. – С. 30–53.
2. Колесников В.А., Нечаев Ю.Г. Теплосиловое хозяйство сахарных заводов. – М. : Пищевая промышленность, 1980. – 392 с.
3. Мановян А.К. Технология первичной переработки нефти и природного газа : учебное пособие для вузов. 2-е изд. – М., 2001. – 569 с.
4. Исмаилов О.Ю., Худайбердиев А.А., Хурмаматов А.М. Исследование зависимости коэффициента теплопередачи от толщины накипи и режима движения нагреваемой нефтегазоконденсатной смеси в горизонтальной трубе // Научно-технический журнал «Нефтепереработка и нефтехимия». – 2017. – № 2. – С. 42–45.
5. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : учебное пособие для вузов / Под ред. П.Г. Романкова. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л. : Химия, 1987. – С. 529.

References:

1. Processes and apparatuses of chemical technology / A.A. Zakharov [et al.]; Under edition of Prof. A.A. Zakharova. – M. : Academia Publishing Centre, 2006. – P. 30–53.
2. Kolesnikov V.A., Nechaev Yu.G. Heat-power economy of the sugar plants. – M. : Food promissory note, 1980. – 392 p.
3. Manovian A.K. Technology of primary processing of oil and natural gas: text-book for higher educational institutions. 2nd ed. – M., 2001. – 569 p.
4. Ismailov O.Yu., Khudaiberdiev A.A., Hurmamatov A.M. Study of dependence of heat transfer coefficient on scale thickness and mode of movement of heated oil-gas-condensate mixture in horizontal pipe // Scientific and technical journal «Oil refining and petrochemistry». – 2017. – № 2. – P. 42–45.
5. Pavlov K.F., Romankov P.G., Noskov A.A. Examples and problems on a course of processes and apparatuses of chemical technology: a textbook for higher educational institutions / Under edition of P.G. Romankov. – 10th ed., transcript and additional. – L. : Chemistry, 1987. – P. 529.