УДК 665./.7: 66-9

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ДВИЖЕНИЯ ПОТОКА СЫРЬЯ К ВЕЛИЧИНЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООТДАЧИ В ТРУБЧАТОМ АППАРАТЕ

INFLUENCE OF THE MOVEMENT MODE OF THE RAW MATERIAL FLOW TO THE HEIGHT OF THE COEFFICIENT OF HEAT TREATMENT IN TUBULAR EQUIPMENT

Исмаилов Ойбек Юлибоевич
младший научный сотрудник,
младший научный сотрудник лаборатории
«Процессы и аппараты химической технологии»,
Институт общей неорганической химии
Академии наук Республики Узбекистан
ismoilovnmpi@mail.ru

Аннотация. Приведены результаты экспериментальных исследований по выявлению условия образования гидродинамических режимов движения нефтегазоконденсатных потоков в горизонтальной трубе и их влияния на эффективность теплообмена.

Ключевые слова: нефтегазоконденсатная смесь, плотность, вязкость, скорость потока, критерий Рейнольдса, ламинарный режим, турбулентный режим.

Ismailov Oybek Yuliboevich
Junior Researcher,
Junior Research fellow of
the laboratory Processes
and devices of chemical technology,
Institute of General Inorganic Chemistry of
the Academy of Sciences of the Republic of
Uzbekistan
ismoilovnmpi@mail.ru

Annotation. Results of experimental researches on revealing of a condition of formation of hydrodynamic modes of movement of oil and gas mixtures streams in a horizontal pipe and their influences on efficiency of heat exchange are resulted.

Keywords: oil and gas condensate mixture, density, viscosity, flow velocity, Reynolds criterion, laminar regime, turbulent regime.

Повышение эффективности теплопередачи и уменьшение массы и габаритных размеров в трубчатых аппаратах во многом зависит от рациональной организации в них гидродинамических режимов движения теплообмениваюшихся потоков. Горизонтальные трубы и трубчатые аппараты характеризуются тем, что в них можно организовать любые гидродинамические режимы движения потоков: ламинарный ($Re < 2300$), переходный ($2300 < Re < 10000$) и турбулентный ($Re > 10000$), отличающиеся различной интенсивностью гидромеханических, тепло- и массообменных процессов [1].

Для определения условия образования гидродинамических режимов движения нефтегазоконденсатных потоков в горизонтальной трубе и их влияния на эффективность теплообмена в трубчатом теплообменном аппарате собрана экспериментальная установка [2].

В экспериментах в качестве теплоносителя использованы пары газового конденсата. Опыты проводились при скорости углеводородного сырья во внутренней трубе 0,1061; 0,2123; 0,3184; 0,4246; 0,5307; 0,6369; 0,7431 и 0,8492 м/с. Процесс был организован в противоточных направлениях движения теплообменивающихся потоков. Пределы изменения скорости углеводородного сырья обеспечивает установления различных гидродинамических режимов его движения в опытном аппарате.

Используя результаты экспериментов, определены основные физико-химические и теплофизические свойства исследуемого сырья и теплоносителя, основные условия образования различных режимов движения нефтегазоконденсатных потоков в горизонтальной трубе, а затем вычислены значения коэффициентов теплоотдачи от теплоносителя к наружной стенке внутренней трубы и от внутренней стенки трубы α_1 к нагреваемому сырью α_2.

Критериальное уравнение для расчета коэффициента теплоотдачи α_1 выбрано с учетом значения числа Рейнольдса Re [3, 4]:

$$Re = \upsilon\,(D_{вн} - d_{нр})\,\rho\,/\,\mu, \qquad (1)$$

где $\upsilon = 4V/\pi\,(D^2_{вн} - d^2_{нр})$ – средняя скорость греющего теплоносителя (паров газового конденсата) в межтрубном пространстве аппарата, м/с; V – объемный расход теплоносителя, м^3/с; $D_{вн}$ – внутренний диаметр кожуха аппарата, м; $d_{нр}$ – наружный диаметр внутренней трубы, м; ρ и μ – соответственно, плотность (кг/м^3) и коэффициент динамической вязкости (Па·с) теплоносителя.

По значению Re установлен турбулентный режим движения паров газового конденсата в межтрубном пространстве опытного теплообменника, так как значения числа Рейнольдса лежит в пределах 147683 ÷ 162985. При этом значение коэффициента теплоотдачи α_1 находилось в пределах 3298 ÷ 3495 Вт/(м^2·К).

Значения коэффициента теплоотдачи от стенки внутренней трубы аппарата к нагреваемой среде α_2 определяются в зависимости от режима движения потока в горизонтальной трубе.

Величина критерия Рейнольдса, определяющего режимов движения углеводородного сырья в горизонтальной трубе аппарата, определялась по известной формуле: $Re_ж = \frac{\upsilon_н \cdot d_{вн}}{\nu_н}$. где $\upsilon_н$ – скорость исследуемой жидкости, м/с; $\nu_н$ – коэффициент кинематической вязкость жидкости, мм^2/с.

Для расчета критерия Нуссельта при ламинарном режиме движения жидкости в горизонтальной трубе применено следующее критериальное уравнение [3]:

$$Nu_ж = 0{,}17\, Re_ж^{0{,}33}\, Pr_ж^{0{,}43}\, Gr_ж^{0{,}1} \left(\frac{Pr_ж}{Pr_{cm}}\right)^{0{,}25} \cdot \varepsilon_t\,. \qquad (2)$$

Критериальное уравнение теплоотдачи для турбулентного режима движения нефти в двухтрубчатом аппарате имеет вид:

$$Nu_ж = 0{,}021\, Re_ж^{0{,}8}\, Pr_ж^{0{,}43} \left(\frac{Pr_ж}{Pr_{cm}}\right)^{0{,}25} \cdot \varepsilon_t\,, \qquad (3)$$

где $Nu_ж = d_{вн} \cdot \alpha_2 / \lambda$ – критерий Нуссельта, характеризующий подобие процессов теплопереноса на границе между стенкой и потоком исследуемой жидкости; $Pr_ж = C \cdot v \cdot \rho / \lambda$ – критерий Прандтля при средней температуре потока жидкости; $Gr_ж = g \cdot d^3 / \nu^2$ – критерий Грасгофа при средней температуре потока жидкости; $Pr_{cm} = C \cdot v \cdot \rho / \lambda$ – критерий Прандтля при средней температуре стенки трубы; $\varepsilon_t = f\,(L / d)$ – коэффициент, учитывающий влияние размеров теплообменной трубы к росту коэффициента теплоотдачи α_2.

Коэффициент теплоотдачи от стенки теплообменной трубы к жидкости α_2 вычислен из следующего выражения:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_ж \cdot \lambda}{d_{вн}}\,. \qquad (4)$$

Экспериментальные данные по выявлению условия образования ламинарного и турбулентного режимов течения нефтегазоконденсатных смесей и их влияния на эффективность теплообмена приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Влияние ламинарного режима при движении углеводородного сырья в горизонтальной трубе на коэффициент теплоотдачи α_2

Состав сырья	Температура среды, °С		Скорость потока υ, м/с	Плотность ρ, кг/м^3	Кинематическая вязкость, $v \cdot 10^6$ м^2/с	Число Рейнольдса *Re*	Коэффициент теплоотдачи α_2, Вт/м$^2 \cdot$К
	$t_н$	$t_к$					
Нефть	20	66	0,1061	841,96	4,4	615	420
	20	63	0,2123	842,69	4,52	1136	516
	20	61	0,3184	843,17	4,6	1826	587
	20	56	0,4246	844,37	4,81	2021	681
90 %Н + 10 %ГК	20	67	0,1061	831,87	2,97	732	431
	20	65	0,2123	832,37	2,92	1451	538
	20	62	0,3184	833,13	3,06	2081	613
80 %Н + 20 %ГК	20	68	0,1061	821,76	2,22	952	445
	20	65	0,2123	822,76	2,16	1957	553
70 %Н + 30 %ГК	20	67	0,1061	812,16	1,74	1219	455
60 %Н + 40 %ГК	20	68	0,1061	802,03	1,42	1488	465
50 %Н + 50 %ГК	20	69	0,1061	791,88	1,20	1768	474
40 %Н + 60 %ГК	20	70	0,1061	781,7	1,03	2059	481

Данные таблицы 1 свидетельствуют о том, что при нагревании нефти и смесей нефти с газовым конденсатом, в которых доля газового конденсата достигает 60 %, основными условиями образования ламинарного течения в круглой трубе являются скорость υ = 0,1061 ÷ 0,4246 м/с; плотность ρ = 781,7 ÷ 844 кг/м^3; кинематическая вязкость ν = (1,03 ÷ 4.81)$\cdot 10^{-6}$ м^2/с. При этих условиях число Рейнольдса и коэффициент теплоотдачи изменяются в пределах: *Re* = 615 ÷ 2059; α_2 = 420 ÷ 613 Вт/м$^2 \cdot$К. С изменением числа Рейнольдса от 615 до 2059 величина коэффициента теплоотдачи от стенки трубы к

нагреваемой среде α_2 повышается от 420 до 681 Вт/м^2·К, т.е. на 48 %. При этом температура среды повышалась от 20 до 70 °С. Следует отметить, что во всех экспериментах обеспечивалось постоянство основных режимных показателей (давление, температура и скорость) теплоносителя – паров газового конденсата в межтрубном пространстве двухтрубчатого аппарата.

Таблица 2 – Влияние турбулентного режима при движении углеводородного сырья в горизонтальной трубе на коэффициент теплоотдачи α_2

Состав сырья	Температура среды, °С		Скорость потока υ, м/с	Плотность ρ, кг/м^3	Кинематическая вязкость, $\nu \cdot 10^6$ м^2/с	Число Рейнольдса *Re*	Коэффициент теплоотдачи α_2, Вт/м^2·К
	$t_н$	$t_н$					
40 %Н + 60 %ГК	20	48	0,6369	788,28	1,25	10144	2124
	20	41	0,7431	790,36	1,33	11114	2352
	20	30	0,8492	793,63	1,47	11509	2553
30 %Н + 70 %ГК	20	59	0,5307	775,22	1,00	10606	1971
	20	49	0,6369	778,30	1,09	11635	2234
	20	43	0,7431	780,14	1,15	12863	2476
	20	32	0,8492	783,25	1,27	13319	2689
20 %Н + 80 %ГК	20	67	0,4246	762,90	0,83	10240	1757
	20	61	0,5307	764,80	0,87	12129	2066
	20	51	0,6369	767,98	0,95	13306	2343
	20	45	0,7431	769,89	1,01	14710	2596
	20	34	0,8492	773,37	1,11	15231	2821
10 %Н + 90 %ГК	20	69	0,4246	752,39	0,73	11597	1832
	20	63	0,5307	754,35	0,77	13736	2154
	20	53	0,6369	757,63	0,84	15069	2448
	20	47	0,7431	759,59	0,89	16659	2707
	20	36	0,8492	763,18	0,98	17250	2941
Газовый конденсат	20	72	0,4246	741,5	0,64	12894	1958
	20	66	0,5307	743,5	0,70	14589	2258
	20	58	0,6369	746,2	0,73	16492	2654
	20	50	0,7431	748,9	0,78	17294	2816
	20	39	0,8492	752,6	0,86	18657	3087

Из таблицы 2 видно, что при нагревании газового конденсата и нефтегазоконденсатных смесей, содержащих газового конденсата в пределах 60 ÷ 90 %, в трубчатом аппарате, турбулентный режим течения жидкости образовался при следующих условиях: скорость потока υ = 0,4246 ÷ 0,8492 м/с; плотность ρ = 741,5 ÷ 793,6 кг/м^3, кинематическая вязкость ν = (0,64 ÷ 1,47)·10^{-6} м^2/с. Следует отметить, что при использовании нефти и смеси нефти с газовым конденсатом, когда доля газового конденсата в смеси изменялась в пределах 10 ÷ 50 %, турбулентный режим не образовался. При равных условиях проведения опытов, при переходе от ламинарного режима движения нефтегазоконденсатного сырья в горизонтальной трубе к турбулентному, эффективность теплообмена, т.е. повышение значения коэффициента теплоотдачи α_2 составляло от 481 Вт/м^2·К (при *Re* = 2059) до 2124 Вт/м^2·К (*Re* = 10144), 2352 Вт/м^2·К (*Re* = 11114) и 2553 Вт/м^2·К (*Re* = 11509), т.е. величина коэффициента α_2 повышалось в 14,6 раза.

Таким образом, определены основные условия образования ламинарного и турбулентного течения нефтегазоконденсатной смеси в горизонтальной трубе, показана степень влияния физико-химических свойств сырья и скорости потока на величину критерия Рейнольдса.

При переходе от ламинарного режима движения нефтегазоконденсатного сырья в горизонтальной трубе к турбулентному, эффективность теплообмена достигает высокого значения. В связи с этим необходимо технологические процессы в трубчатых аппаратах осуществлять при турбулентном режиме.

Литература:

1. Захарова А.А., Бахшиева Л.Т., Кондауров Б.П. и др. Процессы и аппараты химической технологии / Под ред. проф. А.А. Захаровой. – М. : Издательский центр «Академия», 2006. – С. 30–53.

2. Салимов З.С., Исмаилов О.Ю., Раджибаев Д.П. Влияние режимов движения нефти и газового конденсата на коэффициент теплоотдачи в двухтрубчатом аппарате // Узбекский журнал нефти и газа. – 2014. – № 1. – С. 39–42.

3. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии : учебник для вузов. – 8-е изд., перераб. – М. : Химия, 1971. – С. 42, 297–301.

4. 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. 149–169, 531.

References:

1. Zakharova A.A., Bakhshiyeva L.T., Kondaurov B.P., et al. Processes and apparatuses of chemical technology / Edited by prof. A.A. Zakharova. – M. : Publishing Center «Academy», 2006. – P. 30–53.

2. Salimov Z.S., Ismailov O.Yu., Rajibaev D.P. Influence of oil and gas condensate flow regimes on the heat transfer coefficient in a two-tube apparatus // Uzbek Journal of Oil and Gas. – 2014. – № 1. – P. 39–42.

3. Kasatkin A.G. Main processes and apparatus of chemical technology: Textbook for high schools. – 8 th ed., Pererab. – M. : Chemistry, 1971. – P. 42, 297–301.

4. Pavlov K.F., Romankov P.G., Noskov A.A. Examples and tasks on the course of processes and devices of chemical technology : Textbook for high schools / Ed. P.G. Romankova. – 10 th ed., add. – L. : Chemistry, 1987. – P. 149–169, 531.