

УДК 66.048.36:661.731

М.И. ВЕДЕРНИКОВА, Г.К. УТКИН, В.Б. ВЕДЕРНИКОВ, М.И. МИХЕЕВ

Уральская государственная лесотехническая академия
Ашинский пиролизно-химический завод

РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ДЕФЛЕГМАТОРАХ УКСУСНОКИСЛОТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Исследована в промышленных условиях зависимость коэффициента теплопередачи дефлегматоров от их режимов работы и продолжительности эксплуатации и получено ее математическое описание.

The relationship of heat transfer factor of fractionating columns and their operation and durability conditions has been tested in industry.

В процессе эксплуатации ректификационных колонн уксуснокислотного производства происходит загрязнение теплопередающей поверхности, что снижает производительность колонн вследствие уменьшения коэффициента теплопередачи как испарителей [1], так и дефлегматоров.

Цель данной работы – изучить влияние загрязнения теплопередающих труб дефлегматоров на коэффициент теплопередачи, производительность и расход охлаждающей воды.

Исследования проводили на Ашинском заводе, производственные условия которого типичны для других предприятий пирогенетической переработки древесины.

В процессе экспериментов измеряли расход охлаждающей воды; температуру пара, конденсата и воды на входе и выходе из дефлегматора. Коэффициент теплопередачи рассчитывали по уравнению

$$K = Q / F \Delta t_{\text{ср}}, \quad (1)$$

тепловую нагрузку Q – из теплового баланса по воде, среднюю разность температур $\Delta t_{\text{ср}}$ – по измеренным температурам. Относительная ошибка расчета среднего значения, связанная с точностью измерения, составляла не более 7,5 %.

Процентный состав дистиллята, образующегося после конденсации смеси паров, представлен в табл. 1.

Таблица 1

Номер дефлегматора	Стадия процесса, поверхность теплообмена F	Кислоты	Вода	Смолы	Масла	Эфир
		мас. %				
Эфирокислотный аппарат*						
1	Регенерация этилацетата из эфирокислоты, $F = 17,2 \text{ м}^2$	-	5,5	-	4,5	90,0
Чернокислотный аппарат**						
2	Отгонка кислот, $F = 31,5 \text{ м}^2$	48,8	50,9	0,3	-	-
3	Укрепление обессмоленной кислоты, $F = 40 \text{ м}^2$	12,0	18,0	-	45,0	25,0
4	Получение технической уксусной кислоты, $F = 50 \text{ м}^2$	95,5	0,5	4,0	-	-

* Производительность по эфирокислоте 4,2 ... 4,8 т/ч.

** Производительность по черной кислоте 0,50 ... 0,65 т/ч.

Основные показатели работы дефлегматоров приведены в табл. 2.

Как следовало ожидать, с увеличением продолжительности эксплуатации дефлегматоров коэффициент теплопередачи снижается. Для поддержания средней производительности ректификационных колонн увеличивают расход охлаждающей воды на дефлегматор. При этом конечная температура t_k воды уменьшается, а средний температурный напор увеличивается. Так, например, для дефлегматора № 4 через 165 сут работы K снизился с 73 до 45 Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{К}$), т. е. в 1,6 раза, t_k — с 47 до 26 °С, т. е. в 1,8 раза, а расход охлаждающей воды вырос с 3,8 до 10,2 м³/ч, т. е. в 2,7 раза.

Решение вопроса о путях интенсификации процесса теплопередачи дефлегматоров может быть получено на основе анализа условий теплоотдачи. Интенсивность процесса теплопередачи q , как следует из уравнения (1), записанного в виде

$$q = Q/F = K \Delta t_{\text{ср}} = t_{\text{ср}}/R, \quad (2)$$

пропорциональна движущей силе и обратно пропорциональна сопротивлению теплопередачи:

$$R = 1/K = 1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2 + \Sigma r_i. \quad (3)$$

Здесь $1/\alpha_1$, $1/\alpha_2$, δ/λ , Σr_i — соответственно термические сопротивления, создаваемые смесью паров при конденсации, охлаждающей водой, металлической стенкой и загрязнениями как со стороны пара, так и со стороны воды, ($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)/Вт.

Таблица 2

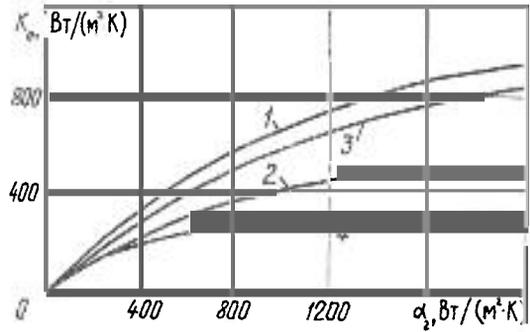
Номер дефлегматора	Температура, °С		Средняя разность температур Δt_{cp} , К	Фактический коэффициент теплопередачи K Вт/(м ² ·К)	Продолжительность работы дефлегматора τ , сут	Интенсивность теплопередачи q , кВт/м ²	Расход охлаждающей воды, м ³ /ч
	пара дистиллята	воды на входе на выходе					
Эфироокислотный аппарат							
1	72,0	23,5	28,2	720 ± 60	60	20,3	15,0
	49,3	43,5					
	74,0	23,0					
	53,0	38,0	34,5	570 ± 42	100	19,7	19,4
	77,0	23,0	36,5	520 ± 45	150	19,0	21,6
	51,0	36,0					
Черноокислотный аппарат							
2	101	23	17,0	290 ± 28	5	4,9	2,7
	36	72					
	111	14					
	23	56	21,0	230 ± 34	50	4,8	3,1
	98	15	27,5	150 ± 33	215	4,1	8,5
	22	28					
3	106	23	31,8	448 ± 25	5	14,2	14,4
	42	57					
	97	23					
	45	52	33,5	385 ± 45	30	12,9	15,3
	97	19	36,1	275 ± 26	50	9,9	16,2
	40	40					
4	118	14	39,5	73 ± 10	50	2,9	3,8
	33	47					
	118	23					
	38	34	40,0	51 ± 7	105	2,0	7,8
	118	18	42,0	45 ± 5	165	1,9	10,2
	33	36					

* Коэффициенты теплопередачи новых дефлегматоров K_0 соответственно составляют 790, 500, 300 и 100 Вт/(м²·К).

Коэффициенты теплоотдачи при конденсации смеси паров определены экспериментально по методике [2]. Коэффициенты теплоотдачи для воды, протекающей по трубам, установлены расчетным путем на основании уже известных закономерностей.

У новых дефлегматоров загрязнений нет, поэтому термическим сопротивлением стенки пренебрегаем из-за малого значения. В этом случае коэффициент теплопередачи нового дефлегматора K_0 будет всегда меньше самого малого из коэффициентов теплоотдачи.

Рис.1. Зависимость коэффициента K_0 ($K_0 = 1/(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2})$) от коэффициента α_2 при различных значениях α_1 : 1 - $\alpha_1 = 2000$; 2 - 700; 3 - 1500; 4 - 400 Вт/(м²·К) (Здесь и далее, на рис. 2, 3, номера кривых совпадают с номерами дефлегматоров)



Из рис. 1 следует, что при увеличении α_1 (коэффициент теплоотдачи смеси паров) относительно быстрый рост K_0 происходит до тех пор, пока α_1 и α_2 (коэффициент теплоотдачи воды) не сравняются между собой. Интенсифицировать теплообмен в новых дефлегматорах можно было бы увеличением коэффициента теплоотдачи воды, так как $\alpha_1 > \alpha_2$ из-за ламинарного режима движения воды в трубах (табл. 3).

Таблица 3

Номер дефлегматора	Продолжительность работы, сут	Термическое сопротивление $r \cdot 10^3, (m^2 \cdot K)/Вт$				
		дефлегматора		смеси паров $1/\alpha_1$	воды $1/\alpha_2$	загрязнений Σr_i
		нового $1/K_0$	опытного $1/K$			
Эфирокислотный аппарат						
1	150	1,20	1,92	0,50	0,70	0,72
Чернокислотный аппарат						
2	215	3,30	8,69	1,43	1,87	5,39
3	50	2,00	3,64	0,67	1,33	1,64
4	165	10,00	22,30	2,50	7,50	12,20

С учетом термического сопротивления загрязнений (табл. 3) коэффициент теплопередачи изменится:

$$1/K = 1/ K_0 + \Sigma r_i \tag{4}$$

Откуда термическое сопротивление загрязнений

$$\Sigma r_i = 1/K - 1/ K_0 \tag{5}$$

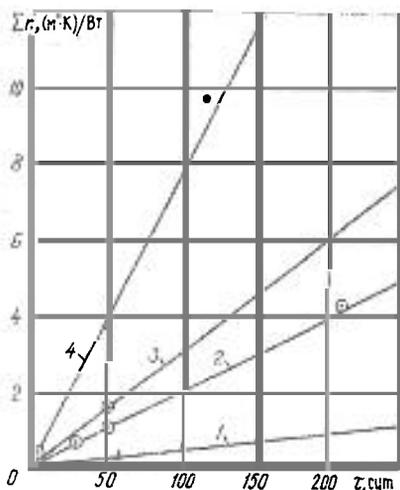


Рис.2. Зависимость термического сопротивления загрязнений Σr_i от продолжительности эксплуатации дефлегматоров τ при различных значениях скорости охлаждающей воды в трубах w : 1 – $w = 0,200 \dots 0,300$; 2 – $0,010 \dots 0,015$; 3 – $0,030$; 4 – $0,010$ м/с (точки – эксперимент, прямые – линии регрессии)

Как видно из табл. 3, наибольшее термическое сопротивление на теплопередачу дефлегматоров оказывает загрязнение стенок со стороны смеси паров (наличие смолистых веществ) охлаждающей воды, используемой без предварительной очистки. Отложению ила в трубах способствуют низкие скорости движения воды.

Из рис. 2, отражающего зависимость Σr_i от продолжительности работы дефлегматоров, и табл. 1 следует, что быстрее загрязняются те дефлегматоры, в межтрубное пространство которых поступают смеси паров, содержащие значительное количество смолистых веществ, а скорость движения охлаждающей воды в трубах относительно низкая.

Интенсифицировать теплопередачу можно за счет уменьшения наибольшего термического сопротивления. Для этого необходимо очищать воду от ила в отстойниках, а также использовать дефлегматоры с меньшим диаметром труб, например 25×2 мм, и 2-х и более ходовые по трубному пространству, что увеличит скорость движения воды и уменьшит отложение осадка в трубах.

Допускаем, что толщина осадка, образующегося на поверхности труб с обеих сторон вследствие загрязнения, пропорциональна количеству теплоты, проходящей через поверхность теплообмена, поэтому уравнение зависимости коэффициента теплопередачи K от продолжительности работы дефлегматора τ по аналогии [1] будет иметь вид

$$1/K^2 = b + C\tau, \quad (6)$$

где $b = 1/K_0^2$;

$$C = 2a\Delta t_{cp} F.$$

Коэффициент пропорциональности a для данной системы зависит от состава дистиллята. Экспериментальные данные обрабатывали методом регрессионного анализа и аппроксимировали уравнением (6).

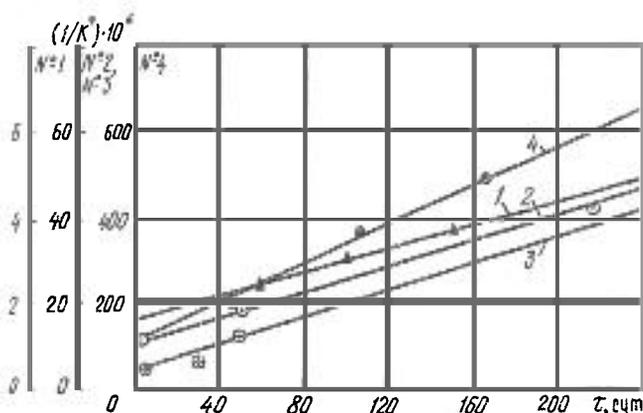


Рис. 3. Зависимость $1/K^2$ от продолжительности эксплуатации дефлегматоров τ (точки – эксперимент; прямые – расчет по формуле (6))

В результате расчетов установлено, что при 5 % -м уровне значимости зависимость $1 / K^2 = b + C\tau$ для дефлегматоров существует и она линейна (табл. 4). Результаты расчетов по полученным уравнениям и опытные данные представлены на рис. 3. Как видно из рис. 3, расчетная зависимость $K = f(\tau)$ удовлетворительно согласуется с опытными точками. Полученные уравнения позволяют рассчитать значения коэффициентов теплопередачи для произвольных промежутков времени работы дефлегматоров.

В целях увеличения срока работы дефлегматоров без чистки на чернокислотном аппарате установлены новые дефлегматоры с поверхностью 75 м^2 , на эфирокислотном – 29 м^2 . В уравнении (6) коэффициенты a и b постоянны, а коэффициент C изменяется пропорционально изменению поверхности. Расчетная зависимость $K = f(\tau)$ для новых дефлегматоров приведена в табл. 4.

Таблица 4

Номер дефлегматора	Опытный дефлегматор	Новый дефлегматор
Эфирокислотный аппарат		
1	$1/K^2 = (1,6+0,014\tau)10^{-6}$ (7)	$1/K^2 = (1,6+0,024\tau)10^{-6}$ (11)
Чернокислотный аппарат		
2	$1/K^2 = (11,0+0,14\tau)10^{-6}$ (8)	$1/K^2 = (11,0+0,36\tau)10^{-6}$ (12)
3	$1/K^2 = (4,0+0,17\tau)10^{-6}$ (9)	$1/K^2 = (4,0+0,32\tau)10^{-6}$ (13)
4	$1/K^2 = (1,6+0,014\tau)10^{-6}$ (10)	$1/K^2 = (1,6+0,24\tau)10^{-6}$ (14)

Примечание. Размерность τ – сут.

10*

Как следует из табл. 2, диапазон изменения температурного напора относительно невелик, поэтому можно считать, что K не зависит от $\Delta t_{\text{ср}}$. Тогда из уравнения (1) для значения Δt_{max} найдем

$$K = Q / F \Delta t_{\text{max}}, \quad (15)$$

где Q – средняя производительность по теплоте.

Продолжительность работы дефлегматора при сохранении заданной Q получим при совместном решении уравнений (6) и (15):

$$\tau_{\text{max}} = \frac{1}{C} \frac{F^2 \Delta t_{\text{max}}^2}{Q^2} - b. \quad (16)$$

Результаты расчетов для вновь установленных (новых) дефлегматоров без чистки по уравнениям (11–14, 16) приведены в табл. 5.

Таблица 5

Показатели	Значения показателей для аппаратов		
	1	2	3
Средняя производительность по теплоте Q , кВт	515	830	240
Средняя максимальная разность температур Δt_{max} , К	28	36	42
Продолжительность работы без чистки труб при сохранении средней производительности по теплоте τ_{max} , сут	38	22	22
Среднее значение коэффициента K теплопередачи при τ_{max} , Вт/(м ² ·К)	635	300	75

Продолжительность работы дефлегматоров между чистками зависит от допустимой степени загрязнения и скорости загрязнения поверхности труб. В производственных условиях дефлегматоры (их трубное пространство) промывают ежеквартально. Как видно из табл. 5, дефлегматоры необходимо чистить ежемесячно для поддержания средней производительности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Ведерникова М.И., Уткин Г.К., Лебедев Е.А. Оптимизация режима работы испарителей уксуснокислотного производства // Гидролиз. и лесохим. пром-сть. - 1982. - № 5. - С. 17-19. [2]. Осипова В.А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена. - М.; Л.: Энергия, 1964. - 328. с.