

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ПИЩЕВАЯ
ТЕХНОЛОГИЯ

ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК

ОПТИМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ РАБОТЫ ДЕФЛЕГМАТОРОВ

И. Ф. МАЛЕЖИК

Киевский технологический институт пищевой промышленности

Оптимизация работы дефлегматоров производилась нами на основании опытных данных, полученных при исследовании в промышленных условиях наиболее распространенного типа дефлегматоров — горизонтального двухбарабанного с наиболее рациональным направлением движения спирто-водного пара и воды — противоточным. Схема дефлегматора показана на рис. 1.

За основу расчета приняты результаты исследований дефлегматоров элюрационной и ректификационной колонн брагоректификационной установки Барского спирткомбината и дефлегматора элюрационной колонны Андрушевского спирткомбината.

Поверхность одного барабана исследованных на Барском спирткомбинате дефлегматоров 55 м^2 , вес $2,06 \text{ т}$; на Андрушевском спирткомбинате — поверхность 35 м^2 , вес $1,3 \text{ т}$. Оптимизация заключалась в нахождении оптимальной скорости движения воды в трубках дефлегматора w_{opt} и оптимальной температуры воды на выходе из дефлегматора t_{2opt} .

Оптимальная скорость движения воды соответствует минимуму функции

$$P = \frac{Z_k}{L} + \mathcal{E}, \tag{1}$$

где P — суммарные расходы на изготовление и эксплуатацию дефлегматора, отнесенные к одному году работы, руб/год;

Z_k — капитальные затраты на изготовление дефлегматора, руб.;

L — нормативный срок окупаемости дефлегматора, год;

\mathcal{E} — годовые эксплуатационные расходы, руб/год.

При неизменном расходе воды и температуре воды на выходе из дефлегматора, но при увеличении числа ходов в дефлегматоре будут повышаться скорость движения воды w , коэффициент теплопередачи, а следовательно, уменьшаются потребная поверхность теплообмена и капитальные затраты на изготовление аппарата, отнесенные к одному году работы (амортизационные расходы). Однако вследствие роста гидравлического сопротивления будет возрастать стоимость подачи воды, а следовательно, и годовые производственные расходы. Таким образом, задача сводилась к определению w_{opt} , при котором суммарные расходы на изготовление и эксплуатацию дефлегматора становятся минимальными.

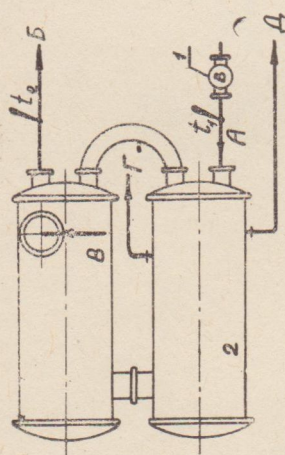


Рис. 1. 1—водомер; 2—дефлегматор; вход: А — воды; В — спирто-водного пара; выход: Б — воды; Г — спирто-водного пара; Д — флегмы

Задачу решали графическим методом. При этом w_{opt} определяли при различных расходах воды применительно к исследованным дефлегматорам.

Капитальные затраты на изготовление дефлегматора вычисляли следующим образом.

В зависимости от заданной величины ω с помощью общепринятых критериальных уравнений определяли теоретический коэффициент теплопередачи K_m . Затем, пользуясь полученными экспериментально коэффициентами использования поверхности теплообмена дефлегматоров φ , находили расчетный коэффициент теплопередачи по формуле:

$$K_p = K_m \varphi, \quad (2)$$

и после этого — необходимую поверхность теплообмена из уравнения:

$$F = \frac{Q}{K_p \Delta t_{cp}} \text{ м}^2, \quad (3)$$

где Δt_{cp} — средняя разность температур между спирто-водным паром и водой, град;

$$Q — \text{тепловая нагрузка дефлегматора, вт, } Q = Gc(t_2 - t_1), \quad (4)$$

G — расход воды, м³/час;

t_1, t_2 — температура воды на входе в дефлегматор и выходе из него, °С.

Капитальные затраты на изготовление дефлегматора определяли по формуле:

$$Z_k = C_F F, \quad (5)$$

где C_F — стоимость 1 м² поверхности дефлегматора, руб.

Коэффициент C_F находим на основе прейскуранта оптовых цен на химическое оборудование [1]. На основе анализа оказалось, что для всех дефлегматоров можно принять $C_F = 84 \text{ руб/м}^2$.

Так как в настоящее время в спиртовой промышленности нормативный срок окупаемости дефлегматоров — величина неустановленная, то при расчете мы исходили из нормативного срока эксплуатации дефлегматоров $L = 10$ лет.

Теоретическое значение гидравлического сопротивления дефлегма-

торов определяли по формуле:

$$H_m = \left(\lambda \frac{lz}{d} + \Sigma \zeta \right) \frac{\omega^2 \rho}{2} \text{ н/м}^2, \quad (6)$$

где λ — коэффициент трения, принято $\lambda = 0,04$ [2];

l — длина труб одного хода, м; z — число ходов;

d — внутренний диаметр труб, м;

$\Sigma \zeta$ — сумма коэффициентов местных сопротивлений;

ρ — плотность воды, кг/м³.

Значение ζ принимали по таблице [2].

Однако, как показали опыты, действительное гидравлическое сопротивление значительно выше H_m [3]. Это объясняется увеличением шероховатости стенок труб и уменьшением их диаметра вследствие образования отложений. Поэтому расчетное гидравлическое сопротивление определяли по формуле:

$$H_p = H_m \psi, \quad (7)$$

где ψ — поправочный коэффициент, принято $\psi = 2,15$ [3].

Мощность, затрачиваемую на преодоление гидравлических сопротивлений при прохождении воды через дефлегматоры, находили из

уравнения:

$$N = \frac{G H_p}{3600 \cdot 1000 \eta} \text{ квт}, \quad (8)$$

где η — коэффициент полезного действия насосной установки, принято $\eta = 0,6$.

С запасом на возможные перегрузки двигатель к насосу устанавливается несколько большей мощности $N_{уст}$, чем потребляемая N :

$$N_{уст} = \beta N. \quad (9)$$

Коэффициент запаса мощности β принимался в зависимости от N [4]. При числе дней работы дефлегматора в году, равном 300, годовые эксплуатационные расходы составят:

$$\mathcal{E} = (C_s N + C_v G) \cdot 24 \cdot 300 \text{ руб/год}, \quad (10)$$

где C_s — стоимость 1 квт-ч электроэнергии, руб.;

C_v — стоимость 1 м³ воды, руб.

По данным Барского и Андрушевского спирткомбинатов $C_s = 0,008 \text{ руб/квт-ч}$ и $C_v = 0,008 \text{ руб/м}^3$.

Для каждого заданного G на основании проведенных расчетов построены диаграммы зависимости отдельных статей расходов от ω . Величина ω_{opt} определялась по минимуму кривой, соответствующей суммарным расходам. Одна из таких диаграмм, построенная для дефлегматора ректификационной колонны Барского комбината при $G = 31,2 \text{ м}^3/\text{час}$, приведена на рис. 2.

Значения ω_{opt} , полученные в результате построения диаграммы при постоянном Q , но при разных G , приведены в таблице.

Как видно из таблицы, ω_{opt} не зависит от G и t_2 и при заданных $C_s = 0,008$ и $L = 10$ составляет 0,7 м/сек.

Величину t_{2opt} определяли графически.

При этом расчеты производили исходя из ω_{opt} . Чем больше расход охлаждающей воды, тем выше ее стоимость, но тем ниже будет t_2 , а следовательно, тем больше $\Delta t_{ср}$ и тем меньше поверхность охлаждения дефлегматора.

Таким образом, с увеличением расхода охлаждающей воды будут возрастать эксплуатационные и уменьшаться амортизационные расходы. Задача заключалась в нахождении t_{2opt} , при котором суммарные расходы будут минимальными.

Построение диаграммы для определения t_{2opt} применительно к дефлегматору эпорационной колонны Барского спирткомбината приведено на рис. 3. Как видно, $t_{2opt} = 73^\circ\text{C}$. Аналогично найдено, что t_{2opt} дефлегматора ректификационной колонны Барского спирткомбината 70°C , а эпорационной колонны Андрушевского спирткомбината 72°C .

В расчетах мы исходили из нормативного числа лет эксплу-

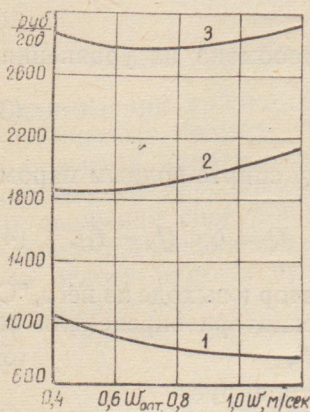


Рис. 2. Расходы: 1 — амортизационные; 2 — эксплуатационные; 3 — суммарные.

Таблица

$G, \text{ м}^3/\text{час}$	$t, ^\circ\text{C}$		$\omega_{opt}, \text{ м/сек}$
	t_1	t_2	
Дефлегматоры Барского спирткомбината:			
эпорационной колонны			
25	27	77	0,7
26	27	75	0,7
27,2	27	73	0,7
28,4	27	71	0,7
29,75	27	69	0,7
ректификационной колонны			
28,9	21	74	0,7
30	21	72	0,7
31,2	21	70	0,7
32,5	21	68	0,7
34	21	66	0,7
Дефлегматор эпорационной колонны Андрушевского спирткомбината			
20	22	77	0,7
21,1	22	74	0,7
22	22	72	0,7
24,4	22	67	0,7
27,5	22	62	0,7

атации дефлегматоров ($L=10$ лет). Однако срок окупаемости дефлегматоров может быть значительно меньше срока эксплуатации. Поэтому для выяснения влияния L на w_{opt} и t_{2opt} были проведены расчеты для дефлегматора эпорационной колонны Андрушевского спирткомбината как при $L=10$, так и при $L=5$. При этом оказалось, что при уменьшении L от 10 до 5 величина w_{opt} увеличивалась от 0,7 до 0,85 м/сек, а t_{2opt} понижалась от 72 до 69°C.

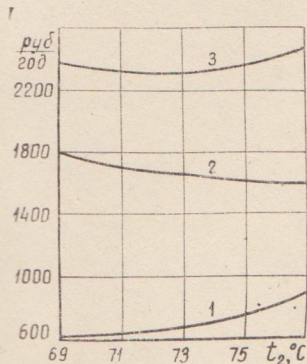


Рис. 3. Обозначения по рис. 2.

В связи с тем, что стоимость электроэнергии и воды на разных заводах может значительно отличаться, было изучено влияние стоимости электроэнергии на значение w_{opt} и стоимости воды на t_{2opt} . При этом $C_э$ изменялось от 0,008 до 0,03 руб/квт-ч, а коэффициент $C_в$ — от 0,008 до 0,03 руб/м³.

На основании расчетов получены следующие зависимости:

$$w_{opt} = 0,79 - 11,4 C_э; \quad (11)$$

$$t_{2opt} = 70,5 + 182 C_в. \quad (12)$$

Анализ работы дефлегматоров показывает, что t_{2opt} во всех случаях остается достаточно высокой. Если же учесть, что с возрастанием температуры дефлегматорной воды увеличится возможность ее использования для различных производственных и хозяйственных нужд, то с точки зрения рационализации теплового хозяйства завода в целом t_2 целесообразно еще более повышать.

ВЫВОДЫ

1. Оптимальная скорость движения воды в трубах дефлегматора уменьшается с увеличением стоимости электроэнергии и числа лет окупаемости дефлегматоров.
2. При стоимости 1 квт-ч электроэнергии 0,008 руб. и 10 лет работы дефлегматора оптимальная скорость воды в последнем 0,7 м/сек.
3. Оптимальная температура воды на выходе из дефлегматора увеличивается с повышением стоимости воды и числа лет окупаемости дефлегматоров и для большинства встречающихся на практике случаев составляет более 70°C.

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственный комитет цен при Госплане СССР. Прейскурант № 23—03. Оптовые цены на оборудование химическое, ч. 2. Нефтехимическая аппаратура. ПрейскурантГИЗ, М., 1967.
2. Домашнев А. Д. Конструирование и расчет химических аппаратов. Машгиз, М., 1961.
3. Малевич И. Ф. Реферативная информация о законченных научно-исследовательских работах в вузах УССР, Пищевая промышленность, вып. 4, 11, 1970.
4. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Изд. «Химия», М.—Л., 1964.