

ФЕРМЕНТНАЯ И СПИРТОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

... — диаметр бочек в трубах в м/сек.
Формула (3) использована применительно к
двухконтурным брагорегуляционным аппаратам,
работавшим на бродило, полученной из зер-
нокартфельного сырья.
Для определения коэффициента теплооб-
ращения в подогретом питательном бродило
были проведены опыты на брагорегуля-
ционном аппарате Басского спиртового
завода.
Опыты проводились в начале, середине и
конце производственного сезона.
Схема испарителя бродильного подгрева-
теля и дилеммы теплообменников сред
показаны на рисунке. Поверхность нагрева
каждого барабана подогретателя 22,5 м²,
расположение труб в решетках по диаметру

Подогретый питательный бродило.
А — вода, поступающая снизу; Б — вода, поступающая
сверху; В — вода, поступающая сверху; Г — вода, поступающая
сверху.

Результаты работы, проведенной на испарителе
молочнокислого брожения, использованного для нагрева
питательного бродила, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Входная температура бродила в м/сек	Выходная температура бродила в м/сек	Количество бродила в м/сек	Скорость бродила в м/сек	Температура бродила				Температура воды			
				t _{вх}	t _{ср}	t _{вых}	t _{ср}	t _{вх}	t _{ср}	t _{вых}	t _{ср}
15,5	20	15,5	1,65	22,5	72,5	82,5	78	82,5	81	82,5	81
15,5	20	15,5	1,65	22,5	72,5	82,5	78	82,5	81	82,5	81
15,5	20	15,5	1,65	22,5	72,5	82,5	78	82,5	81	82,5	81
15,5	20	15,5	1,65	22,5	72,5	82,5	78	82,5	81	82,5	81

ИЗДАТЕЛЬСТВО

«ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ»

1964

3

Коэффициенты теплопередачи подогревателей для паточной бражки

П. С. ЦЫГАНКОВ, И. Ф. МАЛЕЖИК

КТИП

В существующих брагоректификационных аппаратах косвенного действия подогрев бражки осуществляется за счет конденсации спирто-водных паров, выходящих из бражной колонны.

Для расчета коэффициента теплопередачи бражных подогревателей с горизонтальными трубами пользуются эмпирической формулой [1]:

$$k = b \sqrt[3]{w^2} \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}), \quad (1)$$

где: b — эмпирический коэффициент (для стальных труб, равный 610, для медных — 700);

w — скорость бражки в трубах в м/сек.

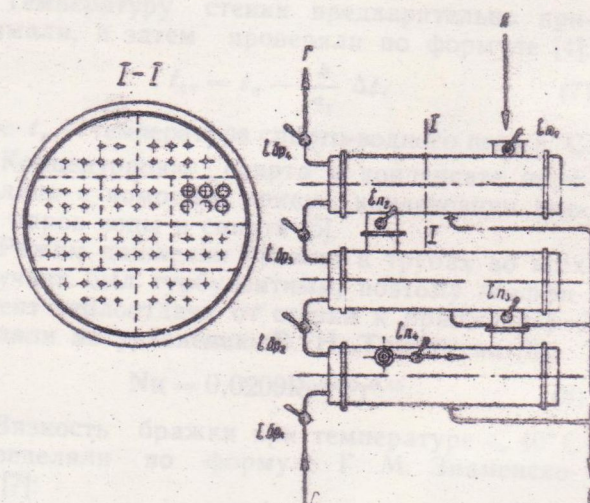
Формула (1) составлена применительно к дефлегматорам брагоперегонных аппаратов, работающих на бражке, полученной из зерно-картофельного сырья.

Для определения коэффициента теплопередачи в подогревателях паточной бражки были произведены опыты на брагоректификационном аппарате Барского спиртового завода.

Опыты проводились в начале, середине и конце производственного сезона.

Схема исследуемого бражного подогревателя и движение теплообменивающихся сред показаны на рисунке. Поверхность нагрева каждого барабана подогревателя 32,5 м², расположение труб в решетках по квадрату.

Число ходов 10, из которых 6 имеют по 6 трубок и 4 хода — по 7 трубок. Диаметр трубок 46/50 мм, шаг между трубками 75 мм. Материал — медь



Подогреватель паточной бражки:

А — вход спирто-водных паров; Б — выход бражного конденсата; В — вход бражки; Г — выход бражки.

Результаты величин, полученных на основании исследования, необходимых для расчета коэффициента теплопередачи, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Крепость бражки в % об	Производительность аппарата в дал/ч	Количество бражки в м ³ /ч	Скорость бражки в м/сек	Температура бражки				Температура пара			
				$t_{бр_1}$	$t_{бр_2}$	$t_{бр_3}$	$t_{бр_4}$	$t_{п_1}$	$t_{п_2}$	$t_{п_3}$	$t_{п_4}$
5,2	300	55,5	1,45	33,5	72,5	83,5	94	96,5	90	86	82
4,5	300	64,2	1,68	34	42	71	81	91	90	86	82
4,5	300	64,2	1,68	34	58	79	87	91	90	86	82
6,5	350	51,8	1,35	32	76	89,5	94	95	95	94	90
6,5	350	51,8	1,35	32	74	88,5	91	95	92	92	87
6,5	350	51,8	1,35	32	68	85,5	92	93	91,5	90	86
6,5	350	51,8	1,35	30	68	86	93	95	92	91	87
6,8	340	48,1	1,26	32	39	68,5	85	94	91	85	76
6,8	340	48,1	1,26	31	39	69	85	94	91	83,5	67

Коэффициент теплопередачи определяли по формуле:

$$k = \frac{Q}{F \Delta t} \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}), \quad (2)$$

где: Q — расход тепла на нагревание бражки в ккал/ч;

F — поверхность нагрева барабана в м^2 ;

Δt — среднелогарифмическая разность температур между спирто-водным паром и нагреваемой бражкой в $^\circ\text{C}$.

Расход тепла Q определяли из уравнения:

$$Q = Gc(t_{\text{бр. вых}} - t_{\text{бр. вх}}) \text{ ккал}/\text{ч}, \quad (3)$$

где: G — расход бражки в кг/ч;

c — теплоемкость бражки

в ккал/(кг·град);

$t_{\text{бр. вых}}$ — температура бражки на выходе из барабана в $^\circ\text{C}$;

$t_{\text{бр. вх}}$ — температура бражки на входе в барабан в $^\circ\text{C}$.

Расход бражки G определяли из уравнения баланса спирта по известной крепости бражки, производительности брагоректификационного аппарата по спирту-ректикату и его крепости, которая во всех опытах составляла 96,2% об.

Теплоемкость бражки определяли по формуле Г. М. Знаменского:

$$c = 1,019 - 0,0095B \text{ ккал}/(\text{кг} \cdot \text{град}), \quad (4)$$

где B — содержание сухих веществ в бражке в % вес.

Одновременно было проведено аналитическое определение коэффициента теплопередачи по следующему уравнению:

$$k' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}), \quad (5)$$

где: δ — толщина стенки трубы в м, в исследуемом дефлегматоре 0,002 м;

α_1 и α_2 — коэффициент теплоотдачи

в ккал/($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$);

λ — коэффициент теплопроводности материала стенки в ккал/($\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$); для медных трубок $\lambda = 330$ [2].

Коэффициент теплоотдачи от конденсирующегося спирто-водного пара к стенке α_1 при концентрации спирта в пленке конденсата $\geq 40\%$ об. определяли по номограмме, составленной И. М. Ройтером и Г. Е. Руденко-Грицюк [3]. При концентрации спирта в конденсате $\leq 40\%$ об. коэффициент теплоотдачи α_1 определялся по формуле [2]:

$$\alpha_1 = 0,72 \sqrt{\frac{3600 \gamma^2 \lambda^3 r}{\mu d \Delta t_1}} \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}), \quad (6)$$

где: γ — удельный вес конденсата в кг/м³;

λ — теплопроводность конденсата

в ккал/($\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$);

r — теплота конденсации в ккал/кг;

μ — вязкость конденсата в кг·сек/м²;

d — наружный диаметр трубы в м;

Δt_1 — разность температур конденсирующегося пара и стенки.

Температуру стенки предварительно принимали, а затем проверяли по формуле [4]:

$$t_{\text{ст}} = t_{\text{п}} - \frac{k}{\alpha_1} \Delta t, \quad (7)$$

где $t_{\text{п}}$ — температура спирто-водного пара в $^\circ\text{C}$.

Концентрацию спирта в конденсате определяли с помощью кривых конденсации смеси паров воды и спирта [5].

Режим движения бражки в трубах во всех случаях был турбулентным, поэтому коэффициент теплоотдачи от стенки к бражке определяли по уравнению В. Н. Тимофеева [6]:

$$Nu = 0,0209 Re^{0,8} Pr^{0,45}. \quad (8)$$

Вязкость бражки при температуре $\leq 40^\circ\text{C}$ определяли по формуле Г. М. Знаменского [7]:

$$\mu = x u_{\text{сп}}, \quad (9)$$

где: x — множитель, зависящий от содержания сухих веществ (B в % вес.) и температуры;

$$x = 1,97 + 0,06B - 0,045 t;$$

y — множитель, зависящий от содержания сухих веществ (B в % вес.) и концентрации алкоголя (A);

$$y = 1 + 0,014(B + A).$$

При температуре бражки $\geq 40^\circ\text{C}$ для определения вязкости бражки использованы данные В. Д. Попова и С. М. Константинова [8] для паточной барды. В этом случае значения вязкости паточной барды при том же содержании сухих веществ и той же температуре, как и бражки, увеличивались на значение поправки, учитывающей влияние концентрации спирта в бражке. Величина поправки соответствует разности между вязкостью водно-спиртового раствора при концентрации спирта, равной концентрации спирта в бражке [9], и вязкостью воды при температуре, равной температуре бражки.

Возможность такого определения вязкости бражки подтверждается опытами С. Е. Харина и В. И. Целинской [10], которые показали, что концентрация сухих веществ и концентрация спирта влияют на вязкость раствора независимо друг от друга.

Так как данные о теплопроводности паточной бражки отсутствуют, то в этом случае также приходится пользоваться данными по теплопроводности паточной барды [11] с

учетом поправки, учитывающей влияние на теплопроводность концентрации спирта [12].

Полученные значения вязкости и теплопроводности приведены в табл. 2.

Таблица 2

Расход тепла в ккал/ч	Средняя раз- ность темпе- ратур Δt в град	Опытный коэф- фициент тепло- передачи k в ккал/(м ² ·ч·град)	Крепость концен- сата в % вес.	α , в ккал/(м ² ·ч·град)	Вязкость браж- ки μ в сП	λ , в ккал/(м·ч·град)	α , в ккал/(м ² ·ч·град)	k' по уравнению (5)	k по формуле (1)	$\frac{k'}{k}$
I барабан (нижний)										
$2,16 \cdot 10^5$	26,4	2390	36,6	4000	0,78	0,48	4200	2020	896	—
$5,14 \cdot 10^5$	44	—	36,6	3400	0,95	0,474	4350	1890	990	—
$1,54 \cdot 10^5$	36	1260	36,6	3600	0,84	0,487	4580	1990	990	0,63
$2,28 \cdot 10^5$	33,3	2000	9,3	7420	0,748	0,483	4060	2580	854	0,77
$2,17 \cdot 10^5$	32,1	1980	24,5	5240	0,76	0,482	3960	2220	854	0,89
$1,86 \cdot 10^5$	35	1550	18	6250	0,8	0,48	3880	2360	854	0,66
$1,97 \cdot 10^5$	36,8	1560	25,5	5050	0,81	0,479	3890	2170	854	0,72
$3,23 \cdot 10^5$	45,5	—	—	—	1,1	0,459	—	—	—	—
$3,69 \cdot 10^5$	41	—	—	—	1,11	0,458	—	—	—	—
Среднее значение $\varphi = 0,73$										
II барабан (средний)										
$6,1 \cdot 10^5$	6,53	2760	18	9240	0,53	0,507	6850	3840	896	0,72
$1,86 \cdot 10^5$	27	2020	13	6450	0,693	0,495	4860	2720	990	0,74
$1,35 \cdot 10^5$	15,2	2560	18	7500	0,572	0,504	5450	3110	990	0,82
$7 \cdot 10^5$	10,3	2000	5,6	11000	0,49	0,502	4830	3290	854	0,61
$7,51 \cdot 10^5$	8,85	2480	9	10800	0,5	0,501	4710	3220	854	0,77
$9,07 \cdot 10^5$	11,6	2280	11,1	9500	0,52	0,498	4650	3060	854	0,74
$9,32 \cdot 10^5$	12,4	2200	9,8	9720	0,52	0,499	4660	3080	854	0,71
$1,36 \cdot 10^5$	32,1	1300	19,3	6170	0,754	0,48	3780	2320	816	0,56
$1,38 \cdot 10^5$	31,7	1345	23,8	5480	0,754	0,48	3720	2180	816	0,62
Среднее значение $\varphi = 0,7$										
III барабан (верхний)										
$5,83 \cdot 10^5$	6,4	2660	7,8	11600	0,43	0,51	5260	3550	896	0,75
$6,42 \cdot 10^5$	15	1260	11,7	8300	0,526	0,508	5520	3250	990	0,39
$5,14 \cdot 10^5$	7,3	2050	11,7	10000	0,48	0,513	5840	3610	990	0,57
$2,33 \cdot 10^5$	2,33	2930	5	17200	0,44	0,507	4960	3760	854	0,78
$1,29 \cdot 10^5$	2	1900	7	17200	0,45	0,506	4900	3730	854	0,51
$3,36 \cdot 10^5$	2,47	3040	8,6	15900	0,45	0,506	4900	3660	854	0,83
$3,62 \cdot 10^5$	3,37	3130	7	15200	0,45	0,506	4900	3620	854	0,86
$7,62 \cdot 10^5$	14,2	1650	8,4	9600	0,533	0,496	4250	2900	816	0,57
$7,38 \cdot 10^5$	14	1620	8,4	9800	0,533	0,496	4250	2910	816	0,56
Среднее значение $\varphi = 0,65$										

В этой таблице приведены также значения коэффициентов теплопередачи, полученные в результате исследования подогревателя бражки (дефлегматора бражной колонны) на Барском заводе, а также результаты расчетов по эмпирической формуле (1) и уравнению (5).

Из приведенных данных видно, что значения коэффициентов теплопередачи, получен-

ные по формуле (1), значительно ниже опытных данных, поэтому, эта формула не может применяться для расчета бражных подогревателей на паточных заводах.

Уравнение (5) дает большие коэффициенты теплопередачи по сравнению с опытными, что можно объяснить наличием загрязнений на поверхности теплопередачи.

При осмотре барабанов подогревателя на внутренней поверхности трубок, омываемых бражкой, накипи не обнаружено. На наружной поверхности трубок, со стороны спиртового пара, имеется загрязнение, представляющее собой плотную пастообразную массу черного цвета, не растворимую в воде, но хорошо растворимую в сивушном масле. Толщина слоя загрязнения с течением времени не изменяется и составляет $\sim 0,5-0,7$ мм. Образуется загрязнение в первые же 3—5 дней эксплуатации подогревателя. Поэтому для определения действительного значения коэффициента теплопередачи необходимо значение коэффициента теплопередачи, полученное из уравнения (5) умножить на коэффициент использования поверхности нагрева φ , который учитывает влияние загрязнения наружной поверхности трубок.

На основании сравнения коэффициентов теплопередачи, полученных по опытным данным и из уравнения (5), получается среднее значение коэффициента использования поверхности нагрева бражного подогревателя $\varphi \approx 0,7$.

Из всего выше изложенного можно сделать следующие выводы.

1. Коэффициент теплопередачи для бражных подогревателей паточных спиртозаводов, рассчитанный по эмпирической формуле (1), получается заниженным против фактического примерно в два раза. Поэтому упомянутая формула не рекомендуется для определения коэффициента теплопередачи в выше указанных условиях.

2. Для расчета коэффициента теплопередачи в бражных подогревателях паточных спиртозаводов следует пользоваться общеизвестным уравнением (5) с учетом коэффициента использования поверхности нагрева $\varphi \approx 0,7$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов В. И., Добросердов Л. Л., Стабников В. Н., Андреев К. П. Технологическое оборудование предприятий бродильной промышленности. М., Пищепромиздат, 1961.
2. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Л., Госхимиздат, 1961.
3. Ройтер И. М., Руденко-Грицюк Р. Е. Труды КТИППа. Вып. 21. 1959, с. 85.
4. Кичигин М. А., Костенко Г. Н. Теплообменные аппараты и выпарные установки. М.—Л., Госэнергоиздат, 1955.
5. Рамм В. М. Теплообменные аппараты. М.—Л., Госхимиздат, 1948.
6. Тобилевич Н. Ю., Сагань И. И., Гаряжа В. Т. "Спиртовая промышленность", 1962, № 1, с. 15.
7. Знаменский Г. М. Методы расчета трубопроводов для жидких полупродуктов спиртового производства, Киев, 1939.
8. Полюсов В. Д., Константинов С. М. "Спиртовая промышленность", 1960, № 1, с. 27.
9. Стабников В. Н., Мальцев П. М., Ройтер И. М., Метюшев Б. Д. Этиловый спирт. Киев, Гостехиздат, 1959.
10. Харин С. Е., Целинская В. И. "Спиртовая промышленность", 1962, № 6, с. 8.
11. Константинов С. М. "Спиртовая промышленность", 1960, № 3, с. 13.
12. Ройтер И. М., Руденко-Грицюк Г. Е. Труды КТИППа. Вып. 21. 1959, с. 79.