

К РАСЧЕТУ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОТДАЧИ В ШИРОКОКАНАЛЬНЫХ ПЛАСТИНЧАТЫХ ГРЕЮЩИХ КАМЕРАХ

Постановка цели и задач исследования. Процесс выпаривания получил широкое распространение в различных отраслях промышленности, поскольку много веществ, в частности сахар, поваренная соль, щелочные металлы, аммиачная селитра и другие, поступают на переработку в виде слабых водных растворов, а в готовом виде для потребления, хранения или транспортировки должны быть полностью или частично обезвожены.

Для этого в химической, целлюлозно-бумажной, пищевой, металлургической и других отраслях применяются выпарные аппараты, которые также распространены для утилизации сточных вод разных производств. Предназначены они для повышения концентрации твердого вещества, которое находится в растворе, или частичного выделения его в твердом виде из пересыщенного раствора испарениям растворителя.

Как известно, в настоящее время остро стоит вопрос энергосбережения. Экономия энергии в выпарных установках может достигаться тремя способами: многоступенчатым испарением; применением термокомпрессора со струйным сжатием пара (парового эжектора); применением термокомпрессора с механическим сжатием пара (компрессора с электроприводом или с приводом от ДВЗ).

Применение многоступенчатой выпарной установки уменьшает потребление теплоты за счет использования вторичного пара предыдущего корпуса как греющей пара в следующем корпусе. Увеличение числа корпусов приводит с одной стороны к увеличению экономии теплоты, но с другой стороны увеличивает капиталовложения. Так, двухкорпусная выпарная установка по сравнению с однокорпусной экономит 50 % пара, а трехкорпусная по сравнению с двухкорпусной – только 17 %. При этом увеличение количества корпусов приводит к понижению температурного напора в каждом корпусе, требует увеличения площади теплопередающих поверхностей, и увеличивает стоимость установки. Поэтому много внимания уделяется вопросам выбора и оптимизации выпарного оборудования.

Анализ используемых выпарных аппаратов. Конструкции выпарных аппаратов зависят от типа используемого теплоносителя и метода передачи тепла от теплоносителя к упаренного раствора. Как греющий теплоноситель в выпарных аппаратах используется водяной пар, газ, высокотемпературные теплоносители (расплавы солей), электричество. Наиболее распространенным теплоносителем является водяной пар (высокая теплоемкость, высокий коэффициент теплоотдачи при конденсации, постоянная температура конденсации при заданном давлении, возможность простой и быстрой регуляции). Выпарные аппараты бывают:

- 1) поверхностного типа с газовым, жидким и паровым теплоносителем;
- 2) контактного типа при непосредственном нагреве раствора горячими газами;
- 3) с электрическим нагревом.

Наиболее широкое распространение (до 95 %) получили выпарные аппараты поверхностного типа с паровым обогревом. Поверхность нагрева в таких аппаратах создается с помощью трубок (трубчатые испарительные аппараты), или с помощью штампованных пластин (пластинчатые испарительные аппараты).

Пластинчатые аппараты предназначены для нагрева, охлаждения, конденсации и испарения жидких теплоносителей при проведении разнообразных технологических процессов в энергетике и других отраслях промышленности. Поверхность теплообмена таких аппаратов образуется набором тонких штампованных пластин с гофрированной поверхностью и отверстиями для прохода рабочих сред. Они имеют некоторые преимущества над кожухотрубчатыми:

- высокий коэффициент теплопередачи ($1900 \div 5000$) Вт/м²·К при невысоких значениях Re (в пластинчатом теплообменнике уже при $Re \geq (50 \div 200)$ стабилизация потока нарушается, поток становится турбулентным) и относительно небольшой разности давления, что позволяет снизить затрату мощности на транспортировку теплоносителя;
- высокая скорость циркуляции раствора и диапазон температур рабочей среды ($-40^\circ\text{C} \div 200^\circ\text{C}$);
- использование меньших производственных площадей, чем для при использовании трубчатого теплообменника равной производительности (в 2–3 раза);
- сниженная склонность к загрязнениям поверхности нагрева;
- возможность изменения поверхности теплообмена путем добавления или снятия соответствующего количества пластин;

– отсутствие теплоизоляции и доступность поверхности нагрева к обслуживанию (очистка, замена пластин), надежность в эксплуатации.

В разборных и полуразборных конструкциях разборку и сборку аппаратов при очистке теплопередающих поверхностей от загрязнений можно осуществить быстро и при минимальных расходах труда.

Недостатками данной конструкции являются: невозможность эксплуатации при высоком давлении >1,6 МПа, сложность в подборе стойких материалов для прокладок.

Исследование работы выпарного аппарата с ширококанальной греющей камерой. В работе исследовалась выпарная установка с ширококанальной пластинчатой греющей камерой. Для подогрева начального раствора применяется пластинчатые теплообменники. Поток рабочей среды в каналах, образованных пластинами, поддается искусственной турбулизации при сравнительно малых расходах энергии. Нарушение стабилизации пограничного подслоя способствует повышению интенсивности теплоотдачи. Кроме того, наличие мелких кристаллов сахара в циркулирующей суспензии способствует интенсификации процесса теплообмена, что положительно влияет на картину теплообмена в целом.

Для достижения эффективной работы выпарного аппарата пар вводится в греющую камеру так, чтобы обеспечить ее равномерное распределение по пластинам камеры и турбулизацию стекающей пленки конденсата.

В публикуемой статье рассматриваются параметры, которые описывают процесс теплообмена в щелевых каналах пластинчатых греющих камер. Приведены результаты проведенных экспериментов и обобщенные критерии данного процесса

К особенностям теплообмена в таких камерах можно отнести следующие процессы:

1. Кипение протекает в малом объеме (в каналах, толщина которых не превышает $\delta_k=8\div 10$ мм);
2. Происходит образование парорастворимой смеси (до 40 % массы пара);
3. Жидкость, окружающая паровой пузырь, имеет температуру нагрева превышающую температуру кипения при давлении в сепараторе (имеет место термодинамическая депрессия);
4. Идет образования парового пузыря, скорость образования которого зависит от термодинамической депрессии, а частота его отрыва – от величины температурного напора.

Проведённые исследования и анализ работы выпарных аппаратов с пластинчатой поверхностью нагрева позволяют выявить параметры, влияющие на значение коэффициента теплоотдачи. Функциональная зависимость коэффициента теплоотдачи от определяющих его параметров имеет следующий вид:

$$\alpha = f(\Delta t_n, v_{мер}, \delta, \sigma, c, r_{ен}, \lambda_p, \rho_{ен}, d_0, \tau). \quad (1)$$

Используя метод анализа размерностей, сводим эту зависимость к безразмерной форме и получаем ряд безразмерных критериев, выражающих качественную связь между коэффициентом теплоотдачи и вышеперечисленными параметрами. Таким образом были получены следующие обобщённые переменные:

$$\begin{aligned} Re &= \frac{\omega'' \cdot d_0}{\nu}; & \omega'' &= \frac{q}{r_{ен} \cdot \rho_{ен}}; & d_0 &= \left(\frac{\sigma}{g(\rho_{жс} - \rho_{ен})} \right)^{0.5}; & Nu &= \frac{\alpha \cdot d_0}{\lambda} \\ We &= \frac{\omega''^2 \cdot \rho_{ен}'' d_0}{\sigma}; & v_{мер} &= \frac{\rho_{ен}}{\rho_{жс}} \times \frac{r_{ен}}{c_n}; & q &= 8,65(t_{эн} - t_{кун})^{1,46} \cdot \left(\frac{L_{np}}{d_0} \right)^{0,717} \cdot (v_{мер})^{0,136} \cdot \left(\frac{Pr_g}{Pr_p} \right)^{0,4} \end{aligned}$$

Получено уравнение, которое связывает обобщенные переменные и имеет вид:

$$Nu = c \cdot Re^{x_1} \cdot We^{x_2} \left(\frac{g_{мер}}{\Delta t_n} \right)^{x_3} \cdot Pr^{0,4},$$

где $C_0, x_1; x_2; x_3$ – безразмерные коэффициенты, значения которых были определены используя экспериментальные данные (табл. 1). Обработка результатов эксперимента позволила получить следующие значения искомых коэффициентов

$$C_0 = 5,48; x_1 = 0,115(v_{тер})^{-0,1}; x_2 = 0,055(v_{тер})^{-0,1}; x_3 = 0,2.$$

Таблица 1 – Расчетные данные

	Полезная разность температур, Δt_{np} , °C	Температура стенки $t_{ст}$, °C	Перепад температуры конденсата $\Delta t_{кп}$, °C	Термодинамическая постоянная $\nu_{тер}$, °C	Общая тепловая нагрузка Q, кВт	d_0	w	q	Критерий Re	Критерий We
1	8,0	76	4,0	0,123	10,245	8,2	5,52	2760,7	111763	0,0837
2	13,0	78,05	6,5		26,78		11,215	5609,0	227069	0,3456
3	18,0	81	9,0		42,377		18,05	9016,8	365052	0,8933
4	12,0	94	6,0	0,223	26,54	8,0	6,0	5411,5	143713	0,189
5	17,0	96,5	8,5		44,15		9,98	8997,56	239042	0,5228
6	22,0	99	11,0		59,0		14,534	13110,4	348120	1,1087
7	6,0	107	3,0	0,379	17,293	7,9	1,38	2113,15	38387	0,0177
8	11,0	109,5	5,5		33,688		3,343	5120,06	92992	0,1036
9	16,0	112	8,0		49,185		5,78	8848,04	160782	0,3098
10	8,0	116	4,0	0,4865	27,36	7,8	2,357	4611,23	69903	0,06745
11	16,0	120	8,0		58,5		5,56	10877,32	164897	0,3753
12	20,0	122	10,0		71,85		7,452	14580,37	221010	0,674

Таблица 2 – Замеренные данные и физические свойства исследуемого раствора

№	Греющий пар		Вторичный пар				Раствор							
	Давление $P_{гп}$, МПа	Температура $t_{гп}$, °C	Давление $P_{вп}$, МПа	Температура $t_{вп}$, °C	Теплота парообразования r , Дж/кг	Плотность ρ_p , кг/м ³	Расход G_v , кг/с	Температура t_0 , °C	Температура t_k , °C	Плотность при $t_k - \rho_p$, кг/м ³	Теплоемкость C_p , Дж/кг·K	Поверхностное натяжение σ , Н/м ²	Теплопроводность λ , Вт/м·K	Кинематическая вязкость ν , Па/с, 10 ⁶
1	0,0483	80	0,0361	72	2328,4	0,2148	70	72	970,8	4185	0,641	0,666	0,405	
2	0,059	85												0,0044
3	0,0765	90												0,0115
4	0,103	100	0,066	88	2287,8	0,3943	86	88	966,4	4190	0,601	0,678	0,334	
5	0,123	105												0,0116
6	0,146	110												0,0193
7	0,146	110	0,119	104	2245,9	0,682	102	104	955,4	4230	0,581	0,684	0,284	
8	0,172	115												0,0077
9	0,202	120												0,015
10	0,202	120	0,156	112	2224,5	0,8795	110	112	949,4	4235	0,565	0,685	0,263	
11	0,2593	128												0,0123
12	0,2933	132												0,0265

Выводы. Изучение работы выпарной установки с кипением раствора в щелевых каналах пластинчатой греющей камеры, предназначенной для выпаривания сахарного сиропа, позволило определить параметры, описывающие процесс теплообмена в ширококанальных пластинчатых греющих камерах. В ходе исследования были получены обобщённые критерии данного процесса и на основе результатов проведён-

ных ранее экспериментов было получено критериальное уравнение, позволяющее определять значение коэффициента теплоотдачи.

Литература

1. Фокин В.С., Данилов Д.Ю., Шульгин Ю. В. Исследование работы пластинчатой греющей камеры с кипением в каналах. С. 62–69
2. Фокин В.С., Кошельник В.М., Збараз Л.И. К постановке и решению задачи переноса тепла при движении кипящих теплоносителей в щелевых каналах. Коммунальное хозяйство городов. Выпуск 33. – К.: Техника.– 2001.– 173 с.
3. Нечипоренко Д.И., Данилов Д.Ю., Фокин В.С. Исследование работы выпарного аппарата с разборной ширококанальной пластинчатой греющей камерой. – Х.: Вестник НТУ «ХПИ».– №12.– 2004.

УДК 66.048.54

Фокін В.С., Павлова В.Г., Іванова І.В.

ДО РОЗРАХУНКУ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОВІДДАЧІ В ШИРОКОКАНАЛЬНИХ ПЛАСТИНЧАСТИХ ГРІЮЧИХ КАМЕРАХ

У статті розглянуті питання, що до застосування випарних апаратів в різних галузях промисловості. Представлені параметри, що описують процес теплообміну в ширококанальних пластинчастих гріючих камерах. Приведені узагальнені критерії цього процесу і результати проведених експериментів. Отримано критериальне рівняння, що дозволяє визначати значення коефіцієнта тепловіддачі.

Fokin V.S., Pavlova V.G., Ivanova I.V.

CALCULATION OF HEAT TRANSFER COEFFICIENTS IN PLATE HEAT OF WIDE-CHANNEL WARMING CHAMBERS

The article deals with questions concerning application of evaporative units in different fields of industry. Presented parameters describing the heat transfer process of wide-channel warming chambers. The article brought generalized criteria of this process and results of the conducted experiments. Criterion equation obtained allows to determine the coefficient of heat transfer.