

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАБОТЫ КОЛОННЫХ АППАРАТОВ С РАЗЛИЧНЫМИ КОНТАКТНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ ПО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ЗАТРАТАМ

В. К. ЗАРЕМБА,* В. А. АНИСТРАТЕНКО,* Р. ЛАСТИТЬ и П. ФЭЛДЕШ**

Кафедра биохимии и пищевой технологии Будапештского технического университета
H-1521 Budapest

Поступило: 25 апреля 1982 г.

Summary

Due to the efforts connected with the intensification of mass-transfer processes principally new types of the contact devices were elaborated. The latter devices assure a higher capacity both in fluid and vapor. The hydrodynamic evaluation of four new types of contact devices was realized by authors. The energy consumption of the recommended new devices was calculated by an express calculating method during distillation and rectification.

1. Исследование гидродинамики на контактных элементах колонных аппаратов

В ряде отраслей нефтехимической, химической пищевой и микробиологической промышленности для получения чистых продуктов широко используются процессы перегонки и ректификации. Стремление к интенсификации этих процессов определило два пути их развития:

- увеличение размеров аппаратов;
- создание принципиально новых типов контактных устройств, допускающих более высокие нагрузки по пару и жидкости.

Целесообразность второго пути очевидна. Он обеспечивает больший съём продуктов с единицы рабочего объёма аппарата без увеличения его габаритов, а модернизация оборудования в этом случае проводится без расширения рабочих площадей.

В последнее время появилось значительное количество конструктивных решений контактных устройств, существенно улучшающих работоспособность колонных аппаратов. Однако отсутствие достаточных сведений о их гидродинамических и массообменных характеристиках в сопоставимых условиях не позволяет выдать однозначные и конкретные рекомендации промышленности в выборе наиболее эффективного

* Киевский технологический институт, Киев, СССР.

** Кафедра Процессов Химической Промышленности БТУ.

типа. В этой связи авторами и были проведены стендовые испытания ряда наиболее перспективных с их соображений контактных устройств, обеспечивающих процессы перегонки и ректификации с минимальными энергетическими затратами:

- решётчатая провальная тарелка;
- чешуйчатая тарелка с прямоточным взаимодействием фаз в зоне контакта;
- клапанная тарелка (наиболее распространенная) — комбинированное инжекционно-клапанное устройство с плоскими клапанами трапециевидной формы весом $30 \div 32$ г и $60 \div 62$ г (вес клапанов выбран исходя из рекомендуемого значения г/см^2 площади отверстия).

Стенд (рис. 1.1) состоял из воздуходувки, щита управления и четырёх корпусов колонн диаметром 300 мм, смонтированных на общем основании. К корпусам были подведены воздушная и жидкостная коммуникации, на которых установлены контрольно-измерительные приборы для определения расходных показателей. По высотам каждого из корпусов колонн были расположены контрольные штуцера для

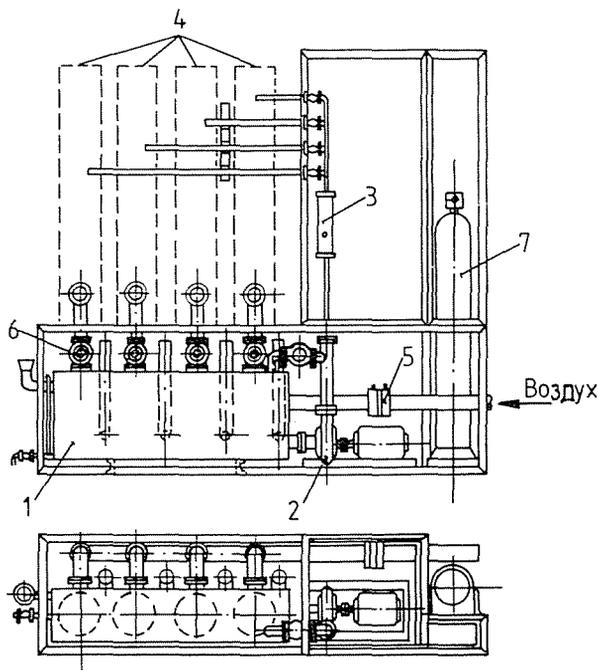


Рис. 1.1. Экспериментальный стенд. 1 — бак для жидкости; 2 — центробежный насос; 3 — ротаметр; 4 — колонны; 5 — диафрагма; 6 — вентиль; 7 — баллон с углекислотой

замера давлений. Все колонны были выполнены из органического стекла, что позволяло вести визуальные наблюдения за изменением гидродинамических режимов работы, устанавливать для каждого из них характер взаимодействия фаз, определять момент «захлёбывания» колонн.

Для получения наиболее объективных сравнительных характеристик все перечисленные контактные устройства (кроме клапанной тарелки) выполнялись с одинаковым живым сечением каналов, предназначенных для прохода воздуха. В наиболее узкой части оно равнялось 15% от площади свободного сечения колонны. Живое сечение клапанной тарелки при закрытых клапанах составляло 12%, а при открытых — 18%; расстояние между контактными устройствами во всех случаях было постоянным и равнялось 200 мм.

При проведении гидродинамических исследований определяли следующие параметры:

- гидравлическое сопротивление «сухих» контактных устройств;
- гидравлическое сопротивление «орошаемых» контактных устройств, плотность орошения $10 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$;
- траекторию движения жидкости (визуально);
- унос жидкости воздухом.

Они позволили показать изменение гидравлического сопротивления «сухих» контактных устройств в зависимости от нагрузок по воздуху. По экспериментальным кривым, представленным на рис. 1.2 легко опреде-

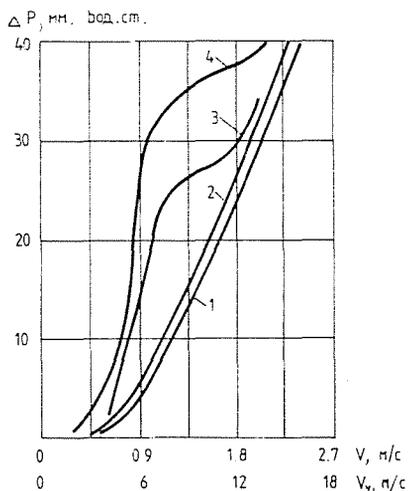


Рис. 1.2. Гидравлическое сопротивление «сухих» контактных устройств в зависимости от нагрузок по воздуху. 1 — решётчатая провальная тарелка; 2 — чешуйчатая тарелка; 3 — клапанная тарелка (30 ÷ 32 г); 4 — клапанная тарелка (60 ÷ 62 г)

ляется одна из основных гидродинамических характеристик контактных устройств — коэффициент местного сопротивления. В результате установлены следующие значения коэффициентов местного сопротивления тарелок:

- провальной решётчатой — 1.7
- чешуйчатой прямоточной — 1.8
- клапанной при открытых клапанах — 2.45
- клапанной при закрытых клапанах — 3.14

Приведенные данные показывают, что исследованные конструкции контактных устройств оказывают разное сопротивление потоку воздуха. Клапанные тарелки выгодно отличаются от провальной решётчатой и чешуйчатой довольно широкой областью нагрузок, при которых гидравлическое сопротивление примерно постоянно.

При исследовании «орошаемых» контактных устройств было установлено, что гидравлическое сопротивление провальных тарелок резко возрастает уже при малых газовых нагрузках. Визуальные наблюдения показывают, что на тарелках идёт интенсивное накопление жидкости, что приводит к сокращению сепарационного пространства и уносу жидкости. Гидравлическое сопротивление чешуйчатой тарелки значительно меньше, что объясняется реализацией принципа прямотока жидкости и воздуха в зоне контакта фаз. Чешуйчатые тарелки обеспечивают и наименьший унос жидкости. Практически на этих колоннах, несмотря на малое межтарелочное расстояние, можно работать при

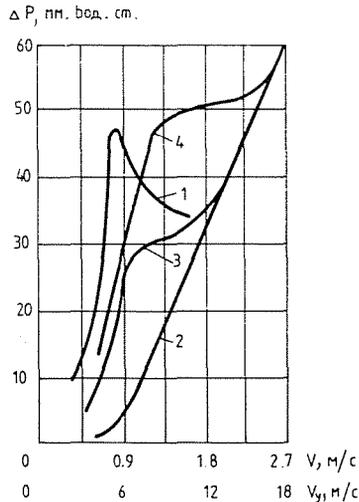


Рис. 1.3. Гидравлическое сопротивление «орошаемых» контактных устройств в зависимости от нагрузок по воздуху (обозначения те же, что и на рис. 1.2.)

скорости более 2,8 м/с (рис. 1.3). Сравнительно небольшой унос и с клапанных тарелок. Однако при поднятых клапанах (в крайнем верхнем положении) унос слишком велик. Необходимо, очевидно, увеличить либо массу клапанов, либо расстояние между тарелками.

2. Влияние конструкции контактного устройства на энергоёмкость колонного аппарата

Работа исследуемых колонн характерна рядом взаимосвязанных тепловых процессов. Рассмотрим их применительно к спиртовому производству. К этим процессам относятся: нагрев, испарение бражки и последующее охлаждение её паров. Энергетические затраты на получение бражного дистиллята складываются из стоимости теплоносителя, хладоагента и расходов на перекачку бражки и барды.

По статистическим данным расходы на охлаждение паров составляют $1 \div 2\%$ от стоимости нагрева и испарения бражки. Незначительные и затраты на электроэнергию, необходимую для обеспечения работы насосов ($0,18 \div 0,2$ руб. на 1 т. сырья).

Следовательно, энергетические затраты в основном определяются расходом теплоносителя на нагрев и испарение бражки, который в свою очередь зависит от физико-химических свойств бражки, давления в колонне и её гидравлического сопротивления ΔP .

В рассматриваемых нами сопоставимых условиях работы колонн с различными контактными устройствами одним из параметров, определяющих величину энергетических затрат, является гидравлическое сопротивление колонного аппарата.

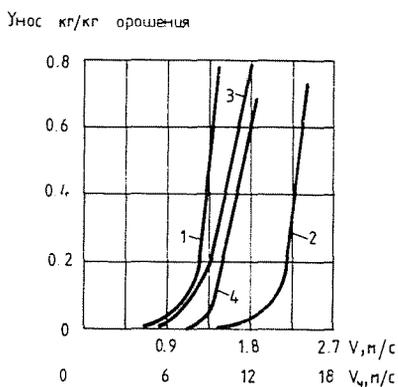


Рис. 1.4. Унос жидкости в зависимости от нагрузок по воздуху (обозначения те же, что и на рис. 1.2.)

ΔP практически не влияет на такие эксплуатационные расходы, как зарплата производственных рабочих, затраты на обслуживание и амортизационные отчисления, но зависит от производительности колонны, изменяя её энергетические затраты.

В этом легко убедиться анализируя известное уравнение

$$\Delta P_k = (\Delta P_{\text{сух}} + \Delta P_{\text{жид}}) \cdot n \quad (1)$$

Анализ заключений ряда авторов позволил установить, что эксплуатировать исследуемые нами колонны всегда выгоднее при максимальной допустимой скорости пара, т.к. возрастание энергетических затрат, связанных с увеличением гидравлического сопротивления всегда перекрывается прибылью, получаемой за счет уменьшения удельного веса постоянных составляющих себестоимости.

При сравнении же исследуемых колонн с различными контактными устройствами и с различным взаимодействием фаз в зоне контакта, мы учитывали, какое гидравлическое сопротивление они имеют при допустимой скорости пара.

Второе слагаемое уравнения (1) примерно равно для всех колонн, поэтому при сравнительной оценке величины энергозатрат его не учитывали:

$$\Delta P_k = \Delta P_{\text{сух}} \cdot n \quad (2)$$

или

$$\Delta P_k = z \frac{\omega_y^2}{2g} \cdot \rho_n \cdot n, \quad (3)$$

где: z — коэффициент местного сопротивления;
 ω_y — скорость в наиболее узком сечении потока, м/с;
 ρ_n — плотность пара, кг/м³;
 g — ускорение свободного падения, м/с²;
 n — число тарелок в колонне.

Очевидно, что определяющим фактором сопоставимых энергозатрат является к.п.д. тарелок, т.к. $n = \frac{n_{\text{т.т.}}}{\eta}$. Чем выше η , тем меньше ΔP_k .

Граничным условием сравнения является величина ΔP_k при допустимой скорости ($\omega_{\text{доп.}}$) пара. Поэтому после преобразования уравнения (3), заключающееся в подстановке $\omega_y = \frac{\omega_{\text{доп.}}}{f}$ и $n = \frac{n_{\text{т.т.}}}{\eta}$, где:

f — свободное сечение тарелки, м²/м²;
 η — к.п.д. тарелки;
 $n_{\text{т.т.}}$ — число теоретических тарелок,

оно получит вид:

$$\Delta P_k = 3 \frac{\omega_{\text{доп.}}^2}{f^2 \cdot 2g} \cdot \rho_n \cdot \frac{n_{\text{т.т.}}}{\eta} \quad (4)$$

Обработка литературных данных экспериментальных работ (1, 2, 3, 4), а также материалов, полученных с промышленных колонн, позволили нам вывести общее уравнение для определения допустимой скорости пара в сечении колонн с провальными тарелками и клапанными, выше которой пузырьковый режим барботажа нарушается, и колонны с прямоточными чешуйчатыми тарелками, когда над сливом образуется зона уплотнения паро-жидкостного потока, являющаяся источником интенсивного уноса жидкости, имеющее следующий обобщенный вид:

$$\omega_{\text{доп.}} = \frac{4.327}{C_k} \cdot \sqrt{\frac{2g \cdot H_{\text{сеп}} \cdot \rho_{\text{ж}}}{\rho_n}}, \quad (5)$$

где: C_k — коэффициент, учитывающий конструктивные особенности тарелки;

$H_{\text{сеп}}$ — высота сепарационного пространства, м.

Таким образом, в основу определения влияния конструктивных особенностей колонн на их энергоёмкость, положено определение потери напора на «сухой» тарелке.

Поплавским Ю. В. и др. (1, 4, 5) установлено, что величину

$$C_k \text{ — для колонн с провальными тарелки можно принять } C_k = \frac{141}{\psi},$$

$$\text{для колонн с чешуйчатыми } C_k = \frac{140}{\psi},$$

$$\text{для колонн с клапанными } C_k = \frac{167}{\psi}, \text{ где:}$$

ψ — доля свободного сечения тарелки отношению к полному сечению колонны.

Таким образом, уравнение (1) примет вид:

$$\Delta P = 3 \frac{4,327^2 \cdot H_{\text{сеп}} \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot n_{\text{т.т.}}}{C_k^2 \cdot f^2 \cdot \eta_{\text{т.сп.}}} \quad (6)$$

В полученном выражении локальные величины $H_{\text{сеп}}$, $\rho_{\text{ж}}$, $n_{\text{т.т}}$ не зависят от конструкции контактного устройства, поэтому при сравнительной оценке колонн принимаем их постоянными. В результате нами получен обобщенный комплекс, позволяющий оценивать работу колонн с различными конструктивными особенностями контактных устройств

$$\frac{z}{C_k^2 \cdot f^2 \cdot \eta_{\text{т.ср.}}} \quad (7)$$

Найденные значения комплекса, приведенные к жидкостной нагрузке для исследуемых типов контактных устройств представлены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Тип контактного устройства	значение комплекса				
	f	C_k	η	z	$\frac{10^2 \cdot z}{C_k^2 \cdot f^2 \cdot \eta}$
Провальная решётчатая	1,5	100	0,51	1,7	0,0167
Чешуйчатая прямоточная	1,5	93	0,56	1,8	0,0165
Клапанная тарелка	1,2	93	0,49	2,54	0,0416

Закключение

Анализируя табличные данные, можно констатировать, что величина полученного комплекса сравнения $\frac{z}{C_k^2 \cdot f^2 \cdot \eta_{\text{т.ср.}}}$ в наибольшей степени зависит от двух параметров: C_k — коэффициента конструктивной особенности и $\eta_{\text{т.ср.}}$ — средней величины к.п.д. Чем меньше его величина, тем меньше затраты на перегонку. При этом, чем меньше значение C_k , тем более удача конструкция контактного устройства по съёму продуктов с единицы объёма аппарата.

Резюме

Стремление к интенсификации массообменных процессов привело к созданию ряда принципиально новых типов контактных устройств обеспечивающих более высокие нагрузки по жидкости и пару. Авторами проведены исследования гидродинамики 4-х типов рекомендуемых тарелок в сопоставимых условиях и определены пути комплексного экспресс-метода расчета удельных энергозатрат колонного аппарата на перегонку и ректификацию.

Литература

1. Сорокин В. И., Замятин Ю. А., Поплавский Ю. В. Исследование гидродинамики в контактных элементах колонных аппаратов нового типа. «Гидролизная и лесохимическая промышленность», 1974, № 6 8—9с.
2. Анистратенко В. А. Исследование прямоточных контактных устройств в условиях перегонки и ректификации спиртосодержащих бражек. Докторская диссертация, К., 1973, 472с.
3. Заремба В. К. Исследование влияние типа контактных устройств на динамику определяющей группы примесей и энергозатраты в условиях перегонки мелассных бражек. Кандидатская диссертация, К., 1975, 286с.
4. Казимиров Р. К., Стабников В. Н. Гидродинамика сухих ударно-распылительных тарелок. «Пищевая промышленность» 1968, вып. 8, с89—84.
5. Поплавский Ю. В. Противоточный многоступенчатый контактный аппарат. Авт. свид. СССР № 219 550, 1968, № 19, с. 25.

ЗАБЕМБА Виталий Казимирович, кандидат технических наук, доцент Киевского технологического института пищевой промышленности.

АНИСТРАТЕНКО, Владимир Алексеевич, доктор технических наук, профессор Киевского технологического института пищевой промышленности.

Prof. Dr. Radomir LÁSZTITY }
Prof. Dr. Péter FÖLDES } H-1521 Budapest