

# ИССЛЕДОВАНИЕ К. П. Д. РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ С ПРОВАЛЬНЫМИ РЕШЕТЧАТЫМИ ТАРЕЛКАМИ, I

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ПАРА И СВОБОДНОГО СЕЧЕНИЯ ТАРЕЛОК

П. ФЕЛЬДЕШ, И. ЕВАНГЕЛИДИ и О. ЧАРНИ

Политехнический Институт Будапешт  
Кафедра процессов и аппаратов хим. промышленности  
(Поступило 14. марта 1964 г.)

Из современных типов тарелок ректификационных и абсорбционных колонн, особое внимание привлекают тарелки без переливных устройств. Среди последних все большее применение находят провальные решетчатые тарелки.

Для надежного проектирования и правильной эксплуатации колонн с тарелками данного типа, очень важным является знание коэффициента полезного действия в зависимости от разных гидродинамических, физико-химических и конструктивных параметров. На основании исследовательских работ [1, 2, 3, 4] можно установить, что кривая зависимости к. п. д. тарелок от скорости пара имеет более или менее ярко выраженный максимум. Скорости пара, соответствующие максимальному к. п. д., так называемые оптимальные скорости, находятся вблизи скорости начала захлебывания [5, 6]. Этот факт объясняется тем, что развитая турбулентность, обеспечивающая наибольшую поверхность контакта фаз и наилучшие условия массопередачи, обуславливается состоянием, близким к точке захлебывания.

Для расчета предельных нагрузок, т. е. для ориентировочного определения оптимальной скорости Касаткиным с сотрудниками [5] была опубликована зависимость, подобная широко используемой формуле для определения предельных нагрузок насадочных колонн. Одним из авторов настоящего сообщения [6] также была предложена для расчета оптимальной скорости формула, имеющая следующий вид:

$$\frac{w}{F} \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_0}} = 6,9 \left( \frac{L}{G} \right)^{-0,34} \quad (1)$$

В рамках настоящей работы экспериментально определялись к. п. д. ректификационной колонны с провальными решетчатыми тарелками, с двумя разными величинами свободного сечения, в зависимости от скорости пара при полном возврате флегмы и атмосферном давлении. Ширина щели составляла 3 мм; использованные смеси: этиловый спирт — вода и метило-

вый спирт — вода. С целью обобщения нами были обработаны наши и литературные экспериментальные данные, относящиеся к состоянию захлебывания.

### Опытная установка и методика проведения опытов

Схема опытной установки дана на рисунке 1. Установка работала непрерывно, с бесконечным флегмовым числом без ввода питания, в замкнутом цикле. Смесь соответственного состава загружалась в куб 1 и подогревалась с помощью греющего пара (вентиль I). Пары проходили через колонну 2 с

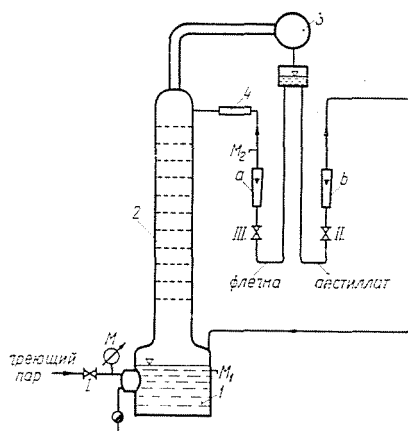


Рис. 1

одинадцатью решетчатыми тарелками и конденсатор 3. Конденсат целиком возвращался в виде флегмы в колонну. Вентиль II для отбора дистиллята был закрыт, а вентиль флегмы III — открыт. Скорость паров в колонне регулировалась вентилем I и манометром  $m$ , измерялась же — ротаметром  $a$ . Колонна была снабжена термометрами сопротивления с регистрирующим прибором и дифференциальным манометром для определения перепада давления. О достижении установившегося состояния судили по постоянству показаний приборов. Для избежания перегрева флегмы температура ее поддерживалась на несколько градусов ниже соответствующей температуры кипения. Для этой цели жидкость, стекающая из конденсатора, не охлаждалась; в редких случаях пользовались подогревателем 4. Внутренний диаметр колонны — 150 мм, расстояние между тарелками — 200 мм. Установка была снабжена соответствующей изоляцией.

После достижения установившегося состояния через краны  $M_1$  и  $M_2$  отбирались пробы для определения составов верхнего и нижнего продуктов, концентрации которых определялись на основе их удельных весов. Из составов куба и дистиллята определялось число теоретических тарелок при

данных условиях работы колонны. Сопоставлением действительного числа тарелок с теоретическим получили общий к. п. д. колонны. При этом куб принимался за одну теоретическую тарелку.

### Результаты опытов и их обсуждение

#### А. К. п. д. тарелок со свободным сечением в 22,6%

На рисунках 2, 3 и 4 изображены зависимости к. п. д. от скорости пара в полном сечении колонны; смесь — метиловый спирт—вода, при различных

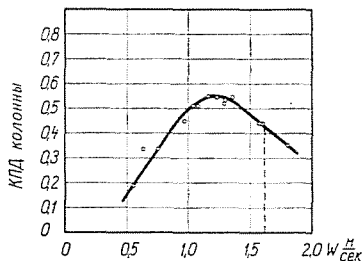


Рис. 2. Концентрация в кубе 0,2—0,9 моль%

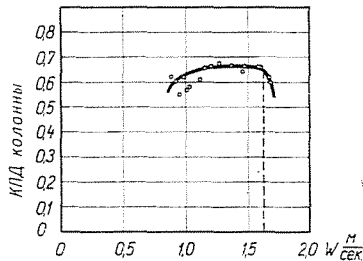


Рис. 3. Концентрация в кубе 2—3 моль%

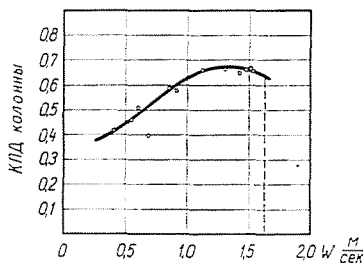


Рис. 4. Концентрация в кубе 12,5—18,5 моль%

концентрациях последней в кубе. Сопоставлением рисунков можно установить, что при наименьшей концентрации в кубе (0,2—0,9 моль %) разделяющая способность колонны, при прочих равных условиях, является наименьшей. Этот факт не соответствует выводам, сделанным на основании двухплечной теории массопередачи, предполагающей молекулярный механизм переноса. Это, повидимому, объясняется зависимостью способности смеси к пеообразованию от ее состава.

На рисунках 5 и 6 показаны величины к. п. д. колонны, работающей со смесью этиловый спирт—вода при разных концентрациях последней. Интересно заметить, что эффективности в данном случае меньше значений к. п. д., полученных со смесью метиловый спирт—вода, при прочих рав-

ных условиях; исключение составляет рис. 2. Такую разницу можно объяснить двухпленочным механизмом и предположением того, что главное сопротивление при массопередаче находится в жидкой фазе. Однако, количественно эта связь не может быть с полной уверенностью доказана. Следует заметить, что определению зависимости между наблюдаемыми явлениями и составами смесей мешает широкий интервал концентраций в колонне, так что нельзя определить к какому составу относятся сравниваемые молекулярные свойства переноса. Однако имеется возможность объяснения раз-

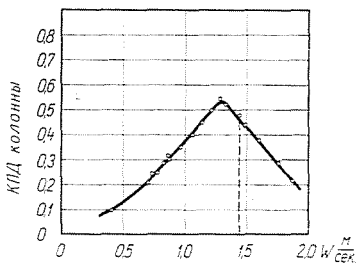


Рис. 5. Концентрация в кубе 0,2—1,1 моль%

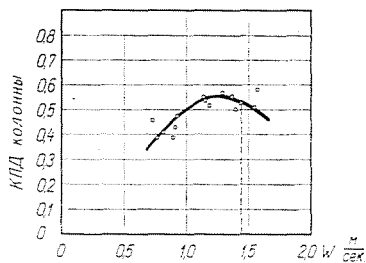


Рис. 6. Концентрация в кубе 1,6—2,5 моль%

ницы к. п. д., относящихся к водным смесям этилового и метилового спиртов с помощью различия между способностями к пенообразованию и поверхностями фазового контакта. В ходе опытов визуально наблюдалось, что смесь метиловый спирт—вода вспенивалась лучше, чем смесь этиловый спирт—вода.

Следует указать, что в случае обеих систем величины скоростей пара, относящихся к максимальному к. п. д., примерно одинаковы и являются несколько более низкими по сравнению со значениями предельных скоростей, рассчитанных по формуле (1). На рисунках последние величины показаны пунктирными линиями.

#### Б. К. п. д. тарелок со свободным сечением в 11,6%

На рисунках 7 и 8 даны к. п. д. в зависимости от скорости пара; разделяемая смесь — метиловый спирт—вода. Как и в случае тарелок большего свободного сечения, значения к. п. д., при прочих равных условиях, являются наименьшими при самой малой концентрации смеси в кубе ( $\sim 1$  моль %). Подобно сказанному ранее, этот факт объясняется изменением способности к пенообразованию.

На рисунке 9 даны величины к. п. д. колонны с такими же тарелками, относящиеся к смеси этиловый спирт—вода. Эти значения ниже величин, полученных в случае системы метиловый спирт—вода. В связи с этим ссылаемся на два возможных, упомянутых выше, объяснения.

Рассчитанные по формуле (1) оптимальные скорости (пунктирные линии) в случае данных тарелок примерно совпадают с нагрузками, относящимися к максимальному к. п. д.

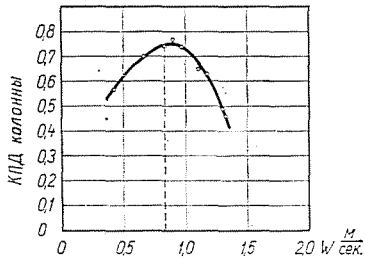


Рис. 7. Концентрация в кубе 1,0 моль%

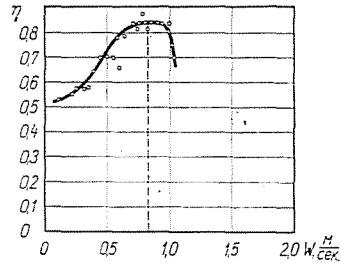


Рис. 8. Концентрация в кубе 1,8—2,3 моль%

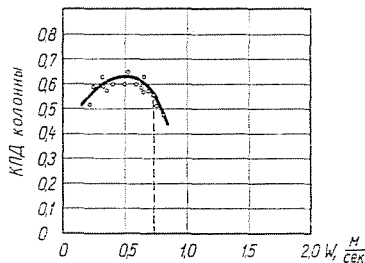


Рис. 9. Концентрация в кубе 1,8 моль %

### В. Сравнение работы тарелок с разными свободными сечениями

Сопоставляя данные, относящиеся к тарелкам двух конструкций, можно заключить, что при прочих равных условиях, тарелки с меньшей поверхностью свободного сечения имеют больший к. п. д., а тарелки с большей поверхностью свободного сечения имеют большую пропускную способность. Тарелки с меньшей поверхностью свободного сечения работают более устойчиво, т. е. они менее чувствительны к изменениям скорости пара. В ходе проектирования при выборе поверхности свободного сечения следует учитывать желаемую производительность (большее свободное сечение) и разделяющую способность, т. е. высоту колонны (меньшее свободное сечение).

### Обработка экспериментальных данных, относящихся к состоянию захлебывания

Особый интерес представляет определение к. п. д. колонны, относящегося к состоянию захлебывания, так как это значение является близким к оптимальному и колонны должны работать на режимах большой произ-

водительности, близких к предельным нагрузкам. Для этой цели мы исходили из того предположения, что захлебывание можно рассматривать как некоторое «критическое» состояние и относящиеся к нему данные можно обобщить, а физико-химические свойства системы в этом состоянии не оказывают существенного влияния на массопередачу вследствие интенсивной турбулизации. Нами была установлена связь между скоростями захлебывания в полном сечении колонны, рассчитанными по формуле (1) и соответствующими им к. п. д.

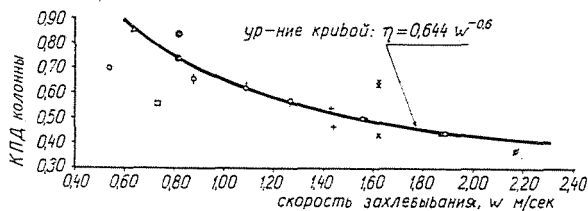


Рис. 10

На рисунке 10 показана эта графическая зависимость построенная на основании наших и литературных данных, которые представлены в таблице 1. Математическое выражение кривой, показанной на рисунке, можно

Таблица 1

Смесь	Обозначение	F %	w захл.	$\eta$	Ссылка
$\text{CCl}_4 - \text{C}_6\text{H}_6$	$\Delta$	18,4	0,63	0,85	* [2]
$\text{CH}_3\text{OH} - \text{H}_2\text{O}$	$\bigcirc$	7,8	0,54	0,70	** [3]
"	$\Phi$	12,8	0,88	0,66	"
"	$\odot$	15,8	1,09	0,62	"
"	$\ominus$	18,4	1,27	0,57	"
"	$\omin�$	22,6	1,56	0,50	"
"	$\omin�$	27,4	1,89	0,44	"
"	$\omin�$	31,4	2,17	0,37	"
"	$\times$	22,6	1,62	0,43	наши данные
"	$\times$	22,6	1,62	0,65	"
"	$\times$	22,6	1,62	0,64	"
"	$\otimes$	11,6	0,82	0,84	"
"	$\otimes$	11,6	0,82	0,74	"
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} - \text{H}_2\text{O}$	$\square$	11,6	0,73	0,56	"
"	$+$	22,6	1,44	0,47	"
"	$+$	22,6	1,43	0,54	"

\* Расстояние между тарелками 165 мм.

\*\* Расстояние между тарелками 200 мм.

дать в следующей форме:

$$\eta = 0,644 \cdot w^{-0,6}. \quad (2)$$

Из этого следует, что к. п. д., отвечающий точке захлебывания, в первом приближении, не зависит от физико-химических свойств систем. Вышесказанное подтверждает предположение о том, что в состоянии захлебывания играет роль только турбулентная массопередача, т. е. отсутствует молекулярный перенос и молекулярные свойства не влияют на механизм массопередачи. Заметим, что в уравнении Кафарова [7], относящемся к разделяющей способности насадочных колонн, работающих при предельных нагрузках, показатели степеней, отражающие влияние физико-химических свойств, равны или близки к нулю. Это показывает аналогию, существующую между насадочными колоннами и колоннами рассмотренного здесь типа.

### Обозначения

- $w$  линейная скорость пара в полном сечении колонны, м/сек.
- $\eta$  к. п. д. колонны (общий)
- $F$  свободное сечение тарелки, м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>
- $L, G$  весовые нагрузки по жидкости и пару, соответственно, кг/сек.
- $\gamma$  удельный вес пара, кг/м<sup>3</sup>
- $\gamma_0$  удельный вес воздуха при атмосферном давлении и 20° С, 1,2 кг/м<sup>3</sup>.

### Резюме

1. Экспериментально установлена зависимость к. п. д. провальных решетчатых тарелок с разными свободными сечениями и скоростью пара в полном сечении колонны, при ректификации бинарных водных смесей метилового и этилового спиртов при бесконечном флегмовом числе и атмосферном давлении.

2. Кривые к. п. д. — скорость пара имеют максимумы (55—85%); соответствующие максимумам скорости пара близки к рассчитанным предельным нагрузкам (захлебывание).

3. К. п. д. тарелок меньшего свободного сечения (11,6%), при прочих равных условиях, являются большими, чем соответствующие величины, относящиеся к тарелкам большего свободного сечения (22,6%); последние работают менее гибко.

4. На основании собственных и литературных экспериментальных данных получена приближенная математическая зависимость к. п. д. от скорости пара в полном сечении колонны для состояния захлебывания при полном возврате флегмы. Это уравнение действительно для разных конструкций тарелок и разных систем.

5. Установлено, что параметры захлебывания могут служить основой для получения обобщенных зависимостей; при этом следует принимать во внимание только гидродинамические факторы, а физико-химическими параметрами можно пренебречь, что свидетельствует о турбулентном механизме.

## Литература

1. ČERVINKA, M., ČERNÝ, O.: Chem. Průmysl. **5**, 232 (1955).
2. Аэров, М. Э., Даровских, Е. П.: Хим. пром. **2**, 92 (1957).
3. SIOMURA, S., WATANABE, S.: Chem. Eng. (Japan), **21**, 736 (1957).
4. ZUIDERWEG, F. J., VERBURG, H., GILISSEN, F. A. H.: International Symposium on Distillation, 1960.
5. Касаткин, А. Г., Дыгнерский, Ю. И., Умаров, С. У.: Хим. пром. № 3, 166 (1958).
6. FÖLDES, P.: Brit. Chem. Eng., **5**, 498 (1960).
7. Кафаров, В. В.: Хим. пром. **5** (1953).

Dr. Péter FÖLDES, Budapest XI. Műegyetem rakpart 3, Венгрия