

УДК 663.551.2

Работа колпачковых контактных устройств в режиме с контролируемыми циклами

А. В. Копыленко, В. М. Таран, В. Н. Геращенко
КТИПП

Важным направлением в решении задачи интенсификации спиртового производства является разработка прогрессивных режимов работы колонной массообменной аппаратуры. Перспективно применение нестационарных (циклических) режимов работы колонн брагоректификационной установки. Циклический режим работы, при котором поочередно подаются в колонну жидкая и паровая фазы, позволяет увеличить производительность и эффективность оборудования без существенного изменения аппаратного оформления процесса [3, 4, 5].

В статье приведены результаты исследований гидродинамических и массообменных характеристик колпачковых контактных устройств при работе в режиме с контролируемыми циклами, а также выбора оптимальных условий эксплуатации при ректификации полупродуктов спиртового производства.

В КТИППе разработана и смонтирована пилотная установка (рис. 1), состоящая из колонны диаметром 140 мм со сменным набором контактных устройств, кубовой части, дефлегматора, конденсатора, трубопроводов и запорной арматуры. Установка укомплектована необходимыми приборами контроля и управления. Для поочередного ввода фаз в колонну на паровом и жидкостных трубопроводах установлены пневматические клапаны-отсекатели. Поскольку установка находилась в помещении спиртового цеха, импульс давления к пневмоклапанам поступал от блока электромагнитных клапанов, последовательность и длительность включения которых задавалась с помощью командного устройства. Тарелки колонны оснащены устройствами для отбора проб жидкой и паровой фаз. В зависимости от места подвода исходной смеси колонна может работать как в режиме истоще-

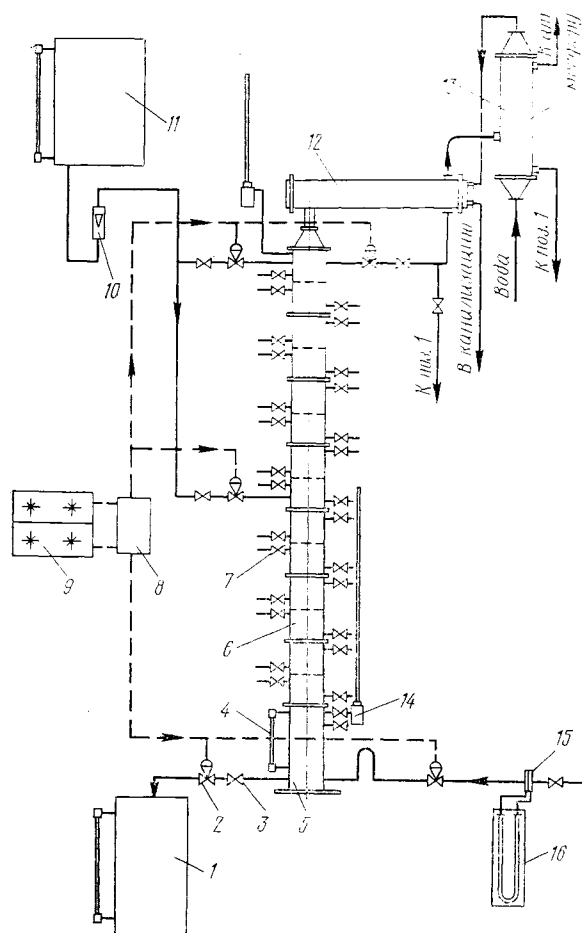


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 — сборник кубового остатка; 2 — пневмоклапан; 3 — вентилятор; 4 — указатель уровня; 5 — кубовая часть колонны; 6 — конденсатор; 7 — пробоотборные краны; 8 — блок электромагнитных клапанов; 9 — командное устройство; 10 — ротаметр; 11 — испарительная емкость; 12 — дефлегматор; 13 — конденсатор; 14 — вакуум-прерыватель; 15 — острая диафрагма; 16 — дифманометр.

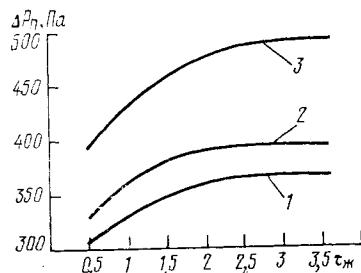


Рис. 2. Зависимость полного гидравлического сопротивления колпачковой тарелки ΔP_g от времени парового τ_p и жидкостного τ_k периодов при $L = 8,33 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$:

1 — $v = 0,8 \text{ м/с}$, $\tau_p = 4,0 \text{ с}$; 2 — $v = 1,0 \text{ м/с}$, $\tau_p = 1,0 \text{ с}$; 3 — $v = 1,4 \text{ м/с}$, $\tau_p = 2,0 \text{ с}$.

ния, так и в режиме истощения и укрепления. В качестве рабочей смеси использовали дистиллят бражной колонны.

Гидродинамику колпачковых тарелок в цик-

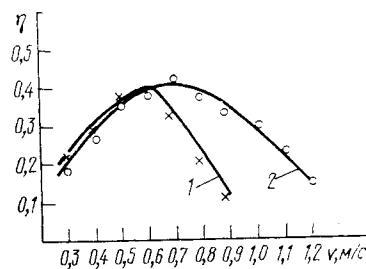


Рис. 3. Зависимость эффективности по Мэрффи η от скорости пара в колонне при $L = 5,56 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$:
1 — стационарный режим; 2 — циклический режим.

лическом режиме исследовали на холодном стенде, состоящем из колонны, оборудованной приборами для замера и регистрации перепада давления, перемешивания и уноса жидкости, высоты пенного слоя. На рис. 2 представлены результаты исследования полного гидравлического сопротивления тарелки в зависимости от продолжительности парового и жидкостного периодов. Анализ характера кривых свидетельствует об увеличении ΔP_g с увеличением τ_k до значений $\tau_k = 2,0\text{--}2,5 \text{ с}$, что связано с ростом объема жидкостной задержки до значения, равного емкости тарелки. При $\tau_k = 2\text{--}2,5 \text{ с}$ сопротивление тарелки, высота и структура пенного слоя стабилизируются и по величине совпадают с аналогичными параметрами в стационарном режиме. Изменение длительности парового периода τ_p в исследованном диапазоне $\tau_p = 0,5 \div 5 \text{ с}$ не оказывает существенного влияния на гидродинамические условия в колонне.

При исследовании массообменных характеристик колонна работала в режиме истощения с бесконечным флегмовым числом. Замеряли концентрации жидкой и паровой фаз на тарелках колонны, концентрации дистиллята и кубового остатка. Рассчитывали среднюю эффективность колпачковой тарелки

$$E = \frac{P_T}{P_R},$$

где P_T — количество теоретических тарелок, необходимых для разделения смеси;

P_R — количество реальных тарелок в колонне; η — эффективность тарелки по Мэрффи

$$\eta = \frac{x_H - x_K}{x_H - x^*},$$

где для циклического режима работы колонны

x_H , x_K — содержание легколетучего компонента в жидкой фазе соответственно в начале и в конце парового периода;

x^* — содержание легколетучего компонента в жидкой фазе, равновесное со средним составом пара, покидающего тарелку за время парового периода.

Сравнение величин η для 6-й снизу тарелки при работе колонны в стационарном и

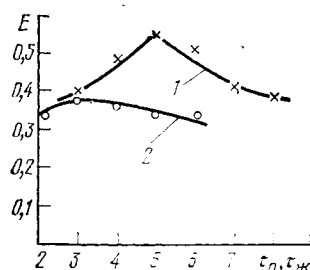


Рис. 4. Зависимость средней эффективности тарелки E от времени жидкостного (кривая 1) и парового (кривая 2) периодов при $L = 5,56 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ и $V = 0,7 \text{ м/с}$.

циклическом режиме (рис. 3) свидетельствует о возможности применения повышенных скоростей паровой фазы в циклическом режиме, что способствует увеличению производительности колонны. В диапазоне $V = 0,3 \div 0,6 \text{ м/с}$ величина η для стационарных и циклических режимов практически одинакова.

Оптимальные режимы работы колпачковых контактных устройств в циклическом режиме определяли методом планирования эксперимента [1].

В качестве целевой функции была выбрана средняя эффективность тарелки E , являющаяся интегральной характеристикой циклического процесса, суммирующей влияние на эффективность тарелки жидкостного и парового периодов. Тогда как эффективность по Мерфи η характеризует процесс, происходящий на тарелке только в паровой период [3]. Были поставлены серии опытов по ортогональным матрицам, а затем, используя метод крутого восхождения, вышли в область оптимальных значений изменяемых параметров: плотности орошения L , скорости пара V , $\tau_{\text{л}}$, $\tau_{\text{ж}}$ (табл. 1).

Для определения границ диапазона изменения каждого фактора предварительно проведен поисковый эксперимент. При составлении матриц планирования были использованы три фиксированные значения L , а остальные параметры (V , $\tau_{\text{л}}$, $\tau_{\text{ж}}$) изменялись в соответствии с выбранным шагом.

Таблица уровней изменяемых факторов и интервалы их варьирования при $L = 5,56 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$.

В результате обработки экспериментальных данных получены линейные уравнения регрессии, адекватно описывающие область изменения параметров при 5%-ном уровне значимости. Для $L = 5,56 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$ уравнение имеет вид

$$E = 46,56 - 3,31 x_1 + 4,56 x_2 + 0,19 x_3,$$

где x_1 , x_2 , x_3 — соответственно исследованные величины V , $\tau_{\text{ж}}$ и $\tau_{\text{л}}$.

На рис. 4 представлена зависимость средней эффективности колпачковых тарелок от

Таблица 1

Уровни	Факторы		
	$V, \text{ м/с}$	$\tau_{\text{ж}}, \text{ с}$	$\tau_{\text{л}}, \text{ с}$
Верхний	+ 0,8	+ 6	+ 4
Основной	0,7	5	3
Нижний	- 0,6	- 4	- 2
Интервал	0,1	1	1

длительности жидкостного периода при оптимальном значении $\tau_{\text{л}}$ (кривая 1) и парового периода при оптимальном значении $\tau_{\text{ж}}$ (кривая 2) для фиксированных значений L и V .

Характер изменения кривой 2 подтверждает незначительное влияние продолжительности парового периода $\tau_{\text{л}}$ в исследованном диапазоне его варьирования на разделяющую способность колонны в циклическом режиме. Наличие экстремальной точки на кривой 1, соответствующей времени $\tau_{\text{ж}} = 5 \text{ с}$, совпадает с данными другими исследователями [2, 3, 4] и свидетельствует о значительном влиянии кратности обмена жидкостной задержки Φ на эффективность работы колонны, поскольку при $L = 5,56 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$ и $\tau_{\text{ж}} = 5 \text{ с}$ $\Phi \approx 1$ (табл. 2). Расчет кратности обмена жидкостной задержки на колпачковой тарелке в период подачи жидкости проводили по формуле [6]

$$\Phi = \frac{L' \tau_{\text{ж}}}{H},$$

где L' — объем поступающей на тарелку жидкости, $\text{м}^3/\text{с}$;
 $\tau_{\text{ж}}$ — продолжительность периода подачи жидкости, с;

H — емкость тарелки, м^3 .

Емкость исследуемой колпачковой тарелки составляет $0,44 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, а сечение тарелки — $0,016 \text{ м}^2$. Величины Φ для различных значений L' и $\tau_{\text{ж}}$ приведены в табл. 2.

Следовательно, для достижения максимальной эффективности колпачковых тарелок при изменении нагрузки по жидкости необходимо изменение периода подачи жидкой фазы. Представленные на рис. 5 значения средней

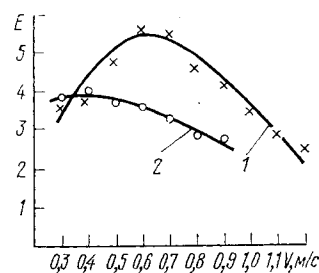


Рис. 5. Зависимость средней эффективности тарелки E при $L = 5,56 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ от скорости пара в колонне: 1 — циклический режим; 2 — стационарный режим.

Таблица 2

Продолжительность $\Sigma_{\text{в.с.}}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$L' = 4,44 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$L' = 6,67 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$	0,15	0,3	0,45	0,61	0,76	0,91	1,06	1,2	1,36	1,52
$L' = 8,88 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$	0,2	0,4	0,6	0,7	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2

эффективности тарелки в стационарном и циклических режимах свидетельствуют об увеличении эффективности работы колонны с колпачковыми контактными устройствами в циклическом режиме по сравнению со стационарным режимом и расширении диапазона рабочих скоростей парового потока в сторону увеличения до 1,2 м/с. Смещение максимума эффективности до значений $V = 0,7$ м/с является подтверждением уменьшения степени продольного перемешивания и уноса жидкости на вышележащую тарелку, увеличения пропускной способности колонны при циклическом режиме ее работы.

Проведенные исследования свидетельствуют об увеличении эффективности разделения спирто-водных смесей в колонне с колпачковыми контактными устройствами, работающей в циклическом режиме. Применение циклического метода работы аппарата не требует значительных изменений существующего оборудования, а соответственно и больших

капиталовложений, что позволяет считать целесообразным использование циклических режимов и их исследование с целью интенсификации работы массообменных колонн спиртового производства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий.— М.: Наука, 1976.
2. Гельперин Н. И., Полоцкий Л. М., Назаров П. С. Исследование работы колпачковой тарельчатой ректификационной колонны в циклическом режиме.— Химическое и нефтяное машиностроение, 1975, № 8.
3. Конобеев Б. И., Арутюнян Г. Р., Назаров П. С. Исследование циклической ректификации в тарельчатой колонне.— Теоретические основы химической технологии, 1977, т. 11, № 4.
4. Соммерфельд Д. Т. Контролируемая циклическая ректификация.— Химическая промышленность, 1968, № 1.
5. Cannon M. R., Oil and Gas. J. 51, N 12, 268 (1952).
6. Robinson L. R., Engel A. J. Ind Engng. Chem., 59, N 03.22 (1967).