

УДК 66.02

Д.Г. Калишук, А.Э. Левданский, Е.Г. Федарович, Н.П. Саевич

Белорусский государственный технологический университет

Минск, Беларусь

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИТЧАТЫХ ТАРЕЛОК ДЛЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ РЕГЕНЕРАЦИИ

Аннотация. Указаны энергетические и иные проблемы, возникающие при работе установки регенерации жидких продуктов производства полисульфонового волокна при её сниженной производительности. Описаны модели существующих и модифицированных ситчатых тарелок ректификационных колонн установки регенерации. Приведены результаты экспериментальных исследований моделей ситчатых тарелок.

D.G. Kalishuk, A.E. Levdansky, E.G. Fedarovich, N.P. Saevich

Belarusian State Technological University

Minsk, Belarus

EXPERIMENTAL STUDIES OF SIEVE PLATES FOR ENERGY- EFFICIENT RECTIFICATION PLANT REGENERATION

Abstract. The energy and other problems arising during the operation of the unit for regeneration of liquid products of polysulfone fiber production at its reduced productivity are specified. The models of existing and modified sieve trays of the rectification columns of the regeneration unit are described. The results of experimental studies of the models of sieve trays are presented.

Мембранными элементами гемодиализаторов, изготавливаемых ПУП «Фребор» (г. Борисов), являются полые полисульфоновые волокна (ППСВ). При производстве ППСВ образуются жидкие отходы, подлежащие регенерации из-за наличия в них ценных компонентов – деминерализованной воды и диметилацетамида. Регенерацию отходов осуществляют в ректификационной установке, включающей пять тарельчатых и две роторных колонны [1].

Из-за снижения объёма продаж гемодиализаторов их выпуск и, соответственно, объёмы регенерируемых жидких продуктов производства ППСВ на ПУП «Фребор» снижены примерно вдвое. При уменьшении производительности тарельчатых колонн установки регенерации на 20% при условии её непрерывной работы наблюдается резкое снижение эффективности разделения и неустойчивость технологических параметров. Поэтому установку регенерации

эксплуатируют в полунепрерывном режиме. При этом снижается её энергоэффективность и повышается себестоимость проведения процесса, а также возникает ряд негативных явлений организационного характера.

Внедрение новой установки регенерации непрерывного действия сниженной производительности требует значительных времени и материальных затрат. Поэтому руководством предприятия принято решение о поисках путей модернизации существующей установки. Для этого сотрудниками БГТУ проведены аналитические исследования по определению недостающих технологических параметров тарельчатых колонн указанной установки и их массообменных тарелок [1].

Границы существования различных гидродинамических режимов работы ситчатых тарелок определяют значением фактора газовой нагрузки в расчёте на полное сечение тарелки F_s , Па^{0,5}, или его значением для потока пара в отверстиях тарелки F_{so} , Па^{0,5}:

$$F_{so} = w_y \sqrt{\rho_y}; \quad (1)$$

$$F_{so} = \frac{w_y \sqrt{\rho_y}}{f_{св}}, \quad (2)$$

где w_y – скорость пара в расчете на полное сечение тарелки, м/с;
 ρ_y – плотность пара, кг/м³; $f_{св}$ – относительное свободное сечение тарелки, м²/м².

В ходе аналитических исследований выявлено: для того, чтобы ситчатые тарелки колонн *DE01 – DE04* работали в эффективном пенном режиме, величина F_{so} должна превышать 8,7 Па^{0,5} [2, 3]. При сниженной вдвое производительности установки регенерации для тарелок этих колонн значение F_{so} не будет превышать 5,3 Па^{0,5}. Из указанного следует, что будет существовать неэффективный провальный режим их работы.

Для обеспечения эффективной работы ситчатых тарелок колонн *DE01 – DE04* при сниженной производительности следует изменить их конструкцию, уменьшив относительное свободное сечение отверстий. С целью получения объективной информации о диапазонах устойчивой работы существующих ситчатых тарелок колонн *DE01 – DE04* и модернизированных их версий разработаны лабораторные модели указанных контактных устройств и проведены экспериментальные исследования их гидродинамики.

Существующие ситчатые тарелки колонны *DE01* имеют диаметр 1,292 м, в их полотнах выполнены отверстия диаметром 0,004 м с

шагом 0,011 м. Относительное свободное сечение отверстий этих тарелок равно $0,068 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а длина сливного порога составляет 0,950 м при его высоте 0,029 м. На рис. 1 изображена модельная тарелка данной колонны нормального исполнения диаметром 0,240 м. Перфорация её выполнена таким же образом, как и в реальной тарелке колонны *DE01*. Относительное свободное сечение её отверстий равно $0,063 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

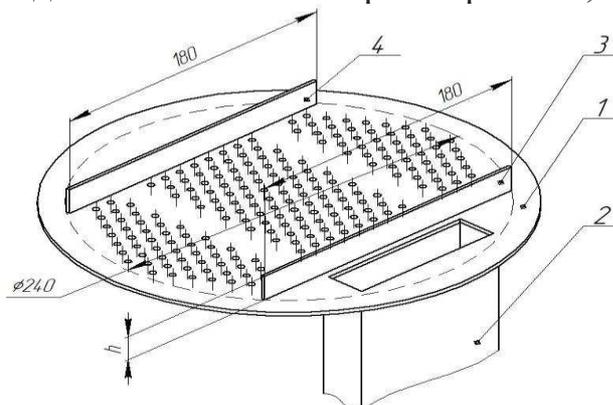


Рис. 1 - Модельная тарелка колонны *DE01* нормального исполнения
1 – основание тарелки; 2 – сливная труба; 3 – сливной порог; 4 –
переливной порог

На рис. 2 представлена модельная модифицированная тарелка. Отличия её от тарелки, показанной на рис. 1 следующие: примерно половина отверстий тарелки заглушена, за счёт чего относительное свободное сечение снижено до $0,031 \text{ м}^2/\text{м}^2$; для обеспечения движения жидкости только в зоне перфорации установлены перегородки *б*.

Тарелки колонн *DE02*, *DE03* и *DE04* имеют относительные свободные сечения отверстий близкие к относительному свободному сечению тарелки *DE01*. Поэтому описанные выше модельные тарелки в достаточной мере отражают и конструктивные особенности реальных тарелок колонн *DE02*, *DE03* и *DE04*.

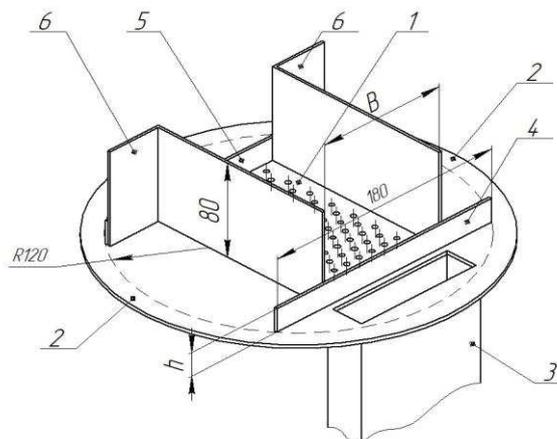


Рис. 2 - Модельная модернизированная тарелка колонны *DE01*
1 – перфорированная секция; 2 – глухие секции; 3 – сливная труба; 4 –
сливной порог; 5 –переливной порог; 6 – направляющие перегородки

В ходе эксперимента определялись гидродинамические параметры сухих и орошаемых тарелок. Модельными средами при этом являлись воздух и вода. При исследованиях сухих и орошаемых тарелок определялось их гидравлическое сопротивление. Для орошаемых тарелок дополнительно определялись максимальная скорость газа, при которой наблюдался провал жидкости, а также унос жидкости. При проведении опытов для сухих тарелок варьировался расход воздуха, а для орошаемых – дополнительно расход воды.

Для сухой модельной тарелки нормального исполнения получено среднее значение коэффициента сопротивления $\xi = 1,45$, а для модельной модернизированной – $\xi = 1,25$. В литературе для тарелок с подобным $f_{св}$ представляют значение ξ от 1,8 до 2,0 [2, 3].

Экспериментальные исследования орошаемых тарелок подтвердили предположение о том, что значения их гидравлического сопротивления при рабочих нагрузках (F_s от 0,30 до 0,35 $\text{Па}^{0,5}$ для модернизированных тарелок) не превышает 500 Па (см. рис. 3). Результаты опытов даны для различных значений линейной плотности орошения сливного порога тарелки L_V , $\text{м}^3/(\text{м}\cdot\text{с})$, которую вычисляют

$$L_V = \frac{Q_L}{L_{сл}}, \quad (3)$$

Q_L – объемный расход жидкости, $\text{м}^3/\text{с}$; $L_{сл}$ – длина сливного порога, м.

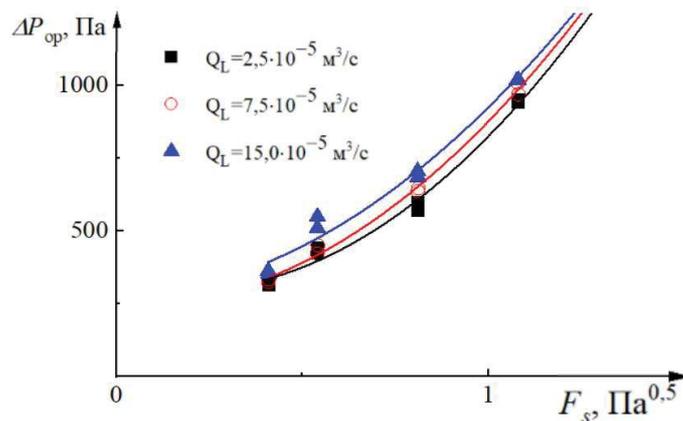


Рис. 3 – Зависимость гидравлического сопротивления модернизированной орошаемой модельной тарелки от F_s

При исследованиях обоих исполнений орошаемых тарелок визуально установлено, что устойчивый пенный режим работы их наблюдается при $7,5 \text{ Па}^{0,5} < F_{so} < 18,5 \text{ Па}^{0,5}$. Провал жидкости для тарелок нормального исполнения возможен при $F_s < 0,47 \text{ Па}^{0,5}$, а для

модернизированных – при $F_s < 0,24 \text{ Па}^{0,5}$. Следовательно, при использовании в колоннах *DE01*, *DE02*, *DE03* и *DE04* модернизированных ситчатых тарелок, имеющих $f_{\text{св}}$ в пределах от 0,030 до 0,035 м²/м², провальный режим их работы при сниженной вдвое производительности установки регенерации не будет возникать. Проведенный анализ показывает, что при сниженной производительности для каждой из колонн $F_s > 0,30 \text{ Па}^{0,5}$.

Работа массообменных тарелок считается эффективной, если относительный массовый унос жидкости e_x не превышает 0,1 кг/кг [3]. Значение e_x рассчитывают по формуле:

$$e_x = \frac{V_{\text{yx}}}{Q_L \tau}, \quad (3)$$

где V_{yx} – объём унесённой с тарелки жидкости, м³, за время τ , с.

При проведении опытов установлено, что для модельных модернизированных тарелок $e_x > 0,1 \text{ кг/кг}$ при $F_s > 1,0 \text{ Па}^{0,5}$. Это указывает, что описанная выше модернизация тарелок колонн *DE01*, *DE02*, *DE03* и *DE04* не вызовет превышения допустимого относительного массового уноса жидкости при их эксплуатации.

Исследования гидродинамики модельных тарелок подтвердили возможность модернизацию колонн установки регенерации за счет изменения конструктивных параметров их ситчатых тарелок.

Список использованных источников

1. Калишук Д.Г., Левданский А.Э., Федарович Е.Г., Саевич Н. П., Ковалева А. А. Аналитическое определение технологических параметров многоступенчатой ректификационной установки / Технологическая независимость и конкурентоспособность Союзного Государства, стран СНГ. ЕАЭС и ШОС. В сб. статей VI Междунар. науч.-техн. конф. «Минские научные чтения–2023», в 3 т. Минск, 06–08 декабря 2023 г. [Электронный ресурс]. – Минск: БГТУ, 2023. – Т. 3. – С. 121-126.
2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Альянс, 2005. – 753 с.
3. Рамм В.М. Абсорбция газов. – М.: Химия, 1976. – 656 с.