

Д.Г. Калишук, доц., канд. техн. наук;  
Е.Г. Федарович, асп.;  
А.Э. Левданский, зав. кафедрой, д-р техн. наук;  
Н.П. Саевич, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАПАЗОНА ОПТИМАЛЬНОЙ РАБОТЫ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СИТЧАТЫХ ТАРЕЛОК**

На ПУП «ФреБор» (г. Борисов) производят полые полисульфоновые волокна, используемые в дальнейшем при изготовлении гемодиализаторов. При производстве полисульфоновых волокон образуются жидкие отходы, содержащие ценные компоненты (диметилацетамид и деминерализованную воду). Для извлечения указанных компонентов и возврата их в основной производственный цикл отходы подвергают регенерации в многоступенчатой ректификационной установке непрерывного действия. Установка включает в свой состав пять тарельчатых колонн с ситчатыми и колпачковыми тарелками [1].

Уменьшение спроса на гемодиализаторы повлекло сокращение объема их производства ПУП «ФреБор» и, соответственно, снижение количества отходов, поступающих в установку регенерации. Колонны установки при сниженной нагрузке работают нестабильно, не обеспечивая при этом требуемого качества регенерированных продуктов. Эксплуатация установки регенерации в полунепрерывном режиме вызывает повышенные удельные расходы энергоносителей и усложняет управление процессом. Замена установки на подобную уменьшенной производительности требует больших капиталовложений.

В результате проведенных обследования и анализа работы установки регенерации было выявлено следующее. Нестабильность ее технологических параметров, снижение качества регенерированных продуктов при уменьшении производительности возникает за счет перехода ситчатых тарелок колонн DE1–DE4 из эффективного пенного в недопустимый из-за низкой эффективности провальный режим [2]. Нами ранее аналитически доказано [1], что провальный режим при работе ситчатых тарелок, подобных тарелкам колонн DE1–DE4 (относительное свободное сечение их отверстий  $f_{св}$  составляет от 0,063 до 0,077 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>), при линейной плотности орошения сливного порога  $L_v \leq 0,0007$  м<sup>3</sup>/(м·с) наблюдается, если фактор паровой нагрузки для потока в отверстиях  $F_{s.o} \leq 8,7$  Па<sup>0,5</sup>. Величина  $F_{s.o}$  связана с величиной

фактора паровой нагрузки, определяемого в расчете на полное сечение тарелки,  $F_s$ , Па<sup>0,5</sup>.

Значения  $F_s$  и  $F_{s.o}$  рассчитывают по формулам:

$$F_s = w_y \sqrt{\rho_y};$$

$$F_{s.o} = \frac{F_s}{f_{cb}},$$

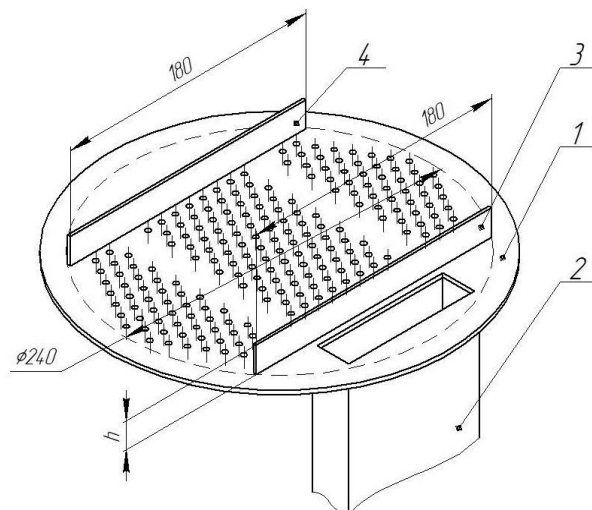
где  $w_y$  – фиктивная скорость пара (газа) через тарелку, м/с;  $\rho_y$  – плотность пара (газа), кг/м<sup>3</sup>.

При номинальной проектной производительности установки расчетные значения  $F_s$  в колоннах DE1–DE4 находятся в пределах от 0,60 до 0,67 Па<sup>0,5</sup> (диапазон  $F_{s.o}$  от 7,8 до 10,5 Па<sup>0,5</sup>). При предполагаемой снижении производительности установки регенерации в два раза расчетное значение  $F_{s.o}$  для существующих тарелок колонн DE1 DE4 будет находиться в диапазоне от 3,9 до 5,3 Па<sup>0,5</sup> ( $F_s$  при этом – от 0,30 до 0,34 Па<sup>0,5</sup>). Указанное подтверждает предположение о работе тарелок в данном случае в неэффективном провальном режиме.

Авторами доклада было разработано техническое предложение по модернизации установки регенерации с сохранением непрерывного режима ее работы, не требующее замены существующих ректификационных аппаратов [3]. Сущность модернизации заключается в изменении конструкции массообменных тарелок колонн. Основной особенностью этого изменения является уменьшение  $f_{cb}$  тарелок колонн DE1–DE4 (за счет уменьшения  $f_{cb}$  предполагается исключить провальный режима работы при сниженной производительности).

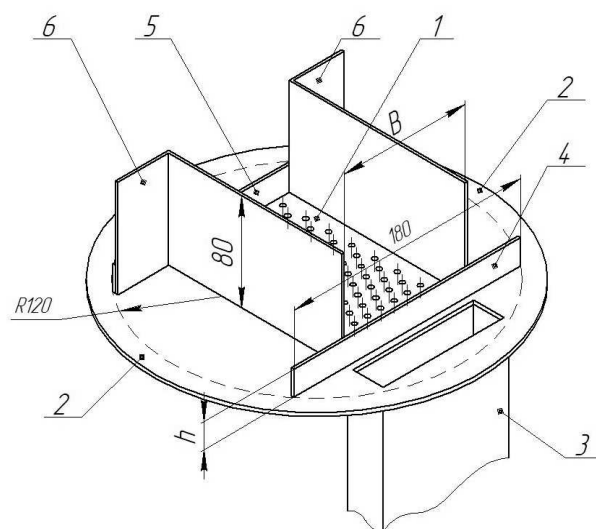
Экспериментальное определение максимальных значений  $F_s$  и  $F_{s.o}$ , при которых существует провальный режим работы, было проведено для двух модельных тарелок. Первая из них подобна существующим в колоннах DE1–DE4 (рис. 1), она имеет  $f_{cb} = 0,063$  м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>. У второй модельной модернизированной тарелки (рис. 2) за счет наличия боковых глухих секций величина  $f_{cb}$  сокращена до 0,031 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>. На модернизированной тарелке также установлены перегородки для обеспечения движения жидкости через зону выхода газа из отверстий. Обе модельные тарелки, подобно тарелкам в колоннах DE1–DE4, имеют отверстия диаметром 4 мм, расположенные в шахматном порядке с шагом 11 мм.

При экспериментах модельными средами являлись воздух и вода. За счет изменения расхода воздуха значение  $F_s$  варьировалось от 0,41 до 2,63 Па<sup>0,5</sup> ( $F_{s.o}$  для тарелки по рис. 1 – от 6,5 до 41,7 Па<sup>0,5</sup>, для тарелки по рис. 2 – от 13,1 до 51,6 Па<sup>0,5</sup>). Линейная плотность орошения сливного порога тарелок составляла от  $2,5 \cdot 10^{-5}$  до  $15 \cdot 10^{-5}$  м<sup>3</sup>/(м·с).



1 – основание тарелки; 2 – сливная труба; 3 – сливной порог; 4 –переливной порог

**Рисунок 1 – Модельная тарелка, подобная существующим  
в колоннах DE1–DE4**



1 – перфорированная секция; 2 – глухие секции; 3 – сливная труба;

4 – сливной порог; 5 –переливной порог; 6 – перегородки

**Рисунок 2 – Модельная модернизированная тарелка**

Объекты исследований – модельные тарелки, при проведении опытов находились в колонке с прозрачными стенками. Поэтому существование того или иного режима работы тарелок устанавливалось визуальными наблюдениями. Обильный провал жидкости в виде струй через отверстия модельных тарелок по рис. 1 с неразвитым пенным слоем на них наблюдался при  $F_{s.o} \leq 7,0 \text{ Па}^{0,5}$ . В диапазоне  $7,0 \text{ Па}^{0,5} < F_{s.o} < 10 \text{ Па}^{0,5}$  отмечен провал жидкости в виде отдельных капель при наличии активного пенного слоя.

Верхней границей высокоэффективной работы ситчатых тарелок являются минимальные значения  $F_s$  и  $F_{s.o}$ , при которых возникает струйный режим их работы [2]. Экспериментально установлено, что струйный режим работы модельных тарелок, представленных на рис. 1, начинает проявляться при  $F_{s.o} > 17 \text{ Па}^{0,5}$  ( $F_s > 1,07 \text{ Па}^{0,5}$ ) и становится устойчивым при  $F_{s.o} > 25 \text{ Па}^{0,5}$  ( $F_s > 1,58 \text{ Па}^{0,5}$ ). Для тарелок, изображенных на рис. 2, струйный режим работы начинает проявляться при  $F_{s.o} > 25 \text{ Па}^{0,5}$  ( $F_s > 0,78 \text{ Па}^{0,5}$ ) и становится устойчивым при  $F_{s.o} > 34 \text{ Па}^{0,5}$  ( $F_s > 1,05 \text{ Па}^{0,5}$ ). Аналитически определенные приближенные значения  $F_{s.o}$  для реально существующих тарелок ректификационных колонн DE1–DE4 и для модернизированных тарелок этих аппаратов соответствуют области высокоэффективного пенного режима их работы. Вторым фактором, определяющим область предельных максимальных значений  $F_s$  и  $F_{s.o}$  при использовании массообменных тарелок, в том числе и ситчатых, является допустимый относительный унос жидкости  $e_x$ , кг/кг. В научной литературе указано, что для эффективной работы тарелок  $e_x$  не должен превышать 0,1 кг/кг [2]. В результате экспериментальных исследований установлено, что допустимое значение  $e_x$  для модернизированных тарелок наблюдается при  $F_s < 1,1 \text{ Па}^{0,5}$ .

Вывод: концепция модернизации ситчатых тарелок колонн DE1–DE4 с обеспечением их работы в высокоэффективном пенном режиме выбрана правильно, что подтверждено экспериментально.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ технологических параметров колонн ректификационной установки / Д. Г. Калишук [и др.] В сб. Химическая технология и техника: материалы 88-й науч.-техн. конф. профес.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 29 января – 16 февраля 2024 г. [Электронный ресурс]. Белорус. гос. технол. ун-т; отв. за издание И. В. Войтов. Минск, 2024. – С. 134 – 137.
2. Рамм В.М. Абсорбция газов. М.: Химия, 1976. 656 с.
3. Концепция модернизации ректификационных колонн установки регенерации продуктов производства полисульфонового волокна / А. Э. Левданский [и др.] В сб. НЕФТЕГАЗОХИМИЯ-2022: материалы V Международного науч.-техн. форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 2–4 ноября 2022 г. Минск: БГТУ, 2022. С. 222–225.