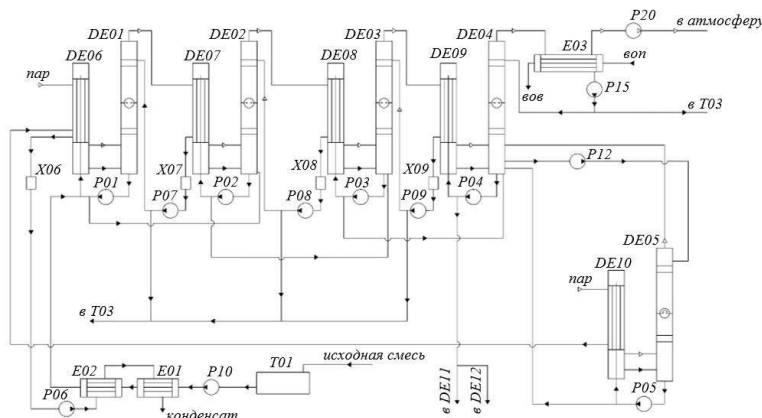


Д. Г. Калишук, доц., канд. техн. наук;
А. Э. Левданский, зав. кафедрой, д-р техн. наук;
Н. П. Саевич, доц., канд. техн. наук;
арович, асп.; А. А. Ковалева, асп. (БГТУ, г. Минск)

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОЛОНН РЕКТИФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

При изготовлении гемодиализаторов на ПУП «Фребор» в качестве мембранных элементов используют полисульфоновые волокна. При производстве волокон образуются отходы, подлежащие регенерации. Ценными компонентами отходов являются диминерализованная вода и диметилацетамид (ДМАЦ).

Регенерацию отходов осуществляют в многоступенчатой ректификационной установке, включающей тарельчатые и роторные колонны. В результате проведения процесса получают воду и ДМАЦ заданной чистоты, и остаток, направляемый на сжигание. Упрощенная схема установки регенерации жидких отходов производства полисульфонового волокна показана на рисунке 1.



DE01–DE05 –ректификационные колонны; DE06–DE10 – испарители;
X06–X09 –сборники конденсата; P01–P10, P12, P15 – насосы; P20 – вакуумный
насос; E01, E02 – подогреватели; E03 – конденсатор; T01 – сборник жидких
отходов; T03 – сборник регенерированной воды

Рисунок 1 – Упрощенная схема установки регенерации жидких отходов

Исходную смесь из сборника T01 подают в подогреватели E01 и E02, где ее подогревают конденсатом. Подогретую смесь подают в качестве питания в колонну DE01. Часть кубового остатка из колонны DE01 направляют в испаритель DE06, а другую используют в качестве питания колонны DE02. Паровая фаза из DE06 направляется в DE01 под нижнюю тарелку и движется вверх, взаимодействуя с жидкостью. На выходе из DE01 эта фаза – водяной пар заданной чистоты, его ис-

пользуют для обогрева испарителя DE07. Основная часть конденсата из DE07 – флегма колонны DE01. Часть конденсата – продукта регенерации, направляемый в сборник T03. Кубовый остаток, поступающий из колонны DE01 в колонну DE02, смешивается с остатком последней.

Работа колонн DE02 – DE04 и испарителей DE07 – DE09 организована подобно работе колонны DE01 и испарителя DE06. Паровая фаза из DE04 поступает в конденсатор E03. Основная часть конденсата из E03 – флегма колонны DE04, другая его часть – продукт регенерации, направляется в сборник T03. Конденсатор E03 вакуумируется. За счет этого создается перепад давлений в колоннах DE01 – DE04 и испарителях DE06 – DE09, что позволяет использовать пар предыдущих колонн для обогрева испарителей последующих. В кубовых остатках колонн DE01 – DE04 последовательно концентрируются вредные примеси. Греющий теплоноситель в испарителе DE10 – водяной пар. Паровая фаза из DE05 поступает в DE04 для более глубокого удаления воды из продуктов, направляемых в роторные колонны. В колонне DE05 создается разрежение за счет ее сообщения с колонной DE04.

Из-за изменений на рынке производство гемодиализаторов и объемы регенерируемых отходов на ПУП «Фребор» снижены примерно вдвое. При уменьшении производительности колонн DE01 – DE05 на 15–20 % наблюдается неэффективная работа установки. Поэтому ее эксплуатируют в полунепрерывном режиме, вызывающем увеличение удельных энергозатрат и другие негативных последствия. Внедрение новой установки непрерывного действия сниженной производительности требует значительных инвестиций. Из-за этого следует найти пути модернизации существующей установки, для чего и выполнен анализ с определением технологических параметров колонн DE01 – DE05.

При обследовании существующей установки зафиксированы номинальные расходы: водяного пара в DE06 – 3000 кг/ч; флегмы в DE01 – DE04 – 2,3 м³/ч; флегмы в DE04 – 2,4 м³/ч; водяного пара в DE10 – 750 кг/ч. Кроме того установлены температуры жидкости в кубах DE01 – DE05 и пара вверху DE05. Также определено, что при расходе пара в DE06 меньшем 2400 кг/ч наблюдается неустойчивая и неэффективная работа установки. Причина этого – возникновение провального режима для ситчатых тарелок в колоннах DE01 – DE04 [1, 2]. Следовательно, существующая установка без модернизации ее колонн не будет работать эффективно при уменьшении производительности в два раза.

Для определения параметров потоков в DE01 – DE05 необходимо знать: температуры пара вверх, давления пара в кубах, давления пара вверх, составы пара и жидкости фаз в кубах и вверх. Технологический регламент установки не содержит данной информации. Требуемые для определения условий работы тарелок сведения мы получили на основании косвенных характеристик, приняв ряд допущений (сопротивление тарелок в колоннах DE01 – DE04 – 0,5 кПа, пар вверх колонн DE01 – DE04 – чистый водяной пар и т. д.).

При работе установки: $t_{\text{п}} > t_{\text{к1}} > t_{\text{п1}} > t_{\text{к2}} > t_{\text{п2}} > t_{\text{к3}} > t_{\text{п3}} > t_{\text{к4}} > t_{\text{п4}}$, где: $t_{\text{к1}}, t_{\text{к2}}, t_{\text{к3}}, t_{\text{к4}}$ – температуры кипения в кубах DE01, DE02, DE03 и DE04; $t_{\text{п1}}, t_{\text{п2}}, t_{\text{п3}}$ – температуры пара вверх DE01, DE02 и DE03. Давление в кубах колонн DE01 – DE04 принято на 9 кПа выше, чем в верхних частях. Давление в кубе колонны DE04 принято 24 кПа. Температуры кипения жидкости в кубах определены приближенно по данным по равновесию для системы вода – ДМАЦ [3].

Аналитически установлены приближенные значения параметров: температура кубовой жидкости в колонне DE04 – 67°C; температура жидкости в кубе DE01 – 112°C (при 0,15 МПа), а пара вверх ее – 109°C; температуры в кубах колонн DE02 и DE03 – соответственно 105 и 95°C, а паров вверх них 100 и 89°C (при температурных напорах в DE07 и DE08 в 5°C); температура верха колонны DE05 – 64°C при 24 кПа.

Расходы пара вверх колонн DE01 – DE05 определены по уравнениям материальных и тепловых балансов (массовые расходы пара вверх колонн DE01, DE02, DE03, DE04 и DE05 – 0,76, 0,75, 0,74, 0,71 и 0,18 кг/с, а объемные – 0,93, 1,24 м³/с, 1,82, 7,15 и 1,23 м³/с).

Тарелки колонн DE01, DE02, DE03 и DE04 имеют диаметр 1292, 1390, 1490 и 2188 мм при относительных свободных сечениях $f_{\text{св}}$ 0,068, 0,064, 0,063 и 0,077 м²/м² соответственно. Колонна DE05 имеет колпачковые тарелки диаметром 1290 мм с $f_{\text{св}}$ сечением 0,144 м²/м².

Важнейшие параметры работы массообменных тарелок [4]; фактор газовой нагрузки в расчете на их полное сечение F_s , Па^{0,5}; этот же фактор для потока в отверстиях тарелки F_{so} , Па^{0,5}; линейная плотность орошения сливного порога L_v , м³/(м·с):

$$F_s = w_y \sqrt{\rho_{\text{пв}}} ; \quad (1)$$

$$F_{\text{so}} = \frac{F_s}{f_{\text{св}}} ; \quad (2)$$

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

где w_y – скорость пара в расчете на полное сечение тарелки, м/с; $\rho_{\text{пв}}$ – плотность пара, кг/м³; V_x – объемный расход жидкости через тарелку, м³/с; $L_{\text{сл}}$ – длина сливного порога тарелки, м.

Результаты расчетов по формулам (1) – (3) для тарелок колонн DE01 – DE05 при их работе до предполагаемой модернизации приведены в таблице.

Таблица – Параметры работы тарелок колонн DE01 – DE05

Колонна	w_y , м/с	F_s , Па ^{0,5}	F_{so} , Па ^{0,5}	$L_V \cdot 10^4$, м ³ /(м·с)
DE01	0,714	0,644	9,65	6,72
DE02	0,820	0,636	9,97	6,14
DE03	1,046	0,666	10,53	5,81
DE04	1,903	0,601	7,82	4,02
DE05	0,945	0,360	-	-

Минимальное значение F_{so} , при котором невозможен провал жидкости через отверстия тарелок колонн DE01 – DE04, по нашим расчетам составляет примерно 8,7 Па^{0,5} [1, 2]. При снижении производительности установки в два раза значения, приведенные в таблице параметров работы тарелок колонн DE01 – DE05 также уменьшатся вдвое. При этом для ситчатых тарелок колонн DE01 – DE04 явно будет характерен неэффективный провальный гидродинамический режим.

Для стабильной и эффективной работы установки при сниженной вдвое производительности требуется модернизация колонн DE01 – DE05. Модернизация колонн предполагает изменение конструкции их тарелок с целью уменьшения относительного свободного сечения. Результаты выполненных нами расчетов и анализа согласуются с информацией о диапазонах допустимых нагрузок по жидкости и газу, изложенной в отраслевом стандарте ОСТ 26-01-125-81.

ЛИТЕРАТУРА

1. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М.: Альянс, 2005. – 753 с.
2. Рамм, В. М. Абсорбция газов / В. М. Рамм. – М.: Химия, 1976. – 656 с.
3. Людмирская, Г. С. Равновесие жидкость – пар / Г.С. Людмирская, Т. А. Барсукова, А. М. Богомольный. – Л.: Химия, 1987. – 336 с.