

решить глобальные проблемы, такие как эффективное и результативное использование наших природных ресурсов, защита окружающей среды и энергетическая безопасность. Также данная работа показала более эффективные пути создания экономически дешевого и экологически чистого источника энергии. Результатом является более экономичный способ строительства ветряных электростанций промышленного масштаба.

Список использованных источников

1. Gurbanguly Berdimuhamedow. Türkmenistanyň elektroenergetika kuwwaty. – А.: Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2022.
2. Türkmenistanyň Gurluşyk we energetika toplumyny ösdirmegiň 2019-2025-nji ýyllar üçin maksatnamasy. – А.:TDNG, 2019.
3. С.Сейиткурбанов, В. Сергеев, Ветроэнергетические режимы Туркмении, 1983.
4. Анапольская Л.Е. и др. Ветроэнергетические ресурсы и методы их оценки Метеорология и гидрология. - 1978. - № 7. - С.11-17.

УДК 66.02

**Д.Г. Калишук, А.Э. Левданский, Е.Г. Федарович,
Н.П. Саевич, А.А. Ковалева**
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

Аннотация. Описана установка регенерации жидких продуктов производства полисульфонового волокна. Указаны энергетические и иные проблемы, возникающие при работе ее ректификационных колонн при сниженной производительности. Проведено аналитическое определение технологических параметров колонн в различных режимах ее работы.

**D.G. Kalishuk, A.E. Levdansky, E.G. Fedarovich,
N.P. Saevich, A.A. Kovaleva**
Belarusian State Technological University
Minsk, Belarus

ANALYTICAL DETERMINATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF A MULTISTAGE RECTIFICATION PLANT

Abstract. An installation for the regeneration of liquid products from the production of polysulfone fiber is described. Energy and other problems that arise when its distillation columns operate at reduced productivity are indicated. An analytical determination of the technological parameters of the columns in various operating modes was carried out.

При изготовлении гемодиализаторов на ПУП «Фребор» (г. Борисов) мембранными элементами являются полисульфоновые волокна. При их производстве образуются регенерируемые продукты, ценными компонентами которых являются диминерализованная вода и диметилацетамид (ДМАЦ), а примесями – поливинилпирролидон (ПВП), мелкодисперсные механические включения и др.

Регенерацию продуктов осуществляют в многоступенчатой ректификационной установке, включающей 5 тарельчатых колонн и две роторных. В результате получают воду и ДМАЦ, заданной чистоты и остаток, направляемый на сжигание.

Схема установки регенерации жидких продуктов производства полисульфонового волокна (УРЖПППВ) показана на рис. 1.

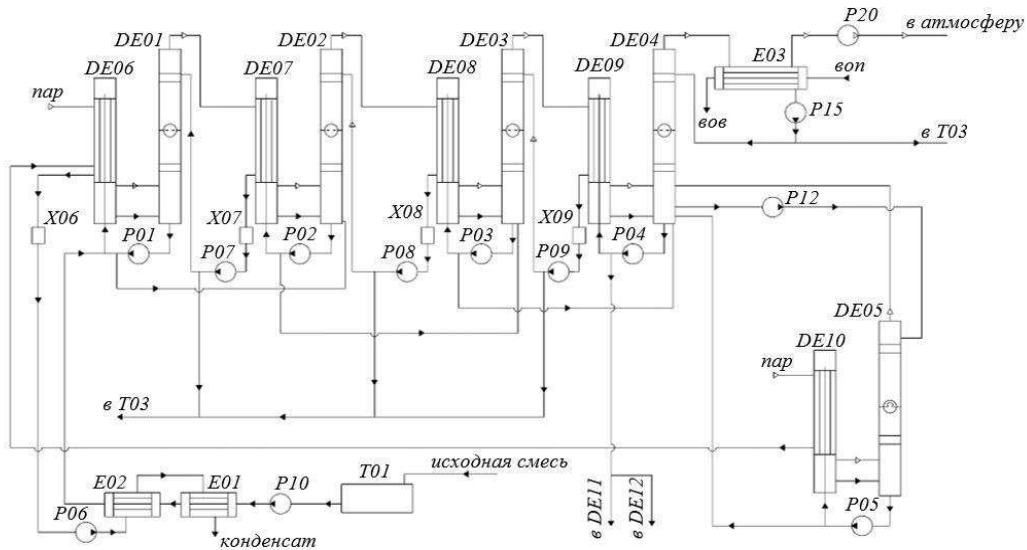


Рис. 1 - Упрощенная схема ректификационной установки регенерации жидких отходов производства полисульфонового волокна

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

Исходную смесь из сборника Т01 подают в подогреватели E01 и E02, в них смесь подогревают конденсатом из испарителя E06. Затем смесь подают как питание в колонну DE01. Часть кубового остатка из 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 – вода заданной чистоты, ее используют для обогрева DE07. Конденсат из DE07 в основном используют в качестве флегмы DE01. Часть его отбирают в виде продукта регенерации и направляют в сборник Т03. Кубовый остаток, поступающий из колонны DE01 в DE02, смешивается с кубовым остатком последней.

Работа колонн DE02 – DE04 и испарителей DE07 – DE09 организована подобно работе колонны DE01 и испарителя DE06. Паровую фазу из DE04 направляют в конденсатор E03. Часть конденсата из E03 используют в качестве флегмы в DE04, другую его часть направляют в сборник Т03. За счет вакуумирования конденсатора E03 создается перепад давлений в колоннах DE01 – DE04 и испарителях DE06 – DE09. Указанное позволяет использовать пар предыдущей колонны для обогрева испарителя последующей. В кубовых остатках колонн DE01 – DE04 последовательно концентрируются ДМАЦ и ПВП. 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 DE11 и DE12. В колонне DE05 создается разрежение за счет ее сообщения с колонной DE04.

Производство волокон и объемы регенерируемых продуктов на ПУП «Фребор» снижены примерно вдвое из-за изменившегося спроса на гемодиализаторы. При уменьшении производительности колонн DE01 – DE05 на 15–20 % наблюдается их неэффективная работа. Поэтому УРЖПППВ эксплуатируют в полунепрерывном режиме, вызывающем увеличение удельных энергозатрат и ряд других негативных явлений. Внедрение новой установки непрерывного действия и сниженной производительности требует значительных времени и материальных затрат. Поэтому принято решение о поисках путей модернизации существующей установки. Для этого проведены аналитические исследования по определению недостающих технологических параметров колонн DE01 – DE05.

При работе УРЖПППВ до ее предполагаемой модернизации зафиксировано: расход водяного пара в DE06 – до 3000 кг/ч; расход флегмы в DE01 – DE04 – до 2,3 м³/ч; расход флегмы в DE04 –

до 2,4 м³/ч; расход водяного пара в DE10 – до 750 кг/ч. При расходе водяного пара в DE06 меньшем 2400 кг/ч наблюдается неустойчивая работа установки. Она возникает из-за снижения скорости пара через DE01 – DE05 (провальный режим ситчатых тарелок в DE01 – DE04, малая скорость истечения пара через прорези колпачковых тарелок в DE05, в итоге – значительное уменьшение их эффективности [1, 2]). Снижение производительности установки в два раза вызывает пропорциональное изменение величин материальных потоков. Очевидным является, что существующая установка без модернизации ее ректификационных колонн не будет работать эффективно.

При обследовании УРЖПППВ дополнительно установлены только температуры жидкости в кубах DE01 – DE05 и пара вверху DE05. Для определения параметров потоков в DE01 – DE05 необходимо знать в них: температуры пара вверху, давления пара в кубах, давления пара вверху, составы пара и жидкости фаз в кубах и вверху. Технологический регламент УРЖПППВ не содержит данной информации. Требуемые для определения условий работы тарелок сведения мы получили приближенно на основании косвенных характеристик, приняв ряд допущений, например: сопротивление ситчатых тарелок в колоннах DE01 – DE04 – 0,5 кПа; пар вверху колонн DE01 – DE04 – чистый водяной пар; давление водяного пара DE06 и DE10 – 0,4 МПа; давление пара вверху колонны DE04 – 15 кПа.

Для работы установки необходимо соблюдение условия: $t_{п} > t_{к1} > t_{п1} > t_{к2} > t_{п2} > t_{к3} > t_{п3} > t_{к4} > t_{п4}$, где: $t_{к1}, t_{к2}, t_{к3}, t_{к4}$ – температуры кипения кубовой жидкости в DE01, DE02, DE03 и DE04; $t_{п1}, t_{п2}, t_{п3}$ – температуры пара вверху DE01, DE02 и DE03. Давление в кубах колонн DE01 – DE04 принято на 9 кПа выше, чем в верхних частях (допущение). При этом давление в кубе колонны DE04 равно 24 кПа. Для определения температуры кипения жидкости в кубах используем данные по равновесию для системы вода – ДМАЦ [3] и констатируем: повышение температуры кубовой жидкости по сравнению с температурой кипения воды от 1 до 3°С. В таком случае температура кубовой жидкости в колонне DE04 составит примерно 67°С.

При давлении в кубе DE01 0,15 МПа температура жидкости в нем 112°С, а пара вверху колонны – 109°С. При температурных напорах в испарителях DE07 и DE08 в 5°С для колонн DE02 и DE03 соответственно температуры: кипения кубовых жидкостей 105 и 95°С; паров вверху колонн 100 и 89°С. Температура верха колонны DE05 примерно 64°С при давлении 24 кПа и допущении, что через ее верх движется пар, состоящий в основном из воды.

Для определения расходов пара вверху колонн DE01 – DE05 использованы уравнения материальных и тепловых балансов их и испарителей. Рассчитанные массовые расходы пара вверху 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 соответственно.

Тарелки колонн DE01, DE02, DE03 и DE04 имеют диаметр 1292, 1390, 1490 и 2188 мм при относительных свободных сечениях 0,068, 0,064, 0,063 и 0,077 м²/м² соответственно. Длина сливных порогов упомянутых тарелок составляет примерно 75 % от их диаметра. Колонна DE05 имеет колпачковые тарелки диаметром 1290 мм с относительным свободным сечением 0,144 м²/м².

Важнейшие параметры работы массообменных тарелок – значения фактора газовой нагрузки в расчете на их полное сечение F_s , Па^{0,5} и этого фактора для потока в отверстиях тарелки F_{so} , Па^{0,5}, а также линейная плотность орошения сливного порога L_V , м³/(м·с) [4].

Их величины определяют по формулам:

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

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

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

где w_y – скорость пара в расчете на полное сечение тарелки, м/с; $\rho_{пв}$ – плотность пара, кг/м³; $f_{св}$ – относительное свободное сечение тарелки, м²/м²; V_x – объемный расход жидкости через тарелку, м³/с; $L_{сл}$ – 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 $8,7 \text{ Па}^{0,5}$ [1, 2]. При снижении производительности УРЖПППВ в два раза приведенные в таблице параметры работы тарелок колонн DE01 – DE05 также уменьшаются вдвое. При этом для ситчатых тарелок колонн DE01 – DE04 явно будет характерен неэффективный провальный гидродинамический режим.

Для стабильной и эффективной работы УРЖПППВ при сниженной вдвое производительности требуется модернизация колонн DE01 – DE05, затрагивающая изменения конструкции их тарелок с целью уменьшения их относительного свободного сечения. Результаты выполненных нами расчетов и анализа согласуются с информацией о диапазонах допустимых нагрузок по жидкости и газу, изложенной в стандарте [4].

Список использованных источников

1. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Альянс, 2005. – 753 с.
2. Рамм В. М. Абсорбция газов. – М.: Химия, 1976. – 656 с.
3. Людмирская Г. С., Барсукова Т. А., Богомольный А. М. Равновесие жидкость – пар. – Л.: Химия, 1987. – 336с.
4. ОСТ 26-01-125-81. Тарелки стальных колонных аппаратов. Типы, основные параметры и размеры.

УДК 621.039.7:339.9

Т.А. Кананчук

Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МИРОВОГО РЫНКА ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Аннотация. В статье анализируются основные тенденции и направления развития мирового рынка отработанного ядерного топлива; оцениваются перспективы развития рынка, анализируется вклад России, Франции, США, Китая в развитие отрасли по переработке отработанного ядерного топлива.