

УДК 663.551

**ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ КОЛОННЫХ
МАСООБМЕННЫХ АППАРАТОВ
OPTIMIZATION OF THE WORK OF COLUMN
MASCONE EXCHANGE DEVICES**

Ю.В. Булий, А.М. Куц

**Национальный университет пищевых технологий,
г. Киев, Украина**

Аннотация. Для оптимизации работы колонных массообменных аппаратов предложена технология, предусматривающая задержку жидкости на ступенях контакта жидкости и пара до достижения состояния фаз, близкого к равновесному. Разработаны конструкции колонных аппаратов, позволяющие поддерживать циклический режим работы в заданном алгоритме. Установлены предельно допустимые скорости пара в свободном сечении колонн и в отверстиях барботажных элементов. В производственных условиях проведены исследования эффективности инновационной технологии в процессе разгонки спиртосодержащих фракций, определены технологические параметры работы колонн. Доказано, что кратность концентрирования летучих примесей спирта увеличивается на 25...38 %, а удельный расход греющего пара уменьшается на 36 %.

Ключевые слова: массообмен, колонный аппарат, ректификация, тарелка, циклический режим

Abstract. To optimize the operation of columnar mass transfer apparatuses, a technology is proposed that provides for fluid retention at the steps of liquid-vapor contact until a phase state close to equilibrium is reached. Designs of columned apparatuses have been developed that make it possible to maintain a cyclic mode of operation in a given algorithm. The maximum permissible steam velocities are established in the free section of the columns and in the holes of the bubble elements. Under production conditions, research was

conducted on the effectiveness of innovative technologies in the process of distillation of alcohol-containing fractions, and technological parameters of the operation of the columns were determined. It is proved that the concentration ratio of volatile impurities of alcohol increases by 25...38 %, the specific consumption of heating steam decreases by 36 %.

Keywords: mass transfer, column apparatus, rectification, plate, cyclic mode.

Одним из наиболее перспективных направлений оптимизации работы колонных массообменных аппаратов является перевод их на циклический режим работы. Использование аппаратов циклического действия в спиртовом производстве позволяет увеличить степень извлечения и кратность концентрирования летучих примесей спирта, пропускную способность колонн по пару и жидкости, а также уменьшить удельный расход греющего пара в процессе разделения многокомпонентных смесей.

Заслуживают внимания исследования, проведенные в этом направлении, В.П. Кривошеевым, А.В. Ануфриевым, М.И. Фараховым, С.Б. Азизовым, А.А. Kiss, М. Matsubara, М. Petrus и др. [1]. Однако, несмотря на полученные положительные результаты, известные разработки не нашли широкого промышленного применения.

В связи с растущими в последние годы ценами на энергоносители значительно вырос интерес к изучению циклических способов ректификации и в Украине. Сотрудниками Национального университета пищевых технологий и ООО «ТИСЭР» разработана технология, предусматривающая проведение контролируемых циклов задержки жидкости на тарелках колонны и ее перелива по тарелкам при непрерывной подаче в колонну жидкости и пара [2,3]. Для реализации технологии в производственных условиях ГП «Чудновский спиртовой завод» была смонтирована экспериментальная колонна, фрагмент которой показан на рис. 1а. Колонна состоит из корпуса 1, тарелок 2 с барботажными элементами 3, подвижных тяг 4 и 5, на которых закреплены клапаны 6 и пружины 7. Переливные трубы 8, вставленные в стаканы 9,

служили гидрозатворами для предотвращения прорыва пара в момент перелива жидкости.

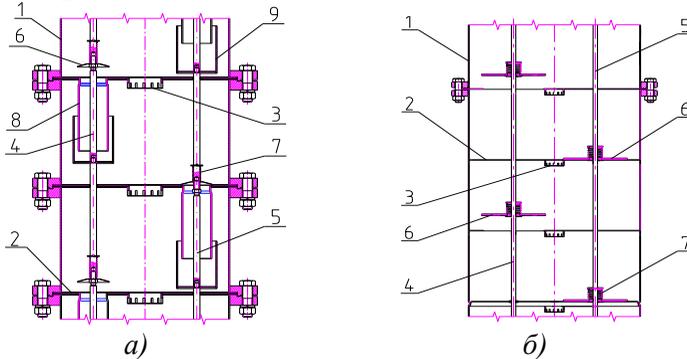


Рис. 1. Фрагменты колонн циклического действия с гидрозатворами (а) и без гидрозатворов (б)

Колонна диаметром 426 мм была оснащена 30 ситчатыми тарелками. Расстояние между тарелками равнялось 300 мм, свободное сечение — 5,5 %. Тяги приводились в движение приводными механизмами в соответствии с заданным алгоритмом. Клапаны 6 поочередно открывали и закрывали переливные отверстия четных и нечетных тарелок.

Целью работы было исследование эффективности предложенной технологии и сравнение эксплуатационных характеристик колонных аппаратов, работающих в стационарном и циклическом режимах в условиях эквивалентной нагрузки по жидкости.

Для достижения поставленной задачи экспериментальная колонна была включена в схему брагоректификационной установки в качестве разгонной (РК). На тарелку питания РК подавали головную фракцию этилового спирта, погоны из конденсаторов бражной колонны, сепаратора углекислого газа, спиртоловушек и сивушный спирт в количестве 96 дм³/час, а на верхнюю тарелку — горячую умягченную воду для гидроселекции примесей. Избыточное давление в кубовой части колонны составляло 30 кПа, в верхней ее части — 2...5 кПа. Время задержки жидкости на тарелках равнялось 13 с, время

перелива — 7 с. Концентрация этилового спирта в кубовой жидкости не превышала 4...5 % об.

Экспериментально установлено, что в процессе разгонки спиртосодержащих фракций головные примеси выделялись в полном объеме, степень извлечения высших спиртов сивушного масла и метанола в циклическом режиме увеличивалась на 38 %, а кратность их концентрирования соответственно на 25, 38 и 40 %. При этом удельный расход греющего пара уменьшался на 36 % и не превышал 14 кг/дал безводного спирта, введенного на тарелку питания. Недостатками работы колонны были относительно невысокая пропускная способность по жидкости (до 750 дм³/час) и брызгоунос с нижних тарелок на верхние (относительная величина брызгоуноса превышала 0,1 кг жидкости на 1 кг пара). Наличие гидрозатворов уменьшало площадь контакта жидкости и пара на тарелках на 20 % и приводило к увеличению времени перелива жидкости, что снижало эффективность массообмена.

Чтобы устранить указанные недостатки потребовалось уменьшить сопротивление тарелок, понизить рабочее давление в кубовой части колонны, сократить время перелива жидкости и увеличить время ее пребывания на тарелках. Для этого авторами была увеличена площадь контакта фаз за счет исключения гидрозатворов в экспериментальной РК. Фрагмент РК после ее усовершенствования представлен на рис. 16. Предложенное техническое решение позволило изменять скорость пара в отверстиях барботажных элементов от 1 до 16 м/с за счет изменения свободного сечения тарелок в заданном диапазоне значений таким образом, чтобы в период массообмена жидкость удерживалась на тарелках, а в момент поднятия клапана 6 и открытия отверстия для перелива жидкость проваливалась через все отверстия. При этом время перелива жидкости с тарелки на тарелку уменьшалось до 2 с, а интервал задержки жидкости возрастал до 23 с и более. В результате пропускная способность РК по жидкости увеличилась на 34 % (до 1000 дм³/час). Для предотвращения брызгоуноса и интенсификации перелива были определены предельно допустимые скорости пара в свободном сечении колонны и в отверстиях барботажных элементов, ниже которых происходил провал жидкости, а выше которых

появлялся ее брызгоунос. Для ситчатых тарелок нижняя и верхняя критическая скорости соответственно равнялись 0,25 и 0,7 м/с; а отверстиях барботажных элементов — 5,4 и 8 м/с. Конструктивные изменения и применение указанных режимов позволили снизить избыточное давление в кубовой части колонны до 18 кПа, уменьшить сопротивление тарелок и время перелива жидкости, исключить брызгоунос, повысить эффективность массообмена между жидкостью и паром за счет увеличения площади и времени контакта фаз.

В колоннах с диаметром более 600 мм целесообразно устанавливать провальные тарелки с поворотными сегментами. Испытания такой колонны (диаметром 950 мм) проводились в производственных условиях МПД Сторонибабский спиртовой завод ГП «Укрспирт» в процессах разгонки спиртосодержащих фракций и эспирации бражного дистиллята. Для работы колонны в циклическом режиме поворотные сегменты тарелок были соединены с микропроцессорной пневматикой фирмы FESTO (стандартными пневмоцилиндрами двустороннего действия), работа которых происходила в соответствии с программой контроллера M340 фирмы «Schneider Electric» таким образом, чтобы перелив жидкости происходил периодически по высоте колонны сверху вниз. Проведенные производственные испытания подтвердили целесообразность использования инновационных предложений.

Список литературы

1. Кривошеев В.П. Основы и эффективность циклических режимов процесса ректификации [Текст] / В.П. Кривошеев, А.В. Ануфриев // Фундаментальные исследования. 2015. № 11 (Ч.2). С. 267-271.
2. Патент RU 2372965 С2 В01D 3/00, В01D 3/20 (RU). Способ перелива жидкости по тарелкам колонного аппарата в процессе массообмена между паром и жидкостью / Дмитрук А.П., Черняховский И.Б., Дмитрук П.А., Булий Ю.В.– заявл. 27.09.2007; опубл. 20.11.09, бюл. № 32/2007.
3. Патент UA 116565 МПК В01D 3/30 (2006.01). Ректифікаційна колона з керованими циклами / Булій Ю.В., Дмитрук А.П., Дмитрук П.А.– заявл. 12.12.16; опубл. 25.05.17, бюл. № 10/2017.