

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕГОНКИ СПИРТОВОЙ БРАЖКИ И РЕКТИФИКАЦИИ ЭТИЛОВОГО СПИРТА

Булий Ю.В., Шиян П.Л., Куц А.М.

Национальный университет пищевых технологий, г. Киев, Украина

Авторами предложена энергосберегающая технология управляемой ректификации. Проведены исследования ее эффективности для процессов разгонки спиртосодержащих фракций и перегонки зрелой бражки. Определены технологические показатели работы экспериментальных разгонной и бражной колонн. Установлены преимущества предложенной технологии: в процессе разгонки происходит полное извлечение головных примесей, степень извлечения спиртов сивушиного масла и метанола повышается на 60 %, значительно возрастает их кратность концентрирования. При увеличении времени задержки бражки до 12 с. концентрация этанола в бражном дистилляте увеличивается на 28 %. При этом удельные затраты греющего пара сокращаются на 40 %.

Ключевые слова: бражка, этиловый спирт, контролируемые циклы, ректификация, фазовое равновесие.

Энергетическая зависимость индустриально развитых государств от поставщиков природного газа и нефти требует поиска альтернативных источников энергии, одним из которых является этиловый спирт (биоэтанол). Для обеспечения конкурентоспособности биоэтанола перед углеводородными энергоносителями необходимо повысить эксплуатационные и технологические характеристики брагоректификационных установок (БРУ).

Недостаточное количество и невысокая эффективность применяемых контактных устройств приводят к перерасходу греющего пара и снижению эффективности процессов перегонки спиртовой бражки и ректификации этилового спирта. В типовых БРУ, работающих в стационарном режиме, взаимодействие паровой и жидкой фаз происходит за время, значительно меньшее времени установления равновесия в системе жидкость-пар, поэтому на ступенях контакта колонного оборудования равновесие практически не достигается. Как следствие этого, коэффициент полезного действия применяемых контактных устройств не превышает 0,4...0,6 [1].

Одним из факторов, позволяющих увеличить движущую силу массообмена между жидкостью и паром, повысить разделяющую способность ректификационных колонн, а также сократить удельный расход греющего пара, является увеличение времени задержки жидкости на тарелках до момента достижения равновесного состояния фаз. Интервал жидкостной задержки зависит от качественного состава спиртосодержащих фракций, поступающих на тарелку питания, и их количества. Поэтому в конкретных условиях он устанавливается экспериментальным путем. Степень отклонения системы от равновесия является движущей силой процесса массопереноса, выражаемой как разность рабочих и равновесных концентраций компонентов в паровой или жидкой фазах. В условиях идеального вытеснения по жидкости и пару эта разность приближается к нулю. В реальных условиях ее увеличение позволяет увеличить движущую силу массообмена, повысить разделяющую способность ректификационных колонн, степень извлечения и кратность концентрирования летучих примесей спирта, качество товарной продукции, а также сократить удельный расход греющего пара и снизить себестоимость колонного оборудования за счет сокращения количества физических тарелок [2,3].

Для повышения эксплуатационных и технологических характеристик БРУ перспективным направлением является применение нестационарного (циклического) режима работы

установки, а также разработка конструкции ректификационного оборудования, позволяющей обеспечить раздельное движение паровой и жидкой фаз по тарелкам колонн.

Известные ректификационные установки циклического действия не нашли широкого практического применения. Проведенные авторами экспериментальные исследования позволили выявить ряд специфических особенностей их работы (как положительных, так и отрицательных). В частности, было доказано, что раздельное движение фаз по колонне позволяет интенсифицировать процесс массообмена за счет одноразовой смены жидкостной задержки на тарелках и сократить расход греющего пара на 40 % по сравнению с типовыми колонными аппаратами, работающими в стационарном режиме. Однако из-за отсутствия массообмена в период прерывания подачи пара для поступления жидкости на тарелку и в момент ее перелива по тарелкам колонны эффективность разделения исходной смеси снижается [4].

Учитывая вышеизложенное, была поставлена задача разработать энергосберегающую технологию ректификации с контролируемыми циклами задержки и перелива жидкости без прерывания подачи в колонну парового и жидкостного потоков, позволяющую повысить эффективность массообмена путем уменьшения разности рабочих и равновесных концентраций компонентов в паре и жидкости на ступенях контакта за счет увеличения продолжительности жидкостной задержки ($\tau_{ж}$) на тарелках и отсутствия в рабочем цикле парового периода ($\tau_{п}$) при минимальной продолжительности перелива жидкости по тарелкам колонны.

Для решения поставленной задачи сотрудниками Национального университета пищевых технологий и ООО «Техинсервис-процесс» (г. Киев) предложена технология ректификации, предусматривающая проведение контролируемых циклов задержки и синхронного перелива жидкости за счет дополнительно установленных клапанов на подвижных тягах по всей высоте колонны, связанных с приводными механизмами (пневмоцилиндрами), действие которых выполняется согласно заданного алгоритма в соответствии с программой контроллера и не зависит от режима подачи греющего пара в кубовую ее часть. Способ предусматривает перелив жидкости в два последовательных этапа, повторяющихся периодически во времени поочередно. На первом этапе жидкость синхронно переливается с каждой непарной тарелки на каждую последующую парную тарелку. На втором этапе – с каждой парной тарелки на каждую последующую непарную тарелку [5,6]. Причем, на каждом этапе перелив может осуществляться в один или два приема в зависимости от степени обновления поверхности межфазового контакта (рис. 1).

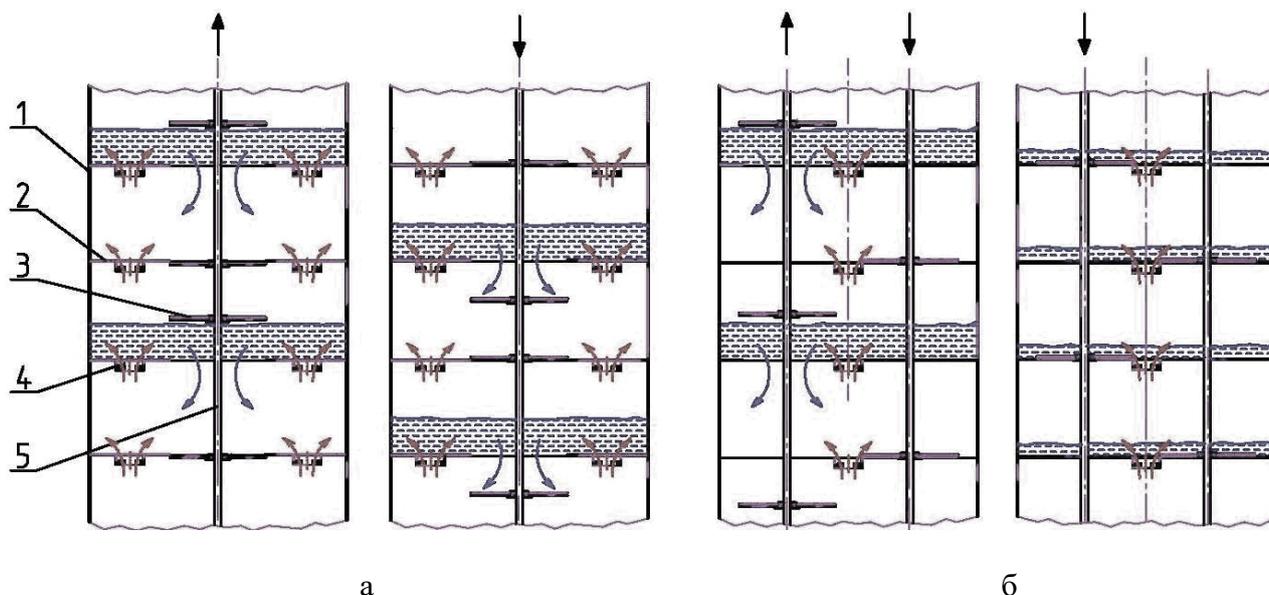


Рис 1. Способы перелива жидкости в условиях контролируемых циклов ректификации: 1 – корпус ректификационной колонны; 2 – тарелка, 3 – клапан, 4 – контактный элемент, 5 – подвижная тяга

На рис. 1а схематически представлен полный или однократный способ, согласно которому переливные отверстия парных или непарных тарелок остаются открытыми до момента полного синхронного перелива жидкости с верхних на смежные с ними нижние тарелки по всей высоте колонны. На рис. 1б схематически показан отдельный или дробный способ перелива жидкости, который происходит в два приема.

Для осуществления дробного способа время перелива сокращают вдвое. Таким образом жидкость разделяют на две части, после чего подвижные клапаны перекрывают переливные отверстия парных или непарных тарелок, осуществляется задержка жидкости на соответствующих тарелках колонны для проведения массообмена в заданном интервале времени, после завершения которого выполняется ее окончательный перелив.

Исследования инновационной технологии проводились в производственных условиях ГП «Чудновский филиал Житомирского ликероводочного завода» (Украина). Задача исследований заключалась в оптимизации процесса выделения этилового спирта в разгонной колонне из побочных продуктов и полупродуктов брагоректификации, не содержащих взвешенных частиц. Для достижения поставленной задачи экспериментальная разгонная колонна была оснащена микропроцессорной пневматикой фирмы FESTO (стандартными пневмоцилиндрами двунаправленного действия типа DNT 63-50-PPV-A), связанной через подвижные тяги с клапанами, которые поочередно открывали и закрывали переливные отверстия парных и непарных по порядку размещения тарелок согласно заданного алгоритма, и современными компьютерно-интегрированными средствами. Управление клапанами и работой пневмоцилиндров, контроль технологических параметров (температуры, давления) осуществлялся с помощью автоматических датчиков, сигнал от которых передавался на микропроцессорный контроллер. Разгонная колонна диаметром 426 мм была оснащена 30 сетчатыми контактными устройствами с диаметром отверстий 2,4 мм и межтарелочным расстоянием 300 мм. Живое сечение тарелки – 5,5 %.

В процессе исследований определялись степень извлечения летучих примесей спирта (α) и кратность их концентрирования (β) в условиях типовой и управляемой ректификации:

$$\alpha = \frac{X_M}{X_O}; \quad \beta = \frac{X_D}{X_M},$$

где X_M , X_D , X_O – концентрация примесей спирта на тарелке питания, в дистилляте и в кубовой части колонны соответственно, мг/дм³.

Результаты исследований приведены в табл. 1 и представлены на рис. 2.

Таблица 1

Степень извлечения ключевых органических примесей спирта в процессе разгонки спиртосодержащих фракций в условиях типовой и управляемой ректификации

Наименование органических примесей	Концентрация, мг/дм ³			Степень извлечения примесей (α)
	питание	кубовая жидкость	КЭС	
этанол, видимая концентрация, % об.	82,0	5,0	68,0	16,4
Типовая ректификация:				
альдегиды	605,0	7,0	10235	86,4
эстеры	637,7	8,0	13467	79,7
сивушное масло	27307,9	1293,0	272626	21,1
метанол, %	0,026	0,0016	1,75	16,2
Управляемая ректификация:				
альдегиды	605,0	следы	13591,2	∞
эстеры	637,7	следы	17905,2	∞
сивушное масло	27307,9	793,0	462079	34,4
метанол, %	0,026	0,0010	2,66	26,0

Анализ экспериментальных данных показал, что при проведении процесса разгонки в режиме контролируемых циклов задержки и перелива жидкости при непрерывной подаче греющего пара альдегиды и эстеры (головные примеси) выделяются в полном объеме, степень извлечения (α) высших спиртов (верхних промежуточных примесей) и метанола увеличивается на 38 %. При этом кратность концентрирования (β) головных примесей повышается на 25 %, высших спиртов – на 40 %, метанола – на 37 %.

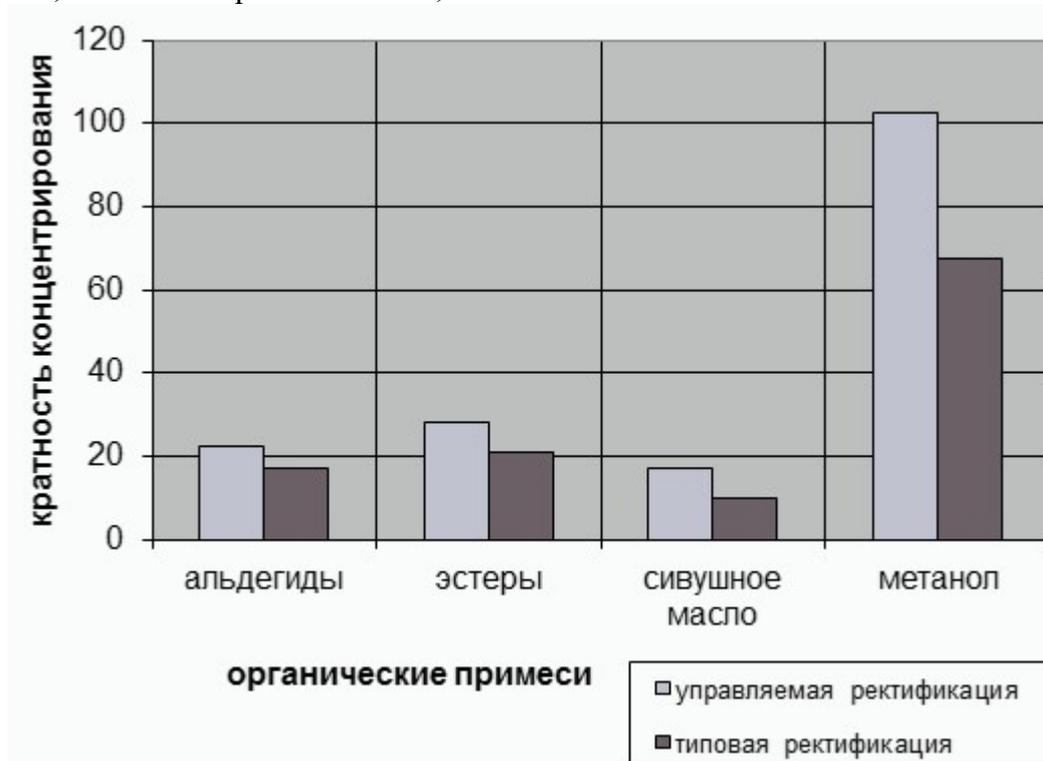


Рис.2. Кратность концентрирования (β) ключевых органических примесей спирта в условиях управляемой и типовой ректификации

Расход греющего пара при работе разгонной колонны в режиме управляемой ректификации составлял 11...13 кг/дал абсолютного алкоголя (а.а.), введенного на тарелку питания, что на 40 % ниже по сравнению с типовыми установками. Расход пара сокращается за счет уменьшения живого сечения тарелок, а также увеличения продолжительности задержки жидкости на ступенях контакта до момента достижения равновесного состояния фаз.

Дальнейшие исследования были направлены на определение эффективности предложенной авторами технологии в процессе перегонки спиртовой бражки, полученной из зернового сырья и содержащей до 7 % сухих веществ. Производственные испытания проводились в условиях ГП «Лопатинский спиртовой завода» (Украина).

Объектами исследований были типовая бражная колонна, работающая в стационарном режиме, и экспериментальная бражная колонна, конструкция которой позволяла обеспечить раздельное движение фаз при непрерывной подаче в колонну жидкости и пара. За критерий оптимизации процесса брагоперегонки принимали удельный расход греющего пара и концентрацию этилового спирта в пробах бражного дистиллята.

Типовая бражная колонна диаметром 1200 мм была оснащена тарелками двойного кипячения в количестве 25 шт. Технологические параметры ее работы: давление в кубовой части – 1,3 м вод. ст. (13 кПа), в верхней части – 0,3 м вод. ст. (3 кПа), температура в кубовой части – 106,3 °С, температура верха – 95,6 °С, на 23-й тарелке питания – 93,9 °С, температура бражки – 81,6...81,9 °С. Экспериментальная бражная колонна диаметром 650 мм была оснащена 30-ю чешуйчатыми тарелками с межтарелочным расстоянием 400 мм и подвижными

клапанами, закріпленними на тягах, зв'язаними з пневмоциліндрами. Показатели ее работы при нормативных потерях спирта с бардой: давление в кубовой части – 2,2 м вод. ст. (22 кПа), в верхней части – 0,7 м вод. ст. (7 кПа), температура в кубовой части – 106,3 °С, температура верха колонны – 91,2° С. Во всех вариантах бражка подавалась на верхние тарелки колонн. Концентрация этилового спирта в бражке составляла 8,5 % об. Продолжительность времени пребывания бражки на тарелках определяли экспериментально в зависимости от концентрации этилового спирта в бражном дистилляте.

Исследования показали, что с увеличением времени задержки бражки на тарелках колонны до 12 с. концентрация этанола в бражном дистилляте увеличивалась на 28 % по сравнению с типовой колонной и составляла 60,3 % об. при минимальном удельном расходе греющего пара. Повышение крепости бражного дистиллята позволяет проводить более глубокую гидроселекцию головных и верхних промежуточных примесей спирта в эспирационной колонне и за счет этого повысить качество эспирата и ректификованного этилового спирта. При увеличении интервала задержки более 12 с. удельный расход греющего пара и концентрация спирта в бражном дистилляте повышаются незначительно, при этом уменьшается пропускная способность колонны по жидкости.

Использование инновационной технологии для перегонки спиртовой бражки сокращает удельный расход греющего пара на 37 % (до 14,4 кг/дал а.а.) по сравнению с типовой бражной колонной, работающей в стационарном режиме.

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать вывод о целесообразности практического использования энергосберегающей технологии управляемой ректификации, предложенной авторами с целью оптимизации технологических процессов перегонки спиртовой бражки и ректификации этилового спирта, сокращения удельного расхода пара и повышения качества ректификованного спирта.

Список литературы

1. Шиян П.Л. Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика: монографія. / П.Л. Шиян, В.В. Сосницький, С.Т. Олійнічук. – К.: Видавничий дім «Асканія», 2009. – 424 с.
2. Kiss A.A., Bildea C.S. A control perspective on process intensification in dividing-wall columns / Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. – 2011. – № 50. – P. 281-292.
3. Kiss A.A., Rewagad R.R., Energy efficient control of a BTX dividingwall column/ Computers and Chemical Engineering (2011), doi:10.1016/j.compchemeng.2011.03.024.
4. Булий Ю.В. Энергосберегающая технология ректификации этилового спирта [Текст] / Ю.В. Булий, П.Л. Шиян, А.П. Дмитрук // Производство спирта и ликероводочных изделий». – 2012. - № 3. – С. 14-16.
5. Патент України 89874 С2. Спосіб переливу рідини по тарілках колонного апарата у процесі масообміну між паром та рідиною / Дмитрук А.П., Черняхівський Й.Б., Дмитрук П.А., Булий Ю.В. – Заявлено 06.06.08; Опубл. 10.03.10, Бюл. № 5.
6. Патент на изобретение 2372965 С2 В01Д 3/00, В01Д 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.; патентообладатель Дмитрук А.П. (UA). - № 2007135886/15; заявл. 27.09.2007; - опубл. 20.11.2009, Бюл. № 32/2007.

Булій Ю.В., Шиян П.Л., Куц А.М.

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧА ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕГОНКИ СПИРТОВОЇ БРАЖКИ І РЕКТИФІКАЦІЇ ЕТИЛОВОГО СПИРТУ

Авторами запропонована енергозберігаюча технологія керованої ректифікації. Проведені дослідження її ефективності для процесів розгонки спиртовмісних фракцій і перегонки дозрілої бражки. Визначені технологічні показники роботи експериментальних розгінної та бражної колон. Встановлено переваги запропонованої технології: в процесі розгонки відбувається повне вилучення головних домішок, ступінь вилучення спиртів сивушного масла та метанолу підвищується на 60 %, значно зростає їх кратність концентрування. При збільшенні часу затримки бражки на тарілках до 12 с. концентрація етанолу в бражному дистилляті збільшується на 28 %. При цьому питомі витрати гріючої пари скорочуються на 40 %.

Ключові слова: бражка, етиловий спирт, контрольовані цикли, ректифікація, фазова рівновага.

Y.V. Buliy, P.L. Shiyan, A.M. Kuts

ENERGY-SAVING TECHNOLOGY OF DISTILLATION OF ALCOHOL BREW AND RECTIFICATION OF ETHYL ALCOHOL

The authors propose saving technology-driven rectification. Conducted research of its efficiency for the processes of distillation of alcohol-containing fractions and distillation of mature distillate. Determined the technological parameters of the experimental acceleration and alcohol distillation columns. The advantages of the proposed technology: in the process of acceleration there is a complete extraction of the head impurities, the degree of extraction of alcohols fusel oil and methanol increased by 60 %, significantly increased their concentration rate. With increasing time, the delay distillation up to 12 s. the concentration of industrial ethanol in the distillate is increased by 28 %. While the unit cost of the heating steam is reduced by 40 %.

Keywords: distillation, ethyl alcohol, controlled cycles, rectification, phase equilibrium.

Булій Ю.В. Энергосберегающая технология перегонки спиртовой бражки и ректификации этилового спирта [Электронный ресурс] / Ю.В. Булій, П.Л. Шиян, А.М. Куц.- XVIII международная научно - практическая конференция «Современные проблемы техники и технологии пищевых производств»: Сборник материалов, г. Барнаул, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 16-17 февраля.2017 г., с. 43-46.

Тип документа – стаття.