

УДК 663.5:541.48:66.

БРЕМЕРС Г.<sup>1</sup>, БИРЗИЕТИС Г.<sup>1</sup>, ШКЕЛЕ А.<sup>1</sup>, БЛИЯ А.<sup>1</sup>, ДАНИЛЕВИЧ А.<sup>2</sup>,  
ЛЕБЕДЕВА К.<sup>3</sup>, ШИПКОВС П.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт силовых машин Латвийского сельскохозяйственного университета

<sup>2</sup>Институт микробиологии и биотехнологии Латвийского университета

<sup>3</sup>Физико-энергетический институт

## ВАРИАНТ ЭНЕРГОЭКОНОМИЧНОЙ ДЕГИДРАТАЦИИ БИОЭТАНОЛА

Описано принцип сумісної (конгруєнтної) дегідратації біоетанола. Запропонований спосіб дозволяє отримати безводний спирт для використання в виробництві біопалива і в порівнянні з традиційним методом може зменшити витрати енергії до 70 %.

Описан принцип совмещённой (конгруэнтной) дегидратации биоэтаноло. Предлагаемый способ даёт возможность получить безводный спирт для использования в производстве биогорючего и по сравнению с традиционным методом может снизить расход энергии до 70 %.

The principle method for congruent bioethanol dehydration is developed. With this method is possible to obtain completely dehydrated ethanol for biofuel production and reduce energy consumption in dehydration process up to 70 % in comparison with conventional method.

В настоящее время в мире доминирует трёхступенчатая технология дегидратации бражки: её перегонка в бражной колонне, ректификация полученного дестиллята и адсорбция остаточной воды материалом молекулярных сит [1]. В классической технологии дегидратации биоэтаноло концентрация спирта в 99,5% и выше достигается прежде всего ректификацией дестиллята сброженного затора – бражки до концентрации ректификата 96,0...96,5 %, а затем адсорбцией воды из спиртовой паровой смеси. После насыщения материала молекулярных сит парами воды следует их регенерация.

В наших исследованиях выяснилось, что две последние стадии обезвоживания целесообразно осуществлять одновременно, совмещая их протекание в ректификационной колонне. Такое совмещение имеет ряд преимуществ, главным из которых является снижение энергозатрат. Оно основывается на том, что совмещение процессов ректификации и адсорбции воды позволяет обойти энергетически невыгодный конечный участок ректификации включением на этом участке в работу адсорбента воды.

Экспериментальная установка для изучения совмещённой ректификации и адсорбции воды из паров спирто – водяной смеси собрана из двух колб Кьелдаля, двух нагревателей для этих колб и двух конденсаторов-охладителей. В одну из колб загружали этанол различной концентрации. Эту колбу нагревали и получали пар, который исполь-

зовался в качестве питающего. Этот пар направляли во вторую колбу, где моделировался совмещённый процесс ректификации и адсорбции воды на тарелке ректификационной колонны. Часть питающего пара направлялась на конденсатор-охладитель для определения концентрации этанола в этом первичном паре. Во вторую – контактную колбу – помещали контактную массу, состоящую из смеси сорбента и абсолютного спирта в соотношении 1:0,8, и через барботажную трубку в нижний слой контактной массы вводили питающий пар. В ходе эксперимента концентрацию спирта, входящего в состав контактной массы, постепенно снижали. Образующийся в контактной колбе вторичный пар отводили во второй конденсатор – охладитель и конденсировали. В этом конденсате определяли концентрацию этанола. Сравнивая концентрацию во вторичном и питающем паре, определяли степень дегидратации спирта и степень влияния процессов ректификации и адсорбции на процесс отнятия воды при различных концентрациях питающего пара.

После окончания опыта по дегидратации в контактной колбе оставалась пульпа отработанного адсорбента. Жидкую часть этой пульпы составляла лютерная вода. Пульпу фильтровали через фильтровальную бумагу средней плотности, используя воронку Бюхнера с применением вакуума. Отфильтрованный адсорбент переносили в металлический сосуд и ставили его на раскалённую до красного каления конфорку электрической плитки.

Нагрев продолжали до достижения постоянной массы.

Концентрацию спирта определяли по показаниям денсиметра и таблице плотность-концентрация спирта, учитывая температурную поправку. Температуру определяли дистанционным термометром, реже, стеклянным термометром.

В качестве адсорбентов использовали порошкообразный цеолит лабораторного класса, а также применяемый в производстве биоэтанола гранулированный синтетический материал молекулярных сит на базе цеолита Sylobead MS 564 германской фирмы GRACE Davison. Гранулы Sylobead MS 564 перед использованием растирали в порошок и просеивали через сито с отверстием 1мм. Использовали просев. Проведенные с порошкообразным цеолитом и измельчённым Sylobead опыты дали идентичные результаты.

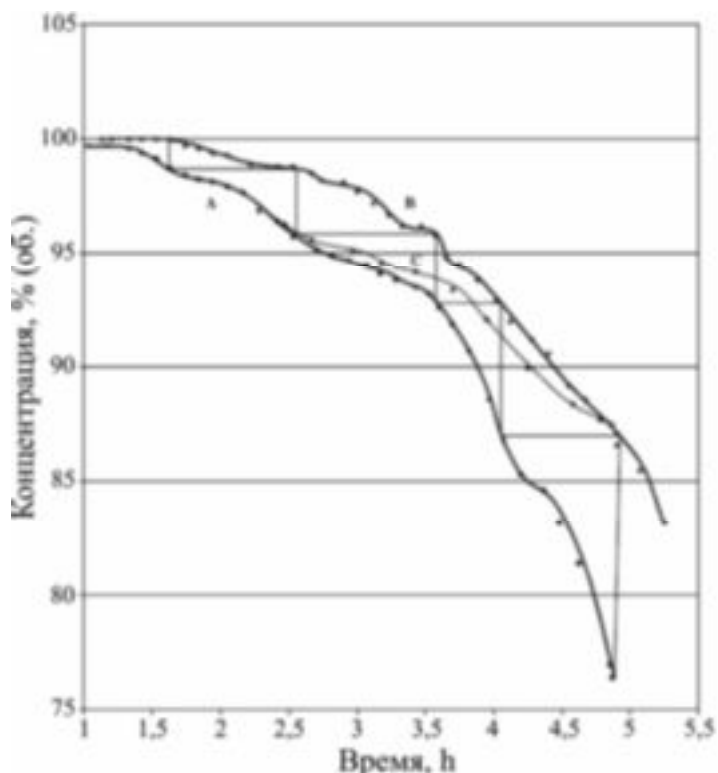
### Результаты

По опытным данным строили диаграммы, отображающие ход дегидратации этанола в совмещённом процессе ректификации и адсорбции воды. Одна из них приведена на рис. 1. Кривая А отображает задаваемые концентрации питающего пара, а кривая В – изменение концентрации вторичного, т.е. дегидратированного пара. Если из любой точки кривой А провести вертикальную линию до пересечения с кривой В, то этот вертикальный отрезок покажет, насколько возросла концентрация вторичного пара по сравнению с первичным.

Чтобы определить степень влияния на процесс дегидратации, как ректификации, так и адсорбции, на диаграмму с кривыми А и В, нанесена кривая С. Она сконструирована по данным таблицы равновесия системы жидкость-пар для спирто-водной смеси [3]. Эта кривая показывает связь между концентрацией кипящего спирто-водного раствора и концентрацией спирта в выделяющемся из этого раствора паре, если в кипящем растворе нет никаких веществ, связывающих воду. Она пересекается с вертикальными отрезками, отображающими изменения концентрации первичного и вторичного пара. Точки пересечения кривой С с вертикальными отрезками делят эти отрезки на две части. Нижняя часть вертикальных отрезков отображает то повышение концентрации этанола во вторичном паре, которое определяется выпариванием спирта, т.е.

ректификацией. Верхняя же часть указывает, насколько повышается концентрация этанола за счёт адсорбции воды присутствующим в кипящем растворе сорбентом.

Влияние эффекта адсорбции особенно сильно сказывается в областях концентраций этанола свыше 94 % (об.). Начиная с этой концентрации процесс ректификации оказывает всё уменьшающееся влияние на дегидратацию спирта, а при концентрации 97,2 % (об.) отделение воды от этанола выпариванием становится невозможным – достигнута азеотропная точка.



**Рис. 1. Диаграмма процесса конгруэнтной дегидратации биоэтанола:**

**А – изменение концентрации питающего пара;**  
**В – изменение концентрации дестилата вторичного пара; С - равновесная кривая.**

Из приведенной диаграммы видно, что в рассматриваемом опыте водопоглотительная способность адсорбента исчерпывается при концентрации этанола 77 % (об.). В других опытах, когда применялась большая масса адсорбента, водопоглощение происходило и при более низких концентрациях. На диаграмме, начиная с концентрации этанола, при которой процесс водопоглощения адсорбентом уже прекратился, прочерчены ступенчатые линии.

Их число является числом ступеней повышения концентрации этанола, т.е. числом теоретических тарелок в верхней части колонны. Поскольку вертикальные линии этих ступеней пересекаются с линией С, по длине отрезков до и после точки пересече-

ния с линией С, определяли соотношение воды, удалённой в каждом из обоих процессов дегидратации. Результаты одного из опытов показаны в таблице 1.

Табл. 1. Соотношение процессов ректификации и адсорбции воды при различных концентрациях спиртовых паров

Концентрация вводимого пара, %		Концентрация дегидратированного пара, %		Общая разность	Разница, полученная за счет ректификации		Разница, полученная за счет адсорбции	
объемные	массовые	объемные	массовые	% массовые	% массовые	доля от общей разности	% массовые	доля от общей разности
76.5	69.5	87.0	81.9	12.4	12.4	1.00	0.00	0.00
87.0	81.9	92.8	89.1	7.2	5.6	0.78	1.6	0.22
92.8	89.1	95.9	93.7	4.6	1.5	0.32	3.1	0.68
95.9	93.7	98.6	96.4	2.7	0.3	0.12	2.4	0.88
98.6	96.4	100.00	100.00	3.6	0.00	0.00	3.6	1.00
		Общая		30.5	19.8		10.7	

Из данных табл.1 следует, что в этом эксперименте из спирто-водной смеси ректификацией удалено  $19,8 : 30,5 \times 100 = 64,9$  % воды, а адсорбцией –  $10,7 : 30,5 \times 100 = 35,1$  %. Число прочерченных между кривыми А и В ступенчатых линий показывает теоретически необходимое число ступеней повышения концентрации спирта от 76.5% до 100%.

В данном опыте число необходимых степеней укрепления спирта равно пяти. Снижение энергозатрат на дегидратацию биоэтанола в технологическом узле, обеспечивающем совмещённый – конгруэнтный процесс ректификации и адсорбции, может достичь 70 %.

### Выводы

1. Вместо разделённого процесса дегидратации биоэтанола, когда до азеотропной концентрации обезвоживание проводят методом ректификации, а в сверхазеотропной области – путём адсорбции паров воды в молекулярных ситах, более целесообразно оба процесса совместить в одном и том же аппарате; такой совмещённый процесс обезвоживания биоэтанола можно обозначить как конгруэнтная дегидратация.

2. Наиболее существенными преимуществами конгруэнтной технологии дегидратации биоэтанола являются значительное сокращение числа тарелок в ректификационной колонне и возможность до 70% сократить расход энергии на обезвоживание спирта.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Lyons T.P., Kelsall D.R., Murtagh I.E. The Alcohol Textbook. Nottingham, University Press. –1995. – р. 259.
2. Интенсификация спиртового производства. К. – Техника. – 1983. – 128 с.
3. Стабников Б.М. Перегонка и ректификация этилового спирта. 2-ое издание. М. – Пищепром, 1969. – 456 с.

Получено 29.09.2009 г.