

УДК 681.51

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СТАТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ СЛОЖНОЙ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭТИЛЕНА

Кривошеев В.П., Никифорова К.Е., Ануфриев А.В., Кан Б.А.

Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, Владивосток, Россия (690014, г. Владивосток, ул. Гоголя, 41)

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия (690950, г. Владивосток, ул. Октябрьская, 27), e-mail: krivosheev@vvsu.ru

Исследуется связь термодинамического критерия, критерия чистоты разделения и отбора целевого продукта в статических режимах сложной ректификационной колонны при производстве этилена. Построены поверхности первых двух критериев в плоскости: отбор целевого продукта – паровая нагрузка на куб колонны для базовых значений расхода и состава питания, а также при отклонении расхода и состава питания от базовых значений. Исследовано изменение указанных критериев в отдельных сечениях их поверхностей для ряда выбранных значений расхода продуктового потока и паровой нагрузки. Установлено, что в пределах допустимой работы этиленовой колонны максимизация термодинамического критерия соответствует максимальный отбор целевого продукта с незначительным изменением качества. В отличие от простых ректификационных колонн, в исследуемой колонне характер изменения критерия чистоты разделения отличается от характера изменения термодинамического критерия.

Ключевые слова: термодинамический критерий, критерий чистоты разделения смеси, этилен, сложная ректификационная колонна.

THE INVESTIGATION OPTIMAL STATIC BEHAVIOURS OF COMPLEX DISTILLATION COLUMN IN ETHYLENE PRODUCTION

Krivosheev V. P., Nikiforova K.E., Anufriev A.V., Kan B.A.

Vladivostok State University of Economics and Service, Vladivostok, Russia (690014, Vladivostok, street Gogolya 41).

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia (690950, Vladivostok, street Oktyabrskaya 27), e-mail: krivosheev@vvsu.ru

In this work we explore association of thermodynamic criterion with total purity of separation and stream product slate in complex distillation column static conditions in ethylene production. The surfaces of first and second criteria were formed in plane stream product slate – bottom reboiler evaporative rate for base rate and composition of supply as well as for changing rate feed. We analyzed surfaces of criteria variation in independent section under the conditions of ranging of stream product slate and bottom reboiler evaporative rate. It is determined that maximum of stream product rate with minor variation of quality can be reached according to maximum of thermodynamic criterion for allowed limit of column work. The characteristic change of criterion total purity of separation differs from characteristic of thermodynamic criterion.

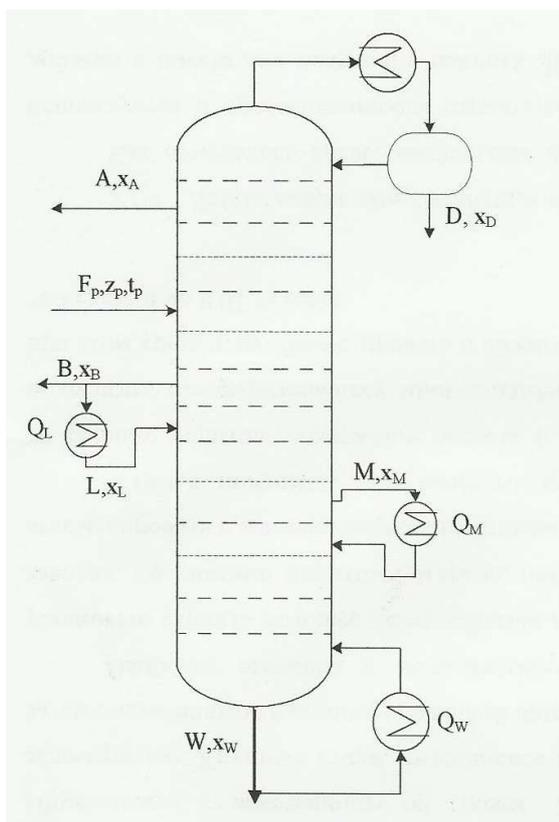
Keywords: thermodynamic criterion, criterion total purity of separation, ethylene, complex distillation column.

Введение

В течение последних 30 лет этилен входит в число основных крупнотоннажных продуктов органического синтеза как сырьевой компонент (охватывает 30% всех процессов органического синтеза) [1]. Кроме того, с использованием процесса олигомеризации этилен может быть переработан в синтетическое топливо и масла, аналогичные традиционным ГСМ, получаемым из нефти, и «синтетическую нефть». Полимеры на основе этилена (например, различные виды и марки полиэтилена, сополимеры с другими мономерами) являются основными видами пластиков, используемых повсеместно.

Основными методами промышленного производства этилена являются: пиролиз фракций легких углеводородов и процессы каталитического крекинга [2]. После стадий пиролиза и компримирования стадия газоразделения в производстве этилена является завершающей. Она предназначена для получения этилена методом разделения углеводородных газов конденсационно-ректификационным способом, в результате которого конечным продуктом является этилен чистотой более 99,9% объемных.

Как известно, основная часть потребляемой энергии в нефтехимии приходится на процессы



ректификации. Следовательно, большинство научных исследований в области химической технологии, направленных на комплексное изучение возможностей снижения энергопотребления в процессах разделения смесей, являются актуальными [3].

Таким образом, исследование оптимальных статических свойств элементов сложной системы на уровне отдельных аппаратов, в данном случае – на ректификационной колонне (РК), и дальнейшее моделирование оптимальных режимов позволяют решать поставленные задачи производством при минимальном уровне энергозатрат.

Рисунок 1 – Схема исследуемой РК

Цель исследования

Целью исследования является сравнительная оценка результатов максимизации энтропийной оценки в виде термодинамического критерия и максимизации чистоты разделения исходной смеси.

Объект исследования

Схема исследуемой установки приведена на рисунке 1.

Товарный этилен (А) выводится из колонны верхним боковым погоном; кубовый поток (W) – низом колонны, дистиллят (D) – верхом колонны; часть нижнего бокового погона (B) выводится из установки, а вторая часть (L), нагреваясь верхним боковым ребойлером (Q_L), возвращается обратно в колонну (верхнее циркуляционное орошение (ЦО)). Нижнее ЦО (M) отбирается, нагревается нижним боковым ребойлером (Q_M).

Результаты моделирования приведены в относительных единицах. За единицу приняты базовые значения.

Состав полученного при моделировании продуктового потока (таблица 1) соответствует ГОСТ [4].

Таблица 1 - Состав продуктового потока, полученного в базовом режиме

Компонент	Концентрация компонента, вес. доля
Водород (i=1)	1,58E-07
Метан (i=2)	9,09E-05
Этилен (i=3)	0,991328
Этан (i=4)	6,37E-06
Пропилен (i=5)	1,39E-30

Результаты исследования и их обсуждение

Задача оптимизации в математической постановке представлена выражениями (1) и (2):

$$\Psi(F_p, Z_p, t_p, A, D, B, Q_L, Q_M, Q_W) \rightarrow \max. \quad (1)$$

$$\eta(F_p, Z_p, t_p, A, D, B, Q_L, Q_M, Q_W) \rightarrow \max. \quad (2)$$

В качестве управляющих воздействий приняты продуктовый поток этилена А и паровая нагрузка на куб Q_w. Поиск максимального значения критериев оптимальности выполнялся методом сканирования.

Количественная оценка термодинамического критерия разделительной способности колонны η вычислялась по уравнению (4), учитывающему характеристики входящего потока и выходящих потоков, а четкость разделения Ψ вычислялась по уравнению (7).

В работах [5-8] термодинамический критерий рассматривается при разных типах задач, например, с учетом неидеальности и с учётом многокомпонентности смеси, но только для простых РК с одним входным потоком и двумя выходящими (дистиллят и кубовый остаток):

$$\eta = \frac{A_T}{A_T^0} = 1 - \frac{\varepsilon \sum_{i=1}^m X_i \ln X_i + (1-\varepsilon) \sum_{i=1}^m X_i \ln X_i}{\sum_{i=1}^m X_{Fi} \ln X_{Fi}} \quad (3)$$

С учетом особенностей исследуемой колонны для расчета данного критерия предлагается выражение:

$$\eta = \frac{A_T}{A_T^0} = 1 - \frac{\varepsilon \sum_{j=1}^2 k_j \sum_{i=1}^5 X_{ij} \ln X_{ij} + (1-\varepsilon) \sum_{j=3}^4 k_j \sum_{i=1}^5 X_{ij} \ln X_{ij}}{\sum_{i=1}^m X_{Fi} \ln X_{Fi}} \quad (4)$$

$$\varepsilon = \frac{D+A}{F_p} \quad (5)$$

(6)

$$k_1 = \frac{A}{D+A}, k_2 = \frac{D}{D+A}, k_3 = \frac{B}{B+W}, k_4 = \frac{W}{B+W},$$

где A_T – работа, необходимая для разделения смеси состава X_{Fi} на потоки дистиллята состава X_{Di} , верхнего бокового потока состава X_{Ai} и нижнего бокового потока состава X_{Bi} , кубового остатка состава X_{Wi} ;

A^0_T – работа, необходимая для разделения аналогичной смеси на чистые продукты;

i – номер компонента в смеси;

ε – суммарная доля отбора низкокипящих компонентов в дистилляте и верхнем боковом потоке;

$(1-\varepsilon)$ – суммарная доля отбора высококипящих компонентов в нижнем боковом потоке и кубовом остатке;

k_j – коэффициент пропорциональности отбора j -го потока;

j – номер потока, $j=1$ для потока А, $j=2$ для потока D, $j=3$ для потока В, $j=4$ для потока W.

Критерий чистоты разделения смеси [9] определяется разностью между суммой концентраций легколетучих компонентов в дистилляте и продуктовом потоке и суммой концентраций легколетучих компонентов в нижнем боковом потоке и в кубовом продукте:

(7)

$$\Psi = \frac{D \sum_{i=1}^3 X_{Di+A} \sum_{i=1}^3 X_{Ai}}{D+A} - \frac{B \sum_{i=1}^3 X_{Bi+W} \sum_{i=1}^3 X_{Wi}}{B+W},$$

где i – номер низкокипящего компонента в смеси, $i=1$ для компонента водород, $i=2$ для компонента метан, $i=3$ для компонента этилен.

Значения данных критериев рассматривались при трех нагрузках по питанию постоянного состава:

- 1) базовая нагрузка по питанию;
- 2) увеличенная на 10% нагрузка по питанию;
- 3) уменьшенная на 10% нагрузка по питанию.

Вычисления велись при изменении каждой независимой переменной с шагом $\Delta=2,5\%$.

Поверхности анализируемых критериев приведены на рисунках 2-4.

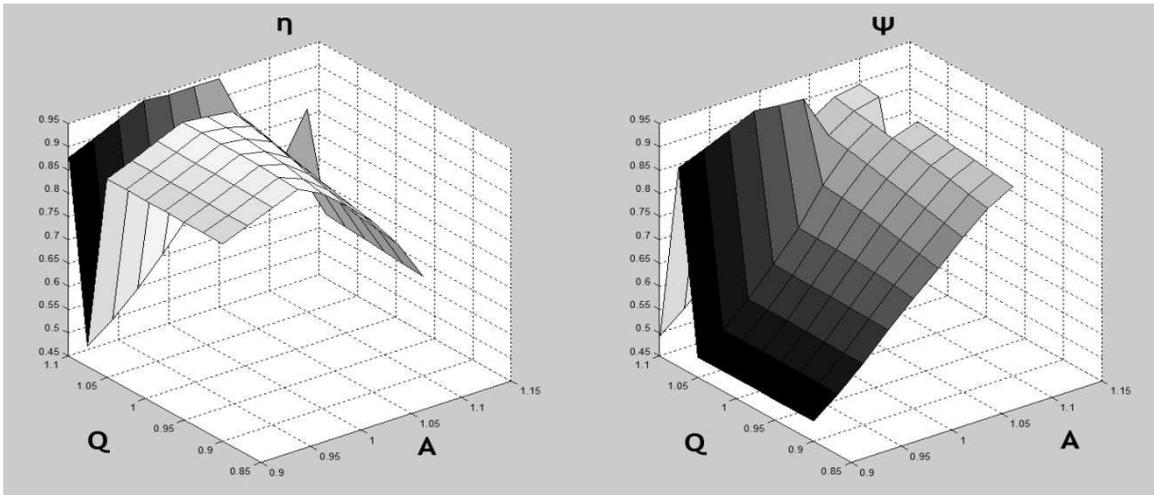


Рисунок 2 – Графики искомых критериев при варьировании переменных Q_w и A для базового расхода питания

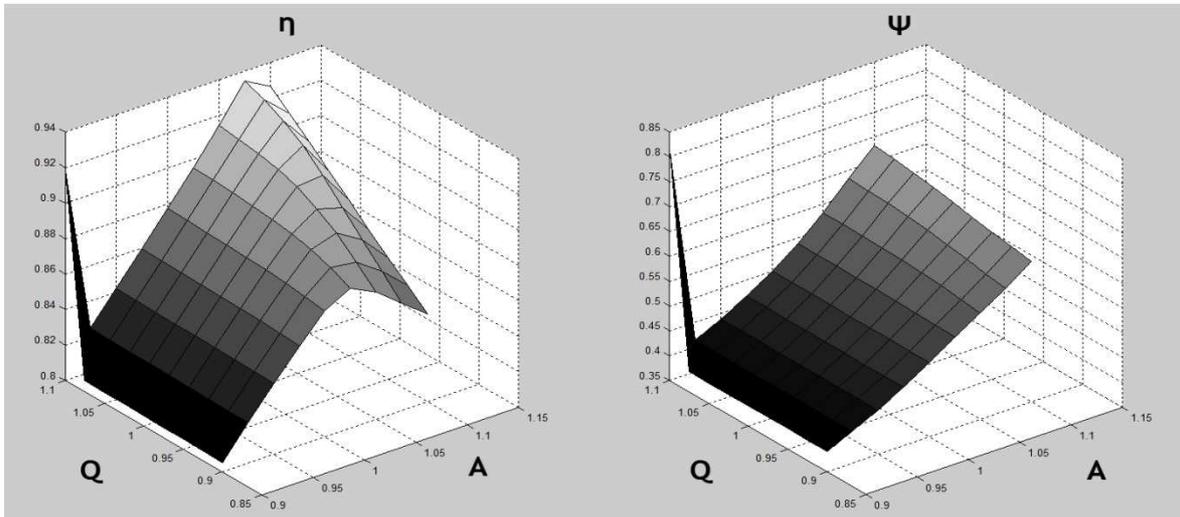


Рисунок 3 – Графики искомых критериев при варьировании переменных Q_w и A для увеличенного расхода питания

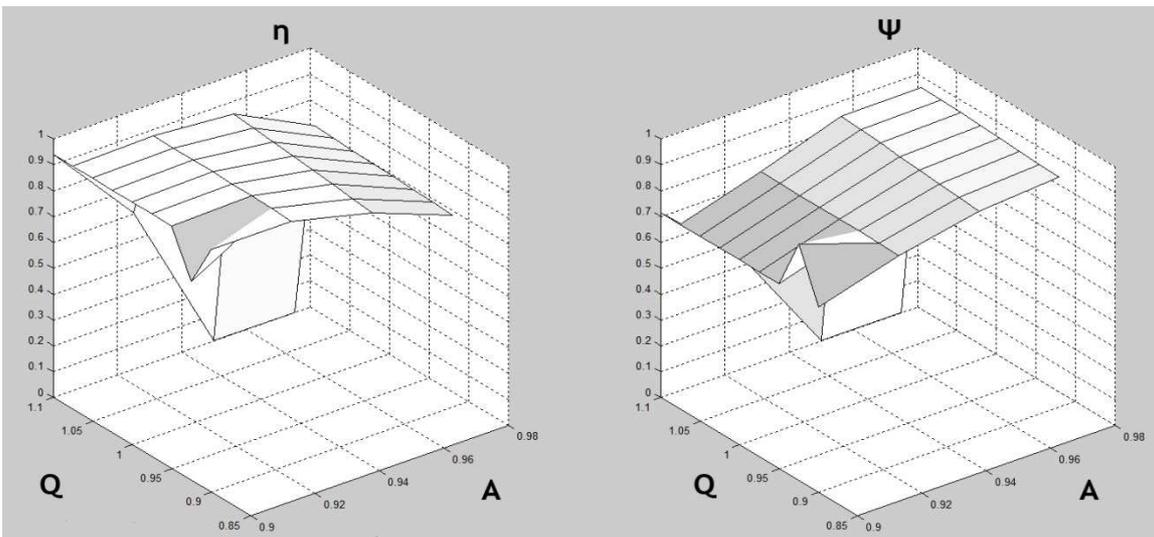


Рисунок 4 – Графики искомых критериев при варьировании переменных Q_w и A для уменьшенного расхода питания

Также были исследованы изменения критериев и концентрации этилена в продуктовом потоке в отдельных сечениях поверхностей, построенных для разных режимов (рисунки 5-9).

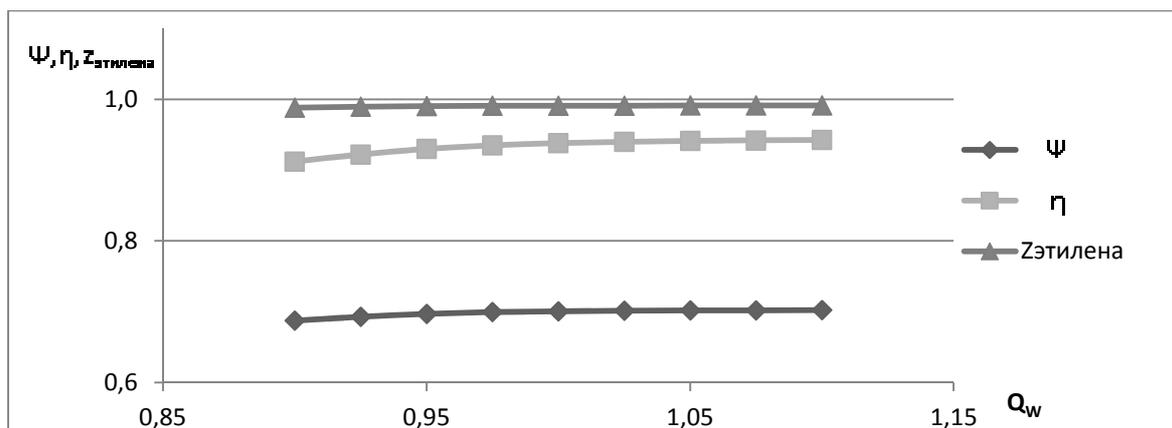


Рисунок 5 - Графики критериев для базового расхода и состава питания, полученные при варьировании кубовой нагрузки Q_w , продуктивный поток = const

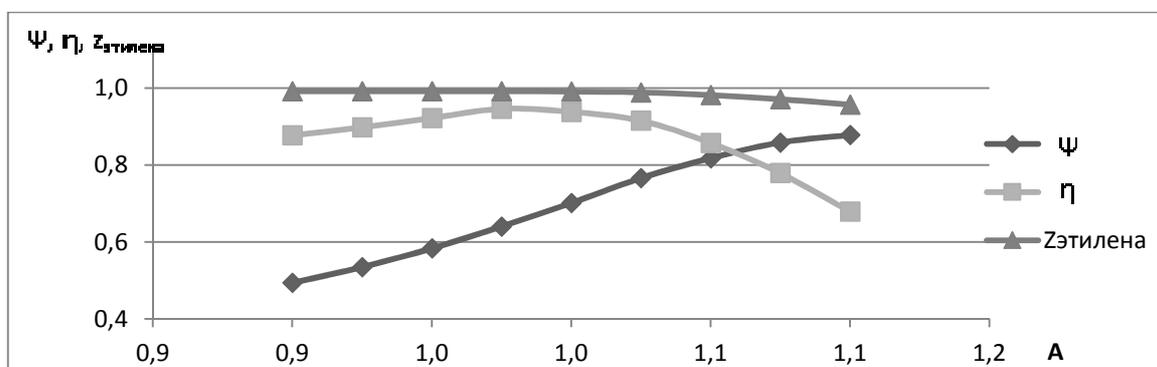


Рисунок 6 - Графики критериев для базового расхода и состава питания, полученные при варьировании продуктового потока A , кубовая нагрузка = const

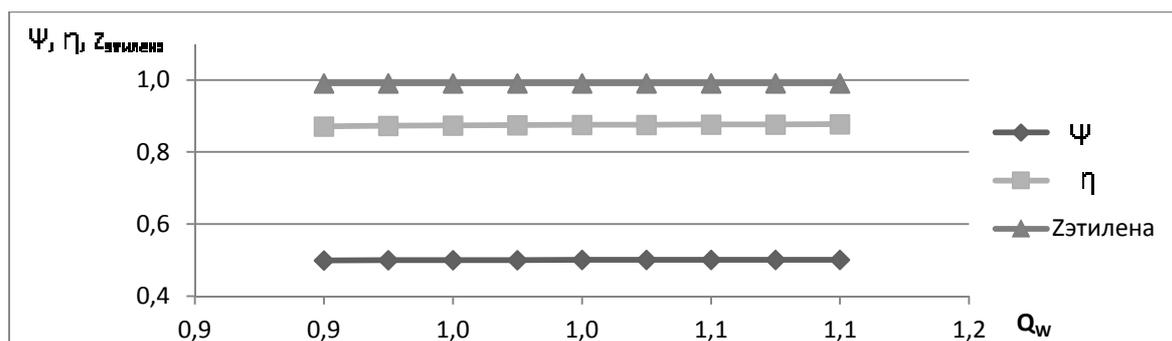


Рисунок 7 - Графики критериев для увеличенного расхода питания в базовом его составе, полученные при варьировании кубовой нагрузки Q_w , продуктивный поток = const

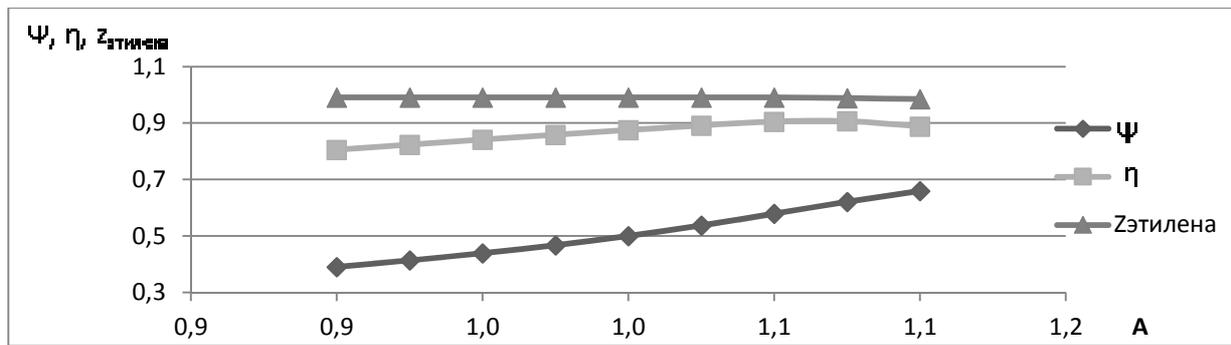


Рисунок 8 - Графики критериев для увеличенного расхода питания в базовом его составе, полученные при варьировании продуктового потока A, кубовая нагрузка = const

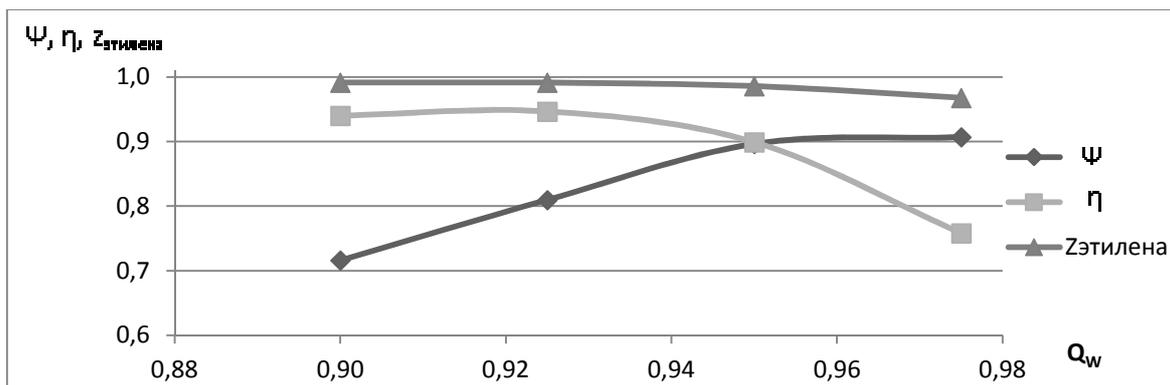


Рисунок 9 - Графики критериев для уменьшенного расхода питания в базовом его составе, полученные при варьировании кубовой нагрузки Qw, продуктовый поток = const

Заключение

Согласно полученным данным, наибольшее значение термодинамического критерия достигается при оптимальном отборе продуктового потока. Максимум данного критерия обеспечивает максимальный отбор этилена заданного качества. Характер изменения критерия чистоты разделения при изменении отбора продуктового потока и тепловой нагрузки отличается от характера изменения термодинамического критерия. В результате сравнительного анализа критерия чистоты разделения и термодинамического критерия при оптимизации статических режимов рассматриваемой колонны предпочтительнее применение термодинамического критерия.

Список литературы

1. Гальцов А.В. Оптимизация процесса ректификации на основе термодинамического критерия / А.В. Гальцов, В.П. Майков // ТОХТ. – 1971. – Т. 5, № 2. – С. 303.
2. ГОСТ 25070-87. Изм. 1. Этилен. Технические условия. – Введ. 01.01.1989. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 10 с.

3. Дам К.Ш. Разработка математических моделей многокомпонентной ректификации с созданием базы данных и программного комплекса : автореф. дис. ... к-та техн. наук. – Москва : Изд-во полигр. центр РХТУ, 2012. – 18 с.
4. Кривошеев В.П. Повышение эффективности функционирования ректификационной колонны путем циклического воздействия на потоки / В.П. Кривошеев, А.В. Ануфриев // Автоматизация и управление технологическими производственными процессами : материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Уфа, 2013. - С. 27-30.
5. Ляпков А.А. Моделирование и оптимизация установки выделения товарного пропилена / А.А. Ляпков, Ю.В. Шефер // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309, № 6. – С. 104.
6. Серафимов Л.А. Сравнительный анализ универсальных критериев оптимизации процесса ректификации / Л.А. Серафимов, Л.А. Хахин, П.О. Мавлеткулова // ТОХТ. – 2011. – Т. 45, № 6. – С. 634.
7. Тюрин А.А. Особенности современного состояния производства и перспективы использования бензола и этилена в качестве основного сырья для промышленного органического синтеза / А.А. Тюрин, Б.А. Еременко, Е.А. Удалова // Башкирский химический журнал. – 2013. – Т. 20, № 1. – С. 149.
8. Фролкова А.К. Оценка оптимального расположения уровня питания при ректификации бинарных и многокомпонентных смесей разной природы / А.К. Фролкова, Л.А. Хахин // ТОХТ. – 2009. – Т. 4, № 3. – С. 45.
9. Фролкова А.К. Энтропийная оценка ректификации бинарных смесей при различных вариантах расчета / А.К. Фролкова, Л.А. Хахин // ТОХТ. – 2008. – Т. 3, № 2. – С. 51.

Рецензенты:

Кондриков Н.Б., д.х.н., профессор, заведующий кафедрой физической и аналитической химии Школы естественных наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток.

Шахгельдян К.И., д.т.н., начальник управления научно-технического обеспечения, Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, г. Владивосток.