



УДК 66.048.3

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕПАРАЦИИ ПАРОЖИДКОСТНОГО ПОТОКА В ЗОНЕ ПИТАНИЯ НА ЭНЕРГОЗАТРАТЫ ПРОЦЕССА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ РАЗДЕЛЕНИЯ

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DEGREE OF INFLUENCE OF THE EFFICIENCY OF SEPARATION OF VAPOR-LIQUID FLOW IN THE FEEDING ZONE ON THE ENERGY CONSUMPTION OF THE PROCESS UNDER DIFFERENT SEPARATION CONDITIONS

Чураков Василий Александрович

магистрант кафедры нефтехимии и химической технологии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
ophioc@gmail.com

Маннанов Тимур Ильнурович

старший преподаватель кафедры нефтехимии
и химической технологии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
t.i.mannanov@yandex.ru

Чуракова Светлана Константиновна

доктор технических наук,
профессор кафедры нефтехимии и химической технологии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
chskugntu@rambler.ru

Аннотация. На основе математического моделирования процесса разделения легких углеводородных компонентов в среде Unisim Design проведён сравнительный анализ степени влияния эффективности сепарации парожидкостного потока в зоне ввода сырья на энергозатраты процесса при различных условиях разделения на примере трёх ректификационных колонн. Получены уравнения зависимости энергозатрат на процесс разделения от степени уноса в зоне ввода сырья при различном углеводородном составе сырья и различном количестве контактных устройств. Анализ графиков и уравнений зависимости показал, что влияние степени уноса в зоне питания сырья на энергозатраты процесса возрастает при повышении давления в системе и снижается при увеличении числа тарелок.

Ключевые слова: деизопентанизация, деэтанализация, зона питания, ректификация, узел ввода сырья, энергозатраты, эффективность разделения.

Churakov Vasily Aleksandrovich

Master of Department of Petrochemistry
and Chemical Technology,
Ufa State Petroleum Technological University
ophioc@gmail.com

Mannanov Timur Ilnurovich

Senior lecturer of Department
of Petrochemistry and Chemical Technology,
Ufa State Petroleum Technological University
t.i.mannanov@yandex.ru

Churakova Svetlana Konstantinovna

Doctor of technical Sciences,
Professor of Department of Petrochemistry
and Chemical Technology,
Ufa State Petroleum Technological University
chskugntu@rambler.ru

Annotation. On the basis of mathematical modeling of the separation process of light hydrocarbon components in the Unisim Design environment, a comparative analysis of the degree of influence of the efficiency of separation of the vapor-liquid flow in the raw material input zone on the energy consumption of the process under different separation conditions is carried out on the example of three distillation columns. The equations of dependence of energy consumption for the separation process on the degree of entrainment in the input zone of raw materials with different hydrocarbon composition of raw materials and different number of contact devices are obtained. Analysis of graphs and equations of dependence showed that the influence of the degree of entrainment in the feed zone of raw materials on the energy consumption of the process increases with increasing pressure in the system and decreases with increasing the number of plates.

Keywords: area power, deethanisation, deisopentanisation, energy consumption, efficiency of separation, rectification, the input node of raw materials.

При расчётах ректификационных аппаратов принято задавать КПД в зоне питания колонны равным единице. Это означает, что зона ввода сырья должна обеспечивать плавный безударный ввод парожидкостного потока с обеспечением полного равновесия парового и жидкостного потоков и направления всего парового потока в укрепляющую секцию и всего жидкостного потоков в отгонную секцию. Однако, для установления равновесия парожидкостных потоков в зоне питания должны быть обеспечены определённые гидродинамические условия. Как показали отечественные и



зарубежные исследования [1–4], для обеспечения 100 % разделения парожидкостного потока и достижения полного отсутствия каплеуноса жидкой фазы в укрепляющую секцию необходимо детальное исследование гидродинамической обстановки в зоне питания и проектирование различных устройств ввода сырья при различных скоростях парожидкостного потока [1, 2]. Ранее в работах [5, 6] нами изучалось влияние снижения эффективности разделения парожидкостного потока в зоне питания на качество продуктов и на энергозатраты процесса ректификации.

Предметом исследования в данной статье является сравнительный анализ степени влияния эффективности разделения парожидкостного потока в зоне ввода сырья на энергозатраты процесса в различных аппаратах при различных условиях разделения.

Расчетная схема для исследования влияния уноса в зоне ввода сырья на энергозатраты процесса при различном углеводородном составе сырья и различном количестве контактных устройств в среде Unisim Design представлена на рисунке 1. Состав сырья для различных вариантов исследования приведён в таблицах 1–3.

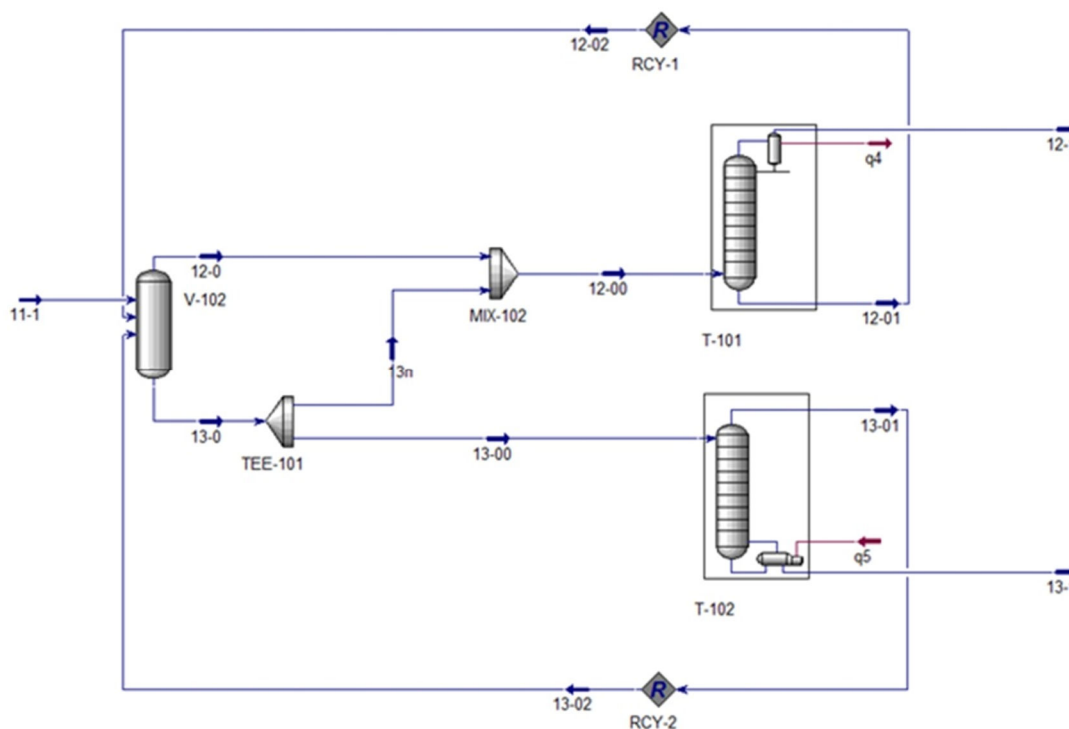


Рисунок 1 – Расчетная схема для исследования влияния уноса в зоне ввода сырья на энергозатраты процесса в среде Unisim Design

Таблица 1 – Состав сырья моделируемых колонн

Модельное сырье С1 – С4		Сырье колонны деизопентанизации		Сырье колонны дезтанизации	
Компонент	Содержание, % мол.	Компонент	Содержание, % масс.	Компонент	Содержание, % масс.
Метан	24,70	Бутаны	0,08	Метан	0,12
Этан	26,18	Изопентан	40,98	Этан	13,69
Пропан	25,60	н-пентан	44,07	Этен	57,24
Изобутан	12,03	Циклопентан	2,11	Этин	0,42
н-бутан	11,49	н-гексан	3,35	Пропан	2,99
–	–	Изогексаны	7,71	Пропен	12,54
–	–	Циклогексан	1,00	Пропин	0,82
–	–	Гептаны	0,70	С4+	12,20

На первом этапе математического моделирования и последующей обработки расчётных данных по энергозатратам процесса, приведённым в таблице 2, нами было получено уравнение зависимости энергозатрат от эффективности разделения в зоне питания сырья для модельной смеси легких углеводородов С1 – С4, при повышенном давлении 13 атм. в колонне, оборудованной тарелками с общей разделительной способностью, равной 15 теоретических тарелок (далее – т.т.). Результаты исследования представлены в виде графической и эмпирической зависимости на рисунке 2.



Таблица 2 – Результаты моделирования процесса разделения смеси углеводородов C1 – C4

Эффективность устройства ввода сырья	Теплоподвод, Гкал/ч	Теплосъём, Гкал/ч
1,00	885,4	466,1
0,95	897	477,6
0,90	908,5	489,1
0,85	920,1	500,7
0,80	931,6	512,3
0,75	943,3	523,9
0,70	955,1	535,7

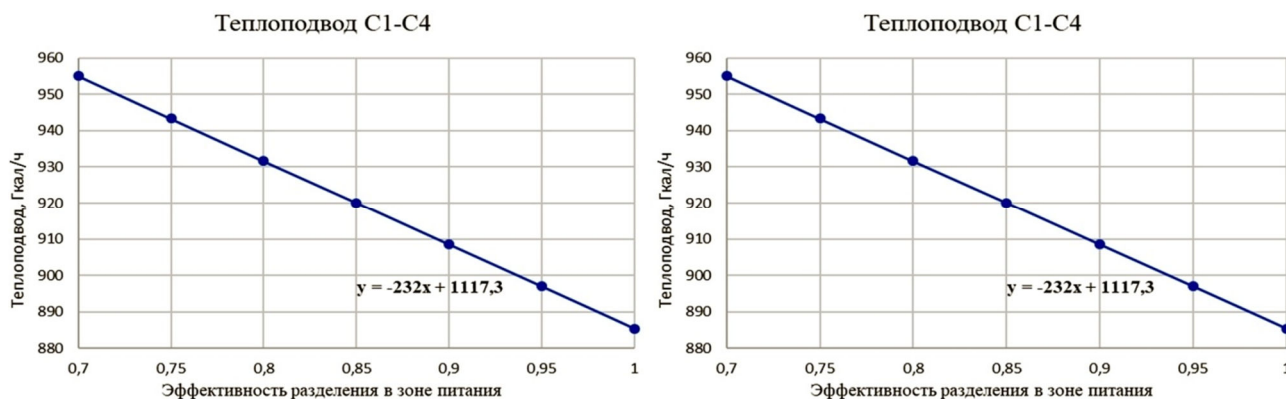


Рисунок 2 – Влияние эффективности разделения в зоне питания на энергозатраты процесса для условий разделения смеси C1 – C4

На втором этапе математического моделирования и последующей обработки расчётных данных по энергозатратам процесса, приведённым в таблице 3, нами было получено уравнение зависимости энергозатрат от эффективности разделения в зоне питания сырья для колонны деизопентанизации при давлении 2,9 атм., оборудованной тарелками с общей разделительной способностью 36 т.т., 42 т.т. и 48 т.т. Результаты исследования представлены в виде графической и эмпирической зависимости на рисунке 3.

Таблица 3 – Результаты моделирования деизопентанизатора

Эффективность устройства ввода сырья	Теплоподвод, Гкал/ч			Теплосъём, Гкал/ч		
	36 т.т.	42 т.т.	48 т.т.	36 т.т.	42 т.т.	48 т.т.
1,00	7,092	4,677	3,783	7,481	5,066	4,172
0,95	7,128	4,688	3,788	7,518	5,078	4,178
0,90	7,166	4,700	3,794	7,556	5,089	4,183
0,85	7,205	4,711	3,799	7,595	5,101	4,188
0,80	7,245	4,723	3,804	7,635	5,113	4,194
0,75	7,285	4,735	3,810	7,675	5,125	4,199
0,70	7,320	4,747	3,813	7,716	5,137	4,202

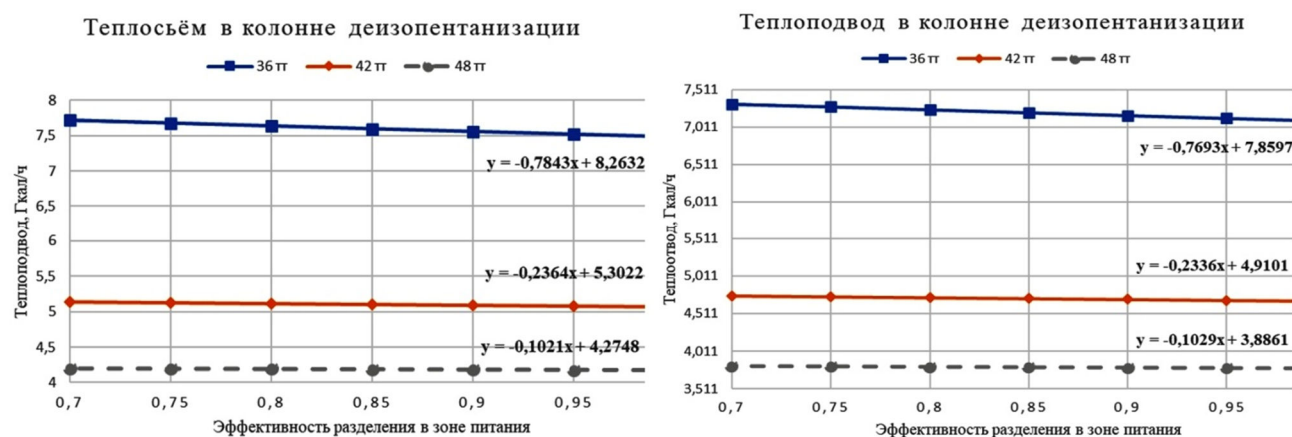


Рисунок 3 – Влияние эффективности разделения в зоне питания на энергозатраты процесса разделения в колонне деизопентанизации



На третьем этапе математического моделирования и последующей обработки расчётных данных по теплоподводу, приведённых в таблице 4, нами было получено уравнение зависимости энергозатрат от эффективности разделения в зоне питания сырья для колонны деэтанализации, оборудованной различным количеством тарелок с общей разделительной способностью 39 т.т., 51 т.т. и 60 т.т., при среднем давлении 29 атм. Результаты исследования представлены в виде графической и эмпирической зависимости на рисунке 4.

Таблица 4 – Результаты моделирования деэтанализатора

Эффективность устройства ввода сырья	Теплоподвод, Мкал/ч			Теплосъём, Мкал/ч		
	39 т.т.	51 т.т.	60 т.т.	39 т.т.	51 т.т.	60 т.т.
1	946,0	937,9	936,3	783,3	774,6	772,8
0,95	950,5	942,0	940,4	787,3	778,7	776,9
0,90	954,5	946,1	944,5	791,3	782,8	781,1
0,85	958,4	950,4	948,9	795,3	787,0	785,3
0,80	962,5	954,3	952,8	799,3	791,0	789,3
0,75	966,2	958,0	956,5	803,0	794,7	793,1
0,70	969,6	961,5	959,8	806,4	798,1	796,6

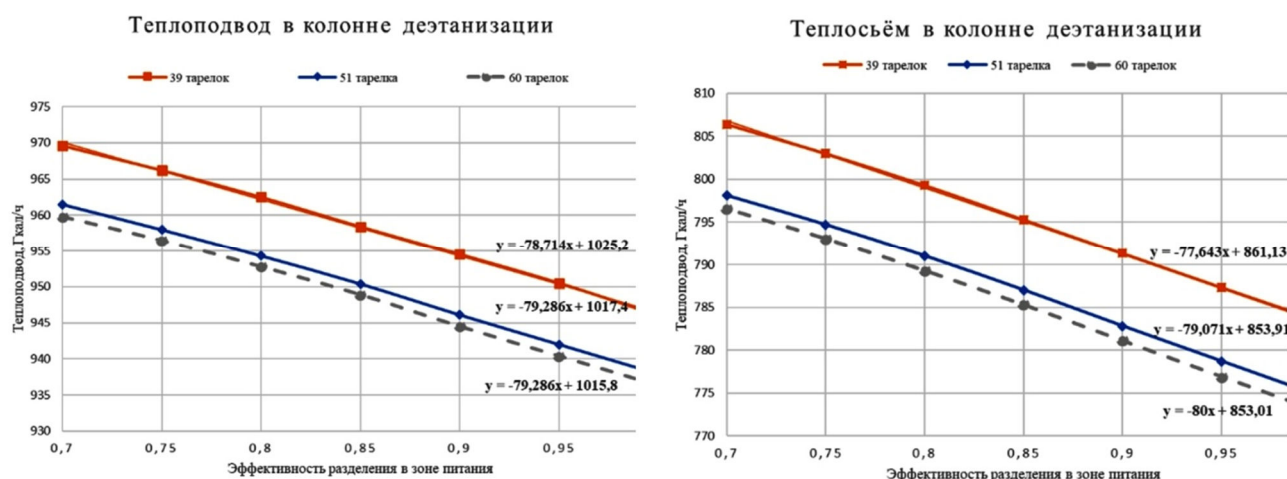


Рисунок 4 – Влияние эффективности разделения в зоне питания на энергозатраты процесса для условий разделения в колонне деэтанализации

Таким образом, сравнительный анализ графиков и уравнений зависимости теплоподвода и теплосъёма в исследованных нами ректификационных колоннах от эффективности разделения потоков в зоне питания позволяет сделать следующие выводы:

- все зависимости носят прямолинейный характер и могут быть описаны уравнением прямой;
- угол наклона прямой максимален для условий разделения модельной смеси узкого углеводородного состава С1-С4 при давлении 13 атм., что свидетельствует о максимальном увеличении энергозатрат вследствие уноса в зоне питания при разделении сырья узкого углеводородного состава при повышенном давлении;
- тангенс угла наклона прямой для условий разделения в колонне деэтанализации на два порядка больше, чем в колонне деизопентанизации, что свидетельствует о значительном увеличении влияния уноса в зоне питания на энергозатраты процесса разделения при увеличении давления в аппарате;
- при увеличении числа тарелок на разделение, степень влияния эффективности сепарации на энергозатраты процесса при определённом числе тарелок начинает уменьшаться, о чем свидетельствует сближение графиков зависимости при увеличении разделительной способности.

Список литературы:

1. Маннанов Т.И., Чуракова С.К. Исследование различных конструкций устройств ввода сырья в массообменные колонны методом CFD-анализа // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2021. – № 11. – С. 3–6.
2. Маннанов Т.И., Чуракова С.К. Расчетное исследование работы лопастных устройств ввода массообменного и сепарационного оборудования // Башкирский химический журнал. – 2021. – Т. 28. – № 4. – С. 97–102.



3. CFD-анализ – современный подход к исследованию процесса разделения и распределения потоков в устройствах ввода сырья массообменных аппаратов / Т.И. Маннанов [и др.] // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 5. – С. 159–165.

4. CFD-моделирование устройства ввода лопастного типа в колонне и анализ паров для двух различных входных потоков / Х. Бансал [и др.] // Эликсир Хим. Инж. – 2014 – № 66. – С. 20721–20725.

5. Маннанов Т.И., Лесной Д.В., Чуракова С.К. Исследование влияния эффективности сепарации в узле ввода сырья ректификационных колонн на энергетические затраты // Булатовские чтения. – 2019. – Т. 4. – С. 85–88.

6. Маннанов Т.И., Чураков В.А., Чуракова С.К. Расчетное исследование влияния полноты сепарации парожидкостного сырья на энергозатраты процесса ректификации различных смесей // Булатовские чтения. – 2022. – Т. 2. – С. 100–102.

List of references:

1. Mannanov T.I., Churakova S.K. Investigation of various designs of raw material input devices in mass-exchange columns by CFD-analysis // Chemical and Oil and Gas Engineering. – 2021. – № 11. – P. 3–6.

2. Mannanov T.I., Churakova S.K. Calculated study of vane input devices of mass-exchange and separation equipment // Bashkir Chemical Journal. – 2021. – V. 28. – № 4. – P. 97–102.

3. CFD-analysis – a modern approach to the study of separation and distribution of flows in the input devices of raw materials of mass exchange apparatuses / T.I. Mannanov [et al.] // Bulatov readings. – 2020. – V. 5. – P. 159–165.

4. CFD modeling of a vane-type inlet device in a column and vapor analysis for two different inlet streams / H. Bansal [et al.] // Elixir Chem. Ing. – 2014 – № 66. – P. 20721–20725.

5. Mannanov T.I., Lesnoy D.V., Churakova S.K. Study of the impact of separation efficiency in the input node of rectification columns on energy costs // Bulatov Readings. – 2019. – V. 4. – P. 85–88.

6. Mannanov T.I., Churakov V.A., Churakova S.K. A computational study of the influence of the completeness of separation of vapor-liquid feedstock on the energy costs of the rectification process of various mixtures // Bulatov Readings. – 2022. – V. 2. – P. 100–102.