
ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РЕКТИФИКАЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БУТАНА

*Ильичев В.Ю., кандидат технических наук,
Юрик Е.А., кандидат технических наук,
Калужский филиал Московского государственного технического университета
им. Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский университет)*

Аннотация: в статье описывается методика исследования параметров процесса ректификации при производстве бутана из попутного нефтяного газа. Методика позволяет оптимизировать данный процесс с точки зрения уменьшения энергетических и эксплуатационных затрат и добиться цели увеличения эффективности разделения углеводородных компонентов сырья – смеси газов. Эти задачи являются актуальными, так как их решение позволяет экономить дорогую энергию и ценную товарную продукцию. Однако, математическое моделирование процессов ректификации является очень сложным и проблематично без применения современных численных методов и компьютерных программ, решающих системы из сотен нелинейных уравнений. Одной из наиболее подходящих программ для такого моделирования является система Aspen Hysys, позволяющая к тому же создавать наглядные схемы технологических процессов, используемых в нефтегазовой отрасли. В данной работе рассматривается одна из задач, решаемых при производстве бутана – уменьшение эксплуатационных затрат путём снижения энергопотребления при выборе количества тарелок ректификационной колонны и номера тарелки питания, на которую подаётся исходный продукт. Состав газовой смеси взят для одного из нефтегазовых месторождений, для которого характерна высокая доля бутана в составе попутного газа. В программе Aspen Hysys создана модель технологического процесса получения бутана, соответствующего требованиям к товарному продукту. По результатам работы даны рекомендации по применению разработанной методики для исследования влияния различных факторов на эффективность и стоимость технологических процессов, в которых используются ректификационные колонны.

Ключевые слова: бутан, углеводороды, попутный нефтяной газ, ректификация, ректификационная колонна, энергоёмкость, энергоэффективность

OPTIMIZATION OF RECTIFICATION PROCESS DURING BUTANE PRODUCTION

*Ilichev V.Y., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.),
Yurik E.A., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.),
Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

Abstract: the article describes the method of studying the parameters of the rectification process in the production of butane from associated petroleum gas. The method allows to optimize this process in terms of reduction of energy and operating costs and to achieve the goal of increasing efficiency of separation of hydrocarbon compo-

nents of raw materials – mixture of gases. These tasks are relevant, as their solution saves expensive energy and valuable commodity products. However, mathematical modeling of rectification processes is very complex and problematic without the application of modern numerical methods and computer programs solving systems of hundreds of nonlinear equations. One of the most suitable programs for such modeling is Aspen Hysys, which also allows to create visual diagrams of technological processes used in the oil and gas industry. This paper considers one of the problems solved in butane production – reduction of operating costs by reducing power consumption when selecting the number of plates of the rectification column and the number of the feed plate to which the initial product is supplied. The composition of the gas mixture is taken for one of the oil and gas deposits, which is characterized by a high proportion of butane in the associated gas composition. Aspen Hysys has developed a process model for producing butane that meets product requirements. Based on the results of the work, recommendations are given on the application of the developed methodology for the study of the influence of various factors on the efficiency and cost of technological processes in which rectification columns are used.

Keywords: butane, hydrocarbons, associated petroleum gas, rectification, rectifying column, power consumption, energy efficiency

Введение

Процесс ректификации является наиболее часто используемым при переработке углеводородных полезных ископаемых – нефти и газа [1]. В то же время исследование этого процесса является достаточно сложным из-за того, что для многокомпонентных смесей приходится решать систему из очень большого количества (сотен) нелинейных уравнений. Решение этой задачи в настоящее время может осуществляться с помощью систем компьютерного моделирования и численного анализа, например с использованием программы Aspen Hysys [2]. В данной статье разобран метод оптимизации процесса извлечения тяжёлого газового

остатка – бутана, из смеси углеводородов попутного нефтяного газа [3].

Методы

Бутан является важным углеводородным соединением, которое используется, например, в качестве добавки к сжиженному бытовому газу, к бензину и другим видам топлива [4]. Для выделения его из углеводородной смеси используются ректификационные колонны [5].

Для исследования взят попутный нефтяной газ Мухановского месторождения [6, 7], содержащий довольно большой процент бутана. Его состав приведён в табл. 1.

Таблица 1

Компонентный состав (об. %) исследуемого попутного нефтяного газа

CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	CO ₂	H ₂ S	N ₂
31,4	19,0	22	9,5	5,0	4,0	0,1	9

Считая, что из углеводородной смеси перед ректификацией удаляют все посторонние не угле-

водородные примеси, процентный состав смеси будет следующим (табл. 2).

Таблица 2

Компонентный состав (об. %) углеводородной смеси

СН ₄	С ₂ Н ₆	С ₃ Н ₈	С ₄ Н ₁₀	С ₅ Н ₁₂
36,1	21,9	25,3	10,9	5,8

Объём добычи газа взят из работы [8], он составляет 144 млн. м³ газа в год. Температура газа составляет 10°C, давление 15 бар.

Другими исходными параметрами рассматриваемого процесса, исходя из требуемого качества получаемого товарного продукта [9], являются следующие:

1. процент извлечения бутана из смеси 90%;
2. содержание пропана в составе бутанового продукта 2%;
3. конденсатор колонны охлаждается водой, давление в конденсаторе 13 бар, в ребойлере 14 бар.

При оптимизации процесса необходимо снизить энергопотребление колонны, являющееся суммой теплоты, отводимой от конденсатора и теплоты, подводимой в ребойлере, для чего надо:

1. подобрать оптимальное количество тарелок в колонне;
2. выбрать номер тарелки питания, на которую подаётся исходная смесь.

Технологическая схема получения бутана из попутного нефтяного газа, составленная в программе Aspen Hysys, показана на рис. 1.

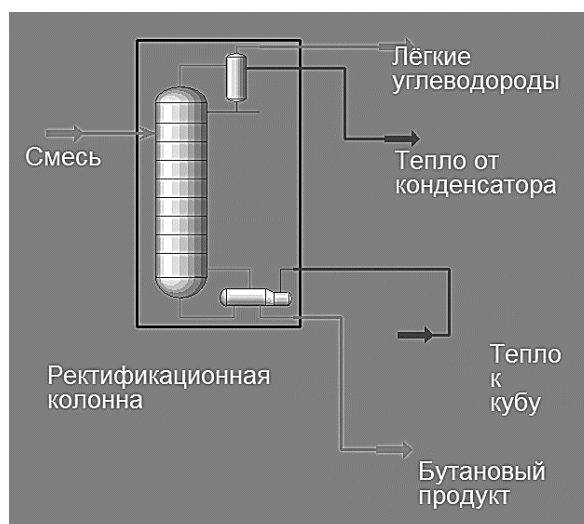


Рис. 1. Технологическая схема получения бутана

Задаём поток «Смесь» на входе в колонну согласно вышеуказанному составу и параметрам.

Затем задаём характеристики ректификационной колонны (рис. 2), считая, что после конденсатора вся жидкость возвращается в колонну («Полн. рефл.»), дополнительные отборы отсут-

ствуют. Номер тарелки питания вначале оставляем по умолчанию (№5), число тарелок также задаём равным 10 по умолчанию.

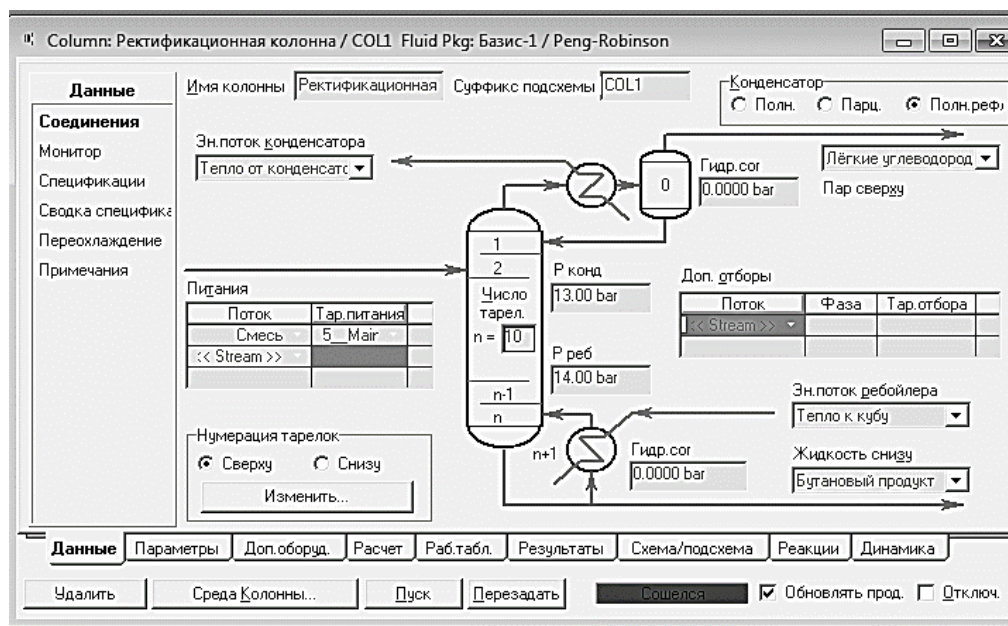


Рис. 2. Модель ректификационной колонны

Далее задаём давление в конденсаторе и давление в ребойлере, КПД всех тарелок 0,75.

В качестве контролируемых параметров отмечаем «Отбор» (расход бутана на выходе), «Пропан» (доля пропана в бутановом продукте), энергетическую нагрузку конденсатора и куба (ребойлера).

Если рассмотреть состав поступающей на колонну смеси, то увидим, что максимальный расход бутана составляет 17650 кмоль/ч. Задаём выход

бутана из колонны в количестве 90%, то есть 15885 кмоль/ч. Долю пропана задаём 2%. Эти параметры фиксируем на вкладке «Монитор».

Нажимая кнопку «Пуск», сразу получаем результат решения задачи – энергетическую нагрузку конденсатора и куба (ребойлера). В сумме (по модулю) они составляют энергетическую нагрузку ректификационной колонны, по которой можно судить об эксплуатационных расходах в ходе протекания рассматриваемого процесса (рис.3).

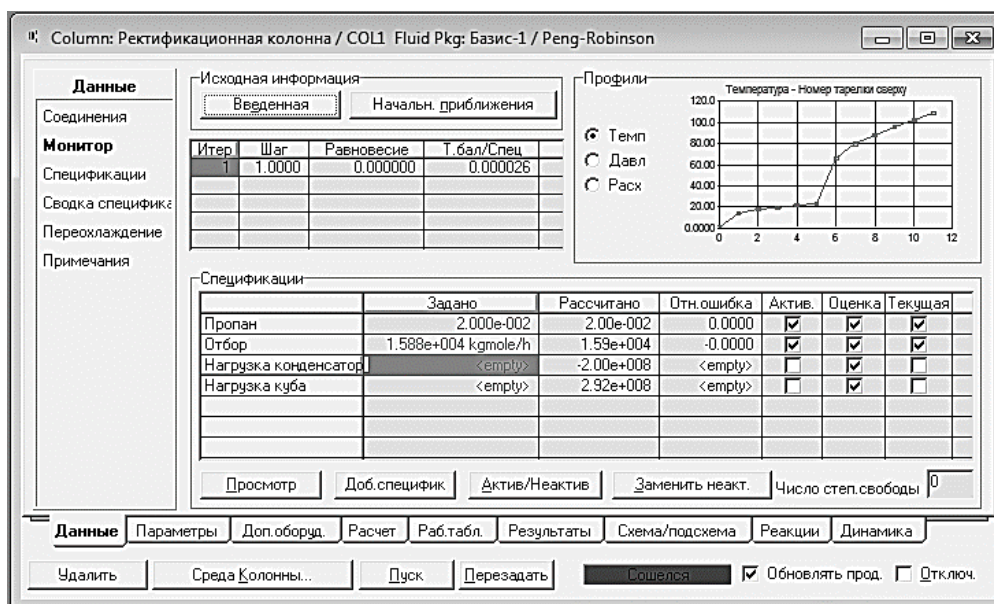


Рис. 3. Результаты расчёта ректификационной колонны

В том же окне можно увидеть распределение температур по тарелкам ректификационной колонны.

Далее, меняя количество тарелок в колонне и номер тарелки питания, можем проследить как это повлияет на суммарную энергетическую нагрузку.

Результаты

Результаты расчёта суммарного количества тепла, подведённого в ребойлере и отведённого в конденсаторе при разном количестве тарелок в ректификационной колонне и при разном расположении тарелки питания представлены в табл. 3 и на графиках рис. 4, которые построены в программе Microsoft Excel.

Таблица 3

Зависимость суммарного количества подведённого и отведённого тепла, 10^8 ккал/ч, от количества тарелок и номера тарелки питания

Кол-во тарелок	Номер тарелки питания													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
10	3,22	3,13	3,42	3,96	4,92	6,74								
12	2,89	2,73	2,84	3,04	3,36	3,91	4,88	6,66						
15	2,73	2,54	2,55	2,61	2,7	2,85	3,08	3,45	4,06	4,88				
20	2,69	2,48	2,46	2,45	2,47	2,49	2,52	2,58	2,65	2,77	2,94	3,21	3,67	
25	2,68	2,46	2,44	2,43	2,43	2,43	2,45	2,45	2,45	2,47	2,49	2,51	2,56	2,6

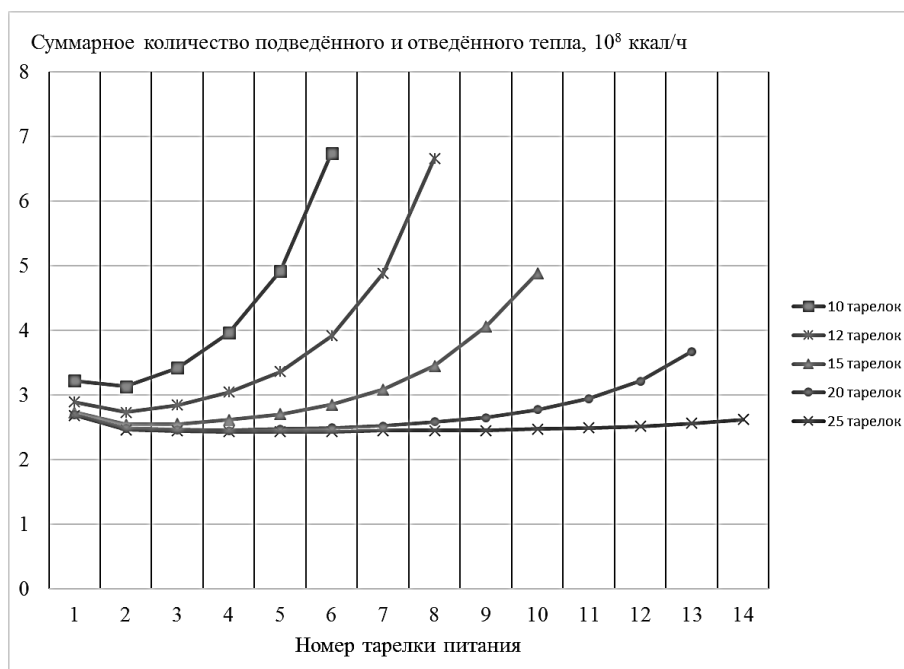


Рис. 4. Результаты расчёта вариантов ректификационных колонн

Обсуждение

Результаты оптимизации исследуемого процесса выделения бутана из попутного нефтяного газа показали, что:

1. Увеличение количества тарелок в ректификационной колонне приводит к снижению суммарной энергетической нагрузки (от которой зависят эксплуатационные расходы).

2. Оптимальное количество тарелок в ректификационной колонне равно 12, т.к. дальнейшее увеличение количества тарелок не приносит заметного экономического эффекта из-за того, что суммарная энергетическая нагрузка практически не уменьшается, но растут капитальные затраты на сооружение самой колонны.

3. При выбранном количестве тарелок выгоднее всего подводить разделяемую смесь к тарелке №2.

Выводы

Одним из методов повышения эффективности использования попутного нефтяного газа и других смесей углеводородов, содержащих большое количество бутана, является процесс ректификации

[10]. Он позволяет извлечь значительную часть более тяжёлой углеводородной бутановой фракции, содержащей малое количество примесей.

Процесс создания модели технологического и проведения оптимизации процесса ректификации удобно выполнять с помощью программы Aspen Hysys, позволяющей исследовать взаимосвязь различных конструктивных параметров установки, характеристик процесса, качества получаемого продукта и экономичности рабочего процесса.

Для конкретных исходных данных по составу и термодинамическим параметрам разделяемой смеси, продемонстрирован процесс оптимизации количества тарелок в ректификационной колонне и выбора номера тарелки питания по минимуму энергетических затрат. Однако, указанную методику легко адаптировать и для других целей оптимизации – например, для увеличения флегмового числа колонны, подбора температур и давлений в колонне, конденсаторе и ребойлере. Также очень удобно использовать рассмотренный метод и программу Aspen Hysys при рассмотрении процессов ректификации нефти [11].

Литература

1. Дмитриевский Б.С., Затонский А.В., Тугашова Л.Г. Задача управления процессом ректификации нефти и метод её решения. Известия Томского политехнического университета // Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329. №2. С. 136 – 145.
2. Белоглазов И.И., Курбанов Б.Х. Автоматизация процессов нефтепереработки с использованием современных средств разработки // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2016. №1-2. С. 34 – 37.
3. Величко В.В. Блочная установка для получения смеси пропана-бутана технической из попутного нефтяного газа // Нефтепромысловое дело. 2010. №12. С. 53 – 55.
4. Широбокова М.С., Попов М.В. Исследование использования водорода, полученного разложением смеси пропана и бутана, в качестве активизирующей добавки к бензину и сжатому природному газу // В сборнике: Наука. Технологии. Инновации: Сборник научных трудов: в 9 ч. / Под ред. А.В. Гадюкиной. 2018. С. 132 – 134.
5. Фалькевич Г.С., Ростанин Н.Н., Виленский Л.М., Иняева Г.В., Ростанина Е.Д., Немира К.Б. Способ получения ароматических углеводородов из газообразной смеси легких углеводородов, содержащей пропан и бутан. Патент на изобретение RUS 2192448 21.02.2001.
6. Пулькина Н.Э., Зимица С.В. Геологические основы разработки нефтяных и газовых месторождений: учебное пособие. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2011. 203 с.
7. Новый справочник химика и технолога. Сырье и продукты промышленности органических и неорганических веществ. СПб: «Мир и Семья». 2002. Ч. I. 988 с.
8. Энциклопедия природы Самарской области / М-во образования и науки Самарской обл. / Ред. совет: Ю.Н. Горелов и др. Самара: СамЛюксПринт, 2012. 358 с.
9. Лисицын Н.В., Федоров В.И. Исследование процесса ректификации в производстве бутана: Методические указания. СПб, СПбГТИ (ТУ), 2004. 27 с.
10. Попутный нефтяной газ в России: «Сжигать нельзя, перерабатывать!» / П.А. Кирюшин, А.Ю. Книжников, К.В. Кочи, Т.А. Пузанова и др. // Аналитический доклад об экономических и экологических издержках сжигания попутного нефтяного газа в России. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF). 2013. 88 с.
11. Ким С.Ф. Расчёт материального баланса установки подготовки нефти с применением моделирующей системы Nysys // В сборнике: Проблемы геологии и освоения недр: Труды XVII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 150-летию со дня рождения академика В.А. Обручева и 130-летию академика М.А. Усова, основателей Сибирской горно-геологической школы / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 2013. С. 128 – 130.

References

1. Dmitrievskij B.S., Zatonckij A.V., Tugashova L.G. Zadacha upravleniya processom rektifikacii nefiti i metod eyo resheniya. Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta // Inzhiniring georesursov. 2018. T. 329. №2. S. 136 – 145.
2. Beloglazov I.I., Kurbanov B.H. Avtomatizaciya processov neftepererabotki s ispol'zovaniem sovremennyh sredstv razrabotki // Delovoj zhurnal Neftegaz.RU. 2016. №1-2. S. 34 – 37.
3. Velichko V.V. Blochnaya ustanovka dlya polucheniya smesi propana-butana tekhnicheskoy iz poputnogo nef-tyanogo gaza // Neftepromyslovoe delo. 2010. №12. S. 53 – 55.
4. SHirobokova M.S., Popov M.V. Issledovanie ispol'zovaniya vodoroda, poluchennogo razlozheniem smesi propana i butana, v kachestve aktiviziruyushchej dobavki k benzinu i szhatomu prirodnomu gazu // V sbornike: Nauka. Tekhnologii. Innovacii: Sbornik nauchnyh trudov: v 9 ch. / Pod red. A.V. Gadyukinoy. 2018. S. 132 – 134.
5. Fal'kevich G.S., Rostanin N.N., Vilenskij L.M., Inyaeva G.V., Rostanina E.D., Nemira K.B. Sposob poluche-niya aromatcheskih uglevodorodov iz gazoobraznoj smesi legkih uglevodorodov, sodержashchej propan i butan. Patent na izobretenie RUS 2192448 21.02.2001.
6. Pul'kina N.E., Zimina S.V. Geologicheskie osnovy razrabotki nefityanyh i gazovyh mestorozhdenij: uchebnoe posobie. Nacional'nyj issledovatel'skij Tomskij politekhnicheskij universitet. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. 2011. 203 s.
7. Novyj spravochnik himika i tekhnologa. Syr'e i produkty promyshlennosti organicheskikh i neorganicheskikh veshchestv. SPb: «Mir i Sem'ya». 2002. CH. I.988 s.
8. Enciklopediya prirody Samarskoj oblasti / M-vo obrazovaniya i nauki Samarskoj obl. / Red. sovet: YU.N. Gorelov i dr. Samara: SamLyuksPrint, 2012. 358 s.
9. Lisicyan N.V., Fedorov V.I. Issledovanie processa rektifikacii v proizvodstve butana: Metodicheskie ukaza-niya. SPb, SPBGTI (TU), 2004. 27 s.
10. Poputnyj nefityanoj gaz v Rossii: «Szhigat' nel'zya, pererabatyvat'!» / P.A. Kiryushin, A.YU. Knizhnikov, K.V. Kochi, T.A. Puzanova i dr. // Analiticheskij doklad ob ekonomicheskikh i ekologicheskikh izderzhkah szhiga-niya poputnogo nefityanogo gaza v Rossii. M.: Vsemirnyj fond dikoj prirody (WWF). 2013. 88 s.
11. Kim S.F. Raschyot material'nogo balansa ustanovki podgotovki nefiti s primeneniem modeliruyushchej sis-temy Hysys // V sbornike: Problemy geologii i osvoeniya neдр: Trudy XVII Mezhdunarodnogo simpoziuma imeni akademika M.A. Usova studentov i molodyh uchenyh, posvyashchennogo 150-letiyu so dnya rozhdeniya akademi-ka V.A. Obrucheva i 130-letiyu akademika M.A. Usova, osnovatelej Sibirskoj gorno-geologicheskoy shkoly / Na-cional'nyj issledovatel'skij Tomskij politekhnicheskij universitet. 2013. S. 128 – 130.