

Л.М. УЛЬЕВ, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»;

А. МААТОУК, аспирант, НТУ «ХПИ»

ЭКСТРАКЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПРОЦЕССОВ РАЗДЕЛЕНИЯ ШИРОКОЙ ФРАКЦИИ ЛЕГКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ И ПРОПАН-ПРОПИЛЕНОВОЙ ФРАКЦИИ

Потенциал энергосбережения в процессах стабилизации ППФ, разделения ППФ и разделения ШФЛУ, исследуется в данной работе. Определены все технологические потоки, которые необходимы для интеграции процессов. Для уточнения теплофизических данных потоков, построена компьютерная модель процесса в программе UniSim. На основании анализа технологической схемы, собраны теплофизические данные технологических потоков, которые систематизированы и занесены в потоковую таблицу.

Ключевые слова: технологическая схема, пинч-анализ, потоковая таблица, легкие углеводороды, UniSim Design.

Введение. Эффективное энергосбережение является одной из наиболее распространенных проблем на химических и нефтехимических заводах. Несмотря на то, что процессы синтеза теплообменных сетей были тщательно изучены за последние полвека, большинство из них имеют ограничения, как по времени вычисления, так и в связи с их математической сложностью. Таким образом, они непрактичны для больших промышленных задач [1]. Потенциал энергосбережения в процессах разделения легких углеводородов на установках газодифракционирования и компримирования (ГиК) анализируется в данной работе.

На украинских НПЗ большая часть технологических установок строилась в 60-х и 70-х годах, когда цена энергоресурсов была очень низкая и экономии энергии не придавалось большого значения [2]. В последующие годы энергосберегающих мероприятий практически не производили. Поэтому энергопотребление в основных процессах нефтепереработки и нефтехимии на 30–60 % выше, чем в современных зарубежных установках. Сейчас, когда цены на энергоресурсы существенно выросли, вопрос энергоэффективности для данных производств является исключительно важным.

© Л.М. Ульев, А. Маатоук. 2015

Краткое описание технологической схемы производственного процесса разделения легких углеводородов. В данной работе с помощью метода пинч-анализа [3,4] анализируется энергопотребление в процессах стабилизации и разделения пропан-пропиленовой фракции (ППФ) и процесс разделения широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ) на установке газодифракционирования и компримирования (рис. 1).

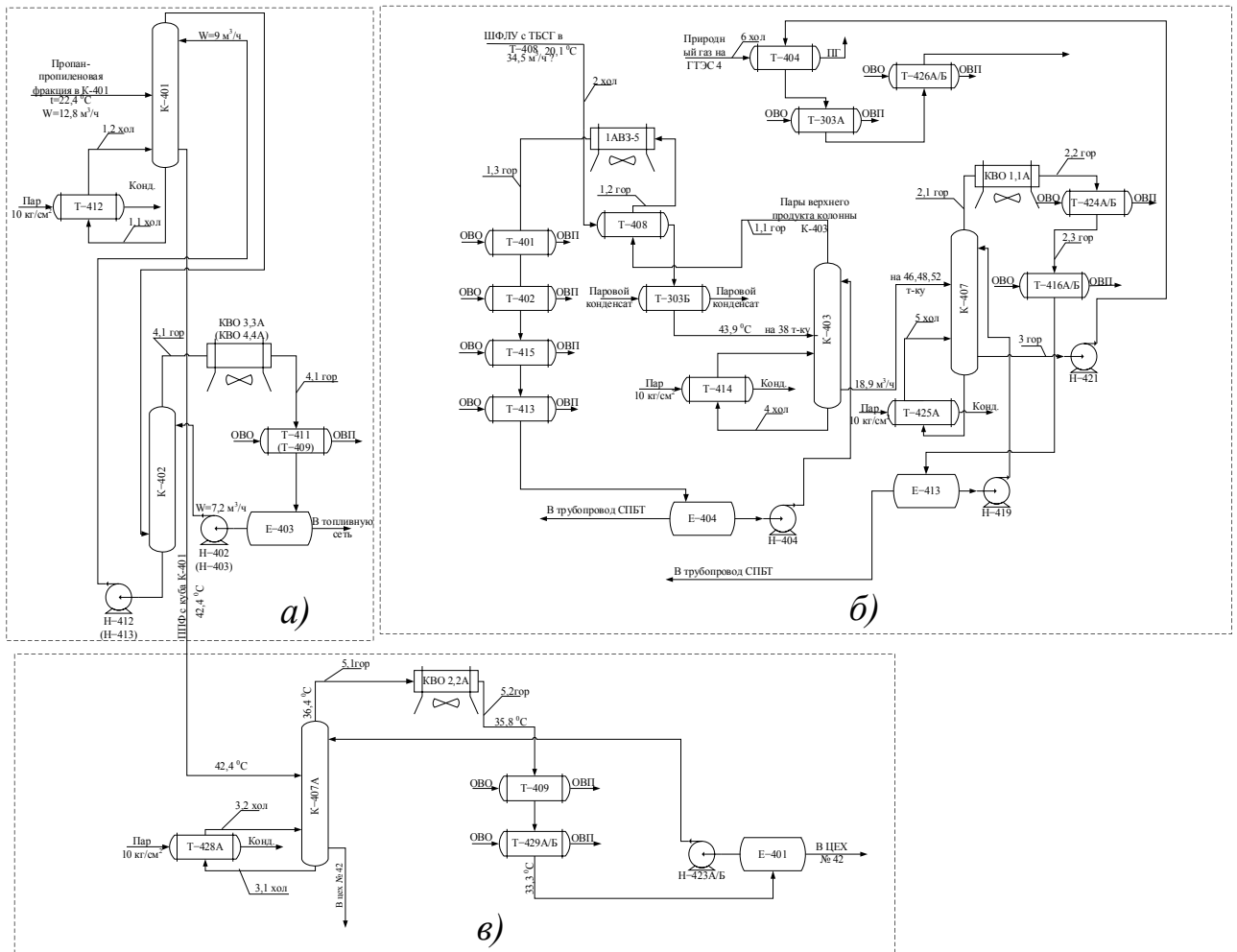


Рис. 1. Технологическая схема разделения легких углеводородов: а) – узел стабилизации ППФ; б) – разделение ППФ на Гик; в) – разделение ШФЛУ на Гик

ППФ подается в колонны К401, К402 (рис. 1а) с товарно-сырьевой базы. К401, К402 работают как одна колонна и предназначены для разделения пропан-пропиленовой фракции на фракцию легких углеводородов (С1, С2) и стабилизированную пропан-пропиленовую фракцию с после-

дующей её подачей в колонну К407А (рис. 1в), где происходит разделение ППФ на пропановую и пропиленовую фракции.

Пропан-пропиленовая фракция поступает в колонну К401. Пары с верха колонны К401 поступают в нижнюю часть К402.

Кубовый продукт колонны К402 подается на орошение верха колонны К401

Верхний продукт колонны К402 конденсируется в конденсаторах воздушного охлаждения и холодильниках КВО3,3А, Т411 и КВО4,4А, Т409 (рис. 1а), работающих параллельно, и поступает в рефлюксную емкость Е403.

Флегмовая жидкость из емкости Е403 подается на орошение колонны К402.

Стабилизированная пропан-пропиленовая фракция из Т412 подается на питание колонн К407А (рис. 1в).

Широкая фракция легких углеводородов (ШФЛУ) подается с товарной базы сжиженных газов. Разделение осуществляется в ректификационных колоннах К403, К407 (рис. 1в).

Депропанизатор К403 предназначен для выделения СПБТ из ШФЛУ. ШФЛУ подается в трубное пространство теплообменника Т408 (рис. 1б), где подогревается парами верхнего продукта колонны К403. Далее поток поступает в межтрубное пространство теплообменника Т303Б (рис. 1б), где подогревается паровым конденсатом, и с температурой 43,9 °С подается в среднюю часть колонны К403.

Пары СПБТ (смесь пропана и бутана технических) из колонны К403 поступают в межтрубное пространство теплообменника Т408, где часть тепла отдается ШФЛУ. В аппарате воздушного охлаждения 1АВЗ–5 пары конденсируются, конденсат охлаждается последовательно в холодильниках Т401, Т402, Т415, Т413 оборотной водой и поступает в приемный резервуар Е404 (рис. 1б). СПБТ из приемного резервуара Е404 подается на орошение в колонну К403.

Для поддержания температурного режима в колонне К403 предусмотрен рибойлер Т414.

Балансовое количество кубового продукта колонны К403 откачивается с коррекцией по уровню в рибойлере Т414 на загрузку в колонну К407 (рис. 1б).

Дебутанизатор К407 (рис. 1б) предназначен для разделения кубового продукта колонны К403 на технический бутан и пентан – гексановую фракцию.

Сырье – кубовый продукт колонны К403 подается в среднюю часть колонны К407. Пары технического бутана с верха колонны К407 конденсируются в конденсаторе воздушного охлаждения КВ0-1,1А, поступают в холодильники Т424 А,Б, далее в холодильники Т416 А,Б, где охлаждаются оборотной водой и поступают в приемный резервуар Е413.

Технический бутан из приемного резервуара Е413 подается на орошение верха колонны К407.

Для поддержания температурного режима в колонне К407 предусмотрен ребойлер Т425А.

Нижний продукт колонны К407 (фракция пентан–гексановая) через клапан регулятора уровня в ребойлере Т425А поступает в межтрубное пространство теплообменника Т404, где часть тепла отдается природному газу, поступающему на газотурбинную электростанцию ГТЭС 4, и после охлаждения оборотной водой в теплообменниках Т303А и Т426А,Б поступает в цех № 42.

Анализ существующего процесса. Анализ технологической схемы ХТС начинается с определения источников теплоты (горячие потоки) и стоков теплоты (холодные потоки). Технологическая схема разделения легких углеводородов (рис. 1) имеет пять горячих и шесть холодных потоков, которые могут принимать участие в теплообмене.

Для уточнения теплофизических данных материальных потоков и тепловых нагрузок была создана компьютерная модель процессов разделения легких углеводородов в программе «UniSim Design.» [5] (рис. 2).

Компьютерная модель процесса. В основу универсальной системы моделирования «UniSim Design» заложены общие принципы расчетов материально-тепловых балансов технологических схем. Как правило, любое производство состоит из стадий (элементов), на каждой из которых производится определенное воздействие на материальные потоки и превращение энергии. Последовательность стадий обычно показывается с помощью технологической схемы, каждый элемент которой соответствует определенному технологическому процессу, т.е. UniSim модель на рисунке 2, полностью по-

вторяет техпроцесс, показанный на рисунке 1. Соединения между элементами технологической схемы соответствуют материальным и энергетическим потокам, которые моделируются в «UniSim Design» с помощью заложенной математической модели. В целом моделирование технологической схемы основано на применении общих принципов термодинамики к отдельным элементам схемы и к системе в целом [5].

Уравнения состояния, Пенга-Робинсона [6] выбрано как метод расчета термодинамических свойств, поскольку при моделировании разделения легких углеводородов важны коэффициенты фазового равновесия.

При расчете системы взаимосвязанных аппаратов в «UniSim Design» последовательность расчета элементов определяется автоматически (или может быть задана пользователем). При наличии рециклов создается итерационная схема, в которой рецикловые потоки разрываются, и создается последовательность сходящихся оценочных значений. Эти значения получают замещением величин, рассчитанных при предыдущем просчете схемы или путем применения специальных методов ускорения расчета рециклов – Вегштейна (Wegstein) и Бройдена (Broyden). В исследуемом процессе есть пять операций рецикла, которые обозначены латинскими буквами: «RCY» (рис. 2).

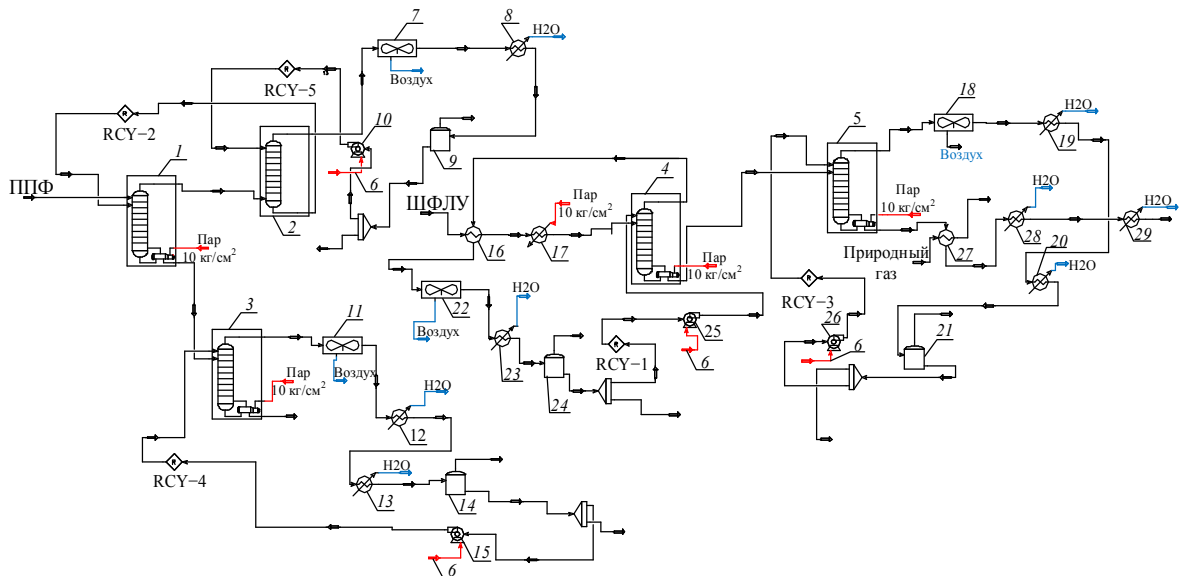


Рис. 2. UniSim модель процесса разделения легких углеводородов: 1–5 – колонны; RCY1–5 – операция рецикла; 6,15,17,25,26 – насосы; 7,11,18,22 – воздушные охладители, 8,12,13,17,19,20,23,28,29 – утилитные теплообменники; 9,14,21, 24 – емкости

Компьютерная модель в программе «UniSim Design» позволила проверить данные, собранные на установке и определить недостающие расходы потоков, теплоемкость и скрытую теплоту фазового перехода исследуемых потоков (табл. 1).

Таблица 1 – Потокотаблица для существующего процесса (рис. 1).

№	Название потока	Тип	T_s , °C	T_T , °C	C , кДж/(кг·град)	r , (кДж/кг)	W , кг/с	CP , кВт/К	ΔH , кВт
1,1	Пары верхнего продукта колонны К403	гор	38,7	35,3	2	–	45,6	91,2	310,1
1,2	Конденсация пара верхнего продукта К403	гор	35,3	35,3	–	352,5	45,6	–	16074
1,3	Охл конд. верхнего продукта К403	гор	35,3	25,5	2,8		45,6	127,7	1251,3
2,1	Конденсация паров бутана с верха К407	гор	53	53	–	323	30,8	–	9948,4
2,2	Охл конд технического бутана с верха К407	гор	53	26,7	2,42	–	30,8	74,5	1960,3
3	Нижний продукт колонны К407	гор	92,3	24,1	2,79	–	9,1	25,4	1731,5
4,1	Конд. пара пропиленовой фракции с верха К402	гор	39,9	39,9	–	310,2	18,17	–	5636,3
4,2	Охл. конд. пара с верха К402	гор	39,9	21,1	2,74	–	18,17	49,8	935,9
5,1	Конд. пара пропиленовой фракции с верха К407А	гор	36,4	36,4	–	313,3	91,08	–	28535,4
5,2	Охл. конд. пропиленовой фракции с верха К407А	гор	36,4	33,3	2,94	–	91,08	267,8	830,1
6,1	Подогрев куба К – 401	хол	48,9	49,1	3,37	–	23,65	79,7	15,9
6,2	Испарение в кубе К401	хол	49,1	49,1	–	282,4	23,65	–	6678,7
7	ШФЛУ с ТБСГ в К403	хол	20,1	43,9	2,43	–	34,5	83,8	1995,3
8,1	Подогрев куба К407А	хол	44,8	46,2	3,2	–	98,02	313,6	439,1
8,2	Испарение в кубе К407А	хол	46,2	46,2	–	299,7	98,02	–	29376,6
9,1	Подогрев куба К403	хол	101,8	105,7	3,17	–	67,8	214,9	838,2
9,2	Испарение в кубе К403	хол	105,7	105,7	–	276,4	67,8	–	18739,9
10,1	Подогрев куба К407	хол	104,1	106,8	2,78	–	30,05	83,5	225,5
10,2	Испарение в кубе К407	хол	106,8	106,8	–	325	30,05	–	9766,2
11	Природный газ на ГТЭС4	хол	20	44,8	2,25	–	9,8	21,8	543,4

Собранные теплофизические данные технологических потоков, систематизированы и занесены в потокотаблицу [3, 4], которая является

ся цифровым образом системы технологических потоков и основой для их интеграции (табл. 1).

Выводы. Процессы стабилизации пропан-пропиленовой фракции и процессы разделения пропан-пропиленовой фракции и широкой фракции легких углеводородов на установке газофракционирования и компримирования были проанализированы в данной статье. Для проверки собранных с установки и получения недостающих данных, создана компьютерная модель процесса в программе «UniSim Design». Моделирование показало хорошую сходимость расчетов. Были получены уточненные данные технологических потоков в процессах, что позволило составить потоковую таблицу данных, которая в дальнейшем послужит основой для их теплоэнергетической интеграции.

Список литературы: 1. *Angsutorn N.* Heat Exchanger Network Synthesis on Gas Separation Plant No.2 (GSP2) in Thailand / *N Angsutorn, P. Saikhaw, R. Chuvaree, S. Kitipat* // Chemical Engineering Transaction – 2014 – vol. 39 – P. 1471–1476. 2. *Степанов А.В.* Рациональное использование сырьевых и энергетических ресурсов при переработке углеводородов / *А.В. Степанов, Н.И. Сульжик, В.С. Горюнов.* – Киев: Техника, 1989. – 170 с. 3. *Смит Р.* Основы интеграции тепловых процессов / *Р. Смит, Й. Клемеш, Л. Л. Товажнянский и др.* – Х.: ХГПУ, 2000. – 457 с. 4. *Kemp, Ian C.* Pinch analysis and process integration A user guide on process integration for the efficient use of energy (2nd Ed.) / *Ian C. Kemp.* – Elsevier Ltd, 2007. – 415 p. 5. *Seider W.D.* Product and process design principles synthesis, Analysis, and Evaluation / *W. D. Seider, J.D. Seader, D.R. Lewin.* – Second Edition. – San Francisco: Wiley, 2003. – 1122 p. 6. *Peng, D.Y.* A new two – constant equation of state / *D.Y. Peng, D.B. Robinson* // Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals. – 1976. – Vol. 15. – P. 59–64.

Bibliography (transliterated): 1. *Angsutorn N.* Heat Exchanger Network Synthesis on Gas Separation Plant No.2 (GSP2) in Thailand / *N Angsutorn, P. Saikhaw, R. Chuvaree, Kitipat S.* // Chemical Engineering Transaction. 2014 – vol. 39 – P. 1471–1476. 2. *Stepanov A.V.* Razionalnoe ispolzovanie serievix i energeticheskikh resursov pri pererabotke uglevodorodov / *A.V. Stepanov, N.I. Sulzhik, B.C. Goryunov.* – Kiev: Tehnika, 1989. – 170 с. 3. *Smith R.* Osnovyi integratsii teplovyih protsessov / *R. Smith, Y. Klemesh, L. L. Tovazhnyanskiy i dr.* – Kharkov: NTU «KhPI», 2000. – 457 p. 4. *Kemp, Ian C.* Pinch analysis and process integration A user guide on process integration for the efficient use of energy (2nd Ed.) / *Ian C. Kemp.* – Elsevier Ltd, 2007. – 415 p. 5. *Seider W.D.* Product and process design principles synthesis, Analysis, and Evaluation / *W. D. Seider, J.D. Seader, D.R. Lewin.* – Second Edition. – San Francisco: Wiley, 2003. – 1122 p. 6. *Peng, D.Y.* A new two – constant equation of state / *D.Y. Peng, D.B. Robinson* // Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals. 1976. – Vol. 15. – P. 59–64.

Поступила (received) 27.02.15