



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РЕКТИФИКАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОГРАММЕ ASPEN HYSYS

Д. т. н., проф. Султангузин И. А.¹, асп. Шомова Т. П.¹, к. т. н., ст. преп. Курзанов С. Ю.¹, маг. Белов Р. Б.¹ (ФГБОУ ВПО НИУ «МЭИ»)

АННОТАЦИЯ. Главной задачей работы является снижение энергопотребления процессов переработки углеводородного сырья. Анализ топливно-энергетических балансов газоперерабатывающих заводов показал, что процесс ректификации является основным потребителем тепловой энергии. В качестве примера рассматривается процесс ректификации широкой фракции легких углеводородов. Моделирование процесса осуществлялось в программе Aspen HYSYS. По результатам моделирования предлагается наиболее эффективные технологии ректификации с тепловыми насосами в зависимости от технических характеристик установок и свойств разделяемых веществ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Газоперерабатывающая промышленность, процесс ректификации, ректификационная колонна, широкая фракция легких углеводородов, энергопотребление, энергосбережение, тепловой насос, моделирование, Aspen HYSYS.

Проблема совершенствования процессов ректификации углеводородов

В химической и нефтегазовой промышленности основным методом разделения является процесс ректификации (ПР), на который расходуется до 60% всей энергии, потребляемой в этих отраслях [1]. Особенностью процессов газопереработки является то, что и сырьем, и продукцией, по сути, являются различные виды газообразных и жидких углеводородных энергетических ресурсов.

Анализ топливно-энергетических балансов газоперерабатывающих заводов показал, что ПР углеводородов относится к основным потребителем тепловой энергии [2]. При этом тепловая энергия является основной статьей экономических затрат. Пар подается в испаритель (ребойлер) для нагрева нижнего продукта, при этом образуется конденсат, тепло которого чаще всего не используется. Конденсат имеет температуру в пределах 100–120°C.

Электроэнергия расходуется на процессы охлаждения верхнего продукта колонны аппаратами воздушного и водяного охлаждения. Процессы газопереработки, как правило, протекают в относительно небольшом диапазоне температур –30÷+150°C, из чего можно предположить, что тепловые насосы (ТН) могут эффективно использоваться в данной области [3].

Главной задачей работы является поиск энергосберегающих проектов и снижение энергопотребления процессов переработки углеводородного сырья.

Для этого в качестве примера рассмотрим ПР широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ).

Технологическая схема переработки ШФЛУ

Технологическая схема переработки ШФЛУ представлена на рис.1.

Комплекс переработки ШФЛУ включает в себя ректификационные колонны (РК):

- К-1 – разделения пентан-гексановой и пропан-бутановой фракций;
- К-2 – разделения изопентана и смеси гексана с нормальным пентаном;
- К-3 – разделения пропана и бутана.

Основное назначение установки состоит в получении товарных продуктов – сжиженных углеводородных газов и углеводородных фракций: пропана, бутана, изопентана и смеси нормального пентана с гексаном.

Колонна К-1 предназначена для разделения ШФЛУ. Верхний продукт колонны К-1 в виде пропан-бутановой фракции служит сырьем колонны К-3 для получения пропана и бутана, а нижний продукт подвергается дальнейшей переработке в изопентановой колонне К-2.

Одна из основных целей работы заключается в совершенствовании ПР углеводородов за счет энергосберегающих проектов. Для достижения данной цели необходимо построить математическую модель и на ней провести моделирование в виде математических экспериментов.

Моделирование ПР ШФЛУ осуществлялось в программе Aspen HYSYS версии 8.0, разработанной фирмой AspenTech и предназначенной для моделирования и оптимизации химико-технологических процессов и систем, в частности, процессов переработки нефти и газа [4].

Применение ТН на колонне разделения пентан-гексановой фракции

Целью моделирования ПР пентан-гексановой фракции является определение потребления основных энергетических ресурсов.

Для расчета термодинамических свойств веществ используется уравнение состояния Пенга-Робинсона [5], которое отличается высокой точ-

¹ 111250, г. Москва, Красноказарменная ул., д. 14

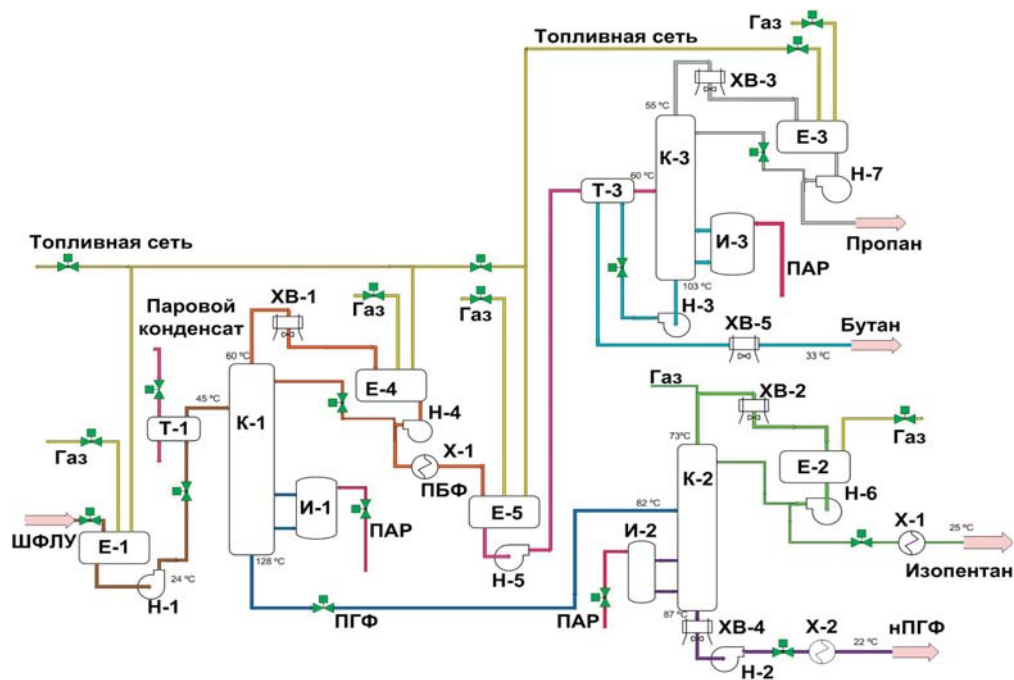


Рис. 1. Технологическая схема переработки ШФЛУ: К – ректификационная колонна, И – испаритель, Т – теплообменник, Е – емкость, Н – насос, ХВ – холодильник воздушный, Х – холодильник водяной, ПГФ – пентан-гексановая фракция, нПГФ – фракция нормального пентана и гексана, ПБФ – пропан-бутановая фракция.

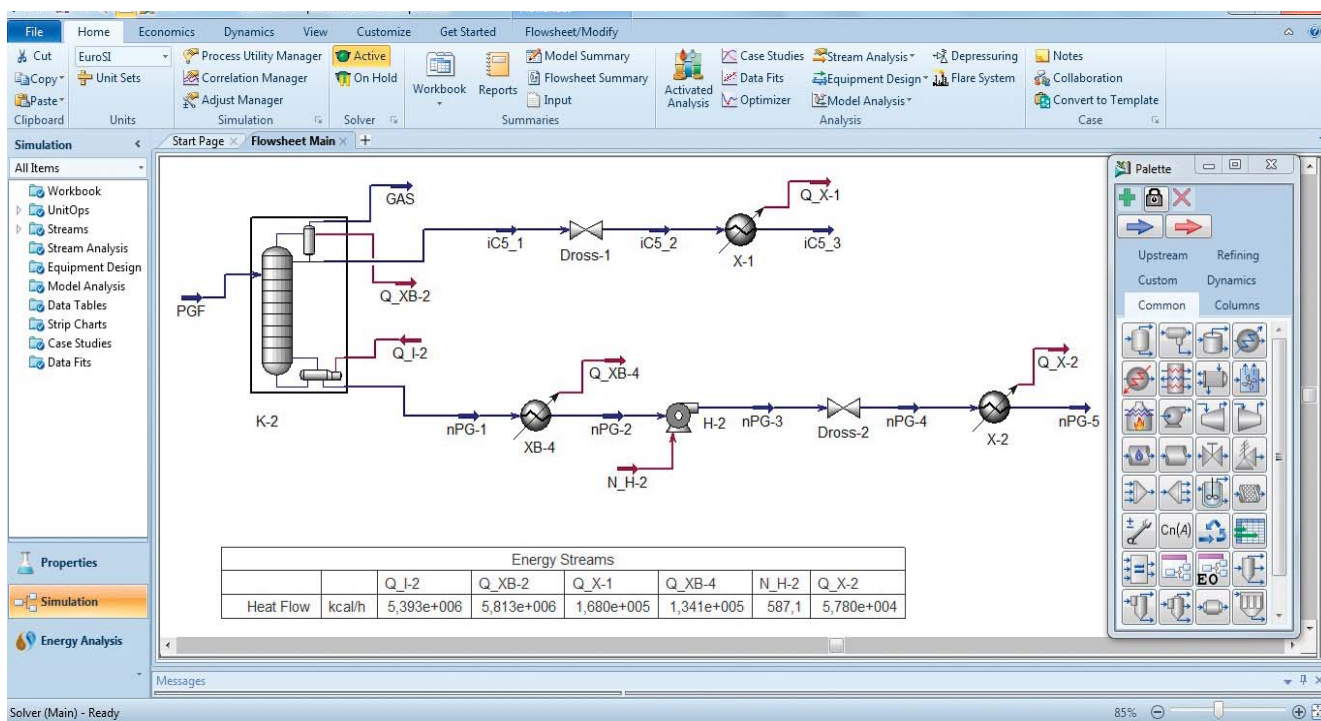


Рис. 2. Интерфейс программы Aspen HYSYS V8.0 и структурная схема моделирования ПК K-2.

ностью в области, близкой к критической точке, и отвечает всем требованиям для расчета углеводородных смесей. База данных содержит обширные сведения о свыше 1500 компонентов смесей. В программе представлен наглядный графический интерфейс для проектирования технологических схем-процессов (ректификация, очистка, осушка и т. д.).

Интерфейс программы Aspen HYSYS V8.0 и

структурная схема моделирования ПК K-2 разделены пентан-гексановой фракции представлены на рис. 2.

Большой потенциал имеет применение ТН для совершенствования ПР. В частности, могут быть применены парокompрессионные ТН и ТН с механической recomпрессией пара [6, 7].

ТН с механической recomпрессией пара может работать следующим образом: парообразный

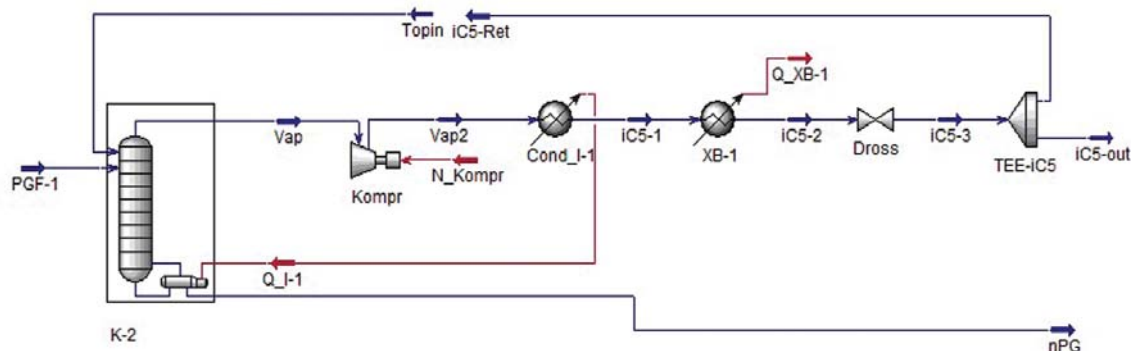


Рис. 3. Схема моделирования ПК К-2 с ТН механической рекомпрессии пара в Aspen HYSYS.

верхний продукт при адиабатическом сжатии в компрессоре нагревается до температуры, превышающей температуру жидкого нижнего продукта. Для испарения нижнего продукта в теплообменник направляется верхний продукт, который при этом конденсируется и отдает тепло, вытесняя пар, подаваемый в испаритель РК в исходной схеме.

Парокомпрессионный ТН – это классический ТН с использованием во внутреннем цикле хладагента с необходимыми термодинамическими и теплофизическими свойствами. Хладагент циркулирует по внутреннему контуру ТН, где он вскипает в испарителе ТН, охлаждает верхний продукт колонны и конденсируется в конденсаторе ТН, при этом отдавая свое тепло кубу колонны. Таким образом, экономится пар в испарителе РК и снижается тепловая нагрузка на аппараты воздушного охлаждения верхнего продукта.

Разработанная программа в среде Aspen HYSYS позволяет подобрать оптимальные параметры работы ТН с соблюдением требований технологии производства и оценить энергетическую эффективность при сравнении нескольких возможных вариантов.

РК с ТН с рекомпрессией пара моделировалась таким образом, чтобы обеспечить тепловую нагрузку испарителя. Тепловая нагрузка нагрева нижнего продукта (нормального пентана и гексана) покрывается паром. В качестве рабочего агента предлагаемого ТН необходимо использовать верхний продукт колонны (изопентан), температура которого становится выше температуры нижнего продукта после сжатия в компрессоре. В результате полностью экономится дорогостоящий пар и в 5 раз сокращается расход электроэнергии на аппараты воздушного охлаждения верхнего продукта.

Внедрение винтового компрессора сухого сжатия позволит отказаться от полного или частичного использования пара, а также потребления электроэнергии на воздушных холодильниках.

Структурная схема моделирования РК К-2 с ТН механической ре-

компрессии пара в Aspen HYSYS представлена на рис. 3.

Изопентановая фракция с верха колонны, проходя через рекуперативный теплообменник, частично нагревается. Далее изопентановая фракция поступает в компрессор, где при сжатии повышает свою температуру примерно до 95°C. Затем изопентановая фракция направляется в конденсатор, где конденсируется и нагревает кубовую часть колонны, после чего фракция, пройдя через теплообменник, доохлаждается в воздушных холодильниках. Таким образом, предлагаемое решение позволяет полностью или частично отказаться от потребления пара и электроэнергии на аппараты воздушного охлаждения, которые часто работают не эффективно.

Также были проведены расчеты ПР пентангексановой фракции с применением парокомпрессионного ТН.

Результаты расчетов исходной схемы (рис. 2), ТН с рекомпрессией пара (рис. 3) и парокомпрессионного ТН представлены в таблице 1.

Для расчета экономии денежных средств принимались следующие значения: стоимость тепловой энергии 1500 руб./Гкал, электроэнергии – 3,0 руб/кВт·ч.

В случае ТН с рекомпрессией пара мощность компрессора на 144 кВт меньше, чем для внешнего ТН. В среде моделирования Aspen HYSYS для воздушных холодильников рассчитывался тепловой поток, отводимый от верхнего продук-

Таблица 1. Расход энергетических ресурсов для колонны К-2.

	Исходная РК	РК с ТН рекомпрессии пара	РК с парокомпрессионным ТН
Расход тепловой энергии пара в испаритель, Гкал/ч	5,4	0	0
Стоимость тепловой энергии пара, руб./ч	8100	0	0
Отвод тепловой энергии от воздушных холодильников, Гкал/ч	5,8	0,95	1,07
Расход электроэнергии на привод компрессора ТН, кВт·ч	0	617	761
Стоимость электроэнергии на привод компрессора, руб./ч	–	1850	2283
Экономия денежных средств, руб./ч	–	6251	5817

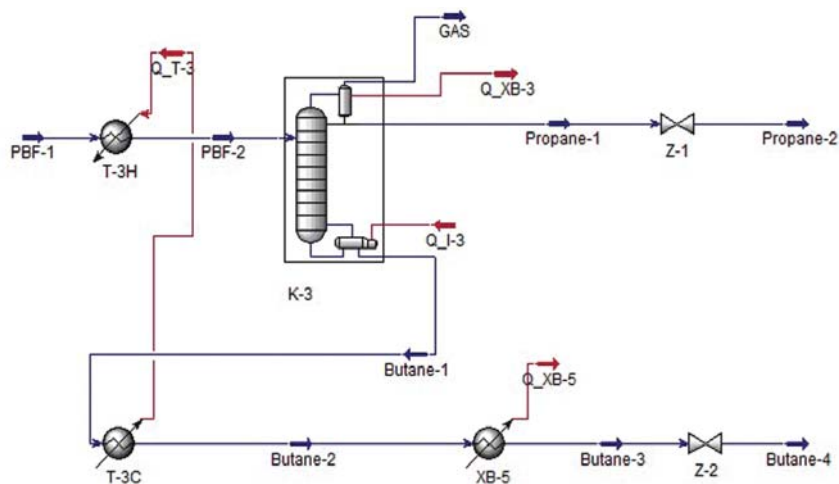


Рис. 4. Схема моделирования ПК К-3 в Aspen HYSYS.

пения изопентана и нормального пентана с гексаном $\Delta t = 14^\circ\text{C}$ предпочтительнее схемы с рекомпрессией пара.

Применение ТН на колонне разделения пропан-бутановой фракции

На основе моделирования ПР пропан-бутановой фракции были определены потребления основных энергетических ресурсов: пара на нагрев нижнего продукта РК К-3 – бутана в испарителе I-3 и электроэнергии на захлаживание верхнего продукта – пропана в воздушном холодильнике XB-3 и бутана в воздушном холодильнике XB-5. Применение теплообменника Т-3 позволяет нагреть пропан-бутановую фракцию перед входом в колонну К-3 за счет охлаждения продуктового бутана, что позволяет снизить энергопотребление на ПР.

Структурная схема моделирования ПК К-3 в Aspen HYSYS представлена на рис. 4.

Внедрение в существующую схему ТН позволит отказаться от полного или частичного использования пара для нагрева кубовой части колонны и электроэнергии для охлаждения пропановой фракции верха колонны.

Структурная схема моделирования ПК К-3 с парокompрессионным ТН в Aspen HYSYS представлена на рис. 5. ТН моделировался таким образом, чтобы полностью покрыть тепловую нагрузку на испаритель. В качестве хладагента была выбрана пропан-бутановая фракция.

Работа ТН может полностью резервироваться за счет перехода к первоначальной схеме с расходом пара в испаритель.

Также были проведены расчеты ПР пропан-

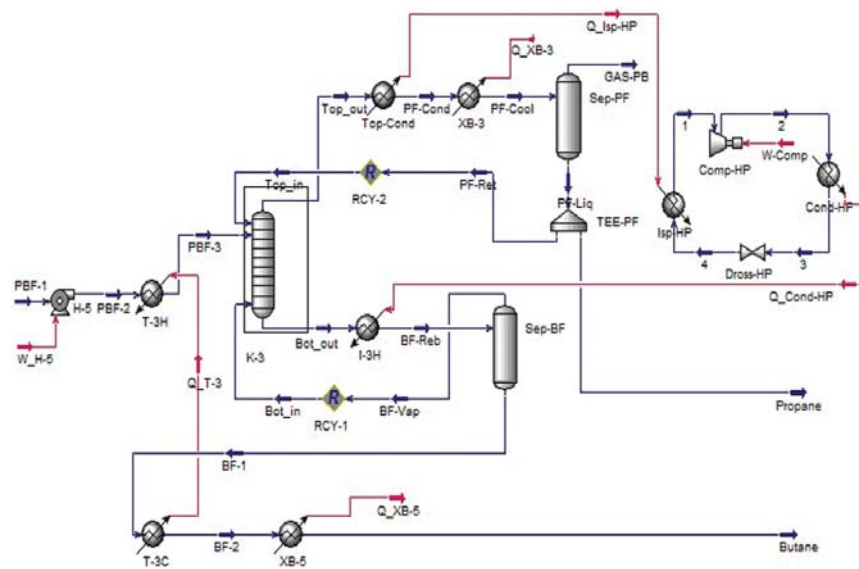


Рис. 5. Схема моделирования ПК К-3 с парокompрессионным ТН в Aspen HYSYS.

та. Расход электроэнергии на вентиляторы аппаратов воздушного охлаждения существенно меньше расхода электроэнергии на компрессор ТН и в расчетах не учитывается. При использовании ТН электрическая нагрузка на воздушные холодильники будет меньше, и реальный энергосберегающий эффект от применения ТН будет больше.

Таким образом, при разности температур ки-

Таблица 2. Расход энергетических ресурсов для колонны К-3.

	Исходная ПК	ПК с ТН рекомпрессии пара	ПК с парокompрессионным ТН
Расход тепловой энергии, пара в испаритель, руб./Гкал	12,42	3,92	0
Стоимость тепловой энергии пара, руб./ч	18630	5880	0
Отвод тепловой энергии от воздушных холодильников, Гкал/ч	10,94	5,48	2,46
Расход электроэнергии на привод компрессора ТН, кВт·ч	0	2617	3375
Стоимость электроэнергии на привод компрессора, руб./ч	–	7851	10125
Экономия денежных средств, руб./ч	–	4899	8505



бутановой фракции с ТН механической рекомпрессией пара.

Результаты расчетов колонны К-3 исходной схемы (рис. 4), ТН с рекомпрессией пара и парокompрессионного ТН (рис. 5) представлены в таблице 2.

Для ТН с рекомпрессией пара мощность компрессора на 758 кВт меньше, чем для внешнего ТН. Но ТН с механической рекомпрессией пара не может полностью покрыть тепловую нагрузку на испаритель.

Из таблицы видно, что при разности температур кипения пропана и бутана $\Delta t=48^{\circ}\text{C}$ эффективнее схема с внешним парокompрессионным ТН.

Вывод

Расчеты в программе Aspen HYSYS показали, что при небольшой разности температур (14°C) кипения разделяемых в ректификационной колонне углеводородов более эффективна схема теплового насоса с рекомпрессией пара, а при большой разности температур (48°C) – предпочтительнее схема с внешним парокompрессионным тепловым насосом.

Литература

1. Mix T. J., Dueck J. S., Weinberg M. Energy conservation in distillation // *Chemical Engineering Progress*. – 1978. – Vol. 74. – P. 49–55.
2. Энергоснабжение газоперерабатывающих заводов на основе газовых турбин и тепловых насосов. / И. А. Султангузин, А. В. Албул, Т. П. Шомова и др. // *Наука и техника в газовой промышленности*. – 2012. – № 3. – С. 96–101.
3. Производство электрической и тепловой энергии в ПГУ-ТЭЦ и применение тепловых насосов на газоперерабатывающих заводах / И. А. Султангузин, Т. П. Шомова, П. А. Шомов и др. // *Труды II Всероссийской научно-практической конференции «Повышение надежности и эффективности эксплуатации электрических станций и энергетических систем – ЭНЕРГО-2012» (Москва, 4–6 июня 2012 г.)*, М.: Издательский дом МЭИ, 2012. С. 401–404.
4. AspenTech Web: <http://www.aspentech.com>
5. Прогнозирование термодинамических свойств новых хладагентов для тепловых насосов. / И. А. Султангузин, А. В. Албул, А. А. Потапова и др. // *Наука и техника в газовой промышленности*. – 2013. – № 2. – С. 44–51.
6. Díez E., Langston P., Ovejero G., Romero M. D. Economic feasibility of heat pumps in distillation to reduce energy use// *Applied Thermal Engineering*. – 2009. – Vol 29. – Issues 5–6. – P. 1216–1223.
7. Kiss A.A., Landaeta S.J.F., Ferreira C.A.I. Towards energy efficient distillation technologies – Making the right choice // *Energy*. – 2012. – Vol. 47. – P. 531–542.

