

Гужель Юлия Александровна,
Канд. техн. наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет»

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭТИЛЕНА КАК КОМПОНЕНТА СМЕШАННОГО ХЛАДАГЕНТА ДЛЯ СЖИЖЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Аннотация. Предложена технология интеграции установки совместного пиролиза этана и пропан-бутановой фракции на Амурском газоперерабатывающем заводе. Цель – производство этилена для использования в составе смешанного хладагента при сжижении природного газа. Разработана принципиальная технологическая схема процесса, адаптированная к сырьевым условиям завода. Реализация проекта позволит увеличить добавленную стоимость продукции, обеспечить собственное производство ключевого компонента хладагента и повысить эффективность процессов переработки природного газа.

Ключевые слова: Этан, этилен, сжиженные углеводородные газы, схема, технология, амурский газоперерабатывающий завод, пиролиз, разделение

На территории Амурской области функционирует Амурский газоперерабатывающий завод (АмГПЗ) – одно из ключевых предприятий в системе газовой промышленности России. Завод был построен в рамках реализации масштабного проекта по развитию газовой инфраструктуры и переработке природного газа, поступающего с месторождений Восточной Сибири и Дальнего Востока. Завод использует современные технологии переработки газа, которые обеспечивают высокую степень очистки и эффективность производства. Это включает в себя процессы очистки газа от примесей и его фракционирование. АмГПЗ производит широкий ассортимент продукции, включая метан, этан, пропан, бутан, пентан-гексановую фракцию и гелий, что позволяет удовлетворять различные потребности рынка.

Однако предприятие сталкивается и с определенными вызовами, которые требуют внимания и стратегического подхода к развитию. В ходе переработки природного углеводородного газа в товарную продукцию используются не все компоненты природного газа, что не позволяет повысить энергоэффективность отдельных установок и предприятия в целом за счет перераспределения энергетических и технологических взаимосвязей.

По проекту АмГПЗ ориентирован на производство этана как основного продукта для пиролиза на соседнем Амурском ГХК, пропан-бутановой и пентан-гексановой фракций на экспорт [1].

Производство сжиженного природного газа (СПГ) на Амурском газоперерабатывающем заводе является высокоактуальным и стратегически важным проектом для России, особенно в контексте современных геополитических и экономических вызовов [2, 3]. Его значимость многогранна и основана на ряде ключевых факторов. Исторически экспорт российского газа был ориентирован на трубопроводные поставки в Европу. АмГПЗ, наряду с другими проектами («Сахалин-2», «Арктик СПГ»), является ключевым элементом стратегии по перенаправлению потоков газа на быстрорастущие рынки Азиатско-Тихоокеанского региона. СПГ как продукт обладает высокой гибкостью – его можно транспортировать танкерами в любую точку мира, где есть терминал для приема, что позволяет оперативно реагировать на колебания спроса и цен на разных рынках. Завод расположен в Амурской области, в непосредственной близости от границы с Китаем – крупнейшим и самым перспективным рынком сбыта газа. Это позволяет минимизировать логистические издержки и создать стабильный канал поставок. Таким образом, актуальность производства СПГ на



АмГПЗ невозможно переоценить. Это стратегический узел, который решает сразу несколько государственных задач: укрепление партнерства с Китаем и странами АТР, увеличение валютных поступлений и развитие перерабатывающей промышленности, освоение передовых технологий и развитие национальных компетенций в области сжижения газа и криогеники, комплексное развитие Амурской области и Дальнего Востока.

Актуальность промышленного производства этилена как компонента смешанного хладагента для сжижения природного газа является чрезвычайно высокой и является современным отраслевым стандартом.

Сжижение природного газа требует его охлаждения от температуры окружающей среды до минус 162°C. Провести этот процесс в одной ступени с одним хладагентом невозможно. Смешанные хладагенты решают эту проблему.

Смешанный хладагент (СХА) – правильно подобранная смесь легких углеводородов (азота, метана, этана, этилена, пропана, бутана) и иногда азота. Его ключевое преимущество в том, что он кипит не при одной температуре, а в широком температурном диапазоне. Это позволяет идеально согласовать кривую охлаждения хладагента с кривой охлаждения природного газа, значительно повышая термодинамическую эффективность и снижая энергозатраты.

Этилен является критически важным «среднетемпературным» компонентом в наиболее распространенных составах СХА, выполняя свои основные функции:

- заполнение среднего температурного диапазона, в связи с тем, что этилен кипит при минус 103,7 °С, в составе смеси он отвечает за эффективное отведение тепла в диапазоне примерно от минус 60 °С до минус 100°C. Без него в этом диапазоне возник бы «провал» в эффективности охлаждения;
- повышение гибкости и эффективности путем точной настройки термодинамические свойства хладагента под конкретные параметры газа и условия окружающей среды;
- этилен часто используется в качестве замены или дополнения к этану ($t_{\text{кип}}$ минус 88,6 °С). Хотя этан дешевле, этилен обладает несколько иными термодинамическими свойствами (более высокой скрытой теплотой парообразования), что в некоторых комбинациях может делать смесь более эффективной.

Технология сжижения природного газа с использованием смешанных хладагентов, содержащих этилен, является доминирующей в мире для крупномасштабных заводов СПГ (например, технологии Air Products C3-MR®). Подавляющее большинство действующих и строящихся заводов используют именно её.

Целью работы является внедрение в структуру АмГПЗ блока по переработке этана, включающего технологический процесс совместного пиролиза этана и пропан-бутановой фракции, с получением этилена как компонента смешанного хладагента при сжижении природного газа.

Для достижения цели необходимо изучить способ пиролиза углеводородного сырья, содержащего этан и сжиженные углеводороды (пропановая и бутановая фракции), где углеводородное сырье готовят смешением нагретых до температуры 120-150 °С потоков этана и сжиженных углеводородов (от 5 до 30 мас. %) и подают на пиролиз в присутствии водяного пара; составить принципиальную технологическую схему пиролиза, интегрированную в производственные процессы АмГПЗ.

Известен способ пиролиза углеводородного сырья [4], содержащего этан и сжиженные углеводороды (смесь пропана и н-бутана в соотношении 50:50) в массовом соотношении 75:25 соответственно. Согласно нему потоки газового этана (с температурой около 27 °С) и сжиженных углеводородов (с температурой около 42 °С) после смешения поступают в теплообменник, в котором сырье подогревается до 126 °С, и далее сырьевой поток



смешивается с потоком пара и поступает в печь пиролиза. Полученный пирогаз на выходе из печи пиролиза содержит 52,3 % мас. этилена, конверсия этана составляет 69 %, конверсия сжиженных углеводородов 98 % [5].

Указанный способ послужил фундаментальной основой для разработки технологической схемы со-пиролиза этана и сжиженных углеводородных газов, адаптированной к сырьевым условиям и технологическим параметрам АМПЗ.

Сырьем печи пиролиза является этан, получаемый на блоке выделения этана и ШФЛУ, удаления азота и получения азотно-гелиевой смеси, и смесь пропан-бутановой фракции (СУГ), выделяемой на блоке газфракционирования АМПЗ. Причем смесь пропан-бутановой фракции готовится из пропана и н-бутана в соотношении 50:50 соответственно.

Целевым продуктом установки со-пиролиза является этилен, в дальнейшем используемый как компонент смешанного хладагента на блоке получения сжиженного природного газа.

Принципиальная схема установки со-пиролиза представлена на рисунке.

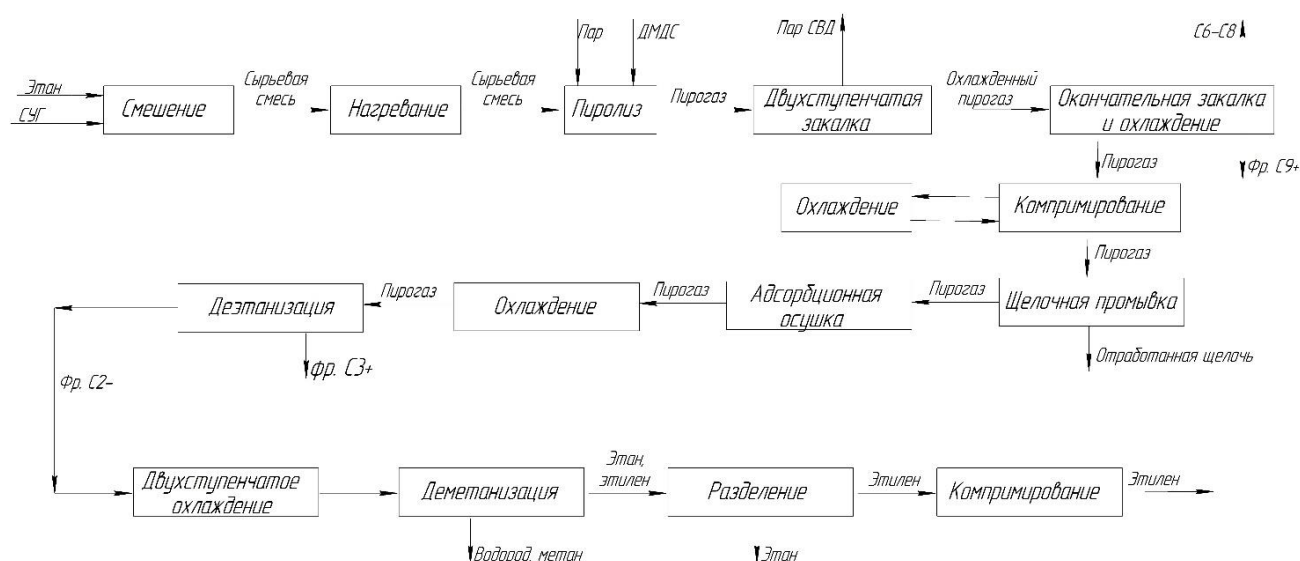


Рис. 1 Принципиальная схема совместного пиролиза этана и сжиженных углеводородных газов

Поток этана с температурой 25 °С, и СУГ с температурой около 42 °С после смешения поступают в теплообменник, в котором подогреваются до 125 °С. Затем сырьевой поток под давлением 0,52 МПа (изб.) последовательно проходит подогреватели в конвекционной секции печи. После нагрева до температуры 220 °С поток направляется на смешение с технологическим водяным паром и диметилдисульфидом (ДМДС) для снижения парциального давления углеводородов, увеличения селективности по этилену и предотвращения коксообразования и вторичных реакций, для пассивации змеевиков и предотвращения каталитического коксообразования. Затем полученная смесь подается в радиантную секцию печи, где происходит основная реакция образования этилена. Продукт реакции — пирогаз — выводится из радиантных змеевиков и направляется в систему охлаждения, состоящую из двух заалочных устройств: основного, представляющего теплообменник типа «труба в трубе», и вспомогательного, представляющего собой кожухотрубчатый теплообменник. В основном ЗИА пирогаз резко охлаждается до температуры 530 °С, в вспомогательном — до 350 °С для предотвращения дальнейших



побочных реакций. В ходе охлаждения образуется насыщенный пар сверхвысокого давления (11,6 МПа), который направляется в общий коллектор пара СВД установки.

После двухступенчатого охлаждения в закалочно-испарительных аппаратах пирогаз направляется в закалочную колонну, где он окончательно охлаждается до 35 °С и очищается от тяжелых углеводородов, кокса и воды. Часть нижнего продукта колонны поступает в емкость мазута, где кокс и фракция C_9+ отводится с установки. Отделенная от этой фазы вода возвращается в нижнюю секцию колонны. Часть нижнего продукта поступает в сепаратор нижней секции, в котором происходит отделение воды от пиробензина (фракция C_6-C_8). Пирогаз, отбираемый с верха закалочной колонны с давлением 0,08 МПа (изб.), компримируется на пяти ступенях до давления 3,7 МПа, требуемого для выполнения различных этапов фракционирования. После каждой ступени сжатия пирогаз охлаждается в промежуточных холодильниках оборотной водой до температуры около 39 °С, при этом часть тяжелых фракций конденсируется. Образующаяся жидкость отделяется в сепараторе и возвращается в закалочную колонну.

Очищенный от капельной жидкости газ направляется в нижнюю часть колонны щелочной очистки, где происходит удаление кислых компонентов CO_2 и H_2S путем реакции с раствором едкого натра. Колонна состоит из трех секций: две предназначены для щелочной очистки, одна – для обратной промывки. Все секции оснащены клапанными тарелками. С куба колонны отводится отработанная щелочь на разделение и регенерацию, а с верха – отводится газ и через осушитель пирогаза подается в теплообменник где охлаждается до температуры минус 28 °С.

Осушенный и охлажденный пирогаз направляется в деэтанализатор, работающий под давлением 2,5 МПа для дальнейшего разделения на две фракции, одна из которых содержит все C_2 и более легкие компоненты, а другая – все C_3 и более тяжелые компоненты. Кубовый продукт деэтанализатора направляется на рецикл в печь пиролиза.

Верхний продукт деэтанализатора частично конденсируется в двухступенчатом конденсаторе с использованием охладителей на основе этилена и пропилена, обеспечивающих температуру минус 50 °С и минус 35 °С, соответственно. Сконденсированная фракция собирается в рефлюксной емкости, откуда насосом часть ее подается обратно в деэтанализатор как орошение. Газовая фракция, содержащая преимущественно этан и этилен (~75 %), направляется далее через теплообменники в деметанизатор, работающий при давлении 1,23 МПа. С верха колонны отбирается легкая фракция (водород и метан), часть потока конденсируется и в виде флегмы возвращается в колонну.

Кубовый продукт деметанизатора, представляющий собой практически чистую фракцию C_2 (этан, этилен), поступает в колонну разделения. Кубовая жидкость этой колонны – этан поступает на рецикл. Этилен с верха колонны компримируется в компрессоре и подается на установку получения сжиженного природного газа, где используется как компонент смешанного хладагента.

В результате проведенного исследования разработана технологическая схема глубокой переработки углеводородного сырья Амурского газоперерабатывающего завода, направленная на увеличение добавленной стоимости продукции и повышение эффективности основного производства.

Основные результаты работы:

1. Предложено технологическое предложение АмГПЗ – интеграция в его структуру установки совместного пиролиза этана и пропан-бутановой фракции (СУГ). В качестве фундамента была адаптирована известная технология, доказавшая высокую эффективность, при применении которой конверсия сжиженных углеводородов достигает 98 %, а выход этилена в пирогазе составляет 52,3 % масс.



2. Составлена детализированная принципиальная технологическая схема процесса, включающая стадии подготовки и нагрева сырьевой смеси (этан + СУГ в соотношении 50:50), пиролиза, двухступенчатого закалочного-испарительного охлаждения пирогаза с попутной генерацией пара высокого давления, компримирования и низкотемпературного фракционирования для выделения целевого продукта – этилена.

3. Показана полная синергия предлагаемого решения с существующими производственными процессами АмГПЗ. В качестве сырья используются продукты собственной переработки завода – этан и пропан-бутановая фракция. Целевой продукт – этилен – напрямую направляется на блок сжижения природного газа для использования в качестве критически важного среднетемпературного компонента смешанного хладагента.

Выводы:

1. Предложенное технологическое решение позволяет перейти от экспорта низкопередельного сырья (этана и СУГ) к производству высоколиквидного продукта с значительной добавленной стоимостью – этилена, что полностью соответствует целям комплексной переработки природного газа и рационального природопользования.

2. Интеграция производства этилена непосредственно на площадке АмГПЗ решает стратегическую задачу развития собственного производства СПГ, что повышает технологический суверенитет предприятия, снижает логистические издержки и риски цепочки поставок, а также повышает общую энергоэффективность за счет оптимизации внутренних энергетических и технологических потоков.

3. Использование этилена в составе смешанного хладагента, благодаря его термодинамическим свойствам, позволит существенно повысить эффективность процесса сжижения природного газа на АмГПЗ, выведя его на уровень лучших мировых практик.

Таким образом, реализация данного проекта не только обеспечит значительный экономический эффект за счет углубления передела сырья, но и укрепит технологическую и экспортную позицию АмГПЗ как ключевого элемента газоперерабатывающей и экспортной инфраструктуры России на Дальнем Востоке.

Список литературы:

1. Гужель Ю.А. Амурский газоперерабатывающий завод – импульс для социально-экономического развития региона // Технологии, модели и алгоритмы модернизации науки в современных условиях: сб. статей всеросс. научно-практ. конф. с международным участием (13 февраля 2024 г., г. Калуга). – Уфа: Аэтерна, 2024. – С.12-15.

2. Семикашев В. Возможности и ограничения развития российской газовой отрасли в условиях санкций на перспективу до 2030 г. / В. Семикашев, М. Гайворонская // Энергетическая политика. – 2023. – № 9 (188). – С. 26-39.

3. Гривач А.И. Ситуация в газовой отрасли России в 2022-2023 годах / А.И. Гривач // Геоэкономика энергетики. – 2024. – № 1 (25). – С. 6-17.

4. Пат. RU 2764768 С1 Способ пиролиза углеводородного сырья / Д.С. Сафин; Казанское ПАО «Органический синтез». – № 2021112487; Заявл. 29.04.2021; Оpubл. 21.01.2022, Бюл. № 3.

5. Сафин Д.Х., Зарипов Р.Т., Сафаров Р.А. Некоторые особенности процесса совместного пиролиза этана и сжиженных углеводородов / Сафин Д.Х., Зарипов Р.Т., Сафаров Р.А. и др // Вестник технологического университета. – 2020. – Т.23. – №7. –С. 49-51.

6. Самакаева Т.О. Перспектива внедрения газохимических процессов по переработке углеводородных компонентов, выделенных из природного газа, на базе Оренбургского газохимического комплекса / Т.О. Самакаева // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2014. – № 7. – С. 50-57.

