DOI 10.37539/2949-1991.2025.29.6.028

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

К ВОПРОСУ ПЕРЕРАБОТКИ ПЕНТАН-ГЕКСАНОВОЙ ФРАКЦИИ

Аннотация. В работе предложены технологические решения по переработке пентан-гексановой фракции, получаемой на газофракционирующих установках Амурского газоперерабатывающего завода. Целью исследования является формирование комплекса предложений по переработки фракции, направленной на увеличение добавленной стоимости продукции с позиции комплексной переработки природного газа и рационального природопользования. В рамках работы представлена характеристика фракции, применяемых технологических схем каталитической изомеризации пентан-гексановой фракции и дегидрирования изопентана. Приведены характеристики указанных процессов.

Ключевые слова: Пентан-гексановая фракция, переработка, изопентан, изопрен, высокооктановый бензин, технология, схема.

В течение последних нескольких лет российский топливно-энергетический комплекс, являющийся одной из основных отраслей экономики, столкнулся с беспрецедентным внешним давлением, вызванным многочисленными санкциями и искусственными ограничениями. Тем не менее, отечественный ТЭК успешно реагирует на эти вызовы, обеспечивая стабильность энергетической безопасности страны [1].

Целью настоящего исследования выступает формирование комплекса технологических решений по переработке пентан-гексановой фракции, направленных на увеличение добавленной стоимости продукции с позиции комплексной переработки природного газа и рационального природопользования.

В работе предлагаются технические решения по комплексной переработке пентан-гексановой фракции, включающие:

– каталитическую изомеризацию с получением изомеризата, как высокооктанового компонента бензина, и изопентана;

– вакуумное дегидрирование изопентана, полученного на первом этапе, с получением изопрена как сырья для производства синтетических каучуков.

Фракция пентан-гексановая вырабатывается в процессе фракционирования ШФЛУ на Амурском газоперерабатывающем заводе и представляет собой смесь алифатических предельных углеводородов, в основном C_5 – C_6 (не менее 90 %) с примесью сопутствующих углеводородов. Производство пентан-гексановой фракции составляет около 200 тыс. тонн в год. В настоящее время предусмотрена ее реализация потребителям. Однако, с целью увеличения добавленной стоимости продукции, актуальным становится вопрос ее переработки на производственных площадях АмГПЗ.

Известно, что пентан-гексановая фракция является сырьем в технологических процессах получения высокооктанового бензина, синтетических каучуков и других продуктов.

В ходе процесса изомеризации нормальный пентан, обладающий октановым числом 62, преобразуется в изопентан с октановым числом 92. Для гексана октановое число составляет 25, в то время как для изогексана – 75. Таким образом, сырьевая смесь, содержащая нормальные и изопентаны, а также гексаны, подвергается улучшению в процессе изомеризации.

Установка для изомеризации смеси пентан-гексан включает колонну фракционирования, где нормальные углеводороды концентрируются, а углеводороды с изомерной структурой отделяются.

Принципиальная технологическая схема блока изомеризации приведена на рис. 1.

После этапа фракционирования нормальные парафины смешиваются с водородом и незначительным количеством органического хлорида, после чего подаются в реактор. В реакторе, заполненном платиновым катализатором, происходит изомеризация примерно половины сырья, что позволяет получить изомеризат, который затем можно фракционировать для выделения легкого и тяжелого изомеризата, а также изопентана. Поскольку гексаны имеют более высокую температуру кипения по сравнению с н-пентаном, а изопентан – более низкую, для их эффективного разделения требуется дополнительное оборудование.

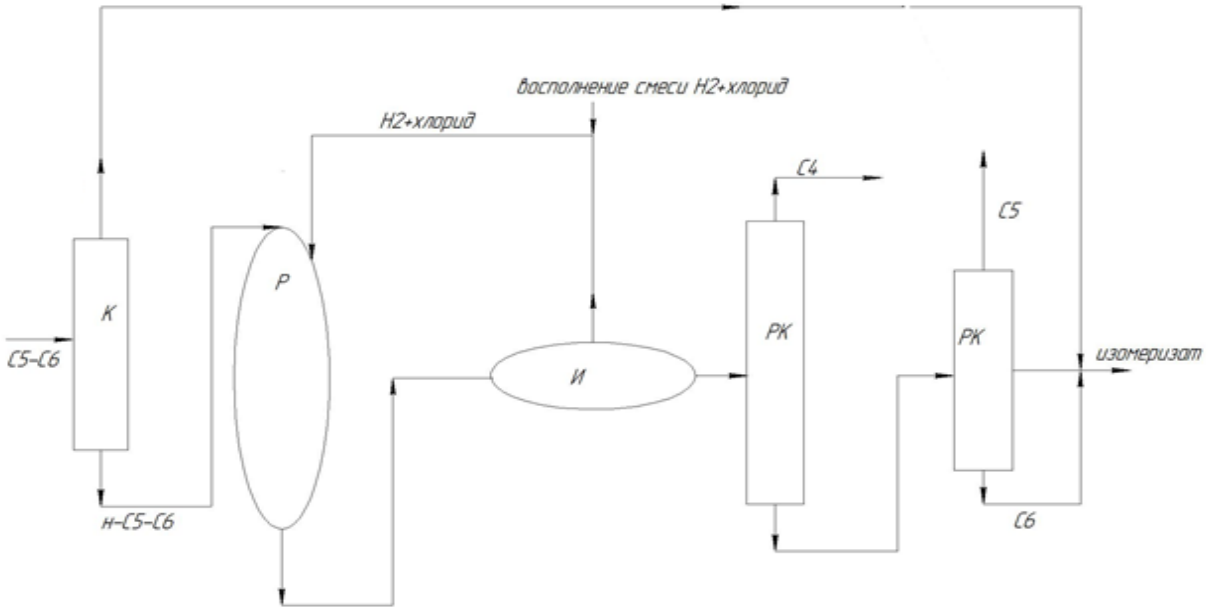

Рис. 1. Принципиальная технологическая схема блока каталитической изомеризации пентан-гексанвой фракции: К – фракционирующая колонна, Р – реактор, И– испаритель, РК – ректификационные колонны

Для минимизации побочных реакций крекинга процесс осуществляется под повышенным давлением с циркуляцией водородсодержащего газа.

В современных бифункциональных катализаторах в качестве металлического компонента применяются платина и палладий, в то время как в качестве носителя используются фторированные или хлорированные оксиды алюминия, а также алюмосиликаты и цеолиты, интегрированные в матрицу оксида алюминия. Алюмоплатиновые фторированные катализаторы обеспечивают процесс изомеризации при температуре 360-420 °С и классифицируются как высокотемпературные. Металл-цеолитные катализаторы функционируют в диапазоне 230-380 °С (в зависимости от типа цеолита) и относятся к среднетемпературным. Алюмоплатиновые катализаторы, активированные хлором, используются при температурах 100-200 °С и классифицируются как низкотемпературные.

Процесс протекает при следующих технологических параметрах: температура 150-180 °С (происходит увеличение температуры по мере закоксовывания катализатора); давление 1,4-3,0 МПа (зависит от типа катализатора); кратность циркуляции водородсодержащего газа 900-1000 $нм^3/м^3$; объемная скорость подачи сырья 1,2-2,0 $ч^{-1}$ (зависит от типа катализатора и температуры процесса); расход водорода 0,1-0,3 % от сырья.

Изомеризация н-пентана представляет значительный интерес как для нефтеперерабатывающей, так и для нефтехимической промышленности.

Изопентан является сырьем для производства изопрена – сырья для производства синтетических каучуков.

Изопрен – ненасыщенный углеводород, который представляет собой бесцветную летучую жидкость с характерным запахом. Он обладает высокой растворимостью в различных органических растворителях, однако плохо растворим в воде. В настоящее время изопрен является одним из ключевых продуктов нефтехимического синтеза. До 95 % всего производимого изопрена используется для получения изопреновых каучуков. Основными потребителями изопреновых каучуков являются предприятия по выпуску автомобильных шин и резинотехнических изделий различного назначения.

Мировой рынок каучуков находился в состоянии стагнации с 2019 года. В период 2019-2020 годов торговая война между США и Китаем, а также последствия пандемии COVID-19 оказали негативное влияние на отрасли, потребляющие каучук, такие как автомобилестроение и шинная промышленность.

С начала 2024 года в производстве синтетических каучуков наблюдается положительная динамика, что связано, в частности, с восстановлением шинного рынка. Кроме того, отечественные производители уже в 2023 году начали компенсировать утраченные поставки каучуков из Европы, разрабатывая новые марки продукции. Вторым потенциальным направлением для роста спроса на каучуки является увеличение объемов производства резинотехнических изделий в стране, обусловленное растущим спросом со стороны обрабатывающих отраслей.

В работе в качестве промышленной технологии производства изопрена предлагается дегидрирование изопентана [3].

Процесс вакуумного дегидрирования изопентана осуществляется в стационарном слое алюмохромового катализатора с периодической регенерацией, которая осуществляется с использованием нагретого воздуха. Ключевой особенностью данного процесса является сбалансированный тепловой режим в циклах контактирования и регенерации. Количество тепла, выделяющееся при окислительной регенерации катализатора и используемое для его нагрева, точно соответствует количеству тепла, необходимому для поддержания эндотермической реакции дегидрирования. Таким образом, процесс можно охарактеризовать как адиабатический, при этом катализатор выполняет функцию теплоносителя.

Принципиальная технологическая схема процесса приведена на рис. 2.

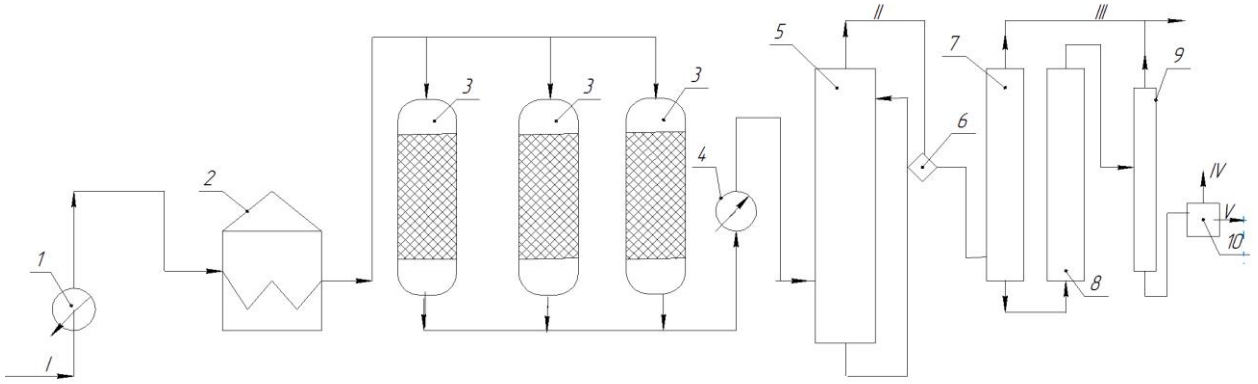

Рис. 2. Принципиальная технологическая схема процесса одностадийного дегидрирования изопентана под вакуумом: 1 – испаритель; 2 – пароперегревательная печь; 3 – реакторы; 4 – котел-утилизатор; 5 – скруббер; 6 – компрессор; 7 – абсорбер; 8 – десорбер; 9 –колонна стабилизации;10 – узел четкой ректификации; I – сырье; II – вода; III – углеводороды C_1 – C_4; IV – изопрен; V – пипериленовая фракция

Сырье (изопентан) поступает в испаритель 1, обогреваемый нагретым маслом, после чего пары перегреваются в печи 2 и поступают в один из параллельно соединенных реакторов 3. Число реакторов должно быть таким, чтобы обеспечивалась непрерывная работа установки (не менее трех реакторов). В то время как один реактор находится на контактировании, в остальных осуществляется регенерация или продувка. Тепло газов регенерации рекуперируется в котле-утилизаторе 4.

Катализатор представляет собой таблетки размером 4×4 мм, состоящие из оксида алюминия, пропитанного 20 % мас. оксидом хрома. В присутствии данного катализатора процесс протекает при температуре 535-650°С, давлении 0,16-0,21 МПа. После каждого цикла проводят восстановление водородом в течение 5-9 мин. Выход изопрена на пропущенное сырье (изопентан) составляет 12,8 мас. % при селективности около 52 % и конверсии 30 %.

Таблетированный алюмохромовый катализатор подвергается смешиванию с инертным теплоносителем, обладающим высокой теплоемкостью. Данный подход обеспечивает более равномерное распределение температуры по слою катализатора.

Контактный газ проходит закалку в скруббере 5, орошаемом охлажденным минеральным маслом, после чего поступает в систему улавливания и разделения. Так, охлажденный продукт проходит узлы компримирования 6, абсорбции-десорбции 7 и 8, дебутанизации 9 и поступает на установку четкой ректификации 10. С нее отводится изопрен-ректификат (с содержанием выше 99 %) и пипериленовую фракцию [4].

Основным ограничением данного процесса является его проведение в условиях вакуума, что значительно усложняет технологическую схему. Кроме того, это приводит к низким показателям выхода изопрена, селективности и конверсии.

Резюмируя, стоит отметить, что данные технологические решения позволят приблизиться к комплексной переработке природного газа и рационального природопользования, и создать продукты с более высокой добавленной стоимостью.

Список литературы:

1. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года утверждена распоряжением Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р

2. Огородников С.К., Идлис Г.С. Производство изопрена. Л. «Химия», 1973. 296 с., 57 рис., 44 табл.

3. Романова Р.Г. Моделирование процесса одностадийного дегидрирования изопентана в изопрен // Вестник Казанского технологического университета. №3. – 2009. – С. 23-33.

4. Салямова, А.У. Современные методы получения изопрена // Молодой ученый. – 2021. – № 23 (365). – С. 84-86.

5. Хакимуллин Р.Р., Назаров А.А., Вилохин С.А. Получение изопрена путем дегидрирования изопентана и изоамилена // Вестник Казанского технологического университета. № 3. – 2012. – С. 154-156.

6. Патент RU2388739C1 Способ дегидрирования изопентана и изопентан-изоамиленовых фракций.