

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ИНТЕГРАЦИИ СЖИЖЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПОТОК ПРИРОДНОГО ГАЗА В ПРОЦЕССЕ ЕГО КРИОГЕННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ**

**Кириянова Е. А.<sup>1</sup>**

**Научный руководитель – доктор техн. наук, профессор Баранов А. Ю.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

ea.kirianova@yandex.ru

### **Введение**

Ключевыми особенностями газовой отрасли Российской Федерации являются наращиваемые объемы и темпы добычи углеводородов и ограниченные мощности для их переработки. Инфраструктурные и логистические факторы сдерживают разработку и коммерциализацию ресурсной базы северных месторождений. При добыче на новых лицензионных участках получение товарных продуктов — стабильного газового конденсата (СГК) и метановой фракции — возможно посредством установок промышленной подготовки и фракционирования, при этом реализация сжиженных углеводородных газов (СУГ) представляет собой актуальную проблему. Исследование нацелено на разработку концептуальных технических решений по обогащению СУГ-ами потока природного газа в процессе его криогенной переработки и выбор оптимального варианта.

### **Основная часть**

Комплексная переработка углеводородного сырья обеспечивает получение широкой номенклатуры товарной продукции с высокой добавленной стоимостью, тем самым формируя основу экономической эффективности проекта.

В рамках работы рассматривается вариант обогащения подготовленного сырьевого газа, направляемого на установку сжижения, за счет добавления СУГ, поступающих на производственный комплекс со стороны новых месторождений. Оценка концептуальных решений по подмешиванию СУГ в поток природного газа основывается на разработке математических моделей технологической цепочки крупнотоннажного производства сжиженного природного газа (СПГ) и расчетах материальных и энергетических балансов для каждого случая в специализированном программном комплексе. Исследование включает технологические процессы промышленной подготовки, очистки и осушки, а затем — сжижения метановой фракции, а также — ректификации более тяжелых углеводородных фракций на чистые компоненты. Количество подмешиваемых фракций с пошаговым наращиванием изменяется от случая без добавления СУГ до предельного значения, обусловленного требованиями к качеству товарного СПГ. Сбыт СУГ в качестве самостоятельного продукта характеризуется ростом капитальных затрат на проект в силу необходимости оснащения дополнительной инфраструктурой и формирования обособленного логистического маршрута до потребителя.

В качестве ресурсной базы для исследования выбрано Бованенковское месторождение. Промысловая подготовка газа до требований ГОСТ 34867–2022 [1] представлена схемой низкотемпературной сепарации с использованием турбодетандер-компрессорного агрегата и диапазоном допустимых рабочих температур перед концевым сепаратором от минус 30 °С до минус 60 °С. Для предупреждения гидратообразования предусмотрены точки впрыска в поток водного раствора метанола. Товарный СГК, а также компоненты для смесевых хладагентов, выделяются из фракций C<sub>2+</sub> посредством ректификации (в колоннах деэтанзации и стабилизации и на установке

фракционирования соответственно). Полученные СУГ либо подмешиваются в поток метановой фракции без добавления дополнительного количества (базовая конфигурация), либо с добавлением сторонних СУГ, либо фракционируются на товарные пропановую и бутановую фракции.

От установки промышленной подготовки метановая фракция после очистки от кислых компонентов, дегидратации и демеркуризации поступает на установку сжижения, реализованную на базе каскадной схемы с двумя холодильными машинами на многокомпонентных хладагентах. Математическая модель установки сжижения разработана с учетом технических решений технологий, описанных в патентах № 6105389 (США) [2], № 2358213 (РФ) [3] и др., включая принятые схемы маршрутизации потоков, термобарические характеристики и компонентные и количественные параметры составов холодильных агентов, которые в дальнейшем были оптимизированы с целью снижения удельных энергозатрат.

Целевым рынком сбыта выбраны страны Азиатско-Тихоокеанского региона в силу устойчивого спроса на СПГ и СГК, в связи с чем ключевое требование к качеству СПГ ограничивается значением высшей теплоты сгорания в диапазоне от 38,4 МДж/м<sup>3</sup> до 42,1 МДж/м<sup>3</sup> согласно рынку ЖКМ [4].

### **Выводы**

В рамках исследования сформированы массивы исходных данных и приняты предпосылки для моделирования и обоснованы выборы уравнений состояния и расчетных зависимостей. Рассчитаны балансы установок, а также технические и термодинамические характеристики, что позволяет утверждать о целесообразности и возможности реализации принятой конфигурации производственной цепочки на концептуальном уровне. Подмешивание в поток СПГ фракций С<sub>3</sub>-С<sub>4</sub> извне позволяет решить сразу две ключевые проблемы: избежать капиталоемкого строительства отдельной инфраструктуры для сбыта СУГ и повысить ценность экспортного СПГ.

Результаты исследования показывают, что описанные установки подготовки и фракционирования позволяют обеспечить подготовку сырья для последующей криогенной переработки, а также — получить товарный СГК и СУГ. В базовом варианте обогащенный СПГ характеризуется значением высшей теплоты сгорания 41,60 МДж/м<sup>3</sup>, что позволяет подмешивать дополнительное количество СУГ извне. При выделении пропановой и бутановой фракций в качестве товарных калорийность СПГ снижается, однако остается в пределах требований рынка АТР.

### **Литература**

1. ГОСТ 34867–2022. Газ горючий природный, поставляемый и транспортируемый по магистральным газопроводам. Технические условия. Введ. 14.07.2022. М.: Российский институт стандартизации, 2022. 12 с.
2. Paradowski H., Rojey A. Method and device for liquefying a natural gas without phase separation of the coolant mixtures. Patent № 6105389 United States. 1978. № 09/113517.
3. Бауер Х., Франке Х., Заппер Р., Шир М. Способ сжижения богатого углеводородами потока. Патент РФ № 2358213. Бюл. 2009. № 16.
4. Platts: S&P Global. Commodity Insights, Specifications Guide. Global LNG 2024 [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.spglobal.com/commodityinsights/PlattsContent/\\_assets/\\_files/en/our-methodology/methodology-specifications/global\\_lng.pdf](https://www.spglobal.com/commodityinsights/PlattsContent/_assets/_files/en/our-methodology/methodology-specifications/global_lng.pdf) (Дата обращения 20.08.2025).