

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ КОМПРЕССОРОВ ХЛАДАГЕНТА УСТАНОВОК ПО ПРОИЗВОДСТВУ СПГ

О. Е. Васин, Р. М. Минигулов, В. В. Боднарук (ПАО «НОВАТЭК», Санкт-Петербург, Россия), Е. Р. Ибрагимов (АО «НИИТурбоком-прессор им. В. Б. Шнеппа», г. Казань, Россия), Д. В. Пашинкин (ООО «УК «Группа ГМС», г. Москва, Россия), В. И. Сумас (Voith Turbo GmbH & Co. KG Office Moskau)

Одной из наиболее актуальных задач нефтегазовой отрасли является создание Российской технологии крупнотонажного производства СПГ на базе отечественных разработок, реализованных на наших же предприятиях. Основными предпосылками разработки оригинальной отечественной технологии крупнотонажного производства СПГ являются следующие:

- существующие на текущий момент технологии производства СПГ (Shell-DMR, ConocoPhillips, Linde, Technip и др.) были разработаны и внедрены более полувека назад и за указанный период практически не дорабатывались и не модернизировались. Соответственно, ни одна из них не учитывает последних достижений в области турбо- и компрессоростроения, а также тепло- и массопереноса;
- невысокая эффективность используемых техно-

логий и применяемого технологического оборудования не соответствует требованиям XXI века, что станет гораздо более ощутимо в случае вероятного повышения цен на энергоносители, и в том числе на природный газ;

- высокая металлоемкость оборудования, обусловленная применяемыми технологиями, значительно сужает возможности их использования в условиях дефицита монтажных площадей (в частности, на морских платформах) и увеличивает капитальные затраты на реализацию проектов;
- технологии производства СПГ типа Shell-DMR, ConocoPhillips, Linde, Technip в условиях Российской Федерации являются критически импортозависимыми и их использование напрямую сопряжено с существенными рисками, как ценовыми (вследствие изменения соотношения курсов наци-



Принципиальная схема технологической линии сжижения природного газа по технологии «Арктический каскад» производительностью 4 млн. т/год

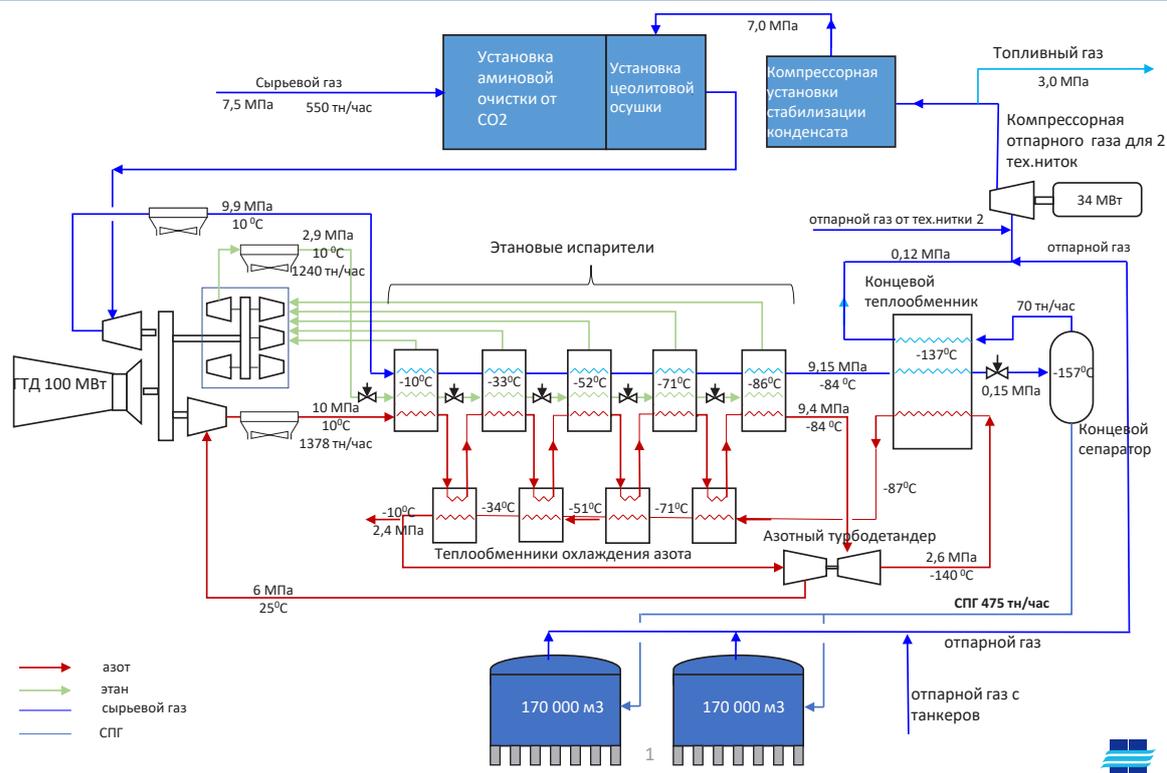


Рисунок 1.

ональных валют), так и санкционного характера, повлиять на которые не представляется возможным;

- предлагаемые на рынке технологии производства СПГ, по сути, являются универсальными и не учитывают климатических условий в месте установки заводов СПГ, что значительно (особенно для регионов Крайнего Севера РФ, где располагается основная ресурсная база) снижает их эффективность;
- динамичный рост интереса к СПГ на мировых рынках на фоне снижения популярности трубопроводных проектов и требования потенциальных Заказчиков к диверсификации поставок природного газа.

С учетом вышеизложенного, а также в целях обеспечения снижения импортозависимости нефтегазовой отрасли и обеспечения энергетической безопасности России в целом, в ПАО «НОВАТЭК», начиная с 2016 года ведется активная работа по созданию отечественной технологии производства СПГ «Арктический каскад», основными отличительными особенностями которой являются:

- сжижение при высоком давлении сырьевого газа, обеспечивающее улучшение параметров теплообмена, компактность и низкую металлоемкость установки;
- первый контур предварительного охлаждения этаном до температуры -84°C , что позволяет в полной мере использовать преимущества ар-

ктического климата и достичь максимальной эффективности;

- второй контур — переохлаждение азотом до -137°C , что дает возможность применить теплообменники на однофазных средах и отказаться от услуг зарубежных лицензиаров технологий и оборудования.

В технологии «Арктический каскад» (Рис. 1) используются следующие основные физические процессы:

- конденсация этана в воздушных охладителях;
- предварительное охлаждение газа до -84°C в этановых испарителях;
- доохлаждение и переохлаждение газа до температуры -137°C азотом;
- дросселирование переохлажденного газа до атмосферного давления.

Данную технологию производства СПГ целесообразно применять при среднегодовых температурах ниже $+5^{\circ}\text{C}$. При температуре наружного воздуха выше $+20^{\circ}\text{C}$ она малоэффективна.

Однако, для практической реализации указанной технологической схемы потребовалось разработать и изготовить компрессорную установку (КУ), с помощью которой производилось бы компримирование семи различных газов (этана, пяти различных параметров, азота и природного газа). Реализация идеи на трех автономных КУ привела бы не только к значительному усложнению блока компримирования, но и снизило бы надежность работы установки по производству СПГ в целом.

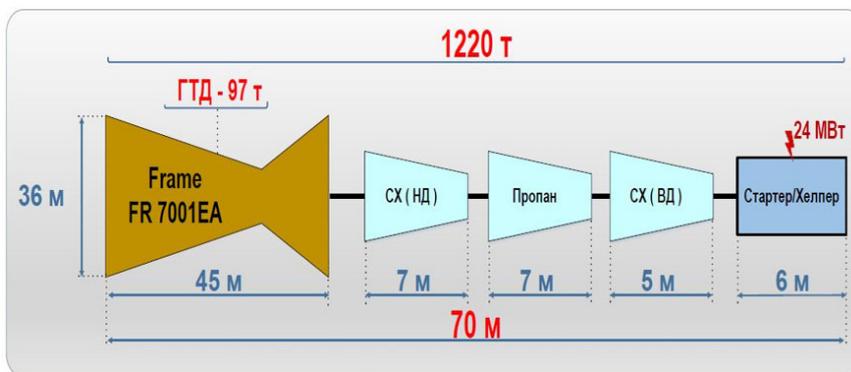


Рисунок 2

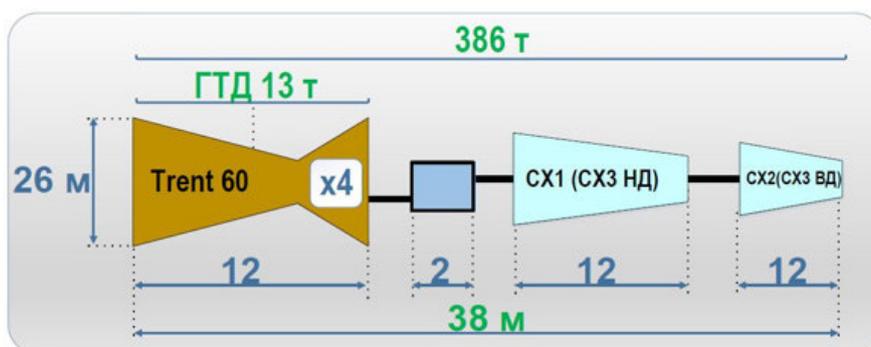


Рисунок 3

В результате проведенного анализа возможных путей реализации было принято решение разработать и применить интегрированную КУ с приводом от одного ГТД мощностью 25 МВт (ПС-90).

Существующие типовые кинематические схемы компрессоров хладагента установок по производству СПГ (для одновального промышленного ГТД в качестве привода КУ) (Рис. 2.) несмотря на известные преимущества:

- широкий опыт применения;
 - прямой привод компрессоров;
 - простота конструкции.
- Имели серьезные и многочисленные недостатки:
- сложность технического обслуживания (ТО);
 - длинная (порядка 70 м) линия вала;
 - невозможность регулирования изменением оборотов (не более 5%);
 - одинаковые обороты всех компрессоров;

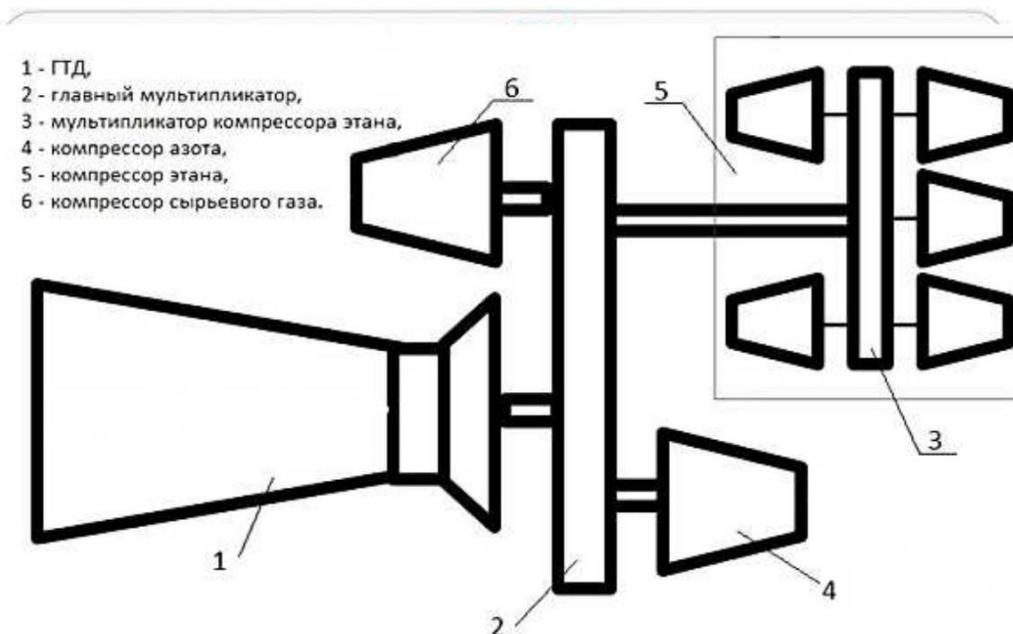


Рисунок 4

- значительные массогабариты (невозможность применения на морских платформах);
- большая потребляемая мощность для запуска ГКА (порядка 25 МВт).

Более современные кинематические схемы для многовальных конвертированных ГТД в качестве привода (Рис. 3).

Также имеют определенные преимущества:

- относительно короткая линия вала;
- снижение массогабаритов за счет применения мультипликаторов и увеличения номинальных оборотов компрессоров;
- невысокая мощность пускового устройства (менее 1,5 МВт);
- оперативность замены ГТД (порядка 3-х суток);
- возможность достижения более высоких К.П. Д. компрессоров за счет повышения рабочих оборотов.

При сравнимом количестве недостатков:

- в случае применения в технологии «Арктический каскад» потребуется три КУ (природный газ + азот + этан);
- сложность проведения ТО компрессоров;
- невозможность обеспечения различных оборотов компрессоров;
- взаимное термодинамическое влияние ступеней в однокорпусном компрессоре;
- невысокая «живучесть» КУ в целом.

Исходя из вышеизложенного, а также в целях упрощения конструкции и повышения надежности работы КУ в целом, в процессе разработки было принято решение применить интегрированные КУ на базе многовальных мультипликаторов (Рис. 4.):

Очевидные преимущества предлагаемой кинематической схемы заключаются в следующем:

- возможность привода всех компрессоров от одного ГТД;
- различные обороты на номинальном режиме для отдельных ступеней компрессоров;

- компактность и малая металлоемкость;
- высокая надежность и «живучесть» КУ;
- высокая эффективность отдельных ступеней и КУ в целом;
- простота технического обслуживания;
- короткая линия вала;
- широкий диапазон регулирования по оборотам (70-105% от номинальных);
- отсутствие горизонтальных разъемов корпусов компрессоров;
- единая маслосистема;
- значительные резервы совершенствования и применения;
- Однако, описанная схема не лишена и недостатков:
- сложные и габаритные мультипликаторы;
- наличие механических потерь в мультипликаторах;
- большая емкость маслосистемы;
- инерционность регулирования;
- большое количество запорной и регулирующей арматуры.

С большой долей вероятности можно утверждать, что несмотря на возможность и целесообразность применения одноприводной кинематической схемы с использованием интегрированных КУ на базе многовальных мультипликаторов для мощности ГТУ до 25 МВт, её использование в установке порядка 50 МВт не столь однозначно и подлежит дополнительному рассмотрению и обоснованию.

В соответствии с планами ПАО «НОВАТЭК» установка по производству СПГ «Арктический каскад», производительностью 1 млн. т. в год должна быть введена в работу в 2019 году. По результатам анализа опыта эксплуатации начального периода можно будет сделать вывод о надежности и эффективности предложенных выше технических решений, а также разработать мероприятия по их совершенствованию.

