

# Кинематические схемы компрессоров хладагента установок по производству СПГ

О. Е. Васин, Р. М. Минигулов, В. В. Боднарук – ПАО «НОВАТЭК»  
 Е. Р. Ибрагимов – АО «НИИтурбокомпрессор им. В. Б. Шнеппа» (Казань)  
 Д. В. Пашинкин – ООО «УК «Группа ГМС»  
 В. И. Ситас – Voith Turbo GmbH & Co. KG Office Moskau

**В целях снижения импортозависимости нефтегазовой отрасли и обеспечения энергетической безопасности России в целом в ПАО «НОВАТЭК» с 2016 года ведется активная работа по созданию отечественной технологии производства СПГ «Арктический каскад», в рамках которой создается интегрированная компрессорная установка семи различных газов с приводом от одного ГТД.**

Одной из наиболее актуальных задач нефтегазовой отрасли является создание оригинальной отечественной технологии крупнотоннажного производства СПГ на базе разработок наших же предприятий, к чему есть следующие основные предпосылки:

- существующие на текущий момент технологии производства СПГ (Shell-DMR, Conoco Phillips, Linde, Technip и др.) были разработаны и внедрены более полувека назад и за это время практически не дорабатывались и не модернизировались. Соответственно, ни одна из них не учитывает последние достижения в области турбо- и компрессоростроения, тепло- и массопереноса;

- невысокая эффективность используемых технологий и применяемого технологического оборудования не соответствует требованиям XXI века, что станет гораздо более ощутимо в случае вероятного роста цен на энергоносители, в том числе и на природный газ;

- высокая металлоемкость оборудования, обусловленная действующими технологиями, значительно сужает возможности их использования в условиях дефицита монтажных площадей (в частности, на морских платформах) и увеличивает капитальные затраты на реализацию проектов;

- упомянутые выше технологии производства СПГ в условиях Российской Федерации являются критически импортозависимыми, и их использование напрямую сопряжено с существенными рисками, как ценовыми (вследствие изменения валютных курсов), 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 строительства 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.

Основными отличительными особенностями технологии производства СПГ «Арктический каскад» (рис. 1) являются:

- сжижение сырьевого газа при высоком давлении, что обеспечивает улучшение параметров теплообмена, компактность и низкую металлоемкость установки;

■ первый контур предварительного охлаждения этана до температуры  $-84^{\circ}\text{C}$ , что позволяет в полной мере использовать преимущества арктического климата и достичь максимальной эффективности;

■ второй контур – переохлаждение азотом до  $-137^{\circ}\text{C}$ , что дает возможность применить теплообменники на однофазных средах и отказаться от услуг зарубежных лицензиаров технологий и оборудования.

В технологии «Арктический каскад» используются следующие основные физические процессы:

- конденсация этана в воздушных охладителях;
- предварительное охлаждение газа до  $-84^{\circ}\text{C}$  в этановых испарителях;
- доохлаждение и переохлаждение газа до температуры  $-137^{\circ}\text{C}$  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 такой 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 не только привела бы к значительному усложнению блока компримирования, но и снизила бы надежность работы установки по производству СПГ в целом.

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 однофазного промышленного ГТД в качестве привода КУ, рис. 2а) несмотря на известные преимущества (широкий опыт применения, прямой привод компрессоров, простота конструкции имеют 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;

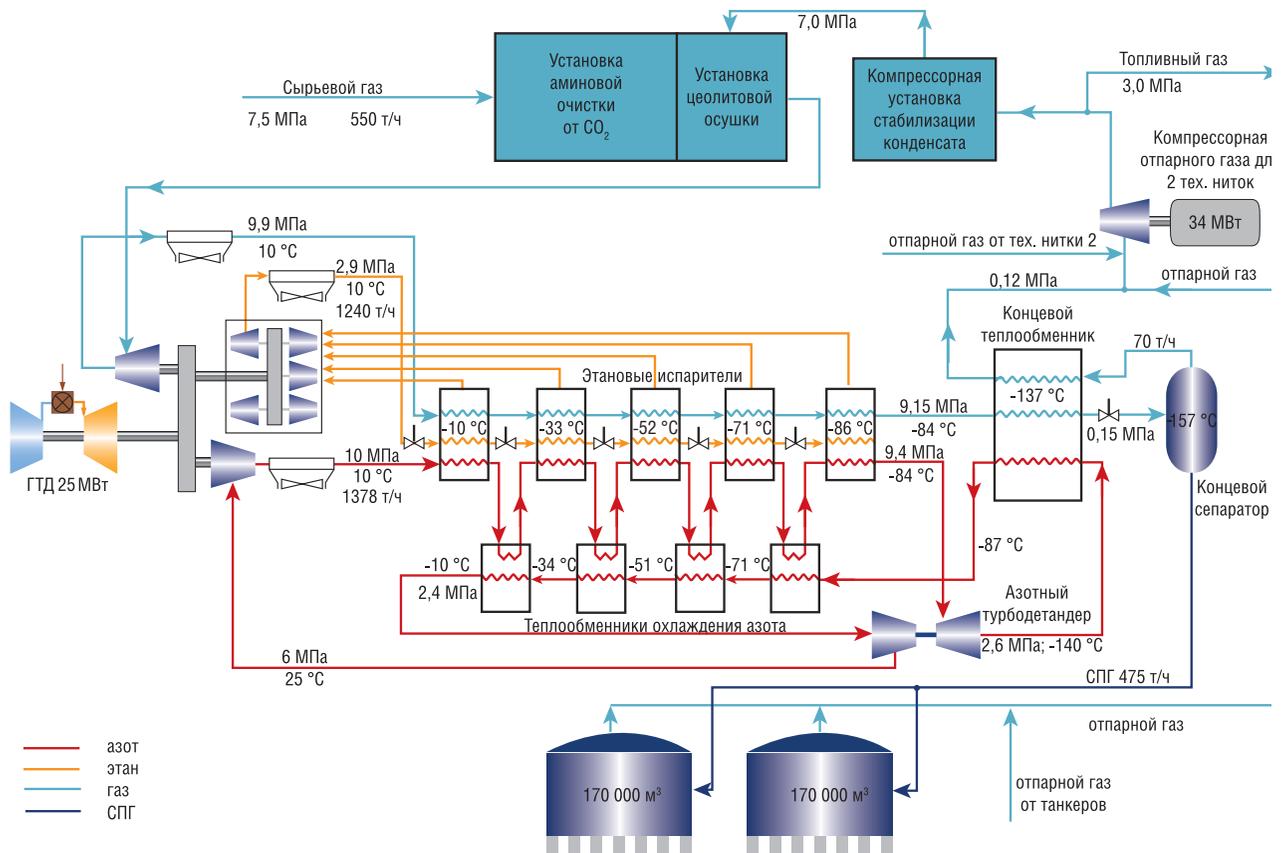


Рис. 1. Принципиальная схема технологической нитки сжижения. Производительность 4 млн т/год

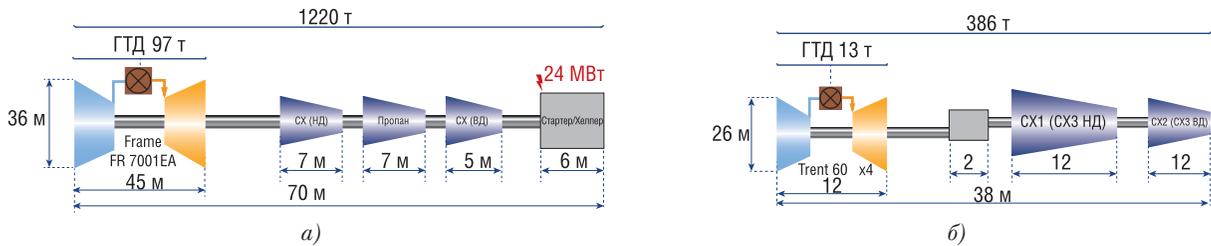


Рис. 2. Типовые кинематические схемы компрессоров хладагента: а) для одновального промышленного ГТД; б) для многовального конвертированного ГТД

■ 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. 2б) 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 трех суток);

■ возможность достижения более высокого КПД компрессора 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 процессе разработки было принято решение при-

менить интегрированные КУ на базе многовальных мультипликаторов (рис. 3):

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 эксплуатации в начальном периоде можно будет сделать вывод о надежности и эффективности предложенных выше технических решений, а также разработать мероприятия по их усовершенствованию.

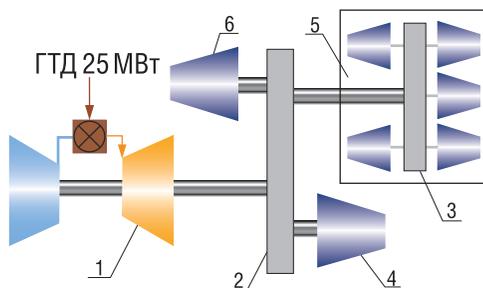


Рис. 3. 1 – ГТД; 2 – главный мультипликатор; 3 – мультипликатор компрессора этана; 4 – компрессор азота; 5 – компрессор этана; 6 – компрессор сырьевого газа