УДК 622.691.4.052

А.К.НИКОЛАЕВ, *д-р техн. наук, профессор, aleknikol@mail.ru*
В.П.ДОКУКИН, *д-р техн. наук, профессор, vadimdok@mail.ru*
В.А.ВОРОНОВ, *канд. техн. наук, доцент, voronov83@mail.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

A.K.NIKOLAEV, *Dr. in eng sc., professor, annanikol@mail.ru*
V.P.DOKUKIN, *Dr. in eng sc., professor, vadimdok@mail.ru*
V.A.VORONOV, *PhD. tech., associate professor, voronov83@mail.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДИК РАСЧЕТА РЕЖИМОВ ПЕРЕКАЧКИ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА ПО ТРУБОПРОВОДАМ

Рассматрены возможные способы транспортировки сжиженного природного газа (СПГ), сравниваются предполагаемые капитальные затраты на проекты морского и трубопроводного транспорта СПГ и обоснована экономическая эффективность перекачки СПГ по трубопроводам. Предложены наиболее вероятные варианты трубопроводного транспорта СПГ и методика расчета гидравлических параметров.

Ключевые слова: сжиженный природный газ (СПГ), энергоноситель, завод по производству СПГ, газовоз, приемный терминал СПГ, трубопроводный транспорт СПГ, «холодный трубопровод», неизотермический трубопровод, многофазность потоков.

ANALYSIS OF EXISTING DESIGN PROCEDURES PUMPING MODE LPG NATURAL GAS PIPELINE

The paper discusses possible ways of transporting liquefied natural gas (LNG), compares the estimated capital cost of the projects on marine and pipeline transportation of LNG and argues for the economic efficiency of LNG transfer pipelines. The authors offered the most likely options pipelines and LNG method of calculation of hydraulic parameters.

Key words: liquefied natural gas (LNG), energy, LNG plant, ships to transport LNG, LNG receiving terminal, pipeline LNG, «cold pipe», nonisothermal pipeline, multiphase flow.

Природный газ с каждым годом становится все более значимым энергоносителем в мировом энергетическом балансе. Спрос на него растет и будет продолжать расти в ближайшие десятилетия в самых различных регионах мира. Возникает вопрос об оптимальных способах транспортировки природного газа. Одним из таких способов стала транспортировка природного газа в сжиженном виде (СПГ).

Согласно прогнозам, сделанным в 2000 г., к 2012 г. мировой экспорт СПГ должен был составить порядка 200 млрд м^3 [1]. Но на сегодняшний день эта цифра уже давно пройдена, а прогнозы на 2015 г. превышают 300 млрд м^3. Потребление СПГ по отношению к природному газу существенно выросло за последние десятилетия и продолжает расти (рис.1). Еще в 2006 г. 14 стран экспортировали СПГ в 15 стран с

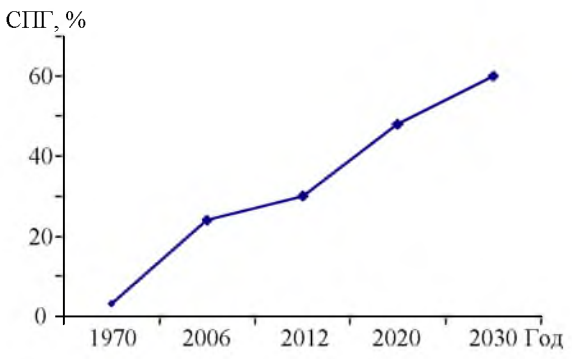


Рис.1. Доля СПГ в мировой торговле газом



Рис.2. Схема капитальных затрат на типовой проект морской транспортировки СПГ при заданном объеме транспортировки

17 заводов, а уже к 2012 г. число таких заводов увеличилось вдвое [3].

Наиболее распространенным транспортом СПГ является морская перевозка судами. Мировой флот газовозов играет особую роль в общей технологической цепочке СПГ. Транспортировка СПГ морем намного выгоднее транспортировки по трубопроводам в газообразном виде даже при малых объемах поставок и больших расстояниях, но требует значительных капитальных вложений. Ее доля в общей стоимости конкретных проектов составляет от 5 до 30 %.

Наибольшую долю капитальных издержек проектов – около 60 % составляют вложения в создание заводов по производству СПГ и сопутствующие портовые сооружения, что является неотъемлемой частью процесса [2]. Вторым по величине затрат этапом является приобретение морских судов для перевозки СПГ – 25-30 % от общих издержек проекта (рис.2).

Трубопроводный вид транспорта СПГ потребует, возможно, больше капитальных затрат, чем морской, но окупаемость проекта произойдет намного быстрее. Например, для транспортировки 800 млн т СПГ на расстояние 2500 км понадобится примерно 3500 рейсов газовозами, либо от 1 до 3 мес. (в зависимости от диаметра трубопровода и других параметров) перекачки по трубопроводу.

Чтобы трубопроводный транспорт становился экономически эффективным, необходимо только по одной нитке перекачивать не менее 100 млрд м^3 газа в год на значительные расстояния (рис.3).

С целью повышения экономичности трубопроводного транспорта СПГ необходимо использовать новейшие материалы,

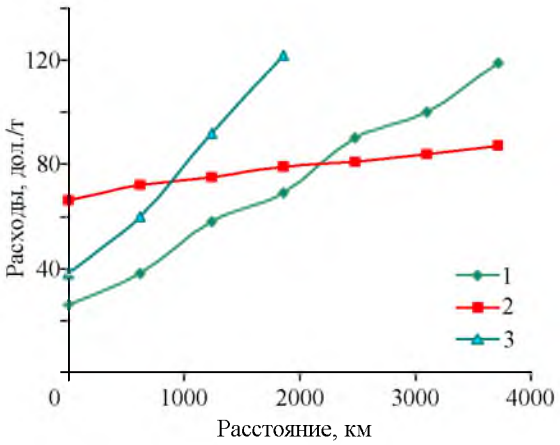


Рис.3. Увеличение транспортных расходов при увеличении расстояния транспортировки
1 – подземный газопровод; 2 – СПГ; 3 – подводный газопровод

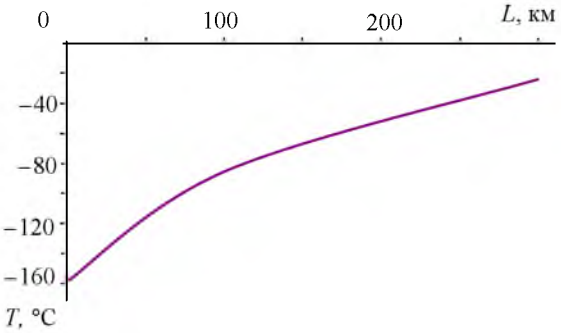


Рис.4. График зависимости температуры потока от длины трубопровода без изоляции

применяемые для изготовления труб. Такие марки стали как О6Н9 (9 % Ni) и НІ8Н9 выдерживают минимальные рабочие температуры до –190 °С и ниже. Для компенсации поперечной температурной деформации используют гофрированные, либо слоеные схемы изоляции, а дополнительные концевые и внутренние элементы обеспечивают индикацию вакуума и поглощение газов [3]. Это необходимо для снижения изменения температуры потока на значительных расстояниях (рис.4).

На этапе проектирования необходимо правильно провести теплогидравлический расчет по длине трубопровода, который в настоящее время имеет массу нерешенных вопросов, так как диапазон параметров перекачки очень большой.

Предлагается несколько вариантов транспорта СПГ – от низкотемпературных (от –140 до –100 °С при 40-60 атм.) до вариантов перекачки при высоких давлениях (120-150 атм. от –70 до –50 °С), дающих экономию на дорогостоящих легированных сталях. Расчет существующих технологических трубопроводов на многих предприятиях производится или в соответствии с ВНТП 2-86 для жидкости, или в соответствии со СНиП 2.04.08-87 для газа, а иногда и по смешанным вариантам, что не может быть верным решением, так как ни один из этих способов не учитывает в полной мере свойства сжиженного газа. Необходимо принимать во внимание малую вязкость СПГ (примерно в четыре раза меньше, чем у воды) и его заметную сжимаемость, что вызывает опасные пульсации давления.

В Горном университете на кафедре транспорта и хранения нефти и газа разрабатывается метод расчета «холодного трубопровода» в соответствии с видоизмененной методикой профессора П.И.Тугунова [4] для неизотермических трубопроводов, в котором учитывается многофазность потоков, а также вводятся понятия средней плотности и среднего коэффициента кинематической вязкости, которая позволит перемещение газа в больших объемах на значительные расстояния сделать выгодным и безопасным.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бармин И.В.* Сжиженный природный газ вчера, сегодня, завтра / И.В.Бармин, И.Д.Кунис. М., 2009.

2. *Вовк В.С.* Крупномасштабное производство сжиженного природного газа: Учебное пособие для вузов / В.С.Вовк, Б.А.Никитин. М., 2011.

3. *Рачевский Б.С.* Сжиженные углеводородные газы. М., 2009.

4. *Тугунов П.И.* Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов: Учебное пособие для вузов. Уфа, 2002.

REFERENCES

1. *Barmin I.V., Kunis I.D.* Liquefied natural gas yesterday, today and tomorrow. Moscow, 2009.

2. *Vovk B.C., Nikitin B.A.* Large-scale liquefied natural gas: A manual for schools. Moscow, 2011.

3. *Rachevsky B.S.* Liquefied petroleum gas. Moscow, 2009.

4. *Tugunov P.I.* Model calculations for the design and operation of oil storage facilities and oil pipelines: A manual for schools. Ufa, 2002.