

МЕТОДИКА РАСЧЁТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОПРОВОДА ДЛЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

***Аннотация:** Данная работа посвящена проблематике расчёта основных параметров перекачки СПГ по трубопроводу. Целью данной работы является разработка единого подхода к расчёту основных параметров СПГ в условиях трубопроводного транспорта, а также методики гидравлического расчёта неизотермического трубопровода в условиях однофазной перекачки.*

***Ключевые слова:** сжиженный природный газ, трубопроводный транспорт, методика расчёта.*

***Annotation:** This work is devoted to the problems of calculating the main parameters of LNG pumping through the pipeline. The aim of this work is to develop a unified approach to the calculation of the main parameters of LNG in pipeline transport, as well as methods for hydraulic calculation of a non-isothermal pipeline in single-phase pumping conditions.*

***Keywords:** liquefied natural gas, pipeline transport, calculation procedure.*

В настоящее время сжиженный природный газ транспортируется преимущественно морским транспортом. Технология транспортировки природного газа в сжиженном виде предполагает закачку его в специальные ёмкости и поддержание в них необходимой температуры на протяжении всего

пути. Применение трубопроводного транспорта для СПГ позволит исключить потери от испарения при сливо-наливных операциях и транспортировке, снизить затраты на поддержание постоянной температуры за счёт повышения давления и на хранение и, что самое главное, обеспечить более быструю и бесперебойную доставку потребителю.

Главной проблемой, возникающей при расчёте газопровода для СПГ, является определение граничных условий, при которых в перекачиваемой смеси происходит выделение газовой фазы. Для определения фазового состава смеси может быть использовано условие равновесия фаз, при котором летучести каждого компонента смеси в газовой и жидкой фазе равны при любом соотношении температуры и давления. Исходя из условия фазовых равновесий, в работах [1-3] определены условия, при которых начинается процесс сжижения и регазификации смеси. Данное условие базируется на определении так называемых констант равновесия.

В работе [1] показана экспериментальная зависимость для расчёта констант равновесия растворённого в нефти газа, учитывающая его состав. Однако применение данной зависимости для расчёта сжиженного газа необоснованно, поэтому для более точного расчёта принята методика определения фазовых равновесий, описанная в работе [2] и базирующаяся на общем уравнении состояния газовой смеси.

Определение теплофизических параметров смеси, таких как коэффициент сжимаемости, коэффициент динамической вязкости, удельная теплоёмкость и теплопроводность газа, а также коэффициент Джоуля-Томсона, для газа в обычном состоянии принято по общепринятой методике ВНИИГаза [4]. Анализ данных зависимостей в применении их к сжиженному газу приводит к значительным расхождениям с экспериментальными данными [5]. Таким образом, для расчёта основных технологических параметров газовой смеси в сжиженном состоянии в условиях экстремально низких температур и высоких давлений необходимо определить расчётные зависимости, основанные либо на

результатах экспериментальных исследований сжиженного газа в данной области температур и давлений, либо на общих зависимостях, выведенных из уравнения состояния газа. В работе [3] приведены наиболее точные кубические уравнения состояния. В данной работе принято четырёхпараметрическое уравнение Брусиловского.

Сравнительный анализ результатов расчёта давления начала кипения сжиженной газовой смеси показал, что при преобладающей доли метана (95-98%) экспериментальная зависимость для определения констант равновесия растворённого в нефти газа даёт хорошие результаты и для СПГ. Однако при понижении доли метана в составе смеси расхождение между результатами, полученными по данной зависимости, и по общей методике, основанной на уравнении состояния, значительно увеличивается, что приводит к недостоверности результатов. Схождение результатов при повышенном содержании метана объясняется тем, что расчёт ведётся практически для чистого метана. Такой вывод можно сделать, исходя из того, что для такого состава СПГ полностью отсутствует двухфазная область. При повышении доли метана область двухфазного состояния смеси расширяется.

Для определения теплофизических параметров сжиженного газа были рассмотрены и проанализированы имеющиеся экспериментально подтверждённые зависимости, описанные в работах [6–8]. Для расчёта термодинамических параметров газа (коэффициент сжимаемости, коэффициент Джоуля-Томсона, удельная теплоёмкость) были приняты зависимости, выведенные из уравнения состояния. Для расчёта коэффициента динамической вязкости и теплопроводности газа приняты экспериментальные зависимости.

Сравнение полученных результатов в области температур и давлений обычного газопровода с формулами ВНИИГа показал хорошую сходимость по некоторым параметрам, однако результаты расчёта изобарной теплоёмкости и зависящего от неё коэффициента Джоуля-Томсона оказались различными. Сравнение же с экспериментальными данными по метану приводит к

справедливости принятых расчётных зависимостей. При сравнении данных по метану в области сжиженного газа формулы ВНИИГаза показывают большие расхождения, что подтверждает необходимость разработки других методик для определения параметров газовой смеси.

Результаты расчётов обобщены в единой методике гидравлического расчёта, которая предлагается для газопровода СПГ и может быть применена также для расчёта газопровода компримированного газа.

Обобщая результаты проделанной работы, можно сказать, что для наиболее распространённого состава природного газа допускается определять давление начала кипения смеси по экспериментальной зависимости, описанной в [1]. При изменении состава сжиженного газа в случае внедрения, например, газа от газоконденсатных месторождений или попутного нефтяного газа, возникает необходимость определения кривых кипения для каждого конкретного случая. Расчёт технологических параметров СПГ следует проводить по иным зависимостям, так как методика расчёта ВНИИГаза в данной области температур даёт искажённые результаты.

В результате работы определена методика гидравлического расчёта газопровода, которая подходит как для СПГ, так и для обычного газопровода. Результаты расчёта теплофизических параметров газовой смеси имеют высокую степень сходимости с экспериментальными данными. Единая методика для расчёта газопроводов СПГ и компримированного газа позволяет произвести технико-экономическую оценку этих двух способов транспортировки природного газа с целью выявления области практической эффективности трубопроводного транспорта СПГ.

Библиографический список

1. Марон В.И. Гидравлика двухфазных потоков в трубопроводах / В.И. Марон. – СПб.: Издательство «Лань», 2012. – 256 с.
2. Баталин О.Ю. Фазовые равновесия в системах природных

углеводородов / О.Ю. Баталин, А.И. Брусиловский, М.Ю. Захаров – М.: «Недра», 1992. – 272 с.

3. Герасимов А.А. Анализ точности расчета термодинамических свойств природных углеводородов и сопутствующих газов по обобщенным кубическим уравнениям состояния / А.А. Герасимов, И.С. Александров, Б.А. Григорьев, Д.В. Люгай // Вести газовой науки. – 2015. – № 4(24). – С. 5–13.

4. ОНТП 51-1-85 Общесоюзные нормы технологического проектирования. Магистральные трубопроводы. Часть

5. Газопроводы. – Утв. приказом Мингазпрома СССР от 29.10.85 г. № 255. – М.: «Мингазпром», 1986.

6. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н.Б. Варгафтик. - Изд. 2-е, доп. и перераб. – М.: «Наука», 1972. - 720 с.

7. Загорученко В.И. Теплофизические свойства газообразного и жидкого метана / В.А. Загорученко, А.М. Журавлев – М.: Изд-во стандартов, 1969. - 236 с.

8. Кузнецов, М.А. Сравнительный метод расчета теплоемкости углеводородных газов при высоких параметрах состояния / М.А. Кузнецов, П.О. Овсянников // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2012. – № 2. – С. 123–130.