

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор – проректор
по научной работе ФГБОУ ВО
Самарский государственный
технический университет»,
профессор



М.В. Ненашев

2024 г.

О Т З Ы В

ведущей организации на диссертацию *Мартыненко Яны Владимировны* на тему: «Обоснование применения и выбор параметров газового эжектора в системах хранения сжиженного природного газа (СПГ)», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.5. Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ.

1. Актуальность темы диссертации

Газовая отрасль занимает ведущее место в экономике Российской Федерации, а природный газ в сжиженном состоянии (СПГ) является перспективным видом топлива, развитию индустрии которого уделяется все больше внимания. Диверсификация рынка СПГ ведет к развитию технологий в области получения, хранения и транспортировки такого криогенного продукта. Вследствие невозможности сохранения полностью изотермических условий в резервуарах хранения СПГ происходит образование отпарного газа, который требуется удалять из хранилищ во избежание их разрушения. Для утилизации таких паров с их последующим сжатием и сжижением ряд резервуаров СПГ снабжены соответствующей обвязкой с дожимным компрессором. Но из-за высокой стоимости такого оборудования в большинстве случаев сброс паров из хранилищ осуществляется на факельную установку, где производится их сжигание. Естественно, что такой способ избавления от паров противоречит политике декарбонизации и влечет потерю ресурсов.

В этой связи, диссертация Мартыненко Я.В., посвященная разработке технического решения по утилизации и накоплению отпарного газа из хранилищ СПГ с применением такого простого в техническом исполнении оборудования, как газовый эжектор, является значимым и актуальным исследованием.

2. Научная новизна диссертации

В процессе решения задач, сформулированных в диссертации, автором были получены следующие новые научные результаты:

1. Установлено, что при стационарном режиме работы газовых эжекторных устройств, расход эжектируемого газа практически не зависит от расхода и давления эжектирующей среды, что объясняется независимостью вязкости газов и, как следствие, силы трения между поверхностными слоями движущихся потоков, от давления активной среды.

2. Экспериментально доказана принципиальная возможность аккумуляции газовой среды с помощью эжектора в замкнутой объем повышенного давления.

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-204 СТ 29.08.24
АУ УС

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Защищаемые научные положения, рекомендации, выводы и заключения в достаточной степени аргументированы. Высокая степень обоснованности и достоверности полученных соискателем результатов обеспечена достаточным количеством проработанных отечественных и зарубежных источников (87 наименований), а также необходимым для решения поставленных задач объемом экспериментальных исследований, результаты которых подтверждены сходимостью с расчетами по общепринятым методикам. Выводы автора объективны и свидетельствуют о том, что поставленная цель достигнута.

Основные положения работы, результаты теоретических и экспериментальных исследований прошли апробацию на 5 научных конференциях: Международный форум «Инновационные перспективы Донбасса» (май 2022 г., г. Донецк), XVIII Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (май 2022 г., г. Санкт-Петербург), I Всероссийская научная конференция «Транспорт и хранение углеводородов – 2022» (апрель, 2022 г., г. Санкт-Петербург), Международная научно-техническая конференция «Транспортные и транспортно-технологические системы» (апрель 2023 г., Тюмень), IX Международная научно-практическая конференция «Инновационные перспективы Донбасса» (май 2023 г., Донецк).

4. Научные результаты, их ценность

Основные результаты диссертационного исследования представлены автором в двух защищаемых положениях:

1. При давлениях, когда газ находится в состоянии близком к идеальному, и обеспечении критического перепада расход пассивной среды в эжекторе не зависит от расхода и давления активной среды, что определяет пропорциональность коэффициента эжекции отношению давлений P_n/P_a пассивной и активной среды, и при $P_a, P_n = const$ достигает максимальной величины при отношении расстояния от среза сопла до камеры смешения к диаметру сопла ~ 4 и вводе потока пассивной среды в срез сопла, что справедливо и при эжектировании газа в замкнутый объем.

2. Алгоритм расчета рабочих и геометрических параметров газового эжектора для утилизации отпарного газа из емкости хранения СПГ в замкнутый объем, отличающийся учетом независимости параметров пассивной среды от активной, а также возможностью расчета входных параметров активной среды, исходя из давления на выходе из эжектора.

Для доказательства первого защищаемого положения проведены экспериментальные исследования с использованием установки, разработанной по результатам имитационного моделирования. Результаты позволили установить независимость расхода пассивного потока от давления и расхода активного потока. Полученный результат находится в соответствии с законом внутреннего трения Ньютона, согласно которому сила трения между слоями газа пропорциональна его вязкости, а так как вязкость природного газа при сравнительно невысоких давлениях (до 10 МПа) практически не зависит от давления, то сила трения между поверхностными слоями активного и пассивного потоков и, как следствие, расход увлекаемого газа, заметным образом не изменяется.

Влияние на величину расхода пассивного потока конструктивных элементов эжектора исследовано с помощью разработанного соискателем модельного эжектора, конструкция которого позволяла варьировать расстоянием от среза сопла до камеры смешения, а также изменять место ввода пассивной среды.

Второе защищаемое положение заключается в разработке технологической схемы для утилизации отпарного газа из резервуара СПГ с помощью газового эжектора и алгоритма его расчета. Алгоритм разработан, исходя из установленной независимости параметров пассивной среды от активной, и отличается возможностью проведения расчета на основании необходимых параметров газовой среды на выходе из эжектора. Алгоритм иллюстрируется примером, который доказывает возможность замены первой ступени компрессора газовым эжектором с достижением в аккумулирующей емкости необходимого давления.

Результаты диссертации в достаточной степени освещены в 5 печатных работах, в том числе в 2 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 3 изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено 3 патента на изобретения.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Теоретическая и практическая значимость представленного научного исследования раскрывается в следующих положениях:

1. На основе экспериментальных данных определены рациональные параметры высоконапорного потока, обеспечивающие эжекцию пассивной среды с достижением в аккумулирующей емкости газовой смеси заданных параметров.

2. Разработан научно-обоснованный метод расчета системы утилизации отпарного газа из резервуара СПГ с использованием газового эжектора.

3. Результаты и рекомендации диссертации приняты к использованию при разработке технических решений по перевооружению объекта КСПГ «Тобольск» в деятельности компании ООО «Газпром СПГ технологии», что подтверждается актом о внедрении.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты диссертации могут быть применены в деятельности профильных компаний (ПАО «НОВАТЭК», ООО «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ», АО «Криогаз») при проектировании объектов производства, транспорта и хранения сжиженного природного газа.

Полученные теоретические результаты исследования могут быть использованы при расчете эжекторных устройств для газовых сред в различных областях техники.

7. Замечания и вопросы по работе

1. В работе не представлен анализ влияния степени влажности отпарного газа и наличия в нем других примесей на эффект эжектирования.

2. Производилась ли оценка эффективности применения другого вида сопел, например, сопла Лавалья, в разрабатываемом газовом эжекторе?

3. Сведения о разработанных экспериментальном стенде и технологической схеме для утилизации паров в автореферате представлены очень сжато.

4. В автореферате сказано (стр.11), что «Конструкция модельного эжектора позволяла изменять диаметр отверстия на срезе сопла (0,003 м, 0,004 м, 0,005 м), а также расстояние от среза сопла до камеры смешения (0,006 м, 0,009 м, 0,012 м, 0,015м)». Таким образом, установка позволяет провести измерения при 12 различных отношениях линейных размеров, указанных выше. Не ясно, почему на рисунке 5 всего 4 точки. График по 4 точкам не представляется валидным.

5. Целесообразно (в дальнейшем) более глубоко провести математическое моделирование с использованием программ компьютерной гидродинамики (например AnSys или FlowVision CFD), что позволило бы более детально исследовать физические процессы

в эжекторе, такие как распределение давления, скорости, температуры и других параметров в различных точках системы.

6. В диссертационной работе отмечено, что расход пассивной среды практически не зависит от расхода и давления активной среды в газовом эжекторе. Однако автором не дано физического обоснования данного эффекта. Справедливо ли указанное утверждение в случае эжектирования жидких сред?

Указанные недостатки и замечания не являются критическими и не оказывают существенного влияния на общую положительную оценку диссертационной работы и могут быть рассмотрены как рекомендации к продолжению исследований в данном направлении.

8. Заключение по диссертации

Диссертация «Обоснование применения и выбор параметров газового эжектора в системах хранения сжиженного природного газа (СПГ)», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.5. Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ, полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор Мартыненко Яна Владимировна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.5. Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ.

Диссертационная работа, автореферат на диссертацию Мартыненко Яны Владимировны рассмотрены и обсуждены, а Отзыв утверждён на заседании кафедры «Трубопроводный транспорт» Института нефтегазовых технологий ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет». Протокол № 6 от 04.07.2024 года. Присутствовало - 15 человек, с правом решающего голоса -15 человек. Результаты голосования: за -15 человек, против - 0 человек, воздержалась - 0 человек.

Председатель заседания:

заведующий кафедрой «Трубопроводный транспорт»,
д.т.н. по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»,
профессор

Стефанюк Екатерина Васильевна

Подпись Е.В.Стефанюк заведующий кафедрой «Трубопроводный транспорт»
Ученый секретарь ФГБОУ ВО «Самарский государственный
технический университет»
профессор



Малиновская Юлия Александровна

«08» 07 2024 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет», кафедра «Трубопроводный транспорт».

Адрес: 441000, г. Самара, ул. Ново-Садовая, дом 10 корпус 9.

Контактный телефон 8(846) 334-62-20. E-mail: tt@samgtu.ru.

Официальный сайт: www. samgtu.ru