



УТВЕРЖДАЮ



Генеральный директор АО «Гипрогазцентр»

к.т.н. Савченков Сергей Викторович

11 февраля 2021 г.

**ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

Акционерного общества «Гипрогазцентр» на диссертацию Махно Данила Андреевича на тему: «Обоснование способа регулирования температуры трубопроводов для транспортировки сжиженной смеси углеводородов с газоконденсатных месторождений Восточной Сибири», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 25.00.19 – Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ

**Актуальность исследований. Объект и предмет исследований.**

Большое количество промышленных объектов связанных с транспортом нефти и газа расположены на территориях России, находящихся в зоне вечной мерзлоты. Очень сложной проблемой для указанных объектов являются процессы оттаивания или сезонного оттаивания, связанные с глобальным потеплением, наблюдающимся в последние десятки лет. Типичными способами борьбы с указанными явлениями являются методы накопления и сохранения холода потенциально оттаивающем грунте. Это всевозможные теплоизоляционные материалы и охлаждающие установки. Особенность практически всех данных устройств - сезонная работа в холодные месяцы. Значительная часть диссертации Д.А. Махно посвящена разработке устройств, которые должны охлаждать грунт в любое время года, в том числе и в теплые месяцы. Сегодня такие устройства были бы полезны при ликвидации потенциальных опасностей, связанных с повреждением фундаментов при оттаивании грунта в летние месяцы у объектов гражданского и промышленного назначения.

Для объектов транспортировки сжиженной низкотемпературной смеси углеводородов с газоконденсатных месторождений Восточной Сибири задача

поддержания температуры грунта, в котором находится трубопровод, в приемлемом диапазоне температур так же является ключевой. В этом смысле диссертационное исследование Махно Д.А. так же актуально.

На защиту в диссертации Д.А. Махно вынесены следующие научные положения:

1. Применение генератора холода, основанного на эффекте Ранке-Хилша, при относительном расходе охлажденного воздуха в диапазоне 0.5 ... 0.7, позволяет использовать сезонно-действующие охлаждающие устройства для регулирования температуры грунтового основания низкотемпературных трубопроводов независимо от температуры наружного воздуха.

2. Регулирование температуры грунтового основания низкотемпературных трубопроводов для транспортировки сжиженной смеси природного газа и газового конденсата с применением разработанных устройств для генерации холода в грунте, расположенных определенным образом, обеспечивает снижение температуры многолетнемерзлых грунтов ниже  $-25^{\circ}\text{C}$ , что позволяет поддерживать температуру трубопровода в рабочем диапазоне.

Материал, относящийся к защите первого положения представлен в разделе 2.4 и третьей главе диссертации. В разделе 2.4 диссертации, где представлены теплофизические характеристики вихревой трубы, предложенной Д.А. Махно в качестве охладителя грунтового основания низкотемпературных трубопроводов в летнее время года. В частности, найдено выражение для определения потребной температуры холодного потока, связывающей степень расширения воздуха в вихревой трубе, температурную эффективность, температуру входящего сжатого воздуха.

В третьей главе диссертации описаны результаты экспериментальных исследований работы вихревой трубы в качестве генератора холода. Исследования проводились на физической модели вихревой трубы с уменьшенными размерами длиной 165 мм. В результате было установлено, что наиболее эффективный режим работы вихревой трубки рассматриваемых размеров конструкции и исполнения расположен в диапазоне и относительного расхода сжатого воздуха от 0.5 до 0.7 (соотношение величины выхода холодного и горячего воздуха) и расхода сжатого воздуха от 10 до 12 л/сек.

Материал, относящийся к защите второго положения представлен в главе 1, разделах 2.1 – 2.3, главе 4.

В главе 1 представлен аналитический обзор известных исследований в области регулирования температуры трубопроводов при транспортировке газоконденсатной смеси углеводородов.

В разделе 1.1 описывается процесс трубопроводной транспортировки охлажденной и сжиженной до однофазного состояния газоконденсатной смеси. В разделе 1.2 рассмотрено

применение сезонно-действующих охлаждающих устройств на стационарных объектах нефтегазовой отрасли. В разделе 1.3 приведены особенности использования сезонно-действующих охлаждающих устройств для поддержания температуры трубопроводов в заданном диапазоне. В частности представлены известные по литературе результаты исследования возможности транспортировки сжиженной газоконденсатной смеси углеводородов с температурой  $-50^{\circ}\text{C}$  в мерзлом грунте с температурой  $-5^{\circ}\text{C}$  и  $-20^{\circ}\text{C}$ . В результате этих исследований было определено, что при температурах грунтов в диапазоне от  $-25^{\circ}\text{C}$  до  $-40^{\circ}\text{C}$  возможен транспорт сжиженной газоконденсатной смеси углеводородов на достаточно большие расстояния. При этом необходимо применение устройств охлаждающих грунт.

Это и является постановочной задачей диссертации, представленной Махно Д.А. При этом для зимних месяцев могут быть применены уже хорошо известные сезонно-действующие охлаждающие устройства. Для летних месяцев Д.А. Махно предлагает исследовать возможность применения в качестве источника холода вихревые трубы.

В рамках исследования поставленной задачи в разделе 2.1 исследован процесс теплообмена между смесью углеводородов и окружающей средой. В разделе 2.2 представлено аналитическое описание процесса неизотермической транспортировки смеси по трубопроводу. В разделе 2.3 представлен обзор возможных конструкций охлаждающих устройств, которые могут быть использованы для поддержания температуры смеси в трубопроводе в зимнее время.

В главе 4 рассмотрены следующие вопросы. В разделе 4.1 с помощью программного комплекса Refprop v. 9.1 выполнен счетный эксперимент, который показал, что при содержании в смеси углеводородов гелия с концентрацией свыше 0.05% не происходит сжижения. Такое содержание гелия характерно для Ковыктинского, Чайдинского, Собинского и Тас-Юряхского ГКМ, где содержание гелия доходит до 0.57%. Для выделения гелия на промыслах представлена уточненная принципиальная схема подготовки и транспортировки газоконденсатной смеси с учетом высокого содержания гелия.

В разделе 4.2 рассмотрена работа устройства для охлаждения грунта, состоящего из стационарно расположенных в грунте сезонных охлаждающих устройств к которым временно подсоединяется вихревая труба с компрессором, размещенные на автомобиле. Данный подход позволяет использовать теплообменники сезонных охлаждающих устройств в летний период, обеспечивая дополнительное локальное охлаждение грунта. В разделе 4.3 рассматривается методика расчета трубопровода для транспортировки газоконденсатной смеси. В разделе 4.4 представлена методика теплотехнического расчета системы охлаждения грунта около трубопровода.

Резюмируя представленные в диссертации материалы можно сделать заключение, что они подтверждают заявленные положения, вынесенные на защиту, а сами положения соответствуют паспорту специальности 25.00.19 – Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ.

В диссертации Д.А. Махно следует выделить **новые научные результаты**.

- На основе выполненных экспериментов с использованием физического макета вихревой трубки с уменьшенными размерами, подключенного к компрессору, показана реализуемость возможности охлаждения грунтов на величину примерно 23 градуса.
- Представлено выражение для определения потребной температуры холодного потока, связывающей степень расширения воздуха в вихревой трубе, температурную эффективность, температуру входящего сжатого воздуха.
- Предложена методика теплотехнического расчета системы охлаждения грунта около трубопровода.

Рассматривая **значимость для науки результатов**, полученных Д.А. Махно, следует рассмотреть два аспекта.

1. Получена эмпирическая зависимость, связывающая термодинамические характеристики генераторов холода на основе использования вихревой трубы.
2. Предложена математическая модель процесса теплопередачи между трубопроводом, наполненным сжиженной смесью углеводородов, грунтом, хладагентом в термостабилизаторе и атмосферным воздухом.

**Значимость для производства** полученных Д.А. Махно результатов, заключается в двух аспектах:

1) получены зависимости взаимодействия охлаждающих устройств с грунтом, которые могут быть использованы для контроля за состоянием «замороженных» фундаментов, находящихся в слое вечной мерзлоты; и 2) предложен всесезонный метод локальной заморозки грунта.

Диссертация Махно Д.А. хорошо апробирована. Полученные научные результаты представлены в 11 публикациях, в том числе в трех изданиях из Перечня ВАК.

Результаты диссертационного исследования могут быть рекомендованы к расширенному использованию для поддержания в замороженном состоянии грунтов около фундаментов объектов, построенных в зоне вечной мерзлоты России в течении всего календарного года.

В качестве замечаний к диссертации, представленной Д.А. Махно, следует отметить следующие:

- 1) Из 11 публикаций Д.А. Махно, представленных в тексте диссертации, только три вошло в автореферат.
- 2) В тексте диссертации не представлен список сокращений.
- 3) Из названия следует, что в диссертации будет рассмотрен способ регулирования температуры трубопроводов для транспортировки сжиженной смеси углеводородов. Реально предложен способ снижения температуры грунта в околотрубном пространстве. Для способа кроме этого необходимо описать систему измерения температуры грунта достигнутой при охлаждении.
- 4) Предложенная технология не проработана с достаточной степенью технической подробности и экономической целесообразности для того, чтобы рекомендовать ее к внедрению.
- 5) Не рассмотрены вопросы о транспортировке по трубопроводу смеси углеводородов, охлажденной до меньшей температуры, но при более высоком давлении, а также возможность перекачки двухфазной смеси.

Несмотря на отмеченные замечания анализ публикаций, диссертации и автореферата Д.А. Махно «Обоснование способа регулирования температуры трубопроводов для транспортировки сжиженной смеси углеводородов с газоконденсатных месторождений Восточной Сибири» позволяет утверждать, что в них содержатся научно-обоснованные технические решения позволяющие при строительстве и эксплуатации в зоне вечной мерзлоты России нефтегазопроводов, хранилищ и технологических объектов нефтегазовой инфраструктуры обеспечивать поддержание в замороженном состоянии в течении всего года грунтов около фундаментов указанных объектов.

Задача транспортировки сжиженной смеси природного газа и газового конденсата на большие расстояния по трубопроводу пока далека до своего завершения. В диссертации Д.А. Махно безусловно содержатся полезные научные результаты приближающие ее решение. Однако глобальность указанной задачи потребует для ее реализации гораздо больших научных и технических усилий.

Завершая анализ можно сделать вывод, что диссертация «Обоснование способа регулирования температуры трубопроводов для транспортировки сжиженной смеси углеводородов с газоконденсатных месторождений Восточной Сибири» соответствует требованиям пунктов 2.1 - 2.8 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Горного университета от 19.12.2019 № 1755 адм с изменениями от 30.09.2020 приказ № 1270 адм, а так же п.9 "Положения о присуждении учёных степеней" постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а её автор

Махно Даниил Андреевич достоин присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 25.00.19 – Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ.

Диссертационная работа Махно Даниил Андреевич заслушана и обсуждена на заседании совместного семинара Отдела научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, Отдела комплексного проектирования, Отдела проектирования вспомогательных систем, Отдела проектного менеджмента, Бюро главных инженеров проектов Акционерного общества «Гипрогазцентр». На заседании присутствовало 11 кандидатов и 1 доктор наук. Отзыв на диссертацию и автореферат рассмотрен и одобрен (протокол №1 от 03.02.2021).

Отзыв составлен:

Председатель  
заседания научно-технического совета,  
главный инженер АО «Гипрогазцентр»,  
к.т.н. доцент



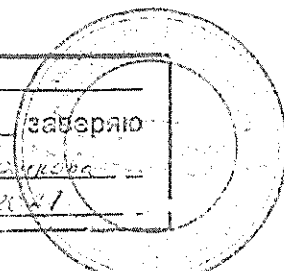
Репин Денис Геннадьевич

Главный инженер проектов  
АО «Гипрогазцентр», д.т.н., профессор



Ларцов Сергей Викторович

Акционерное общество «Гипрогазцентр», почтовый адрес: 603950, г. Нижний Новгород,  
ул. Алексеевская, д. 26, телефон: +7(831)4282862, e-mail: info@ggc.nnov.ru

Подпись руки <u>Ларцова Сергея</u>	
<u>Винюковская</u>	
Нач. отдела кадров <u>(И.И. Т.А. Винюковская)</u>	
Дата <u>11.02.2021</u>	