

**МИНИСТЕРСТВО
ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКА ТАТАРСТАН**

Государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
**«АЛЬМЕТЬЕВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ВЫСШАЯ ШКОЛА НЕФТИ»**
ул. Советская, 186А, г. Альметьевск, 423462



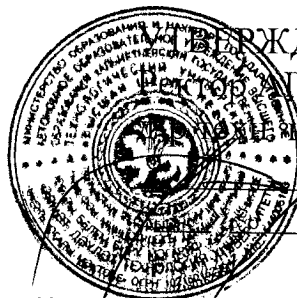
**ТАТАРСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
МӘГАРИФ ҺӘМ ФӘН
МИНИСТРЛЫГЫ**

Дәүләт автоном
югары белем биру
мәгариф учреждениесе
**«ӘЛМӘТ ДӘУЛӘТ
ТЕХНОЛОГИЯ УНИВЕРСИТЕТЫ
«НЕФТЬ ЮГАРЫ МӘКТӘБЕ»**
Советская ур, 186А, Әлмәт шәһ, 423462

Тел.: (8553) 31-09-00 (доб.54000), e-mail: p.agni@agni-rt.ru, info@agni-rt.ru, сайт: <https://agty-vshn.ru>

31.05.2026 № 34298-25

На № _____ от _____



ПОДПИСАЮ

ПРЕДСТАВИТЕЛЬ УЧРЕЖДЕНИЯ «ВШН»

Доктор наук, проф.

А.А. Дьяконов

2026г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию

Густова Вадима Сергеевича

на тему: «Обоснование методов расчета потерь нефтепродуктов от испарения при
заполнении резервуаров и транспортных ёмкостей»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.8.5. Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов,
баз и хранилищ

Актуальность темы диссертации

Сокращение потерь нефти и нефтепродуктов при их хранении, перевалке и проведении сливноналивных операций является одной из значимых задач эксплуатации объектов нефтепродуктообеспечения. Испарение легких фракций сопровождается не только безвозвратными потерями товарного продукта, но и выбросами летучих органических соединений, ухудшением экологических показателей объектов и повышением требований к работе систем отвода и рекуперации паров.

Актуальность рассматриваемой проблемы возрастает в связи со значительными объемами перевалки нефтепродуктов и интенсивной эксплуатацией резервуарных парков, железнодорожных и автомобильных сливноналивных эстакад, а также морских нефтеналивных терминалов. В диссертации отмечено, что объем перевалки нефтепродуктов в морских портах РФ на 2025 г. составил 121,1 млн т, а потери при заполнении танкеров могут достигать 0,2 кг на 1 т наливаемого продукта.

Одним из факторов, вносящих неопределенность в существующие методы расчета потерь от испарения, является различие между объемным расходом закачиваемого продукта и расходом вытесняемой из емкости газовой смеси. В традиционных инженерных расчетах указанное явление либо не учитывается, либо

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-625 от 18.05.26

учитывается посредством постоянного коэффициента превышения, что не отражает изменения технологических, гидравлических и внешних условий проведения операции. В диссертации показано, что отсутствие такого учета способно приводить к существенному занижению расчетного объема вытесняемой газовой смеси.

В этой связи исследование Густова В.С., направленное на повышение точности расчета потерь нефтепродуктов от испарения посредством учета фактического расхода вытесняемой газовой смеси, особенностей начального этапа заполнения емкости, условий массопереноса и гидравлических характеристик системы отвода газовой фазы, представляет собой актуальную научно-техническую работу.

Для достижения поставленной цели автором выполнен анализ существующих методов определения потерь от испарения, разработана математическая модель вытеснения газовой смеси, проведены теоретические и экспериментальные исследования коэффициента превышения, создан экспериментальный стенд и сформулированы рекомендации по рациональной эксплуатации трубопроводов отвода газовой фазы на объектах налива.

Актуальность работы не вызывает сомнений, поскольку полученные результаты непосредственно связаны с повышением точности инженерных расчетов, ресурсосбережением и совершенствованием эксплуатации систем отвода и рекуперации паров на объектах транспорта и хранения нефтепродуктов.

2. Научная новизна и соответствие диссертации паспорту специальности

Научная новизна, полученная в ходе выполнения диссертационного исследования и сформулированная автором, характеризуется следующими основными результатами:

- разработку математической модели вытеснения газовой смеси из заполняемых резервуаров и транспортных емкостей, учитывающей фактический характер изменения расхода на начальном этапе операции, явление превышения объема вытесняемой газовой смеси над объемом закачки, а также зависимость коэффициента гидравлического сопротивления от скорости газовой смеси;

- получение экспериментально апробированной зависимости для определения коэффициента превышения, в которую входят критерий Рейнольдса для жидкой фазы, критерий Шмидта для газовой смеси, относительная температура и модифицированное число Фруда, учитывающее влияние качки заполняемой емкости. Использование указанной зависимости позволяет учитывать совокупное воздействие гидродинамических, теплофизических и внешних факторов на процесс образования и вытеснения газовой смеси;

- установление количественной зависимости параметров эксплуатации трубопровода отвода газовой фазы от степени его загрязнения, на основе которой обоснован подход к определению рациональной периодичности очистки. В работе получена зависимость, согласно которой время достижения критического уровня засорения существенно определяется внутренним диаметром трубопровода;

- развитие расчетного подхода к раннему прогнозированию опасного роста давления в газовом пространстве заполняемой емкости за счет идентификации параметров массоотдачи на начальном этапе операции и последующего прогнозирования изменения давления.

Полученные результаты соответствуют специальности 2.8.5. «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ», поскольку относятся к

расчету и эксплуатации объектов хранения и перевалки углеводородов, газодинамическим и теплофизическим процессам в технологических системах, обеспечению ресурсосбережения, экологической и технологической безопасности объектов нефтепродуктообеспечения. В диссертации обосновано соответствие результатов пунктам 1 и 2 паспорта указанной научной специальности.

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

Обоснованность представленных в диссертации положений обеспечивается последовательным сочетанием аналитических, расчетных и экспериментальных методов исследования.

При разработке математической модели автором использованы фундаментальные положения газовой динамики, гидравлики трубопроводных систем, процессов тепло- и массопереноса, теории подобия и прикладной математики. Для анализа экспериментальных результатов применены методы математической статистики и нелинейной регрессии.

Существенным достоинством работы является экспериментальная проверка сформулированных теоретических положений. Автором разработан и реализован специальный стенд, позволяющий исследовать вытеснение газовоздушной смеси в процессе заполнения емкости и моделировать качку, характерную для морских транспортных емкостей. Эксперименты проводились на бензине АИ-95 при нескольких расходах закачки, температурах газовоздушной смеси и периодах колебаний емкости; всего выполнено 16 опытов.

По результатам экспериментальных исследований с использованием метода Левенберга–Марквардта определены коэффициенты разработанного критериального уравнения. Сопоставление расчетных и экспериментальных значений коэффициента превышения показало относительную погрешность, не превышающую 10,72%.

Дополнительное расчетное исследование проведено для широкого диапазона параметров трубопроводов отвода газовой фазы: внутреннего диаметра от 50 до 800 мм, длины от 15 до 1500 м, температуры газовоздушной смеси от 283 до 303 К и различных режимов течения. В рамках вычислительного эксперимента рассмотрено 625 расчетных сочетаний параметров.

Разработанный метод позволяет учитывать отличие реального коэффициента превышения от принимаемого в практике постоянного значения 1,25. По результатам расчетов автором установлено повышение точности определения потерь в среднем на 14,2% при использовании предлагаемого подхода.

Таким образом, примененные методы исследования, экспериментальная апробация полученных зависимостей и количественное сопоставление расчетных и опытных данных обеспечивают достаточную степень обоснованности и достоверности основных научных положений и выводов диссертационной работы.

4. Научные результаты, их ценность

Научная ценность выполненного исследования определяется тем, что автором предложен комплексный подход к рассмотрению процессов, которые в существующих методах определения потерь нефтепродуктов от испарения преимущественно учитываются в усредненном виде.

Особого внимания заслуживает выделение начального участка операции заполнения емкости. Автором показано, что именно на этапе линейного увеличения расхода наблюдается интенсивное испарение продукта и формируется пик давления в газовом пространстве, тогда как в традиционных расчетах этот участок часто исключается вследствие его относительно небольшой продолжительности.

Значимым результатом является получение инженерной зависимости для определения коэффициента превышения, позволяющей отказаться от использования единственного постоянного значения данного параметра и учитывать режим закачки, свойства жидкой и газовой фаз, температуру и динамическое воздействие качки. Экспериментальное сопоставление показало возможность определения коэффициента превышения с погрешностью не более 10,72%.

Практический интерес представляет также разработанный подход к оценке состояния трубопроводов отвода газовой фазы. Показано влияние увеличения гидравлического сопротивления вследствие загрязнения трубопроводов и оборудования на давление в газовом пространстве емкости и эффективность отвода паров. Полученная зависимость между диаметром трубопровода и временем достижения критического уровня засорения может быть использована при планировании технического обслуживания газоотводных систем.

Отдельную ценность имеют предложенные автором концептуальные решения по созданию системы раннего предупреждения технологических осложнений при погрузке танкеров. Определение параметров массоотдачи по данным начального этапа погрузки позволяет прогнозировать последующий рост давления и заблаговременно предпринимать технологические меры для предотвращения стравливания газозвдушной смеси в атмосферу.

Совокупность полученных результатов формирует научно-методическую основу для совершенствования расчетов процессов заполнения резервуаров и транспортных емкостей и эксплуатации связанных с ними систем отвода газовой фазы.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Теоретическая значимость работы заключается в развитии методов описания процесса вытеснения газозвдушной смеси при заполнении резервуаров и транспортных емкостей. Предложенный подход учитывает изменение расхода на начальном этапе операции, влияние испарения продукта, гидравлическое сопротивление газоотводной системы и превышение объема вытесняемой газозвдушной смеси над объемом закачки.

Практическая значимость диссертационной работы подтверждается следующими результатами:

- разработана программа для ЭВМ для расчета газодинамических процессов в системе «трубопровод погрузки – заполняемая емкость – трубопровод отвода газовой фазы – установка рекуперации паров», зарегистрированная под № 2024612830;
- создана база данных установок рекуперации паров, эксплуатируемых на объектах налива нефти и нефтепродуктов, зарегистрированная под № 2024620693;
- разработанные методические рекомендации по расчету потерь нефтепродуктов от испарения и повышению эффективности технологических процессов использованы в деятельности ООО «Северная Компания»;
- разработана конструкция экспериментального стенда для исследования и независимой оценки эффективности установок рекуперации паров, защищенная

патентом на изобретение № 2842918, а также устройство для повышения эффективности отвода паров, защищенное патентом № 2831618;

- полученные расчетные решения и рекомендации по моделированию внедрены в учебный процесс Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II.

Основные результаты диссертации опубликованы в четырех печатных работах, включая две статьи в рецензируемых научных изданиях и две статьи в изданиях, индексируемых базой Scopus. Автором также получены два патента на изобретение, свидетельство о регистрации программы для ЭВМ и свидетельство о регистрации базы данных.

Результаты работы прошли апробацию на четырех научно-практических мероприятиях, в том числе на трех международных конференциях. Представленные материалы свидетельствуют о выраженной практической направленности диссертации и возможности применения полученных результатов при эксплуатации объектов хранения, перевалки и налива нефтепродуктов.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Полученные в диссертации результаты рекомендуется использовать организациям нефтегазового комплекса, осуществляющим эксплуатацию нефтебаз, резервуарных парков, автомобильных и железнодорожных сливноналивных эстакад, а также морских нефтеналивных терминалов.

Разработанный метод определения коэффициента превышения может применяться при расчетах потерь легких нефтепродуктов от испарения и определении фактических расходов газовой смеси, поступающей в газоотводные системы и установки рекуперации паров. Предложенные расчетные зависимости целесообразно учитывать при проектировании и эксплуатации трубопроводов отвода газовой фазы, выборе их диаметра, оценке роста гидравлического сопротивления и формировании графиков профилактической очистки.

Результаты исследований по прогнозированию давления могут быть использованы при последующей разработке автоматизированных систем раннего предупреждения технологических осложнений на объектах налива. Перспективность аппаратной реализации таких решений непосредственно отмечена автором диссертации как направление дальнейших исследований.

Разработанный экспериментальный стенд, математические модели и программные средства также могут использоваться в научно-исследовательской деятельности и образовательном процессе при подготовке специалистов в области транспорта, хранения и перевалки нефти и нефтепродуктов.

7. Замечания и вопросы по диссертационной работе

При общей положительной оценке диссертационной работы необходимо отметить следующие замечания и вопросы:

1. Экспериментальное определение коэффициентов критериального уравнения выполнено на бензине АИ-95 по результатам 16 опытов в диапазоне температур газовой смеси около 20–30 °С и расходов закачки 10,5–21 л/мин. При этом разработанная методика позиционируется для использования на различных объектах налива нефтепродуктов. В работе следовало бы более четко сформулировать границы применимости полученного критериального уравнения

при переходе к другим нефтепродуктам и промышленным масштабам оборудования, в том числе с указанием допустимых диапазонов используемых критериев подобия. Фактические условия проведенных экспериментов приведены в третьей главе диссертации.

2. При аналитическом решении дифференциального уравнения, характеризующего изменение давления на начальном участке операции заполнения, автор ограничивается членами разложения в ряд вплоть до квадрата, указывая, что учет членов более высокого порядка не дает существенного повышения точности. Вместе с тем количественная оценка погрешности, обусловленной таким усечением ряда, приведена недостаточно подробно, что было бы полезно для установления диапазона времени, в котором упрощенное решение может применяться без существенного снижения точности.

3. В четвертой главе получена зависимость, согласно которой время достижения критического уровня засорения трубопровода отвода газовой фазы зависит от его диаметра в двадцатой степени. С учетом чрезвычайно высокой чувствительности результата к значению диаметра требовало бы дополнительного рассмотрения влияние погрешностей исходных параметров и производственных отклонений внутреннего диаметра и шероховатости трубопровода на прогнозируемую периодичность очистки, а также сопоставление полученной зависимости с расширенным массивом эксплуатационных данных.

4. Предложенная система раннего предупреждения основана на определении параметров массоотдачи на начальном этапе погрузки с последующим прогнозированием изменения давления. При этом в работе основное внимание уделено расчетной части решения. Следовало бы более подробно представить требования к точности и частоте регистрации исходных технологических параметров, а также критерий принятия решения о достижении потенциально опасного режима, что имеет значение при последующей аппаратной реализации предложенного подхода. Сам автор относит аппаратное воплощение системы раннего предупреждения к перспективам дальнейших исследований.

Отмеченные замечания имеют преимущественно уточняющий и дискуссионный характер, не снижают общей положительной оценки диссертационной работы, не ставят под сомнение достоверность основных результатов исследования и не влияют на обоснованность положений, выносимых на защиту.

Заключение по диссертации

Диссертация Густова Вадима Сергеевича на тему «Обоснование методов расчета потерь нефтепродуктов от испарения при заполнении резервуаров и транспортных ёмкостей», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.5. «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ», является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научно-техническая задача повышения точности определения потерь нефтепродуктов от испарения при заполнении резервуаров и транспортных емкостей путем учета фактических закономерностей вытеснения газовоздушной смеси и технологических параметров процесса.

В работе разработана математическая модель вытеснения газовоздушной смеси, экспериментально обоснована зависимость для определения коэффициента превышения, учитывающая совокупное влияние гидродинамических,

теплофизических и внешних факторов, предложены рекомендации по эксплуатации трубопроводов отвода газовой фазы и сформированы расчетные основы системы раннего предупреждения технологических осложнений. Разработанный метод позволяет повысить точность определения потерь нефтепродуктов от испарения в среднем на 14,2%, а полученное критериальное уравнение обеспечивает относительную погрешность определения коэффициента превышения не более 10,72% относительно экспериментальных данных.

Полученные автором результаты имеют научное и практическое значение для совершенствования эксплуатации объектов хранения и перевалки нефтепродуктов, повышения эффективности работы систем отвода и рекуперации паров, сокращения потерь углеводородного сырья и уменьшения негативного воздействия технологических операций на окружающую среду.

По актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости, степени обоснованности и достоверности результатов диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Густов Вадим Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.5. «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ» (технические науки).

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа»

Протокол № 1 от «31» августа 2026 г.

Председатель заседания

Зав. кафедрой ТХНГ,

д-р техн. наук, профессор

должность, ученая степень, ученое звание

 / Алиев Мехрали Мирзали оглы
Ф.И.О.

Секретарь заседания

Доцент кафедры ТХНГ,

канд. техн. наук, доцент

должность, ученая степень, ученое звание

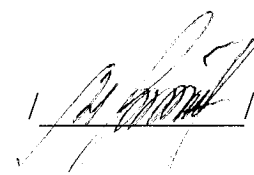
 / Исмагилова Зульфия Фаритовна
Ф.И.О.

СОГЛАСОВАНО:

Исполнительный директор ПИНШ,

канд. техн. наук

должность, ученая степень, ученое звание

 / Мухамадеев Ришат Уралович
Ф.И.О.

Сведения о ведущей организации:

Полное наименование организации: Государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Альметьевский государственный технологический университет "Высшая школа нефти"

Почтовый адрес: 423462, Российская Федерация, Республика Татарстан, Альметьевский муниципальный район, городское поселение город Альметьевск, город Альметьевск, улица Советская 186А, помещение 1003

Телефон: +7 (8553) 31-09-50 (доб. 54000) E-mail: p.agni@agni-rt.ru

Официальный сайт: agtu-vshn.pf