

ОТЗЫВ

**официального оппонента, доктора технических наук, доцента
Валеева Анвара Рашитовича
на диссертационную работу Густова Вадима Сергеевича
«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**

Диссертационная работа Густова Вадима Сергеевича «Обоснование методов расчета потерь нефтепродуктов от испарения при заполнении резервуаров и транспортных ёмкостей» выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II». Диссертация изложена на 148 страницах, включает введение, четыре главы, заключение, список литературы из 109 наименований и семь приложений; содержит 37 рисунков и 28 таблиц. Автореферат диссертации в целом дает достаточное представление о логике исследования, полученных научных результатах и формах их практического использования.

1. Актуальность темы диссертационной работы

Выбранная тема относится к числу тех инженерных задач нефтепродуктообеспечения, которые при внешней локальности имеют заметный отраслевой эффект. Потери от испарения возникают в конкретном резервуаре или грузовой ёмкости, однако совокупный результат определяется масштабом повторяющихся операций налива, оборотом продукта, режимом работы газоотводящей системы и фактической эффективностью улавливания паров. Поэтому ошибка в определении расхода вытесняемой газовоздушной смеси одновременно проявляется как недоучет товарного продукта, занижение организованного выброса, неточность подбора установки рекуперации и, в неблагоприятном случае, как недооценка темпа роста давления в газовом пространстве.

ОТЗЫВ

1

ВХ. № 9 602 от 16.09.16
АУ УС

Масштаб самой технологической базы весьма значителен. По данным Ассоциации морских торговых портов, грузооборот морских портов России за 2025 год составил 884,5 млн т, из которых 442,8 млн т приходилось на наливные грузы. Перевалка сырой нефти составила 274,9 млн т, нефтепродуктов - 121,1 млн т. Даже без учета нефтебаз, железнодорожных эстакад и автомобильного налива речь идет о десятках тысяч операций с большими единичными расходами. Если исключительно в иллюстративных целях приложить приведенную в автореферате верхнюю удельную оценку потерь 0,2 кг/т только к морской перевалке нефтепродуктов, расчетный масштаб составит около 24,2 тыс. т в год. Эта величина не является инвентаризацией фактических выбросов, но наглядно показывает, почему уточнение исходного расхода газовой смеси на несколько процентов имеет осязаемое ресурсное значение.

В Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2050 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 12 апреля 2025 г. № 908-р, развитие топливно-энергетического комплекса увязано с технологическим суверенитетом, надежностью снабжения внутреннего рынка и конкурентоспособностью отраслей ТЭК. Снижение безвозвратных потерь уже добытого, переработанного и доставленного до терминала нефтепродукта непосредственно отвечает этому направлению. В этом отношении диссертация Густова В.С. посвящена не столько уточнению отдельного коэффициента, сколько совершенствованию расчетного обеспечения ресурсосберегающей эксплуатации наливных объектов.

Экологическая составляющая актуальности также не нуждается в искусственном усилении. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2024 году» рассматривает выбросы в атмосферный воздух как самостоятельный блок государственной экологической информации. По официальной статистике Росприроднадзора, в 2025 году общий объем выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников в Российской Федерации составил около 16,6 млн т, снизившись на 3 % к предыдущему году. Эти данные охватывают всю совокупность

стационарных источников и потому не могут напрямую сопоставляться с испарительными потерями нефтепродуктов. Вместе с тем они характеризуют общий масштаб нагрузки и объясняют, почему достоверность исходных расчетов организованных и неорганизованных выбросов остается обязательным условием производственного экологического контроля.

Справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 46-2019 «Сокращение выбросов загрязняющих веществ, сбросов загрязняющих веществ при хранении и складировании товаров (грузов)» рассматривает герметизацию операций, организованный отвод, сбор и утилизацию паров как взаимосвязанные технические меры. С 1 декабря 2022 года действует ГОСТ Р 70379-2022, устанавливающий требования к комбинированным адсорбционно-абсорбционным установкам рекуперации паров нефти и нефтепродуктов на объектах магистрального трубопроводного транспорта при операциях слива и налива. Само наличие специального национального стандарта показывает, что установка рекуперации является частью технологического комплекса, а не вспомогательным природоохранным устройством. Ее производительность, гидравлическое сопряжение с газоотводящим трубопроводом и устойчивость режима должны определяться по реальному, а не условно равному расходу жидкости объему паровоздушной смеси. На этом фоне обращение соискателя к нестационарной газодинамике начального участка налива и к явлению превышения расхода газовой фазы над расходом продукта представляется своевременным и научно обоснованным.

Таким образом, актуальность диссертационной работы определяется одновременно экономией товарного нефтепродукта, обеспечением корректного экологического учета, обоснованием параметров рекуперационного оборудования и повышением промышленной безопасности наливных операций. Поставленная задача соответствует профилю специальности 2.8.5 «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ» и имеет существенное значение для эксплуатации резервуарных парков, нефтебаз и морских нефтеналивных терминалов.

2. Научная новизна и значимость полученных результатов

Научная новизна работы состоит прежде всего в переходе от условного представления, согласно которому объем вытесняемой газовой фазы определяется только геометрическим замещением объема, к расчетному описанию, учитывающему газодинамику отвода, изменение давления и дополнительное парообразование. Такой переход принципиален: коэффициент превышения перестает быть постоянной справочной поправкой и становится функцией режима процесса и характеристик системы.

К наиболее существенным новым результатам следует отнести следующие.

1. Разработана математическая модель вытеснения газовоздушной смеси из резервуара или транспортной ёмкости на начальном, линейном участке операции заполнения. В модели в явном виде учтена зависимость коэффициента гидравлического сопротивления газоотводящего трубопровода от скорости течения, а также влияние превышения расхода газовоздушной смеси над расходом закачки. Это позволяет совместно определять изменение давления, расход газовой фазы и массовые потери углеводородов, а не задавать один из этих параметров априорно.

2. Для бензина получена экспериментально обоснованная зависимость коэффициента превышения от критериев Рейнольдса и Шмидта, относительной температуры газовоздушной смеси и модифицированного числа Фруда, характеризующего наличие качки. Включение волнового воздействия в критериальную зависимость следует признать самостоятельным результатом, поскольку для транспортной ёмкости обновление межфазной поверхности и перемешивание паров определяются не только расходом налива.

3. Предложен расчетно-диагностический подход к эксплуатации трубопроводов отвода газовой фазы: рассмотрено влияние роста шероховатости и уменьшения эффективного проходного сечения на момент достижения критического режима, сформулирована концепция раннего предупреждения стравливания газовоздушной смеси по динамике давления. Тем самым модель

используется не только для ретроспективного подсчета потерь, но и как основа прогнозирования технологического осложнения.

Принципиальная значимость исследования заключается в установлении связи между тремя традиционно отдельно рассматриваемыми блоками: испарением нефтепродукта, гидравликой газоотводящей линии и безопасностью режима заполнения. Для проектировщика установки рекуперации эта связь определяет требуемый расход; для эксплуатационного персонала - запас по давлению и состояние линии; для эколога - массу углеводородов, которая должна быть учтена и направлена на улавливание. Подобная постановка существенно содержательнее замены коэффициента 1,25 другим постоянным значением.

Новизна не сводится к математической форме уравнений. Соискателем создан экспериментальный стенд с возможностью имитации качки, зарегистрированы программа для ЭВМ № 2024612830 и база данных № 2024620693, получены патенты Российской Федерации № 2842918 на конструкцию стенда и № 2831618 на устройство для отвода паров. Совокупность модели, экспериментального объекта и расчетного программного инструментария образует законченную научно-методическую основу дальнейших исследований.

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

Теоретическая часть работы опирается на уравнение состояния газовой смеси, балансовые соотношения, положения гидравлики трубопроводов и теории подобия. При выводе уравнений соискатель последовательно связывает уменьшение объема газового пространства, рост давления, сопротивление газоотводящего тракта и текущую массовую концентрацию углеводородов. Для описания различных режимов течения используются представления Л.С. Лейбензона о зависимости коэффициента сопротивления от числа Рейнольдса. Выбор такого аппарата соответствует физической природе рассматриваемого процесса.

Расчетный эксперимент выполнен в диапазонах, охватывающих различные типы объектов: внутренний диаметр газоотводящего трубопровода от 50 до 800 мм, длина от 15 до 1500 м, расход закачки от 50 до 10 000 м³/ч, температура газовой смеси от 283 до 303 К. Рассмотрено 625 комбинаций параметров, при этом автором исключались физически нереализуемые сочетания большого расхода с малым диаметром либо большой длины с малым проходным сечением. Полученное среднее значение коэффициента превышения 1,392 при диапазоне 1,0–2,1 согласуется по порядку величины с ранее опубликованными отечественными оценками, хотя отдельные расчетные значения выходят за их пределы.

Экспериментальная проверка проведена на бензине АИ-95. Исследованы расходы заполнения 10,5; 15,75 и 21 л/мин, температуры газовой смеси около 20, 25 и 30 °С, а также периоды колебаний 26, 52 и 104 с. Всего выполнено 16 опытов; после первых восьми бензин был заменен продуктом из той же партии. Коэффициенты критериального уравнения определены методом нелинейной регрессии Левенберга—Марквардта. Максимальное относительное расхождение расчетных и экспериментальных значений в представленном массиве составило 10,72 %, для большинства режимов оно значительно ниже.

Положительно следует оценить, что автор не ограничился лабораторным определением интегральной потери, а измерял параметры, необходимые для раскрытия механизма процесса. Конструкция стенда позволяет изменять расход, температуру и режим качки; выбор критериев Рейнольдса, Шмидта и Фруда обеспечивает безразмерную форму обобщения. Результаты теоретического расчета, физического эксперимента и программного моделирования взаимно дополняют друг друга.

Достоверность результатов подтверждается также апробацией на четырех научно-практических мероприятиях, включая международные, публикацией основных положений в четырех статьях, две из которых опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК, а две индексируются в Scopus, наличием двух патентов, свидетельств о регистрации программы и базы данных. Методические рекомендации использованы ООО «Северная Компания» по акту от 15 апреля

2026 г., а вычислительный комплекс и рекомендации по моделированию внедрены в учебный процесс Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II.

Автореферат отражает личный вклад соискателя: постановку расчетной схемы, вывод математических зависимостей, проектирование и проведение экспериментов, обработку результатов и разработку практических рекомендаций. Содержание публикаций и объектов интеллектуальной собственности соответствует заявленным научным результатам.

4. Оценка содержания и основных результатов диссертационной работы

Во введении корректно сформулированы цель, идея, задачи, объект и предмет исследования. Цель, состоящая в повышении точности расчетного прогнозирования потерь при заполнении резервуаров и транспортных ёмкостей, согласована с защищаемыми положениями. Логика задач выдержана: от анализа существующих подходов автор переходит к модели, затем к экспериментальной проверке и, наконец, к эксплуатационным решениям для газоотводящих систем.

В первой главе выполнен обзор способов сокращения испарительных потерь и методов их расчета. Существенным итогом главы является выделение неопределенности объемного расхода вытесняемой газовоздушной смеси. Автор показывает, что распространенное равенство расходов газовой и жидкой фаз либо использование неизменного коэффициента не учитывают образование дополнительного объема паров и сопротивление отводящей сети. Эта постановка хорошо согласуется с современной нормативной логикой: эффективность рекуперации не может быть обеспечена без достоверного расходного баланса, а требования к пропускной способности дыхательной арматуры, закрепленные в практике проектирования резервуаров, всегда связаны с реальным сценарием заполнения.

Во второй главе сформирована обобщенная модель. Научно оправдано внимание к начальному участку операции, где расход продукта возрастает, а давление в газовом пространстве может достигать пикового значения уже через

15–20 мин после начала погрузки. Именно в этот период наиболее вероятны срабатывание дыхательной арматуры или открытие мастрейзера и обход штатной линии рекуперации. Полученная интегральная формула для массы потерь включает текущую массовую концентрацию углеводородов и рассчитанный расход газовой фазы. Тем самым автор устраняет очевидное несоответствие между стационарным коэффициентным расчетом и нестационарной природой пуска операции.

Отдельного внимания заслуживает вычислительный массив из 625 режимов. Он показывает, что коэффициент превышения не является малой поправкой: при средних условиях расчетное значение составило 1,392, а диапазон достигал 2,1. Вместе с тем именно этот результат требует осторожного инженерного применения. Даже укрупненные международные коэффициенты для операций налива сопровождаются широкими доверительными интервалами; следовательно, ценность методики Густова В.С. состоит не в создании нового универсального норматива, а в возможности перейти к объектному расчету внутри подтвержденной области параметров.

Третья глава посвящена экспериментальной проверке. Представляется удачным сочетание контролируемого налива бензина и имитации качки. Полученная зависимость коэффициента превышения сохраняет статический предел при отсутствии колебаний и вводит модифицированное число Фруда для волнового режима. Такая форма удобна для инженерного применения и физически интерпретируема. Сопоставление с экспериментом показывает приемлемое для исследовательского стенда расхождение.

В четвертой главе автор выходит за пределы собственно учета потерь и рассматривает работоспособность газоотводящего тракта. Обоснование периодичности очистки, оценка критического засорения и раннее выявление интенсивного роста давления логично следуют из базовой модели. В практическом отношении это особенно важно для длинных линий морских терминалов, где дополнительное сопротивление способно изменить весь баланс «танкер - газоотводящий трубопровод - установка рекуперации». Содержание

главы соответствует предмету специальности, поскольку касается эксплуатации технологических трубопроводных систем нефтегазового комплекса.

Заключение содержит основные количественные и качественные результаты, согласованные с задачами исследования. Материал автореферата изложен профессионально, терминология в основном единообразна, иллюстрации и таблицы достаточны для понимания защищаемых положений.

5. Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическое значение диссертации определяется развитием расчетного представления о «больших дыханиях» заполняемой ёмкости. В предложенной модели расход газовой фазы является результатом совместного действия изменения объема, парообразования, давления и гидравлического сопротивления. Это создает основу для последующего усложнения модели - учета состава продукта, нестационарного теплообмена, переменной эффективности рекуперации и обратного влияния регуляторов давления.

Практическая значимость проявляется по нескольким направлениям. Во-первых, объектный расчет коэффициента превышения позволяет точнее формировать расходный баланс установки рекуперации паров. В свете ГОСТ Р 70379-2022 это полезно при обосновании производительности адсорбционно-абсорбционной установки и параметров ее сопряжения с объектом налива. Во-вторых, модель может применяться для проверки пропускной способности газоотводящих линий и дыхательной арматуры с учетом начального переходного режима. В-третьих, расчет текущей массы углеводородов в вытесняемой смеси может повысить обоснованность инвентаризации выбросов и производственного экологического контроля.

Следует отметить самостоятельную ценность предложенного стенда. Возможность задавать качку делает его пригодным не только для проверки авторской зависимости, но и для сравнительных испытаний технических решений рекуперации. Патентование конструкции и разработка безвального газового насоса показывают, что результаты доведены до уровня инженерных

решений. Программа и база данных обеспечивают воспроизводимость расчетов и могут использоваться при вариантном проектировании.

Эксплуатационные рекомендации по контролю давления и состоянию трубопровода отвода газовой фазы имеют профилактическую направленность. При своевременной идентификации роста сопротивления персонал получает возможность уменьшить темп налива, переключить технологическую схему или выполнить обслуживание до срабатывания аварийного сброса. В условиях, когда надзорные материалы фиксируют нарушения требований к безопасной эксплуатации нефтеналивной инфраструктуры, такой переход от реагирования на событие к прогнозу имеет принципиальное практическое значение.

6. Рекомендации по использованию результатов диссертации

Результаты работы целесообразно использовать проектным и эксплуатационным организациям при расчете систем организованного отвода и рекуперации паров на нефтебазах, железнодорожных и автомобильных эстакадах, морских терминалах. Наиболее непосредственная область применения - операции с бензинами в пределах исследованных температурных и расходных режимов. Распространение критериального уравнения на иные нефтепродукты должно сопровождаться уточнением физико-химических свойств и экспериментальной проверкой.

Программный комплекс может быть включен в состав вариантного расчета технологической схемы при модернизации объектов, работающих по требованиям ИТС 46-2019 и ГОСТ Р 70379-2022. Полезным представляется сопряжение расчетного модуля с архивом АСУ ТП: фактические ряды давления, расхода и температуры позволят идентифицировать объектные параметры и отслеживать постепенный рост сопротивления газоотводящей линии.

Методика заслуживает апробации на полномасштабном объекте с одновременным инструментальным измерением расхода газозооушной смеси до установки рекуперации, концентрации углеводородов и массы возвращенного продукта. Такой опыт дал бы независимую оценку неопределенности метода и создал основу для отраслевых рекомендаций.

Результаты также могут использоваться в образовательном процессе по дисциплинам, связанным с проектированием и эксплуатацией нефтебаз, резервуарных парков и систем рекуперации паров.

7. Замечания и вопросы по диссертационной работе

Общая положительная оценка работы не исключает ряда замечаний и вопросов, требующих обсуждения.

1. В диссертации утверждается, что предлагаемый метод повышает точность определения потерь в среднем на 14,2 %. Хотя повышение точности не оспаривается, тем не менее сравнение происходит с другим расчетом методом, а не с фактическим значением, поэтому формулировка, что повышение точности происходит именно на 14,2% является некорректным.
2. В работе не пояснено почему в эксперименте выбран продукт именно АИ-95. Почему достаточно только одного продукта для эксперимента? Почему не проведены были исследования и на других нефтепродуктах или нефтях?
3. В работе отсутствуют практические рекомендации по применению полученной формулы для коэффициента превышения (формула 9 автореферата), например, как она будет выглядеть для различных емкостей и нефтепродуктов, каким именно будет характерный линейный размер L_x для емкостей различных форм.
4. В диссертации не раскрыто влияние местных сопротивлений при выходе газовой смеси (например, дыхательного клапана) на физику процесса, в том числе на финальную формулу для коэффициента превышения (формула 9 автореферата).

Указанные замечания носят уточняющий и рекомендательный характер. Они обозначают направления развития выполненного исследования, не ставят под сомнение основные защищаемые положения и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

8. Заключение

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, соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм, 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.

Я, Валеев Анвар Рашитович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Густова Вадима Сергеевича, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент:

профессор кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа»

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
доктор технических наук, доцент

«07» сентября 2026 г.



Валеев Анвар Рашитович

Подпись Валеева А.Р. заверяю:

Начальник отдела по работе с персоналом



Дадаян Ольга Анатольевна

Сведения об официальном оппоненте:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

Адрес: 450064, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1

Официальный сайт: <https://rusoil.net>