

**ОТЗЫВ** официального оппонента  
на диссертационную работу Уликанова Рима Рамазановича  
«Исследование динамических возмущений давления в магистральных  
трубопроводах методами структурно-волнового анализа»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы

Диссертационная работа Уликанова Рима Рамазановича направлена на исследование закономерностей изменения структуры фронта волны динамического возмущения давления, распространяющегося по трубопроводу, а также применение полученных знаний для диагностики состояния магистрального трубопровода на предмет наличия утечек жидкости.

В работе исследовано изменение структуры фронта волны динамического возмущения давления, распространяющегося по трубопроводу. Сформулирована математическая модель, получено решение для случая работы трубопровода с утечкой жидкости. Предложена методика по определению координаты источника возмущения по показаниям датчиков измерения давления.

Выполнена проверка предлагаемой методики по определению координаты источника возмущения давления на данных математической модели магистрального трубопровода, имеющего утечку жидкости и на данных, полученных с экспериментальной установки. Разработан и опробован программный модуль на действующем магистральном трубопроводе, оценена погрешность определения координаты утечки жидкости.

**Актуальность темы** диссертационной работы определяется прежде всего тем, что магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов является стратегически важной отраслью экономики Российской Федерации. При этом одним из рисков, сопровождающих эксплуатацию магистрального трубопровода, является риск возникновения утечек жидких углеводородов. Учитывая, что своевременное обнаружение утечек жидких углеводородов напрямую влияет на размер экологических и экономических последствий, является

актуальной задача быстрого определения координаты возникновения данного события.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций** в диссертационной работе Уликанова Р.Р. соответствует общепринятой в рамках специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

Рассматриваемые математические модели основаны на общих фундаментальных законах и уравнениях механики сплошной среды и всесторонне апробированы. Сформулированные научные положения и рекомендации не противоречат общим гидродинамическим представлениям.

Основной целью диссертационной работы Уликанова Р. Р. является повышение эффективности работы системы обнаружения утечек жидкости за счет использования алгоритма, построенного на принципе структурно-волнового анализа возникающих динамических возмущений давления.

Для достижения поставленной цели в диссертации решены следующие задачи.

1. Построение математической модели нестационарных процессов в магистральном трубопроводе. Получение решения для случая работы трубопровода с утечкой жидкости.

2. Разработка метода определения координаты местоположения возмущения давления. Валидация предложенного метода с результатами прямого численного моделирования работы трубопровода с утечкой жидкости.

3. Создание лабораторной установки и проведение экспериментальных исследований нестационарных процессов при течении жидкости. Проведение экспериментов по определению местоположения источника возмущения.

4. Разработка программного обеспечения для определения местоположения утечек жидкости на основе предложенного метода.

5. Проведение промышленных испытаний и апробирование программного комплекса на действующем магистральном трубопроводе.

Соответствие содержания диссертации специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы обеспечивается пунктами:

п.3 Гидравлические модели и приближенные методы расчетов течений в водоемах, технологических устройствах и энергетических установках;

п.5 Течения сжимаемых сред и ударные волны;

п.18 Экспериментальные методы исследования динамических процессов в жидкостях и газах.

**Научная новизна** результатов работы определяется в первую очередь тем, что автором впервые была предложена идея по диагностике трубопровода по результатам анализа структуры фронта волны давления, вызываемой различными событиями, например утечками жидкости. Полученные в ходе выполнения исследований знания позволили:

1. Получить зависимость изменения амплитуды скачка давления, вызванного утечкой жидкости, от пройденного расстояния;

2. Построить методику по определению координаты источника возмущения давления в магистральном трубопроводе, основывающейся на результатах структурно-волнового анализа возникающих динамических возмущений давления;

3. Продемонстрировать работоспособность предлагаемой методики по определению координаты источника возмущения давления на математической модели, экспериментальном стенде и на действующем магистральном трубопроводе.

**Достоверность и обоснованность** полученных диссертантом теоретических выводов основана на применении фундаментальных законов механики сплошных сред, использованием апробированных численных методов, хорошим совпадением результатов расчетов с экспериментальными данными, а также подтверждением предложенной методики в условиях действующего производства.

**Практическая значимость** результатов работы состоит в том, что полученные в диссертации результаты могут быть использованы в обосновании развития систем обнаружения утечек жидкости в магистральных трубопроводах, при этом практической значимостью является возможность построения систем гидравлической диагностики магистральных трубопроводов на предмет идентификации источников динамических возмущений давления.

### **Оценка содержания диссертационной работы**

Диссертационная работа Уликанова Р.Р. состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации - 104 страницы, включая 47 рисунков и 114 литературных источника.

Во введении приведена актуальность диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования, приведены научные результаты выносимые на защиту, представлена научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе диссертации представлен анализ современного состояния исследований в области идентификации динамических возмущений давления в трубопроводах, в частности, методов обнаружения утечек жидкости из магистральных трубопроводов, исследование данных патентов в области алгоритмов и способов идентификации утечек жидкости в трубопроводах, приведены результаты анализа существующей теории гидродинамического расчёта неустановившихся процессов в трубопроводах, перекачивающих жидкие углеводороды.

Вторая глава посвящена решению задачи движения скачка давления по трубопроводу и разработке методики поиска местоположения утечки жидкости в трубопроводе, основанных на результатах анализа изменения характеристик динамического возмущения. Описано полученное решение дифференциальных уравнений в частных производных в виде зависимости, связывающей величину изменения амплитуды скачка давления и пройденное им расстояние по

трубопроводу, имеющего утечку жидкости. Приведена методика определения координат места возмущения давления по показаниям нескольких датчиков, основанная на физическом эффекте затухания амплитуды волны давления, движущейся по трубопроводу, оснащенного различным количеством средств измерения давления.

Приведены результаты апробирования разработанной методики на данных математической модели магистрального трубопровода с утечками жидкости различной интенсивности: 9, 45 и 80% от его номинальной производительности. Установлено, что относительная погрешность определения координат места утечки по предложенной методике составляет менее 1%. Показано, что при увеличении количества средств измерений давления, погрешность определения местоположения источника возмущения снижается от 0,62% до 0,39% при увеличении числа датчиков от 3 до 8 соответственно.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований динамических возмущений давления, распространяющихся по трубопроводу на лабораторной установке «Стенд с изменяемым профилем для исследования нестационарных процессов, возникающих в мультифазных углеводородных потоках», созданной в «НИИ Транснефть». Экспериментально подтверждена работоспособность предложенной методики по определению координат местоположения источника возмущения, при этом погрешность определения не превысила 1,5%. На основании результатов экспериментов установлена возможность построения системы диагностики состояния трубопровода, основанной на данных анализа структуры динамического возмущения.

В четвёртой главе представлено решение вопросов создания программного обеспечения, позволяющего в автоматическом режиме контролировать целостность трубопровода, приведены результаты промышленных испытаний на действующем объекте, при этом утечка была определена с относительной

погрешностью 1,3%, что соответствует действующим нормам проектирования систем обнаружения утечек. Предложенный способ внедрён на производстве.

В заключении представлены выводы и основные результаты диссертационной работы.

Диссертация и автореферат написаны грамотным языком, к стилю изложения претензий нет. Изложение результатов диссертационной работы и формулировка соискателем выводов нареканий не вызывают. В диссертации соблюдены принципы соответствия задач исследования и поставленной цели, полученных результатов и выводов.

### **Замечания**

В целом работа написана ясным и четким научным языком, на современном уровне, доказательно. К работе имеются следующие замечания:

1. Требуется пояснения выбранная формулировка - Структурно-волновой анализ динамического возмущения давления;

2. При решении системы дифференциальных уравнений с частными производными в работе отсутствует обоснование применения метода «характеристик», хотя существуют альтернативные способы получения решения: метод контурного интегрирования, метод Фурье, операционный метод, графический метод;

3. В работе отсутствует описание решения поставленной задачи с использованием одного датчика давления, при этом в работе приведены зависимости, позволяющие решить задачу при оснащении трубопровода только одним датчиком давления;

4. В тексте (Глава 2) не приведены параметры жидкости и характеристики трубопровода (материал, диаметр, толщина стенок), используемые при численном моделировании, хотя приведен диаметр отверстия утечки. Не указано, какой метод расчета был использован для решения системы дифференциальных уравнений течения жидкости в трубе (2.12);

5. Следовало привести более точное и детальное описание результатов на Рис.2.10, Рис.2.11, в Табл.2.2, Табл.2.3. Пояснения к этим результатам даны недостаточно полно. В заголовках таблиц и в тексте не указано, что за погрешности приведены, нет выражения для вычисления погрешности при расчете координаты утечки и для расчета относительной погрешности. Нужно было привести также и полученные значения координаты места утечки. При этом сомнений в достоверности результатов нет, но такая небрежность затрудняет восприятие. Считаю неудачным и усложняющим восприятие использование выражений «расчетные данные» (результаты расчета по выведенной формуле (2.26)) и «данные с модели» (результат решения системы дифференциальных уравнений (2.12)).

Диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Приведенные выше замечания не снижают общих достоинств работы в целом и не носят принципиального характера.

#### **Общая оценка диссертационной работы**

Диссертационная работа Уликанова Рима Рамазановича «Исследование динамических возмущений давления в магистральных трубопроводах методами структурно-волнового анализа» выполнена на высоком научном уровне актуальность, научная новизна и практическая значимость работы несомненны. Результаты диссертации сформулированы на современном научном уровне и соответствуют паспорту специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

Автореферат диссертации составлен с соблюдением установленных требований, его содержание соответствует диссертации и дает полное и правильное представление о работе.

Результаты хорошо известны научной общественности. Основные положения проведенных исследований нашли отражение в 12 научных трудах, в том числе три научных статьи в изданиях, входящих в перечень научных изданий, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования Российской

Федерации, получен патент и свидетельства о регистрации программы для ЭВМ. Результаты неоднократно обсуждались на научных конференциях и получили одобрение ведущих специалистов.

Обобщая вышесказанное, учитывая новизну, теоретическую и практическую значимость выполненных исследований и их достоверность, считаю, что представленная к защите диссертационная работа «Исследование динамических возмущений давления в магистральных трубопроводах методами структурно-волнового анализа» соответствует требованиям пп.9-11,13,14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор Уликанов Рим Рамазанович заслуживает присуждения ученой степени по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

Я, Болдырева Ольга Юрьевна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Уликанова Рима Рамазановича, и их дальнейшую обработку.

Старший научный сотрудник  
Лаборатории волновой динамики многофазных систем  
Тюменского филиала ИТПМ СО РАН,  
Кандидат физико-математических наук  
(специальность 01.02.05 - Механика жидкости, газа и плазмы)

25 сентября 2024 г.

Болдырева Ольга Юрьевна

E-mail: [olga.boldyreva@mail.ru](mailto:olga.boldyreva@mail.ru)

Тюменский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук (ТюмФ ИТПМ СО РАН).

Адрес: 625026, г. Тюмень, д.74, а/я 1507, ТюмФ ИТПМ СО РАН.

Тел. +7 (3452) 68-27-45. E-mail: [tbitamsbras@yandex.ru](mailto:tbitamsbras@yandex.ru)

Подпись Болдыревой О.Ю. заверяю  
инспектор отдела кадров



Караульных М.М.