

ОТЗЫВ официального оппонента

на диссертационную работу Герасименко Никиты Васильевича
«Система оперативного дистанционного контроля состояния
пенополиуретановой изоляции труб на основе импульсной рефлектометрии
и цифровых датчиков влажности», представленной на соискание ученой
степени кандидата технических наук по специальности
05.11.13 «Приборы и методы контроля природной среды,
веществ, материалов и изделий»

1 Соответствие диссертации специальности и отрасли науки, по которым она представлена к защите

Диссертационная работа Н. В. Герасименко посвящена совершенствованию технологии оперативного дистанционного контроля состояния жёстких и гибких труб с пенополиуретановой теплоизоляцией и разработке эффективных способов и средств неразрушающего контроля тепловых сетей и других объектов теплоэнергетического комплекса.

Таким образом диссертационная работа Н. В. Герасименко полностью соответствует отрасли технических наук и паспорту специальности 05.11.13 «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий».

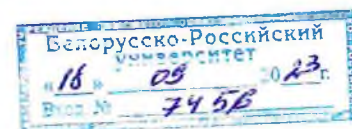
2 Актуальность темы диссертации

В настоящее время в различных отраслях промышленности широко применяются объекты большой длины, имеющие сложный профиль и состоящие из большого количества элементов. Для контроля их состояния необходимы соответствующие способы, средства и технологии дефектоскопии.

Правительство Республики Беларусь пристальное внимание уделяет вопросам экономного и эффективного использования топливно-энергетических ресурсов. Их решению в значительной степени содействует применение труб, предварительно изолированных пенополиуретаном (ППУ), при создании и реконструкции действующих тепловых сетей в различных городах Республики Беларусь. Интерес к рассматриваемому типу трубопроводов подтверждается многочисленными публикациями, отражающими исследования конструктивных особенностей, надежности и долговечности, проблеме энергетических потерь и методам контроля состояния данных объектов.

Анализ показывает, что критерий энергетических потерь в тепловых сетях является крайне важным в эксплуатации трубопроводов тепловых сетей в условиях мировой политики энергосбережения.

Для эффективной эксплуатации трубопроводов с ППУ-изоляцией необходимо обеспечить отсутствие дефектов. При этом важным моментом является развитие методов, а также разработка, внедрение и поддержание в



актуальном состоянии технических средств, реализующих прогнозирование и оперативное выявление дефектов данных объектов.

На основании вышеизложенного можно утверждать, что работа Н. В. Герасименко представляет актуальное направление исследований, и соответствует п. 4 «Машиностроение, машиностроительные технологии, приборостроение и инновационные материалы» перечня приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 гг. (Указ Президента Республики Беларусь №156 от 07.05.2020 г.).

3 Степень новизны результатов, полученных в диссертации, и научных положений, выносимых на защиту

Результаты диссертационной работы и научные положения, выносимые на защиту, являются принципиально новыми.

1 Сюда можно отнести разработку математической модели измерительного тракта системы оперативного дистанционного контроля (СОДК) в режиме импульсной рефлектометрии на основе телеграфных уравнений, учитывающей волновое сопротивление линии, коэффициент укорочения, а также пространственную неоднородность свойств ППУ. Результаты эксперимента подтвердили правильность предложенной модели в широком диапазоне варьируемых параметров.

2 Так, автору на основе выявленных закономерностей временной эволюции зондирующих импульсов при заданных параметрах измерительного тракта СОДК, удалось определить оптимальные значения их длительности, получить аналитические формулы, связывающие амплитуду отражённого импульса с параметрами измерительного тракта.

3 Исследование водопоглощения жестких ППУ, используемых в качестве теплоизоляции труб, позволило рассчитать коэффициенты диффузии и исследовать динамику увлажнения ППУ-слоя.

Признаки **новизны** имеют также следующие результаты диссертационной работы:

– установленные экспериментально. закономерности увлажнения слоя ППУ-изоляции при наличии локализованного дефекта, через который осуществляется утечка теплоносителя, или нарушения целостности гидрозащитной оболочки.

– разработка конструкции цифровых датчиков влажности и температуры, позволяющих повысить точность локализации повреждений теплоизоляции, и давшая возможность на порядок уменьшить время реакции системы на появление повреждения по сравнению с традиционной системой на основе измерения электрического сопротивления.

4 Обоснованность и достоверность основных результатов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Приведенные в диссертации результаты и рекомендации объективны и являются обоснованными, выводы аргументированы, вытекают из содержа-

ния проведенных исследований и отражают научные положения, представленные в работе.

5 Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации

Научная значимость основных положений диссертации заключается в том, что автор развил представления об измерительном тракте (линии) СОДК как структуре, в которой распространяются электромагнитные волны ТЕМ-типа, выразившееся в разработке математической модели измерительного тракта СОДК в режиме импульсной рефлектометрии на основе телеграфных уравнений, учитывающей волновое сопротивление линии, коэффициент укорочения, а также пространственную неоднородность свойств ППУ.

Установление закономерностей изменения диэлектрической проницаемости и электрического сопротивления ППУ-изоляции в широком диапазоне плотностей материала и его влажности для разных сочетаний компонентов ППУ, позволило исследовать временную эволюцию зондирующих импульсов при заданных параметрах измерительного тракта СОДК, определить оптимальные значения длительности зондирующих импульсов, а также получить аналитические формулы, связывающие амплитуду отраженного импульса с параметрами измерительного тракта.

Практическая значимость результатов работы состоит в:

- разработке цифровых датчиков влажности и температуры теплоизоляции из ППУ и СОДК ее состояния на основе этих датчиков, предназначенную как для мониторинга состояния традиционных, так и гибких труб;
- усовершенствовании методики оперативного дистанционного контроля состояния теплоизоляции, позволившей повысить точность обнаружения её повреждений до $\pm 1,5$ м.

Экономическая эффективность проведенных Н. В. Герасименко исследований нашла отражение при разработке цифровой системы оперативного дистанционного контроля, внедрённой на ЗАО «Завод полимерных труб».

Полученные результаты могут быть использованы в различных отраслях промышленности и на предприятиях жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь.

Социальная значимость диссертации Н. В. Герасименко состоит в следующем:

- использование разработанных автором методик и технических средств для их реализации позволит повысить эффективность работы потенциально опасных объектов, к которым можно отнести тепловые сети, и тем самым снизить вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций в реальном секторе экономики;
- применение в Белорусско-российском университете (г. Могилев) разработанной автором математической модели, методики численного интегрирования и лабораторной установки позволит повысить качество образовательного процесса.

Социально-экономическая значимость исследований, проведённых Н. В. Герасименко, также состоит в повышении надежности и безопасности эксплуатации технических объектов, снижении материальных затрат в ходе диагностировании их состояния и при проведении ремонтных работ.

6 Опубликованность результатов диссертации в научной печати

По материалам диссертационной работы опубликовано 27 научных работ, из которых в соответствии с п. 18 «Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь» 6 статей в научных журналах, включённых в перечень ВАК и других рецензируемых журналах, 7 работ в сборниках трудов, 14 в сборниках материалов конференций, получен патент на полезную модель и свидетельство о регистрации программного обеспечения (всего 4,3 п. л.)

Опубликованные работы соответствуют теме диссертационной работы. Автореферат диссертационной работы полностью отражает содержание диссертационной работы, ее цели, задачи и выводы.

7 Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК

Диссертация Н. В. Герасименко является законченной квалификационной научной работой, выполненной под руководством доцента С. В. Болотова, и отвечает требованиям гл. 3 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь.

Диссертация состоит из оглавления, перечня условных обозначений, введения, общей характеристики работы, 4 глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Работа содержит 119 страниц, в том числе, 98 страниц текста, 48 рисунков, 7 таблиц, список использованных источников из 104 наименований (в том числе список публикаций соискателя из 28 наименований) на 13 страницах и 2 приложения на 7 страницах.

Материал в диссертационной работе и автореферате изложен с использованием терминологии, принятой в данной предметной области, текст диссертации написан лаконичным языком и представлен в логической последовательности, иллюстрации достаточно полно поясняют и отражают основные результаты работы.

8 Замечания по диссертации

Принципиальных замечаний по диссертации у оппонента нет. К замечаниям редакционного и рекомендательного характера относятся следующие.

По оформлению и стилю изложения.

Имеются опiski: (с. 43) в **за(в)исимости**;

– (с. 59) позиции на рисунке 3.6 и подрисуночные подписи не совпадают;

– автор использует различные формы для выражения времени: **секунда** и **с**, **час** и **ч**.

Имеют место несогласование и неудачно сформулированные фразы,

например,

– (с. 34) «... *влажностное состояние ППУ*», «... безразмерную *величину* – массовую долю поглощённой воды, представляющую собой отношение», «... позволит рассчитать *коэффициент* диффузии влаги, необходимого(ый) для дальнейшего построения математической модели»;

– (с. 40) Не ясен смысл выражения: «...используемые методы и измерительные средства не позволяют установить существенного различия в диэлектрической проницаемости в зависимости от используемых реактивов. Таким образом, представленные ниже *результаты экспериментов являются обобщенными*»;

– (с. 40) «Прямоугольный волновод *размерами* $22,8 \times 9,8$ мм ...»;

– (с. 41) «... анализ этой информации позволяет *получить* длину электромагнитной волны λ_s в исследуемом волноводе» (скорее *определить*, или *оценить*, однако автор не приводит значение λ_s , а из рисунка 2.8 не ясно как это сделать);

– (с. 42) «...*наблюдается* снижение диэлектрической проницаемости *наблюдается* на частотах $f > 3$ кГц, что также *наблюдается* и для ППУ»;

– «... диэлектрическая проницаемости ППУ изоляции ... *лежит* в диапазоне $\varepsilon = 1,2 \dots 1,4$ »;

– (с. 46) «Теория длинных линий успешно применяется для решения задач, связанных с математическим моделированием процессов в ... линиях электропередач, линий связи ...»;

– (с. 48) Рисунок 3.1 – Электростатическая модель системы проводников СОДК в сечении: заряженная нить ...;

– (с. 49) «... в поперечном сечении ТЕМ-структуры *можно рассмотреть* криволинейные интегралы, соответствующие понятиям напряжения и тока...»; «Учитывая *сказанное выше*, ...»; Схема замещения характеризуется следующими **параметрами: параметрами ...**»;

– (с. 50) «... линия СОДК описывается **парой уравнений** гиперболического типа, известной(ых) как телеграфные уравнения»;

– (с. 59) Экспериментальные исследования диэлектрической проницаемости ППУ ... *показывают*, а также экспериментальные исследования, выполненное при помощи установки, ... *показали ...*»;

– (с. 64) «...можно получить следующую приближенную аналитическую формулу, позволяющую оценить амплитуду отраженный сигнал».

– (с. 69) «Изгибы и намотка проводника на центраторы недопустимы, поскольку первое приводит к нарушению однородности ..., а второе к *изменению* индуктивности на этом участке».

По содержанию:

– Как следует из таблицы 2.1 (с. 33) автор исследует три набора (сочетания) образцов: 1) Изолан А350 – Voranate М229; 2) Эластопор Н2130 – IsoPMDI 92140; 3) Изолан А350ф – Voranate М229 (плотность 60 и 80 кг/м³), хотя в дальнейшем исследования различных характеристик проводятся не для всех.

– Формула (2.1), фактически определяет зависимость коэффициента диффузии D от толщины d и времени t . Не ясно, как, используя её, автор получил зависимость коэффициента диффузии от плотности ППУ (рисунок 2.4)?

– Автор не уточняет как соотносятся коэффициент укорочения n и эффективный показатель преломления материала n_{eff} ;

– Автор не совсем корректно интерпретирует результаты измерения диэлектрической проницаемости разными методами (с. 42). Она не снижается при увеличении частоты, просто результаты измерения на $f = 10$ ГГц получаются заниженными по сравнению с $f = 10$ кГц.

– На рисунке 2.10 отсутствует аппроксимация экспериментальных данных;

– (с. 45) Диапазон плотности $\rho = 60 \dots 85$ кг/м³ ППУ на основе компонентов Изолан А350 + Voranate М229, Эластопор Н2130 + IsoPMDI 92140, о котором говорится в выводах не соответствует данным таблицы 2.1;

– (рисунок 3.5) Под выражением «рефлектограмма в нормальном состоянии», автор, очевидно, подразумевает «рефлектограмма бездефектной линии»?

– Почему область увлажнения (пространственное образование) характеризуется только шириной? Какими значениями ограничивается локальность дефекта?

– (с. 61) Нет вывода формул 3.12 и 3.13 для зависимости амплитуды отражённого импульса от величины электрического сопротивления теплоизоляции и переходного сопротивления.

Как следует из материалов диссертации автор положил в основу своих исследований традиционную импульсную рефлектометрию. Однако у неё есть альтернатива в виде *шаговой рефлектометрии*, когда передатчик непрерывно отправляет сигналы, и одновременно приёмник прослушивает отражённые сигналы. Это означает отсутствие проблемы «мёртвой зоны», и избавляет оператора от необходимости настройки ширины зондирующего импульса и обеспечивает возможность быстрого проведения полноценной оценки контролируемого объекта.

Постоянно транслируемый «шаговый» сигнал позволяет сразу же получить всю необходимую информацию, включая распределение значений сопротивления по всей длине контролируемого объекта. К тому же, более высокая энергия сигнала рефлектометра, использующего шаговый подход к измерению, имеет лучшее значение параметра «соотношение сигнал/шум», что позволяет эффективно бороться с помехами, которые ухудшают принимаемый отражённый сигнал.

Таким образом, шаговая технология может обеспечить более быстрое и точное тестирование контролируемого объекта, чем традиционная импульсная рефлектометрия.

В главе 4 разработанные автором цифровые датчики влажности и температуры фактически имеют одну элементную базу, чувствительные элемен-

ты Sensirion SHT21, которые позволяют, используя программное обеспечение, осуществлять расчёт относительной влажности и температуры. Однако автор уделяет основное внимание определению влажности.

Следует отметить, что данные замечания ни в коей мере не снижают высокой научной и практической значимости диссертационной работы и их следует рассматривать как предложения по дальнейшему развитию исследований по теме диссертации.

9 Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Диссертация Н. В. Герасименко «Система оперативного дистанционного контроля состояния пенополиуретановой изоляции труб на основе импульсной рефлектометрии и цифровых датчиков влажности» посвящена актуальной теме, выполнена на высоком научно-техническом уровне, является законченным научным трудом, и по новизне, уровню научной и практической значимости отвечает всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Научные положения и выводы, изложенные в работе, оригинальны и являются результатом самостоятельной научно-исследовательской работы автора.

Основные научные положения диссертации в достаточном объеме отражены в опубликованных автором работах. Содержание автореферата соответствует положениям и выводам, изложенным в диссертации.

Предлагаю присудить Н. В. Герасименко учёную степень кандидата технических наук по специальности 05.11.13 «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий» за **новые научно обоснованные результаты** в области разработки технологий и средств неразрушающего контроля промышленных объектов, включающие:

- представление измерительного тракта (линии) системы оперативного дистанционного контроля (СОДК) в виде структуры, в которой распространяются электромагнитные волны ТЕМ-типа;
- разработку математической модели измерительного тракта СОДК в режиме импульсной рефлектометрии на основе телеграфных уравнений, учитывающую волновое сопротивление линии, коэффициент укорочения, а также пространственную неоднородность свойств ППУ;
- закономерности изменения диэлектрической проницаемости и электрического сопротивления ППУ-изоляции в широком диапазоне плотностей материала и его влажности для разных сочетаний компонентов пенополиуретана;
- выявленные закономерности временной эволюции зондирующих импульсов при заданных параметрах измерительного тракта СОДК, определение оптимальных значений их длительности, а также получение аналити-

ческих формул, связывающих амплитуду отражённого импульса с параметрами измерительного тракта;

– получение экспериментальных закономерностей увлажнения слоя ППУ-изоляции при наличии локализованного дефекта, через который осуществляется утечка теплоносителя, или нарушения целостности гидрозащитной оболочки, позволившее повысить точность обнаружения повреждения теплоизоляции;

– разработку новой системы оперативного дистанционного контроля на основе цифровых датчиков влажности и температуры, позволяющая осуществлять непосредственный контроль состояния ППУ-изоляции жёстких или гибких труб, давая возможность на порядок уменьшить время реакции системы на появление повреждения по сравнению с традиционной системой на основе измерения электрического сопротивления.

– разработку программного обеспечения цифровых датчиков влажности и температуры, блока управления цифровой системой, включающее возможность использования GPS для локации повреждённых участков на местности, а также беспроводную передачу информации,

что в совокупности позволило совершенствовать технологию оперативного дистанционного контроля объектов тепловой энергетики, использование которой повысит их надёжность и безопасность эксплуатации.

Официальный оппонент

Профессор кафедры «Вагоны»,

УО «Белорусский государственный университет транспорта»

доктор технических наук

О. В. Холодилов

Личную подпись тов. О. В. Холодилова
удостоверяю:

Начальник ОК Паранин

