

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе  
Белорусского национального  
технического университета,

доктор экономических наук, доцент

К.В. Якушенко

2023 г.



**ОТЗЫВ**

ОППОНИРУЮЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ –  
БЕЛАРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
на диссертационную работу

Герасименко Никиты Васильевича

**«Система оперативного дистанционного контроля состояния  
пенополиуретановой изоляции труб на основе импульсной  
рефлектометрии и цифровых датчиков влажности»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды,  
веществ, материалов и изделий

**1. Соответствие содержания диссертации заявленной специальностям  
и отрасли науки**

Диссертационная работа Герасименко Н.В. «Система оперативного дистанционного контроля состояния пенополиуретановой изоляции труб на основе импульсной рефлектометрии и цифровых датчиков влажности» выполнена в Межгосударственном образовательном учреждении высшего образования «Белорусско-Российский университет» под научным руководством кандидата технических наук, доцента Болотова С.В. и посвящена исследованию свойств и разработке методов и технических средств дистанционного мониторинга состояния теплоизоляции из пенополиуретана, применяющейся в трубопроводах тепловых сетей.

Объектом исследования является пенополиуретановая изоляция труб тепловых сетей с измерительным трактом системы оперативного дистанционного контроля ее состояния.

Предметом исследования являются физические характеристики пенополиуретановой изоляции, влияющие на эффективность работы системы оперативного дистанционного контроля пенополиуретановой изоляции труб.

Анализ содержания диссертации, автореферата и основных публикаций по теме диссертации показал, что представленные материалы соответствует от-

расли технических наук, пункту 2 «Разработка приборов, систем контроля и автоматизированных контрольно-измерительных комплексов, в том числе с применением комбинированных методов и средств контроля и технической диагностики» паспорта специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий, утвержденного Приказом ВАК Республики Беларусь от 23 ноября 2020 г. от № 277.

## **2. Научный вклад соискателя в решение научной задачи с оценкой его значимости**

Впервые получена математическая модель линии системы оперативного дистанционного контроля состояния пенополиуретановой изоляции труб в режиме импульсной рефлектометрии. Методика математического моделирования включает выявление закономерностей изменения диэлектрической проницаемости и электрического сопротивления ППУ-изоляции в широком диапазоне плотностей материала и его влажности для разных сочетаний компонентов пенополиуретана, а также моделирование и анализ временной эволюции зондирующих импульсов при заданных параметрах измерительного тракта. Математическое моделирование по предложенной методике позволило определить оптимальные значения длительности зондирующих импульсов, а также получить аналитические формулы, связывающие амплитуду отраженного импульса с параметрами измерительного тракта, что, в общем случае, позволило повысить точность обнаружения повреждений теплоизоляции.

Впервые предложена система контроля целостности трубопровода на основе цифровых датчиков влажности с емкостным чувствительным элементом, отличающаяся непосредственным контролем динамики увлажнения теплоизоляционного слоя из пенополиуретана, что позволило уменьшить задержку реакции системы на появление повреждения теплоизоляции и повысить точность его обнаружения.

## **3. Конкретные научные результаты, за которые соискателю может быть присуждена искомая ученая степень**

Научные результаты, за которые соискателю Герасименко Н.В. может быть присуждена ученая степень кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий, состоят в следующем:

– экспериментально установлены зависимости электрического сопротивления и диэлектрической проницаемости от плотности материала в диапазоне 60–80 кг/м<sup>3</sup> и массового содержания влаги в нем до 7 %, показано что снижение электрического сопротивления изоляционного слоя ниже порога срабатывания приборов-рефлектометров 1 кОм наблюдается при содержании влаги более 4 %;

– экспериментально определены скорости диффузии влаги в слое пенополиуретановой изоляции для плотности материала в диапазоне 60–80 кг/м<sup>3</sup> на основе сочетаний компонентов (реактивов) Эластопор Н2130 и полиизоцианат IsoPMDI 92140, Изолан А350 и полиизоцианат Voranate М225;

– разработана математическая модель измерительного тракта системы оперативного дистанционного контроля в режиме импульсной рефлектометрии на основе телеграфных уравнений, учитывающая влияние свойств пенополиуретановой изоляции на вид отраженных сигналов, на основе которой установлена оптимальная длительность зондирующих импульсов 20–40 нс при изменении коэффициента укорочения в интервале 1,09–1,18;

– установлены требования к защите электронных компонентов цифровой системы оперативного дистанционного контроля от воздействия повышенных температур при изготовлении традиционных стальных и гибких труб с пенополиуретановой изоляцией;

– разработана новая система оперативного дистанционного контроля, реализующая непосредственный контроль влажности пенополиуретановой теплоизоляции, способная работать как в составе традиционных стальных труб, так и в составе их гибких труб из полимерных материалов,

что в совокупности вносит существенный вклад в теоретическое и прикладное развитие методов и приборов мониторинга состояния трубопроводов тепловых сетей с пенополиуретановой теплоизоляцией.

Новизна результатов диссертационной работы защищена патентом на изобретение Республики Беларусь.

#### **4. Замечания по диссертации**

При положительной общей оценке диссертации следует отметить следующие замечания:

1. В диссертационной работе отсутствует общая функциональная схема разработанной системы оперативного дистанционного контроля состояния пенополиуретановой изоляции труб, наличие которой могло бы пояснить заложенные принципы в работу системы в целом.

2. Исследования диэлектрической проницаемости материала выполнены на частотах 1 кГц и 10 ГГц, однако в работе не указано, чем обусловлен такой выбор.

3. В главе 3 предложен численный алгоритм со смещением сеток напряжения и тока на половину шага разностной дискретизации, при этом не приводятся преимущества предложенного алгоритма в сравнении, например, с представленной в диссертации центрально-разностной схемой.

4. В главе 4 отсутствует информация о требуемом количестве блоков управления на единицу длины трубопровода и максимальное допустимое число датчиков на один блок управления.

Отмеченные недостатки не влияют на общий положительный вывод о соответствии научной квалификации соискателя ученой степени кандидата технических наук и носят рекомендательный характер.

## **5. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует**

Диссертационная работа Герасименко Н.В. посвящена актуальной теме, выполнена на высоком научном уровне и имеет большое научное и практическое значение. Результаты проведенных исследований и разработок свидетельствуют о высокой квалификации соискателя и перспективности дальнейшей разработки комплексных методов контроля состояния пенополиуретановой изоляции труб на основе импульсной рефлектометрии.

Научные положения и выводы, изложенные в работе, аргументированы теоретически и подтверждены экспериментально, в общем случае, являются результатом самостоятельной научно-исследовательской работы автора.

Диссертация Герасименко Н.В. отвечает требованиям пп. 20–26 Положения о присуждении ученой степени и присвоении ученых званий Республики Беларусь.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации. Содержание диссертации и автореферата изложено в соответствии с принятой терминологией, текст написан лаконично, иллюстрации в полной мере поясняют основные результаты работы. Достоверность и обоснованность основных выводов и положений не вызывает сомнения.

Научные результаты, представленные автором в диссертации, в полной мере опубликованы в 28 публикациях, из них 6 статей в научных журналах, 7 статей в сборниках научных трудов, 1 патент на изобретение. Материалы диссертационной работы апробированы на 16 научных конференциях. Все выводы подтверждены ссылками на работы автора.

Можно сделать вывод о том, что научная квалификация Герасименко Н.В. соответствует требованиям, предъявляемым ВАК Республики Беларусь к соискателям ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

## **6. Рекомендации по практическому применению результатов работы**

Диссертационные исследования содержат теоретические и экспериментальные результаты, которые могут быть использованы производителями технических средств и узлов систем оперативного дистанционного контроля, производителями изолированных пенополиуретаном стальных и гибких полимерных теплоизолированных труб и фасонных изделий, организациями теплоэнергетики, эксплуатирующими трубопроводы бесканальной прокладки.

Результаты, полученные автором, внедрены в производство на ЗАО «Завод полимерных труб» в г. Могилеве, и рекомендованы к практическому использованию Могилевским городским коммунальным унитарным предприятием теплоэнергетики (г. Могилев).

Технические решения, методы и методики дистанционного контроля состояния пенополиуретановой изоляции труб на основе импульсной рефлектометрии и цифровых датчиков влажности используются в образовательном процессе Межгосударственного образовательного учреждения высшего образования «Белорусско-Российский университет» на кафедре «Физические методы контроля».

## **Заключение**

Проведенный анализ диссертации и автореферата Герасименко Н.В. позволяет сделать следующее заключение:

Диссертационная работа посвящена актуальной теме, выполнена на высоком научном уровне и имеет важное практическое значение в сфере методов и приборов мониторинга состояния трубопроводов тепловых сетей с пенополиуретановой теплоизоляцией.

Научные положения и выводы, изложенные в работе, аргументированы теоретически и подтверждены экспериментально. Результаты проведенных исследований, а также основные научные положения и выводы оригинальны и являются результатом самостоятельной научно-исследовательской работы автора.

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

Диссертационная работа Герасименко Н.В. на тему «Система оперативного дистанционного контроля состояния пенополиуретановой изоляции труб на основе импульсной рефлектометрии и цифровых датчиков влажности», является завершенной научно-исследовательской квалификационной работой, соответствует требованиям п. 20–26 «Положения о присуждении ученой степени и присвоении ученых званий в Республике Беларусь» и удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

Герасименко Н.В. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий за совокупность новых научно обоснованных результатов теоретических и экспериментальных исследований, включающих:

– впервые полученную методику математического моделирования измерительного тракта системы дистанционного контроля в режиме импульсной ре-

флектометрии на основе телеграфных уравнений, учитывающую влияние временной эволюции зондирующих импульсов при заданных параметрах измерительного тракта и свойств пенополиуретановой изоляции на вид отраженных сигналов, что позволило установить оптимальный диапазон ширины зондирующего сигнала составляющего от 20 до 40 нс при изменении коэффициента укорочения в интервале от 1,09 до 1,18.

– разработанную новую систему оперативного дистанционного контроля, содержащую цифровые датчики влажности с емкостным чувствительным элементом и блок управления, позволяющую повысить скорость реакции на изменение влажности теплоизоляционного слоя из пенополиуретана до 10 раз по сравнению с импульсной рефлектометрией, на основе динамики измерения температуры определить вид повреждения.

Отзыв оппонирующей организации, подготовленный экспертом кандидатом технических наук, доцентом, доцентом кафедры «Информационно-измерительная техника и технологии» Пантелеевым К.В., назначенному приказом БНТУ от 13.09.2023 № 682, рассмотрен на научном собрании кафедры «Информационно-измерительная техника и технологии», на котором соискатель выступил с докладом (протокол № 1 от 14 сентября 2023 года).

Отзыв обсужден и принят по результатам открытого голосования, в котором приняло участие 2 доктора и 10 кандидатов наук.

Результаты открытого голосования:

«за» – 12, «против» – нет, «воздержалось» – нет.

Председатель  
заведующий кафедрой «Информационно-измерительная техника и технологии»  
приборостроительного факультета БНТУ,  
к.т.н., доцент

Р.И. Воробей

Эксперт  
доцент кафедры «Информационно-измерительная техника и технологии»  
приборостроительного факультета БНТУ,  
к.т.н., доцент

К.В. Пантелеев

Секретарь  
доцент кафедры «Информационно-измерительная техника и технологии»  
приборостроительного факультета БНТУ,  
к.т.н., доцент

А.К. Тявловский