

## 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», представленную на соискание ученой степени

кандидата технических наук по специальности

05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий

### 1. Актуальность темы диссертации

Теплоснабжение является одной из основных потребностей жизнеобеспечения населения в городах и организации производственной деятельности. Эффективность и безопасность систем теплоснабжения зависит от качества и состояния трубопроводов тепловых сетей, при помощи которых осуществляется транспортировка теплоносителя от источников тепла к потребителям. В современных теплосетях широкое распространение получили трубы с теплоизоляцией из пенополиуретана, обладающие высокой энергоэффективностью, экологичностью и длительными сроками эксплуатации. Тем не менее тепловые сети подвержены различным негативным факторам, включая коррозию, механические повреждения, воздействие температурных перепадов, повреждение и старение теплоизоляции. Наиболее опасными являются повреждения, приводящие к утечке теплоносителя, что приводит к увеличению энергетических потерь при транспортировке теплоносителя и часто становится причиной аварийных ситуаций, что может повлечь значительные затраты на восстановление и является риском для здоровья людей. Учитывая сказанное выше, в процессе эксплуатации тепловых сетей с теплоизоляцией из пенополиуретана особой актуальностью выделяется задача обеспечения постоянного мониторинга состояния этих объектов и разработка для этой цели современных технических средств. Этим вопросам посвящена диссертация Герасименко Н. В.

Актуальность темы диссертации соискателя также подтверждается соответствием пункту 4 «Машиностроение, машиностроительные технологии, приборостроение и инновационные материалы» перечня приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021-2025 годы в соответствии с Указом Президента Республики Беларусь №156 от 07.05.2020 г. Востребованность результатов исследований реальным сектором подтверждается патентами и актами внедрения в производство и учебный процесс.

## **2. Соответствие диссертации специальности и отрасли науки, по которым она представлена к защите**

Диссертация Герасименко Н. В. Посвящена разработке системы оперативного дистанционного контроля, основанной на импульсной рефлектометрии и цифровых датчиках влажности, предназначенной для контроля состояния труб теплосетей с пенополиуретановой теплоизоляцией. Диссертационная работа *соответствует* паспорту специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий, а именно *пункту 2* «Разработка приборов, систем контроля и автоматизированных контрольно-измерительных комплексов, в том числе с применением комбинированных методов и средств контроля и технической диагностики». В соответствии с паспортом указанной специальности диссертация *соответствует* отрасли технических наук.

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

Автором разработаны технические средства для мониторинга состояния пенополиуретановой изоляции труб, используемых в тепловых сетях, основанные на методе импульсной рефлектометрии и контроле влажности при помощи цифровых датчиков, позволяющие повысить скорость обнаружения новых дефектов и улучшить точность их локализации. К числу наиболее важных научных результатов, характеризующихся новизной, можно отнести следующие:

1) Экспериментально полученные коэффициенты диффузии и кривые изменения влажности в слое пенополиуретановой изоляции различной плотности в диапазоне от 60 до 80 кг/м<sup>3</sup> и двух сочетаний химических компонентов, что *позволило* установить интервал времени, про истечение которого наличие утечки через сквозное повреждение трубы или защитной оболочки может быть зарегистрировано приборами.

2) Экспериментально полученные зависимости диэлектрической проницаемости пенополиуретана от плотности и массового содержания влаги, а также его электрического сопротивления от массового содержания влаги для двух различных сочетаний химических компонентов, *позволяющую* установить пороговые уровни срабатывания для системы оперативного дистанционного.

3) Предложенную математическую модель измерительной линии системы оперативного дистанционного контроля, работающей в режиме импульсной

рефлектометрии, основанную на телеграфных уравнениях распределенных электрических цепей, и *позволяющую* использовать установленные экспериментально электрические свойства пенополиуретана для моделирования и исследования механизма распространения, трансформации и отражения зондирующих импульсов, *установить* оптимальную длительность зондирующих импульсов, рассчитать коэффициенты укорочения волны и дать рекомендации практического характера, что в совокупности позволяет повысить точность локализации утечки теплоносителя указанным методом.

4) Предложенную систему оперативного дистанционного контроля с цифровыми датчиками влажности и цифровой обработкой измерительной информации, учитывающую конструктивные особенности жестких и специализированных гибких труб с пенополиуретановой изоляцией, что *позволяет* реализовать дистанционный мониторинг труб с полимерной основой, снизить влияние шумов, свойственных аналоговым системам, а также повысить скорость срабатывания системы при появлении дефекта и использовать возможность идентификации датчика, как следствие, определенного участка теплосети по его цифровому коду и использовать возможности навигации для его поиска.

#### **4. Обоснованность и достоверность основных результатов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Сформулированные в диссертации Герасименко Н. В. научные выводы и практические рекомендации подтверждаются комплексным применением современных, изложенных в ГОСТ методов исследования, теоретические исследования выполнены на основе классических методов математической физики, а используемые численные методы интегрирования дифференциальных уравнений сопровождаются подробным исследованием устойчивости. Результаты математического моделирования сравниваются с экспериментальными, разработанные технические средства также прошли испытания на опытных образцах, получены акты внедрения, патент на полезную модель и свидетельство о регистрации компьютерной программы, что в совокупности свидетельствует об обоснованности и достоверности полученных результатов.

#### **5. Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации с указанием рекомендаций по их использованию**

*Научная значимость* результатов данного диссертационного исследования заключается в получении экспериментальных зависимостей свойств пенополиуретановой изоляции от плотности и массового содержания влаги,

разработке теоретических основ локации повреждений при помощи систему оперативного дистанционного контроля в режиме импульсной рефлектометрии.

*Практическая значимость* работы заключается в разработке технических средств для мониторинга состояния пенополиуретановой изоляции труб в тепловых сетях.

*Экономическая и социальная значимость* заключается в реализованной возможности своевременно обнаруживать повреждения теплосетей и предотвратить аварийные ситуации, приводящие к энергетическим потерям, сбоям в теплоснабжении и затратам на ремонт поврежденного участка.

## **6. Опубликованность результатов диссертации**

Основные результаты диссертации Герасименко Н.В. опубликованы в 13 статьях, 4 из которых представлены в изданиях, включенных в перечень изданий ВАК, рекомендованных для публикации результатов диссертационных исследований по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий, а также 14 тезисах докладов. Большинство публикаций автора являются индивидуальными или же опубликованы в соавторстве с научным руководителем. Получен патент Республики Беларусь на полезную модель и свидетельство о регистрации компьютерной программы.

## **7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК**

Диссертация Герасименко Н. В. Является логичной законченной научно-исследовательской работой, которая выполнена автором самостоятельно, по объему и содержанию соответствует пунктам 24-26 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий.

Структура диссертации соответствует Постановлению ВАК Республики Беларусь о порядке оформления диссертации, диссертации в виде научного доклада, автореферата диссертации и публикаций по теме диссертации и включает следующие структурные элементы: содержание, перечень сокращений и обозначений, введение, общая характеристика работы, четыре главы, заключение, список использованных источников и два приложения.

Оформление диссертации соответствует требованиям ВАК, материал изложен последовательно и логично. Имеются незначительные опечатки и неточности в подрисуночных подписях, не влияющие на значимость работы. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

## **8. Замечания по диссертации и автореферату:**

1. Из текста диссертации (указано в положениях, выносимых на защиту), не ясно, по каким критериям слой защитного материала (пенополиуретановой изоляции) может считаться “плоским”, так как трубы имеют конкретный (не бесконечный) радиус кривизны, а измерения проводятся не в терагерцовом диапазоне.
2. На рисунке 3.5 (Рефлектограммы экспериментального участка линии СОДК) зависимости 1 и 2 до 120 метров, фактически, имеют сходный характер. При этом, из текста диссертации не понятно, какое явление наблюдается в интервале от 10 до 25 метров.
3. Математическая модель строится с учетом бесконечности линии для пренебрежения отраженными от края волнами. Достоверность полученных теоретическим путем результатов оценивается путем сравнения с результатами экспериментов на линии вполне конкретной длины в 140 м. Не понятны основания выбора такой длины.
4. При прокладке теплотрасс нормирован минимальный уклон порядка 2 градусов. Максимальный зависит от целого ряда факторов. В частности, иногда выгоднее сделать вертикальный подъем трубопровода. Не понятно, учитывается ли в разработанной модели дополнительно глубинное распределение влаги. И каким образом можно локализовать место дефекта, если течь будет больше с одной стороны от дефекта по мере подъема трубы.
5. Можно ли говорить об учете неоднородности диэлектрической проницаемости в диапазоне 1.2-1.4 и каким образом он происходит, если на расстояниях порядка 130 м учитываться может только усредненное значение, а обнаружение зоны повреждения производится при существенном увеличении диэлектрической проницаемости за счет влагосодержания.
6. Считаю, что для валидации результатов было бы полезным дополнительно разработать и проанализировать аналитическую модель с использованием какого-либо коммерческого продукта, использующего метод конечных разностей, и позволяющего производить расчеты во временной области (в частности, COMSOL).
7. Датчики температуры/влажности имеют свои технические характеристики, описывающие условия эксплуатации. Не ясно, почему понадобился эксперимент с использованием экструдера для изготовления ПИ трубы с изоляцией, чтобы протестировать датчики. Не ясно на рис. 4.1 и 4.5, что имеется в виду (какое состояние системы) под нулевым отсчетом?
8. С учетом того, что только Филиал «Минские тепловые сети» РУП «Минскэнерго» обслуживает 2 643,364 км трубопроводов тепловых сетей, не ясно, насколько экономически выгодным может быть использование предлагаемой системы, датчики которой размещаются на расстоянии 1 м.

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

Анализ диссертационной работы, выполненной Герасименко Н. В., показал достойный исследовательский уровень соискателя, способность к творческой научно-исследовательской работе и уверенное владение математическими методами, применяемыми в рамках выбранной специальности, что позволило ему внести существенный вклад в развитие систем мониторинга состояния тепловых сетей на основе электрических методов неразрушающего контроля.

Считаю, что научная квалификация соискателя соответствует ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

### **Заключение**

По совокупности полученных результатов диссертация Герасименко Н. В. является законченной научно-исследовательской квалификационной работой, которая посвящена задаче мониторинга состояния пенополиуретановой изоляции тепловых сетей электрическими методами неразрушающего контроля. В соответствии с пунктом 20 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий Герасименко Никите Васильевичу может быть присуждена ученая степень кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий **за:**

1) установленные зависимости электрического сопротивления, диэлектрической проницаемости и коэффициентов диффузии влаги от плотности материала в диапазоне 60...80 кг/м<sup>3</sup> с учетом массового содержания воды в образцах, полученных из двух наборов реактивов: Эластопор H2130+IsoPMDI 92140; Изолан A350+Voramate M225, позволившие оперативно выявлять повреждения в теплосетях.

2) предложенную математическую модель измерительной линии системы оперативного дистанционного контроля в режиме импульсной рефлектометрии, основанную на телеграфных уравнениях распределенных электрических цепей, позволяющую анализировать процесс диагностики теплоизоляции, определить оптимальный диапазон длительности импульса 20...40 нс в линиях с волновым сопротивлением 308...350 Ом и коэффициентом укорочения волны 1,09...1,18, что с

учетом сформулированных практических рекомендации позволяет достичь точности локализации дефекта до 1,5 м.

3) новую цифровую систему оперативного дистанционного контроля, позволяющую улучшить реакцию системы на изменение влажности теплоизоляционного слоя из пенополиуретана до 10 раз за счет непосредственного контроля влажности теплоизоляции и обеспечить работоспособность в составе как традиционных жестких, так и гибких труб с пенополиуретановой изоляцией.

Официальный оппонент,  
кандидат технических наук, доцент  
ведущий научный сотрудник лаборатории  
радиотомографии Института прикладной  
физики НАН Республики Беларусь

*Максимов*

Е. С. Максимович

