

УДК 620.179

## ИСПЫТАНИЕ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ПЕНОПОЛИУРЕТАНОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ С ЦИФРОВЫМИ ДАТЧИКАМИ ВЛАЖНОСТИ

*С. В. БОЛОТОВ, Н. В. ГЕРАСИМЕНКО, В. Н. ПОЧУЙКО*

ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет»

Могилев, Беларусь

UDC 620.179

## TEST OF THE POLYURETHANE-INSULATED PIPELINE MONITORING SYSTEM WITH DIGITAL HUMIDITY SENSORS

*S. V. BOLOTOV, N. V. HERASIMENKO, V. N. POCHUYKO*

### Аннотация

Применение цифровых датчиков влажности позволяет усовершенствовать возможности существующей системы контроля трубопроводов с теплоизоляцией из пенополиуретана, основанной на измерении электрического сопротивления между специальным медным проводом и металлической трубой. На основе экспериментальных и теоретических исследований были разработаны и протестированы программно-аппаратные средства контроля состояния пенополиуретановой изоляции.

### Ключевые слова:

пенополиуретан, трубопровод, контроль, влажность.

### Abstract

Current polyurethane-insulated pipeline monitoring system, based on the measurement of the electrical resistance between the metal pipe and the copper wire, can be replaced by the new system that uses digital humidity sensors. Basing the research on that assumption, the technique and the hardware-software facilities of the humidity level monitoring system implementation were developed and tested.

### Key words:

polyurethane, monitoring, humidity, control, measurement.

Система оперативного дистанционного контроля (СОДК) состояния пенополиуретановой (ППУ) изоляции трубопроводов тепловых сетей с цифровыми датчиками влажности была предложена в качестве альтернативы существующей СОДК, основанной на измерении электрического сопротивления изоляционного слоя и применении рефлектометров для локализации мест повреждения [1, 2].

Задача СОДК с цифровыми датчиками влажности – повысить точность и достоверность обнаружения участков теплоизоляции с повышенной влажностью в теплосетях, состоящих из труб, предизолированных пенополиуретаном. Кроме этого, применение цифровых компонентов в СОДК дает следующие преимущества:

- регистрация факта и степени увлажнения теплоизоляционного слоя;
- возможность привязки цифрового кода каждого датчика к схеме трубопровода, что позволит с точностью установки датчиков обнаружить место повреждения без использования дополнительного локатора;
- контроль температуры позволяет осуществлять температурную коррекцию показаний влажности;
- высокая помехоустойчивость, удобство представления информации, возможность ее хранения.

В процессе разработки СОДК с цифровыми датчиками влажности одним из важных вопросов является выбор электронных компонентов, способных работать в условиях повышенных температур, возникающих в процессе химической реакции компонентов ППУ и в процессе эксплуатации теплосети.

В результате теоретических и экспериментальных исследований [3], были подобраны цифровые чувствительные элементы, удовлетворяющие указанным условиям эксплуатации. Типы применяемых чувствительных элементов представлены в табл. 1.

Табл. 1. Характеристики чувствительных элементов датчика влажности

Тип	Производитель	Внешний вид	Габариты, мм	Точность измерения влажности \ температуры	Рабочая температура, °С
HTU21	Measurement Specialties (Франция)		3x3x0,9	±3 % / 0,3 °С	-40–+125
SHT21	Sensirion (Швейцария)		3x3x1,1	±2 % / 0,3 °С	-40–+125

Разработанный датчик представляет собой устройство, смонтированное на одной печатной плате в защитном корпусе, датчик располагается непосредственно в слое ППУ изоляции труб, фасонных изделий на этапе производства и монтажа стыков. Структурная схема и внешний вид цифрового датчика влажности (ЦДВ) и температуры представлена на рис. 1, а и б соответственно [2].

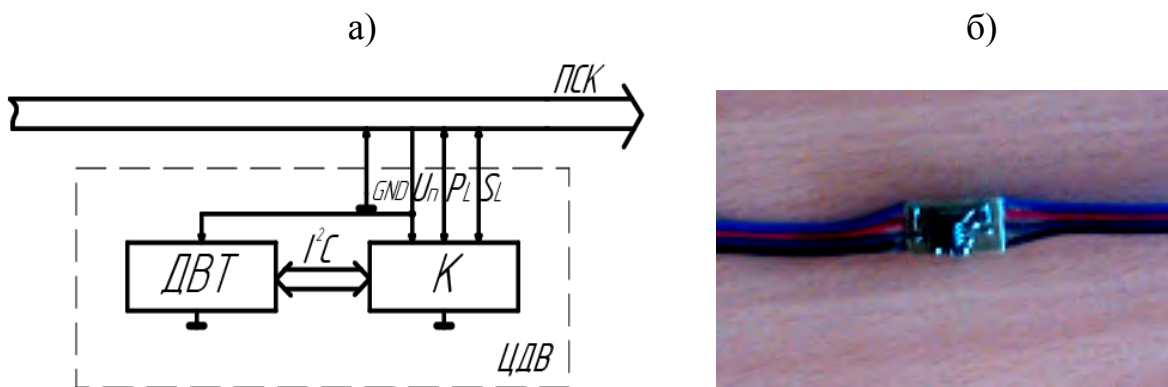


Рис. 1. Цифровой датчик влажности и температуры: ДВТ – датчик влажности и температуры (чувствительный элемент); К – контроллер; ПСК – проводники системы контроля

Для оценки эффективности функционирования СОДК при наличии увлажнения, вызванного утечкой теплоносителя, проведены экспериментальные исследования. В предварительно изготовленный участок трубы диаметром 159 мм и длиной 1 м с искусственно созданным дефектом установлена система (рис. 2), состоящая из трех датчиков, расположенных на расстоянии 300 мм друг от друга и на расстоянии 20 мм от поверхности металлической трубы, что соответствует стандартному расположению проводников традиционной СОДК.



Рис. 2. Экспериментальный образец с системой контроля

При этом датчик №2 расположен непосредственно над дефектом, датчик №1 расположен на стороне подачи теплоносителя, а датчик №3 на выходе (рис. 3). При помощи блока сопряжения (БС) система подключена к компьютеру (ПК) с программным обеспечением для сбора и обработки измерительной информации.

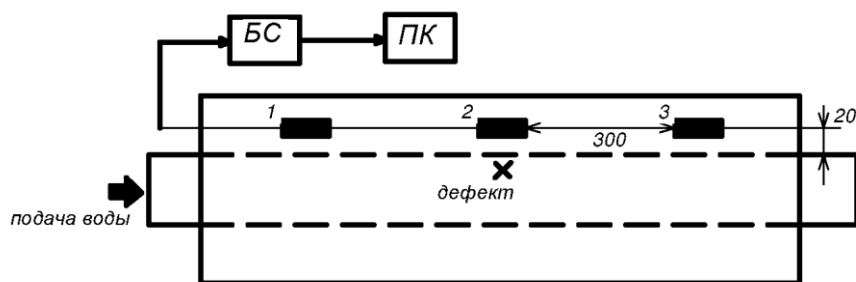


Рис. 3. Расположение датчиков в трубе

Испытания проводились в два этапа. Первый этап заключался в исследовании температуры реакции компонентов ППУ в процессе заливки экспериментального образца. Второй этап заключался в исследовании реакции системы на наличие утечки теплоносителя.

На рис. 4 представлены результаты исследования температуры реакции компонентов ППУ для трёх датчиков. Интервал опроса системы составлял 1 с.

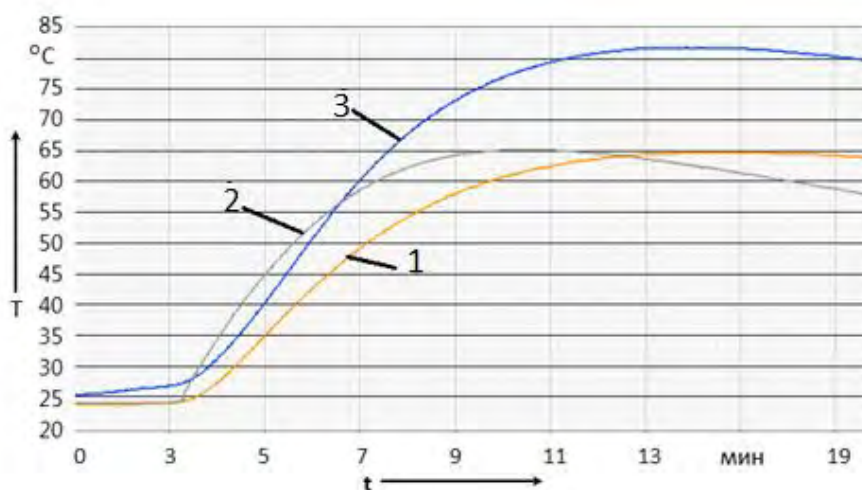


Рис. 4. Мониторинг температуры реакции компонентов ППУ: 1 – датчик № 1; 2 – датчик № 2; 3 – датчик № 3

Анализ графиков показывает, что датчики находятся в разных температурных условиях. Максимальную температуру 82 °С регистрирует датчик № 3, расположенный в месте заливки компонентов ППУ. Из графиков видно, что встроенный датчик температуры позволяет установить время начала и окончания реакции компонентов ППУ, проводить мониторинг температуры в процессе затвердевания. Поскольку процесс реакции и затвердевания является ключевым этапом изготовления труб с ППУ изоляцией, возможность контроля температуры в процессе реакции компонентов позволит оценивать свойства пенополиуретановой изоляции. При этом дополнительное оборудование или установка датчиков температуры не требуется.



Условия проведения испытания реакции системы на наличие утечки теплоносителя представлены в табл. 2.

Табл. 2. Условия проведения испытания

Температура теплоносителя, °С	75
Давление теплоносителя, МПа	1,8
Диаметр искусственного дефекта, мм	5
Интервал опроса системы, с	30

Испытания проводились в течение суток. На рис. 5 представлен график изменения влажности, регистрируемой датчиками.

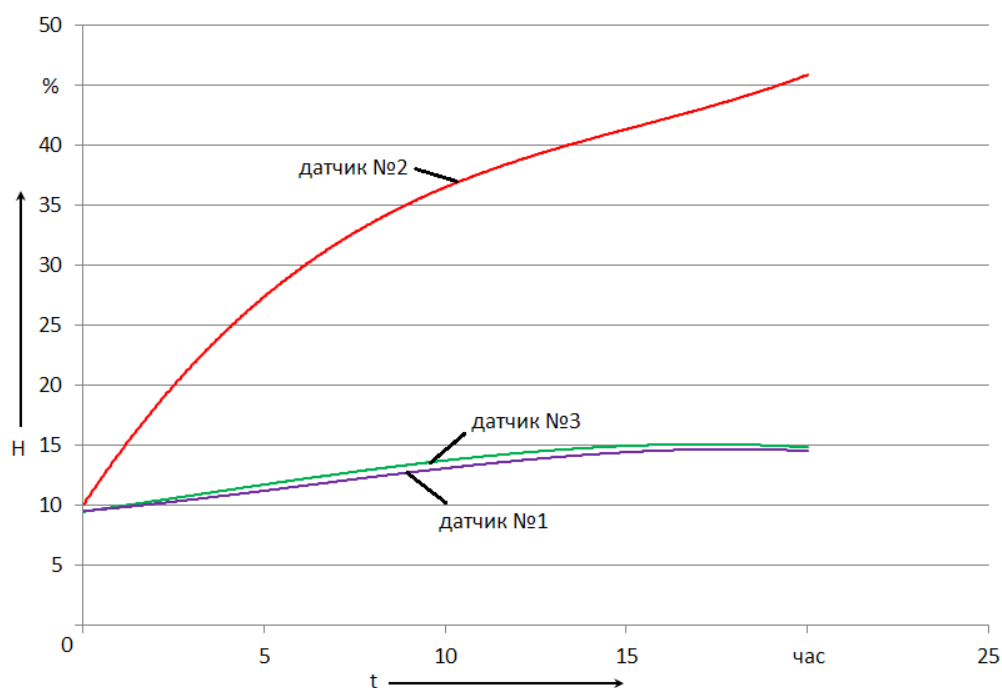


Рис. 5. График изменения влажности, регистрируемой датчиками

Из графика видно, что реакция датчика №2, расположенного непосредственно над дефектом наблюдается менее чем через 1 ч и далее значение регистрируемой влажности увеличивается. При этом скорость изменения влажности на начальном этапе составляет 12 % в час, между 5 и 10 часами – 2% в час и далее – 0,8 % час. Датчики №1 и №3, расположенные на расстоянии 300 мм от дефекта также регистрируют изменение влажности через 3 часа после начала испытаний. Причём скорость изменения влажности гораздо ниже – 0,2 % час.

Наличие датчика температуры позволяет производить температурную корректировку показаний, отслеживать изменение температуры теплоносителя, а также оценивать характер повреждения: защитная оболочка (проникновение грунтовых вод, температура при намокании уменьшается) или металлическая труба (теплоноситель, температура при намокании увеличивается). На рис. 6 представлен график изменения температуры, реги-

стрируемой датчиками. При этом в интервале времени между 16.00 и 7.00 часами температура теплоносителя была снижена с 75 до 60 °С, что четко отслеживается показаниями датчиков.

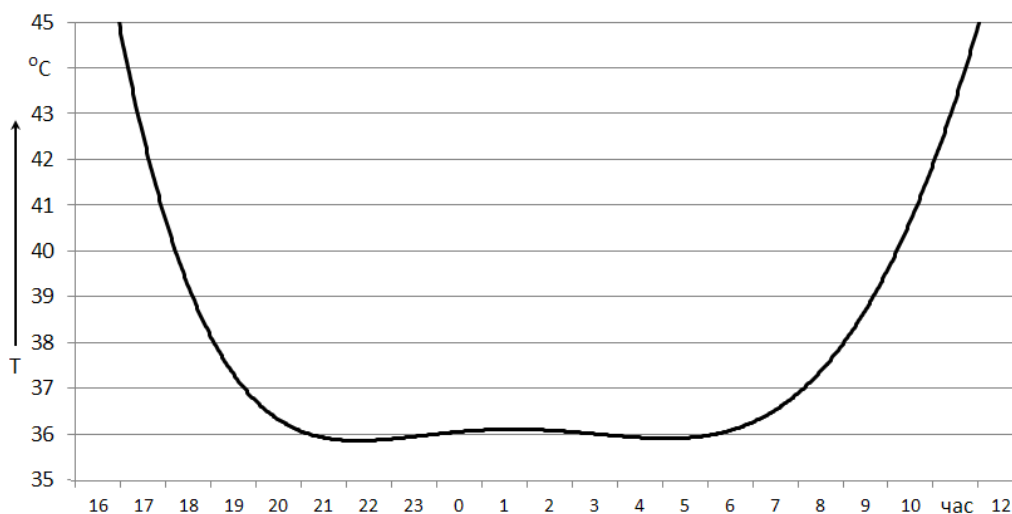


Рис. 6. График изменения температуры, регистрируемой датчиками

Планируется проведение дальнейших экспериментальных исследований функционирования СОДК состояния ППУ изоляции при различных условиях эксплуатации: плотности изоляции (определяется составом компонентов ППУ, условиями заливки, размерами образца), температуры теплоносителя и рабочего давления, размеров дефекта стальной трубы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Болотов, С. В.** О возможности использования датчиков влажности для контроля состояния трубопроводов тепловых сетей / С. В. Болотов, Н. В. Герасименко, М. Акпануром // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф.* – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2015. – С. 281.
2. **Болотов, С. В.** Система оперативного дистанционного контроля состояния пенополиуретановой изоляции трубопроводов тепловых сетей с цифровыми датчиками влажности / С.В. Болотов, Н.В. Герасименко // *Вестн. Белорус.-Рос. ун-та.* – 2016. – № 2(51) – С. 139–147.
3. **Болотов, С. В.** Контроль температуры полимерного покрытия при производстве ПИ-труб / С. В. Болотов, Н. В. Герасименко // *Приборы и методы неразрушающего контроля композиционных материалов : сб. тр. 1-й дистанционной науч.-техн. конф. НККМ-2014.* – СПб, 2015. – С. 172–176.

E-mail: [s.v.bolotov@mail.ru](mailto:s.v.bolotov@mail.ru)  
[gerasimenko\\_nikita@hotmail.com](mailto:gerasimenko_nikita@hotmail.com)