

Цифровая система оперативного дистанционного контроля состояния изоляции гибких ПИ-труб

Болотов С.В., Герасименко Н.В., Почуйко В.Н.
Bolotov S.V., Herasimenko N.V., Pochuyko V.N.

Система оперативного дистанционного контроля с цифровыми датчиками влажности предложена в качестве замены традиционной аналоговой, в основе которой лежит измерение сопротивления пенополиуретановой изоляции трубопроводов тепловых сетей. Цифровые датчики, расположенные в изоляционном слое, обеспечивают прямое измерение влажности и температуры. Рассмотрена возможность применения цифровой системы контроля в гибких предварительно изолированных трубопроводах.

The remote monitoring system with digital sensors was proposed as a replacement for the traditional analog one, which is based on resistance measurement of the heating network pipelines polyurethane insulation layer. Digital sensors inside the insulation layer providing a direct measurement of the humidity level and temperature. The possibility of using the digital control system in flexible polyurethane foam insulated pipelines was considered.

Введение

Гибкие предварительно изолированные (ПИ) пенополиуретаном (ППУ) трубы применяются в тепловых сетях горячего (до 120 °С) и холодного теплоснабжения преимущественно бесканальной прокладки. Данный тип труб позволяет проектировать тепловые сети с возможностью обхода препятствий в виде подземных строений и телекоммуникаций. Гибкая конструкция трубы успешно справляется с компенсацией тепловых перемещений без применения специализированных компенсаторов. Благодаря своим преимуществам, гибкие ПИ-трубы все чаще стали применяться при реконструкции тепловых сетей.

Для стандартных труб и фасонных изделий, предизолированных пенополиуретаном, ГОСТ 30732-2006 предусматривает наличие системы оперативного дистанционного контроля (СОДК) [1]. Работа СОДК основана на измерении сопротивления изоляции между медным сигнальным проводником, проложенном в слое ППУ, и стальной теплонесущей трубой. Намокание изоляции приводит к резкому снижению ее сопротивления, измеряемого детектором повреждений. Для локализации мест увлажнения изоляции на трубопроводе используют импульсные рефлектометры, принцип работы которых основан на изме-

рении времени прохождения по проводнику системы контроля электрического импульса до места намокания.

Применение традиционной аналоговой СОДК в гибких трубопроводах невозможно по следующим причинам:

- отсутствие в гибких ПИ-трубах центрирующих элементов не позволяет закрепить проводники системы контроля, таким образом, невозможно обеспечить фиксированное расстояние от проводника до поверхности трубы;

- если основная труба изготовлена из металла, малое расстояние между поверхностью трубы и проводником системы контроля, вследствие его «провисания», приводит к ложным срабатываниям детекторов повреждений и импульсных рефлектометров, обусловленных низким сопротивлением изоляционного слоя;

- если основная труба изготовлена из полимерного материала, отсутствует возможность измерения сопротивления изоляции относительно её.

Цифровая система оперативного дистанционного контроля была разработана и протестирована как альтернативное решение для мониторинга состояния трубопроводов в ППУ с целью повышения точности обнаружения мест повреждений, обеспечивая при этом достаточный уровень надежности и помехоустойчивости. Для количественной оценки степени увлажнения изоляции было предложено использовать цифровые датчики влажности и температуры, размещенные в слое ППУ изоляции по всей длине трубопровода [2]. Испытания системы контроля на участке стальной ПИ-трубы с искусственным дефектом, имитирующим утечку теплоносителя, показали высокую чувствительность цифровых датчиков влажности и температуры к намоканию ППУ изоляции [3].

На основе имеющейся технологии была разработана цифровая СОДК, модифицированная для применения в гибких ПИ-трубах. При этом потребовалось решить следующие задачи:

- реализация проводника системы контроля, соединяющего цифровые датчики влажности, в виде ленты, так как изготовление гибкой ПИ-трубы осуществляется экструдером и отсутствует возможность их отдельного монтажа. Лента должна обладать достаточным запасом прочности в связи с тем, что возможны ее повреждения в процессе вспенивания компонентов ППУ в пространстве между основной трубой и гидрозакривной оболочкой;

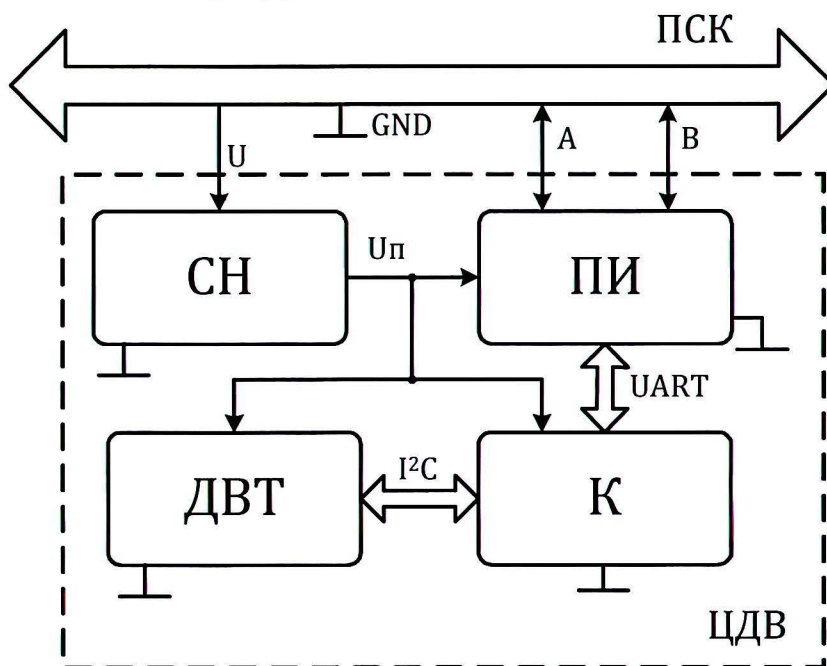
- уменьшение габаритных размеров датчиков. Данное требование обусловлено конструкцией канала, предназначенного для подачи

проводника СОДК в процессе изготовления гибких ПИ-труб. Диаметр такого канала составляет менее 10 мм.

Реализация цифровой СОДК для гибких ПИ-труб

Система оперативного дистанционного контроля, модифицированная для применения в гибких трубопроводах, состоит из: цифровых датчиков влажности (ЦДВ), проводников системы контроля (ПСК), блока управления БУСОДК-02, сервера (С), устройств отображения (УО).

На рисунке 1 представлена структурная схема цифрового датчика влажности и температуры.



ДВТ – датчик влажности и температуры, К – контроллер, СН – стабилизатор напряжения, ПИ – преобразователь интерфейсов;
ПСК – проводник системы контроля

Рисунок 1. Структурная схема цифрового датчика влажности и температуры

Цифровой датчик влажности (ЦДВ) представляет собой устройство, размещенное на печатной плате. ЦДВ соединяют между собой проводником системы контроля (ПСК) и располагают в слое ППУ-изоляции труб в процессе производства. ПСК представляет собой патч-корд UTP 5е и включает 4 сдвоенных проводника: U – напряже-

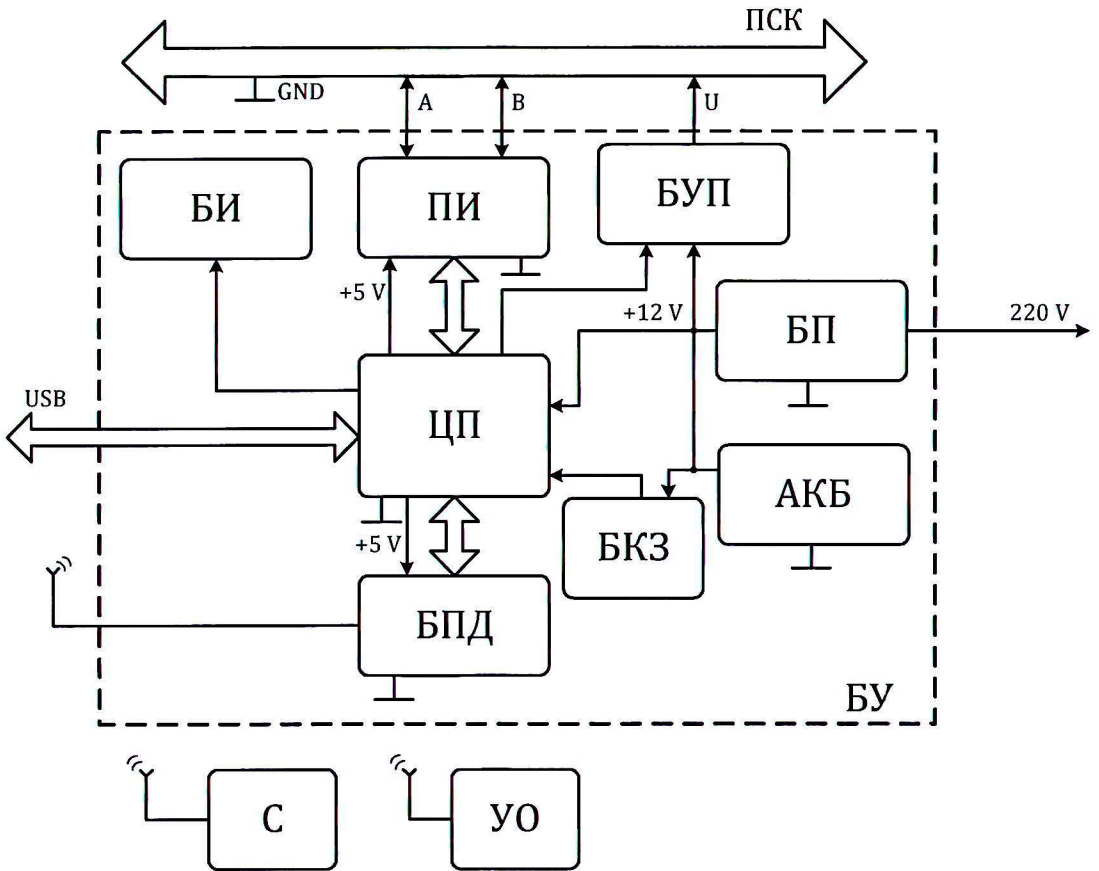
ние питания +15 В, GND – средняя точка источника питания, А, В – инвертирующая и неинвертирующая линии интерфейса RS-485.

В качестве чувствительного элемента используется датчик влажности и температуры (ДТВ) SHT21, имеющий непосредственный контакт чувствительной области с изоляцией трубопровода. ДТВ позволяет контролировать влажность в диапазоне 0%RH – 100%RH с разрешением – 12 бит, погрешностью $\pm 2\%$ и температуру в диапазоне -40С – +125 °С с разрешением 14 бит, погрешностью $\pm 0,3$ °С.

Считывание и первичная обработка измерительной информации осуществляется контроллером (К), реализованным на базе TINY13A, по протоколу I²C. Передача данных на блок управления СОДК посредством ПСК производится по интерфейсу RS-485, для чего на плате установлен преобразователь интерфейсов на микросхеме MAX485. Питание ДТВ, ПИ и К осуществляется напряжением +3,3 В через стабилизатор напряжения на базе микросхемы 78L33.

Блок управления БУСОДК-02 осуществляет сбор, обработку и передачу по каналу GSM оперативной информации о состоянии изоляции трубопровода на сервер и устройства отображения информации (компьютер диспетчера, мобильные устройства ответственных лиц), а также обеспечивает оповещение о наличии мест увлажнения изоляции теплотрассы и низкого заряда аккумуляторной батареи блока управления посредством функции SMS. Структурная схема блока управления представлена на рисунке 3.

Центральный процессор (ЦП) в составе БУСОДК-02, реализованный на ARDUINO UNO, осуществляет управление всеми элементами системы, питание блока передачи данных (БПД) и преобразователя интерфейса (ПИ). Автономное питание системы и датчиков напряжением +12 В производится от аккумуляторной батареи (АКБ) с возможностью зарядки от сети 220 В через блок питания (БП). Для подачи напряжения на проводник системы контроля (ПСК) во время считывания данных с датчиков используется блок управления питанием (БУП). Уровень заряда аккумуляторной батареи контролируется блоком контроля заряда (БКЗ). При недостаточном заряде батареи ЦП формирует через БПД соответствующее GPRS сообщение. Модуль GSM обеспечивает информирование операторов о состоянии теплотрассы при помощи GPRS сообщений, обработка которых осуществляется на сервере (С) или мобильных устройствах отображения информации (УО).



ЦП – центральный процессор, БИ – блок индикации, ПИ – преобразователь интерфейсов, БУП – блок управления питанием, АКБ – аккумуляторная батарея, БКЗ – блок контроля заряда, БП – блок питания, БПД – блок передачи данных, С – сервер, УО – устройство отображения, ПСК – проводник системы контроля

Рисунок 2. Структурная схема блока управления

Внешний вид блока управления БУСОДК-02 представлен на рисунке 3. Его работа осуществляется в следующей последовательности. После инициализации датчиков производится посылка команды измерения, далее каждый ЦДВ последовательно выставляет на параллельную шину RS-485 текущие значения относительной влажности и температуры. Приём и хранение данных с ЦДВ осуществляется центральным процессором (ЦП) блока управления. После определенного интервала времени производится формирование текста GPRS сообщения с данными о номере блока управления (№БУ) значениями относительной влажности (Д№_в) и температуры (Д№_т) для каждого датчика, подключенного к блоку управления.

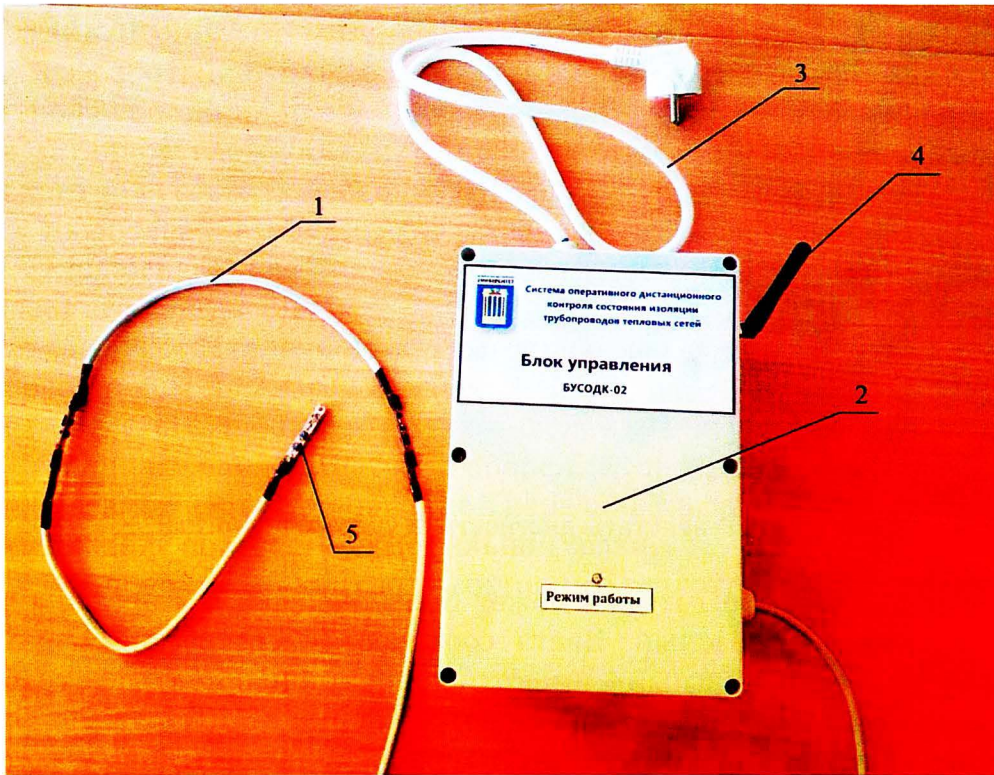


Рисунок 3. Внешний вид блока управления БУСОДК-02: 1 – проводник системы контроля, 2 – корпус блока управления 3 – сетевой шнур, 4 – антенна GSM модуля

Программное обеспечение (ПО) цифровой СОДК состоит из двух частей: ПО блока управления и ПО оператора. Программное обеспечение блока управления обеспечивает выполнение базовых функций устройства, таких как прием и передача сигнала, обработка измерительной информации, отправка сообщений о состоянии теплосети. Программное обеспечение оператора состоит из серверной и пользовательской частей. Серверная часть обеспечивает прием и анализ информации, поступающей от блока управления, и затем передает данные о состоянии теплотрассы на мобильное устройство.

На рисунке 4 представлен элемент интерфейса с информацией о состоянии участка тепловой сети.

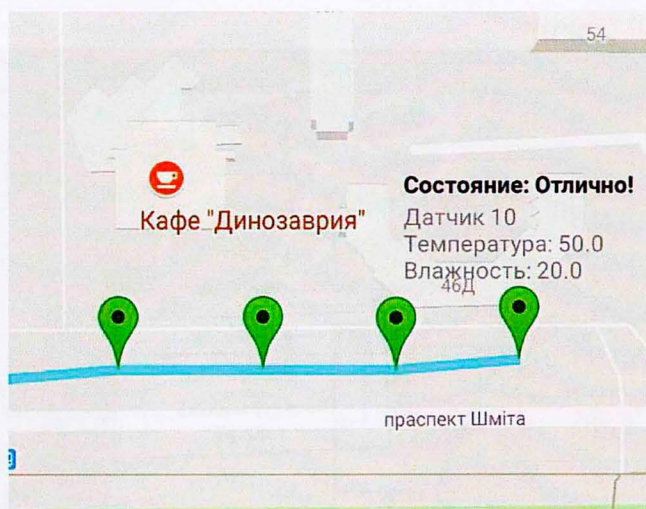


Рисунок 4. Результаты диагностики участка теплосети

Маркер каждого датчика может быть окрашен в 3 цвета: зеленый, оранжевый, красный. Цвета сообщают о состоянии данного участка теплосети. Красный – имеются повреждения, желтый – требуется обратить внимание, зеленый – повреждений не обнаружено. При нажатии на маркер можно увидеть подробную информацию. Каждый датчик через GPS-координаты привязан к карте местности.

Испытания цифровой системы оперативного дистанционного контроля осуществляли на участке трубопровода тепловой сети из гибкой трубы «SMITFLEX-P 75/160» длиной 30 м. Установку цифровых датчиков влажности на ленту проводника системы контроля производили через каждые 3 м. В процессе производства гибкой ПИ-трубы осуществляли снятие показаний с датчиков влажности и температуры. Результаты экспериментов показали, что температура, регистрируемая датчиками, не превышала 100 °С при прохождении ленты через экструдер и вспенивании компонентов ППУ. Контрольные испытания СОДК после производства ПИ-трубы и на этапе её монтажа на участке теплотрассы показали, что блок управления БУСОДК-02 адекватно воспроизводит и передаёт на сервер информацию об относительной влажности и температуре ППУ изоляции для каждого установленного в ней цифрового датчика влажности.

Дальнейшие исследования будут направлены на изучение механизма распространения теплоносителя в изоляционном слое при повреждениях, а также испытания цифровой системы контроля на действующем участке теплосети.

Заключение

Разработанная цифровая система оперативного дистанционного контроля состояния пенополиуретановой изоляции на основе цифровых датчиков влажности и температуры может быть использована для контроля состояния гибких ПИ-труб.

Цифровая СОДК имеет следующие преимущества:

- непосредственный контроль влажности ППУ изоляции, что повышает его достоверность;
- нечувствительность к расстоянию между поверхностью трубы и проводником системы контроля;
- отсутствие промежуточных элементов на участке трубопровода для подключения детекторов повреждений и рефлектометров;
- возможность беспроводной передачи информации о состоянии трубопровода посредством мобильной связи;
- непрерывный контроль состояния теплотрассы с сохранением и обработкой информации;
- возможность отслеживать динамику намокания изоляции;
- контроль температуры теплоносителя;
- повышение точности локации повреждения изоляции;
- возможность определить по показаниям датчика температуры характер повреждения: теплоносущая труба или гидрозащитная оболочка.

Литература

1. Трубы и фасонные изделия стальные с теплоизоляцией из пенополиуретана с защитной оболочкой. Технические условия : ГОСТ 30732-2006. – Введ. 01.07.1981. – Москва : Стандартинформ, 2007. – 48 с.
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. Испытание системы оперативного дистанционного контроля с цифровыми датчиками влажности / С.В. Болотов, Н.В. Герасименко, В.Н. Почуйко//Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов. Сборник статей 6й международной конференции. 2017 – С. 412–417.

Статья поступила в редакцию 20.03.18