

ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗОНЕ ПРОКЛАДКИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Д.Ю. Грязнев¹, А.А. Александров², С.П. Сушев²

¹ООО “ЦИЭКС”, Москва, Россия
e-mail: daniel@bmstu.ru

²МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
e-mail: rector@bmstu.ru; esrc@esrc.ru

Магистральные трубопроводы подвергаются воздействию геологических процессов, мониторинг параметров которых усложняется разнообразием ландшафтов, отсутствием проводных линий связи и постоянного энергообеспечения, высокой стоимостью и большим числом задействованного персонала, а также рядом других причин. Предложено решение технической задачи по обеспечению высокой автономности и продолжительности работы оборудования для мониторинга геологических процессов в зоне прокладки магистрального трубопровода. Обоснована концепция технологии автоматизированного мониторинга геологических процессов, показаны особенности ее реализации и перспективы развития.

Ключевые слова: трубопровод, магистральный, безопасность, мониторинг, точка контроля, инклинометр, геология, оползень.

THE TECHNOLOGY OF AUTOMATED MONITORING OF GEOLOGICAL PROCESSES IN THE ZONE OF LAYING THE MAIN PIPELINES

D.Yu. Gryaznev¹, A.A. Aleksandrov², S.P. Sushchev²

¹ООО “TsIEKS”, Moscow, Russia
e-mail: daniel@bmstu.ru

²Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia
e-mail: rector@bmstu.ru; esrc@esrc.ru

The main pipelines are exposed to impact of the geological processes, the monitoring of parameters of which becomes complicated due to variety of landscapes, lack of wire communication lines and continuous power supply, high cost and a large number of the involved personnel, etc. The solution of a technical task on ensuring the high autonomy and duration of work of the equipment for geological processes monitoring in a zone of laying the main pipeline is proposed. The concept of technology of the automated monitoring of geological processes is proved; features of its implementation and outlook for its development are shown.

Keywords: pipeline, main, safety, monitoring, inspection point, tilt meter, geology, landslide.

Магистральные трубопроводы служат для транспортировки газообразных и жидких веществ. Основными транспортируемыми продуктами являются: природный газ, нефть и другие углеводороды. В соответствии с существующими нормативными документами магистральные трубопроводы могут быть проложены под землей (подземная прокладка), по поверхности земли в насыпи (наземная прокладка) и на опорах (надземная прокладка). Следует отметить, что наземная или

надземная прокладки допускаются как исключение, в случаях расположения трубопровода в пустынных и горных районах, болотистых местностях, районах горных выработок, оползней и районах распространения вечномёрзлых грунтов, на неустойчивых грунтах, а также на переходах через естественные и искусственные препятствия.

Магистральные трубопроводы Российской Федерации имеют протяженность несколько тысяч километров и могут пересекать несколько климатических зон. В целях ограничения несанкционированного доступа к ним и повышения экономической эффективности, большинство трубопроводов России расположены под землей, даже в случаях прохождения через сложные геологические условия, примером могут служить трубопроводные системы, проходящие по территориям Центральной и Восточной Сибири [1].

В случае подземного расположения трубопроводов имеет место взаимное влияние трубопровода на геологическую среду и воздействие геологических процессов, протекающих в грунте, на трубопровод (рис. 1); кроме того, на грунт влияют внешние факторы атмосферы (климат и метеорологические условия).

Взаимодействие трубопроводных систем с геологической средой происходит как в условиях нетронутого массива (прокладка трубопровода в естественных условиях), так и в подработанном, нарушенном массиве (устройство дренажей, срезки оползневого склона, принудительное перемещение грунта и пр.).

Таким образом, безопасная эксплуатация трубопровода обеспечивается посредством управления параметрами протекающих процессов, которое направлено на поддержание стабильного (проектного) состояния системы “атмосфера–грунт–трубопровод” (рис. 1).

Наличие информации о процессах, протекающих в системе “атмосфера–грунт–трубопровод”, позволяет предотвратить и/или минимизировать возможные потери, связанные с временным прекращением

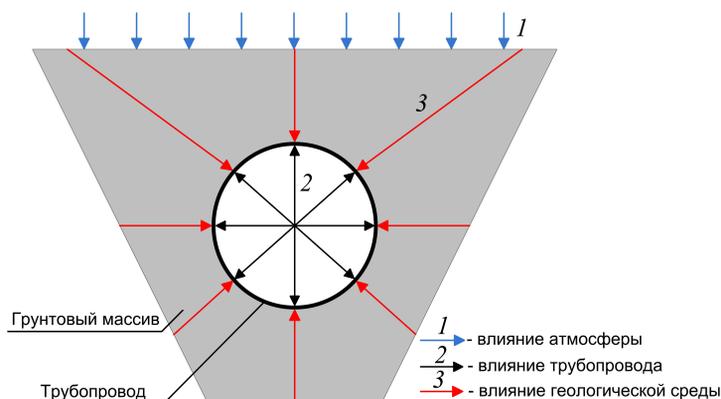


Рис. 1. Система “атмосфера–грунт–трубопровод”

функционирования трубопроводов. Трубопроводы проходят по участкам, на которых отсутствуют постоянное электропитание, кабельные коммуникации, имеют место жесткие климатические условия, отсутствует непрерывная охрана. Привлечение людских ресурсов для непрерывного мониторинга таких объектов делает процедуру мониторинга трудоемкой и дорогой.

Техническая задача заключается в обеспечении высокой автономности и продолжительности работы оборудования для мониторинга геологических процессов в условиях отсутствия проводных линий связи и постоянного энергообеспечения, в жестких климатических условиях, при отсутствии постоянной охраны наблюдаемых участков.

Для решения данной технической задачи предлагается использовать автоматизированные точки контроля. Точка контроля представляет собой обсадную трубу скважины с защитной крышкой и изоляционной прокладкой [2]. В защитной крышке имеются отверстие для герметизированного ввода кабеля антенны радиомодема и запирающий элемент защитной крышки в виде болта с нестандартной формой головки, размещенного в металлической трубке с резьбой, приваренной к защитной крышке. К оголовку обсадной трубы скважины присоединена мачта антенны, на которой закреплена вандалоустойчивая штыревая антенна, подключенная антенным кабелем к радиомодему. В обсадной трубе скважины находится пластиковая труба, в которой на тросе размещены блок сбора и передачи данных, содержащий соединенные между собой радиомодем, контроллер и не менее одного источника питания. К контроллеру подсоединены или датчики температуры, или универсальные датчики смещения, или датчик уровня грунтовых вод. При этом в качестве троса используется несущий кабель с информационной и питающей жилами, каждому контроллеру присваивается идентификационный сетевой номер — адрес, а пластиковая труба имеет герметизированные вводы в верхней и нижней частях. Такая точка контроля позволяет осуществлять в месте ее позиционирования практически автоматические сбор и передачу данных о состоянии геологической среды.

На рис. 2 показана в разрезе точка контроля, установленная в месте мониторинга опасных геологических процессов газо- или нефтепровода.

На рис. 3 и 4 показаны оголовки обсадной трубы с размещенной на нем антенной и схема блока сборки и передачи данных соответственно.

В точках прохождения трассы газо- или нефтепроводов, в которых по данным геологических и геофизических исследований наиболее вероятны проявления опасных геологических процессов (оползней, термокастов и т.п.), в пробуренных скважинах устанавливают обсадные

трубы 1 (см. рис. 2). В трубу 1 помещают пластиковую (или металлическую) трубу 5, внутри которой на тросе, роль которого выполняет кабель с информационной и питающей жилами 7, размещены датчики 8 и блок сбора и передачи данных 6 (см. рис. 4) в составе радиомодема 13, контроллера 14 и источника питания 14. Пластиковая труба закрыта герметизированными вводами 10.

Через верхний герметизированный ввод 10 (см. рис. 3) проходит антенный кабель 9, соединяющий через герметизированное отверстие в обсадной трубе 1 радиомодем 13 и антенну 11. В свою очередь, антенна 11, выполнена в антивандальном варианте, закреплена на мачте антенны 12, которая прикреплена к обсадной трубе 1. Оголовок обсадной трубы 1 закрывается защитной крышкой 2 и обеспечивается необходимой теплоизоляцией. Между защитной крышкой и оголовком обсадной трубы устанавливается изоляционная прокладка 3. В защитной крышке имеется запирающий элемент 4 в виде болта с нестандартной формой головки, размещенного в металлической трубке с резьбой. Пластиковая труба 5 прикреплена к обсадной трубе 1 таким образом, что блок сбора и передачи данных 6 (рис. 4) находится ниже уровня грунта. Контроллеру 15 присваивается идентификационный сетевой номер – адрес, каждому датчику 8 присваивается индивидуальный уникальный адрес.

Датчики 8, контроллер 15 и радиомодем 13 питаются от источника питания 14.

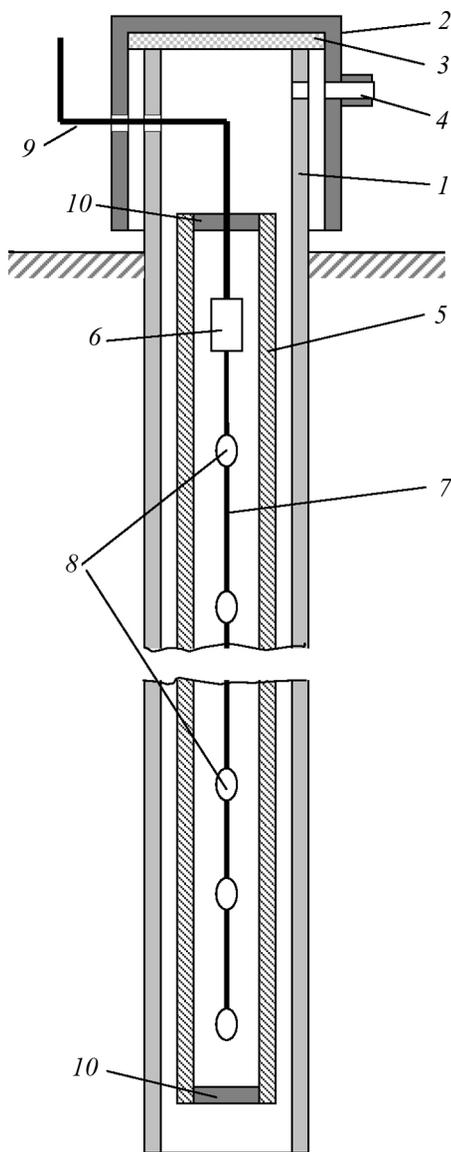


Рис. 2. Точка контроля в разрезе:

1 – обсадная труба; 2 – защитная крышка; 3 – изоляционная прокладка; 4 – запорное устройство; 5 – пластиковая труба; 6 – блок сбора и передачи данных; 7 – кабель с информационной и питающей жилами; 8 – датчики; 9 – антенный кабель; 10 – герметизированный ввод

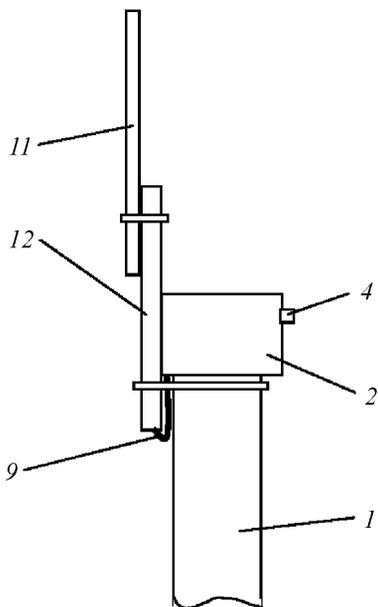


Рис. 3. Оголовок обсадной трубы с размещенной на нем антенной: 1, 2, 4, 9 – см. рис. 2; 11 – антенна; 12 – мачта антенны

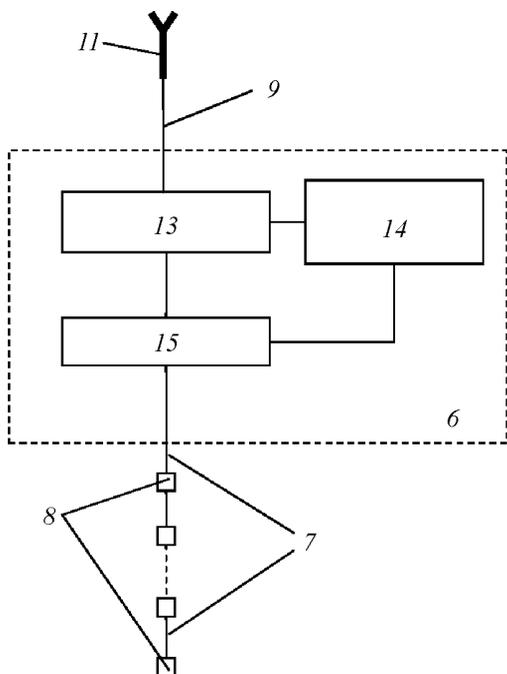


Рис. 4. Схема блока сбора и передачи данных: 6...9, 11 – см. рис. 2, 3; 13 – радиомодем; 14 – источник питания; 15 – контроллер

Все средства мониторинга оптимизированы для размещения в скважинах малого диаметра (50...70 мм).

Основные технические решения по конструкции, размещению, обслуживанию элементов системы учитывают особенности его эксплуатации в климатическом подрайоне IA согласно СНИП 23-01-99.

Датчики 8, которыми могут быть датчики температуры, датчики смещения или датчики давления, под управлением контроллера 15 фиксируют измеряемые параметры. Опрос датчиков 8 осуществляется контроллером по заданному расписанию и/или запросам. Контроллер 15 осуществляет сбор данных с подключенных датчиков 8 и накопление их в энергонезависимой памяти. Передача данных осуществляется радиомодемом 13 по запросу или по ранее установленному расписанию. Блок сбора и передачи данных 6 функционирует в энергосберегающем режиме, обеспечивающем минимальное потребление энергии. Точки контроля настраиваются на режим периодического измерения с регулируемым периодом срабатывания.

Блок сбора и передачи данных 6 поддерживает следующие интерфейсы: RS-485; 1-Wire; токовая петля (до шести входов).

Блок сбора и передачи данных *б* накапливает собранные данные в микросхемах оперативной энергонезависимой памяти (EEPROM) с последовательным интерфейсом DataFlash серии AT45 емкостью от 8 до 16 МБ (8-выводный SOIC). Глубина хранения данных определяется очередным сеансом связи с сервером сбора данных. После подтверждения успешного приема информационного пакета память блока сбора и передачи данных *б* очищается.

В случае нарушения работы канала связи блок сбора и передачи данных *б* накапливает данные до восстановления связи. Объем суточной накапливаемой информации для наиболее емких измерений составляет чуть более 1 КБ, что позволяет накапливать данные за 7000 суток.

Блок сбора и передачи данных *б* обеспечивает преобразование сигналов аналоговых датчиков в цифровой вид и формирование информационных пакетов определенной структуры.

В качестве источника питания применены литийионилхлоридные батареи, устойчивые к низким температурам, емкость 27 А·ч.

В качестве радиомодема *13* использованы модели LPD класса для локального сбора данных.

Блок сбора и передачи данных *б* оптимизирован по режиму энергопотребления. Измерения происходят в дискретные моменты времени, которые определяются предварительной настройкой таймера блока сбора и передачи данных *б*. Энергопотребление блока сбора и передачи данных *б* в период между сеансами измерений минимизировано до нескольких микроватт. Процесс опроса датчиков *8* учитывает время их отклика до выдачи достоверных параметров после подачи питания.

В качестве универсальных датчиков смещения используются соединенные в гирлянду инклинометрические одно- или двухосные датчики, разработанные для автоматического мониторинга критических зон. Это позволяет контролировать профиль обсадной трубы *1* и отслеживать послойные смещения грунтов.

В качестве датчиков температуры используются цифровые термометрические датчики, размещенные на печатных платах, помещенных во влагонепроницаемый корпус. Посредством датчиков температуры осуществляется температурный контроль объектов, расположенных в зоне вечномерзлых грунтов. Датчики размещаются по всей длине термогирлянды равномерно с шагом 1 м.

В качестве датчиков уровня грунтовых вод используются гидростатические датчики погружного типа. Данный тип датчиков предназначен для непрерывного измерения уровня подземных вод и обладает высокой точностью измерений. За счет использования 16-битного аналого-цифрового усилителя-преобразователя на основе интегрированной микропроцессорной сборки достигается активная компенсация отклонений характеристик чувствительного элемента (компенсация нелинейностей, компенсация влияния температуры).

В данном конструктивном исполнении типовое потребление средств мониторинга точки контроля составляет:

- не более 15 мкВт в режиме ожидания;
- 1,2 Вт в режиме измерения;
- 2,2 Вт в режиме измерения с передачей данных.

Время измерения и передачи данных с синхронизацией времени не превышает 15...20 с.

Расчетный суточный разряд автономных батарей питания составляет 0,015 А/ч. Расчетное время работы батарей до уровня заряда 15% — 800 сут. Максимальная дальность связи через радиомодемы — до 3 км в зоне прямой видимости.

Периодичность передачи информации с точки контроля оперативно настраивается и может составлять от одного измерения в час, до одного раза в сутки и реже.

Информация с точек контроля передается периодически на точки сбора данных по радиоканалу. Использование маломощных модемов в точках контроля, способных передавать информацию не более чем на 3 км в зоне прямой видимости компенсируется применением ретрансляторов.

Точка сбора данных подключена к постоянной питающей электросети и каналам передачи данных. С точки сбора данных информация передается на сервер и потом визуализируется на автоматизированном рабочем месте (АРМ) оператора.

Схема мониторинга параметров геологической среды представлена на рис. 5 (4-я полоса обложки).

Предложенные технические решения апробированы на участках прокладки магистральных нефтепроводов с развитием геологических процессов для мониторинга их параметров. Пример размещения оборудования мониторинга на участке коридора трассы трубопровода показан на рис. 6 (4-я полоса обложки).

Выводы. 1. Предлагаемое техническое решение позволяет полностью выполнить поставленную задачу. Его реализация особенно эффективна при прохождении трассы газо-нефтепроводов в условиях многолетних мерзлых грунтов и оползнеопасных склонов и обеспечивает автономный автоматический сбор и передачу данных о состоянии геологической среды и контролируемого объекта в местах наличия оползневых склонов, морозного пучения, наледей, термокарстов, курумов. Оно дает возможность исключить издержки на привлечение квалифицированного персонала для мониторинга геологических процессов, на ликвидацию последствий аварийных инцидентов, связанных с активизацией геологических процессов, а также повысить безопасность и эффективность эксплуатации газо-нефтепроводов.

2. Предлагаемые технические решения для мониторинга параметров опасных геологических процессов позволяют строить универсальные системы по модульному принципу, совмещая необходимые средства измерений со средствами передачи данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лисин Ю.В., Александров А.А., Суцев С.П. Система автоматизированного мониторинга магистральных трубопроводов на участках сложных геологических условий // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2012. № 3. С. 73–79.
2. Александров А.А., Суцев С.П., Ревель-Муроз П.А., Грязнев Д.Ю. Мониторинг магистральных трубопроводов на оползневых участках // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2012. № 3. С. 93–101.

REFERENCES

1. Lisin Yu.V., Aleksandrov A.A., Sushchev S.P. The system of computer based monitoring of main pipelines in areas of complex geological conditions. *Probl. Sborn, Podgot. i Transp. Nefti i Nefteprod.* [Probl. Collect. Process. Transp. Oil Prod.], 2012, no. 3, pp. 73-79 (in Russ.).
2. Aleksandrov A.A., Sushchev S.P., Revel'-Muroz P.A., Gryaznev D.Yu. Monitoring of pipelines in landslide areas. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Ser. Priborostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ. Ser. Instrum. Eng.], 2012, no. 3, pp. 93-101 (in Russ.).

Статья поступила в редакцию 1.04.2013

Даниил Юрьевич Грязнев — инженер-программист ООО “ЦИЭКС”. Автор более 15 научных работ в области промышленной безопасности и эксплуатации опасных производственных объектов.

ООО “ЦИЭКС”, Россия, 109028, Москва, Подколокольный пер., 16/2.

D.Yu. Gryaznev — engineer-programmer of the Emergency Situations Research Center. Author of more than 15 publications in the field of industrial safety and exploitation of dangerous production objects.

ООО “TsIEKS”, Podkolokolny per. 16/2, Moscow, 109028 Russia.

Анатолий Александрович Александров — д-р техн. наук, профессор. Ректор МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор около 100 научных работ в области ресурсо- и природосбережения при хранении и транспортировке жидкого углеводородного топлива, теории рисков, механики разрушения, промышленной безопасности и эксплуатации опасных производственных объектов.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

A.A. Aleksandrov — Dr. Sci. (Eng.), professor. Rector of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 100 publications in the field of the resource and nature saving in storage and transportation of liquid hydrocarbon fuel, theory of risks, fracture mechanics, industrial safety and exploitation of dangerous production objects.

Bauman Moscow State Technical University, Vtoraya Baumanskaya ul., 5, Moscow, 105005 Russia.

Сергей Петрович Суцев — д-р техн. наук, профессор. Директор научно-образовательного центра исследований экстремальных ситуаций МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 100 научных работ в области теории рисков, механики разрушения, промышленной безопасности и эксплуатации опасных производственных объектов.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

S.P. Sushchev — Dr. Sci. (Eng.), professor. Director of the scientific-educational center of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 100 publications in the field of theory of risks, fracture mechanics, industrial safety and exploitation of dangerous production objects.

Bauman Moscow State Technical University, Vtoraya Baumanskaya ul., 5, Moscow, 105005 Russia.