

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Автоматизация и информатизация ТЭК. 2026. № 1(630). С. 21–29.

Automation and informatization of the fuel and energy complex. 2026; (1(630)):21-29.

Научная статья

УДК 622.691.4:681.518.5

Шифр научной специальности: 2.3.3

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ В ТРУДНОДОСТУПНЫХ РАЙОНАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ БПЛА

П.К. Калашников¹, Д.Ю. Пионт², М.Ю. Темис³, П.Н. Глазов⁴, А.А. Козлов⁵

^{1, 5}РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва, Россия

^{2, 4}АО "ТСТ", Щелково, Россия

³ООО "П2Т Инжиниринг", Москва, Россия

⁵aleksander.a.kozlov@yandex.ru

Аннотация. Предложена технология дистанционного мониторинга магистральных трубопроводов с применением беспилотных летательных аппаратов, предполагающая сбор данных от различных систем мониторинга технического состояния магистрального трубопровода и окружающей среды и аккумуляцию информации в специализированных устройствах сбора данных, размещаемых в стационарных стойках контрольно-измерительных пунктов системы электрохимической защиты трубопровода. Передача информации от устройства сбора данных к устройству опроса на беспилотном летательном аппарате выполняется дистанционно с применением технологии Bluetooth, что дает возможность периодического сбора и анализа данных мониторинга на участках трассы магистральных трубопроводов, на которых отсутствует возможность использования традиционных средств связи. Выполнена успешная апробация системы дистанционного мониторинга на основе решений АО "ТСТ" в области коррозионного мониторинга и стоек контрольно-измерительных пунктов с использованием стандарта связи BLE и беспилотных летательных аппаратов квадрокоптерного типа.

Ключевые слова: мониторинг технического состояния трубопроводов, беспилотный летательный аппарат, дистанционный мониторинг, коррозионный мониторинг, контрольно-измерительные пункты

Для цитирования: Дистанционный мониторинг магистральных трубопроводов в труднодоступных районах с применением БПЛА / П.К. Калашников, Д.Ю. Пионт, М.Ю. Темис [и др.] // Автоматизация и информатизация ТЭК. – 2026. – № 1(630). – С. 21–29.

Original article

REMOTE MONITORING OF TRUNK PIPELINES IN HARD-TO-REACH AREAS USING UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAV)

P.K. Kalashnikov¹, D.Yu. Piont², M.Yu. Temis³, P.N. Glazov⁴, A.A. Kozlov⁵

^{1, 5}National University of Oil and Gas "Gubkin University", Moscow, Russia

^{2, 4}"PST" JSC, Shchelkovo, Russia

³"P2T Engineering" LLC, Moscow, Russia

⁵aleksander.a.kozlov@yandex.ru

Abstract. A technology for remote monitoring of trunk pipelines using unmanned aerial vehicles (UAV) is proposed, which involves collecting data from various monitoring systems for the technical condition of a trunk pipeline and environment as well as accumulating information in specialized data collection devices placed in stationary racks of control-measuring points of the pipeline electrochemical protection system. Information is transmitted from the data collection device to the polling device on an unmanned aerial vehicle remotely via Bluetooth protocol, which makes it possible to periodically collect and analyze monitoring data from main pipelines remote sections where there is no traditional communication means. A remote monitoring system based on JSC "TST" solutions in the field of corrosion monitoring and control-measuring point racks using the BLE communication standard and quadcopter-type unmanned aerial vehicles has been successfully tested.

Keywords: monitoring of pipelines technical state, unmanned aerial vehicle (UAV), remote monitoring, corrosion monitoring, control-measuring points

For citation: Remote monitoring of trunk pipelines in hard-to-reach areas using unmanned aerial vehicles (UAV) / P.K. Kalashnikov, D.Yu. Piont, M.Yu. Temis [et al.] // Automation and informatization of the fuel and energy complex. – 2026. – No. 1(630). – P. 21–29.

Введение

Мониторинг технического состояния магистрального трубопровода (МТ) является одним из ключевых аспектов обеспечения промышленной безопасности опасного производственного объекта [1]. В связи с развитием и трансфером технологий между отраслями появляется возможность применения в традиционных методах мониторинга МТ инновационных устройств и цифровых технологий, базирующихся на известных физических эффектах в акустике, оптике и т. п. [2, 3]. В настоящее время МТ находится под контролем множества систем мониторинга как периодического, так и постоянного принципа сбора информации. К основным системам периодического мониторинга можно отнести сезонные и диагностические обследования, включая внутритрубную диагностику, геотехнический мониторинг в зонах развития опасных геологических процессов и т.п. [4–6]. К основным системам постоянного мониторинга можно отнести коррозионный мониторинг, мониторинг напряженно-деформированного состояния в зонах развития опасных геологических процессов и т. п. [7–9].

Если периодический мониторинг выполняется раз в какой-то период времени, измеряемый месяцами или годами, то системы постоянного мониторинга, установленные на магистральном трубопроводе, осуществляют сбор данных практически в режиме реального времени. Для систем мониторинга, контролируемых параметры в режиме реального времени, актуальна передача информации в центр обработки данных. Оперативная передача показателей состояния объекта от первичных устройств контроля системы мониторинга до центра обработки данных в настоящее время осуществляется с использованием сотовой, спутниковой, а также проводной линии связи, в том числе оптоволоконной. Для ряда участков магистральных трубопроводов, расположенных в труднодоступных местах, характерны отсутствие оптоволоконной связи, а также покрытия сотовой связи и ограничение применения спутниковой связи.

При отсутствии возможности передачи информации одним из вышеперечисленных способов может использоваться ручной съем информации. Применение ручного съема данных от систем мониторинга, работающих в реальном времени, снижает ценность получаемой информации ввиду ее получения и обработки со значительной задержкой. Ручной сбор информации предполагает привлечение персонала на специализированном транспорте для доступа к местам сбора информации по трассе магистрального трубопровода, а доступ к местам сбора информации может быть существенно затруднен с учетом клима-

тических и логистических условий. Точки контроля, в том числе дистанционного мониторинга, определяются местными условиями размещения объекта в совокупности с факторами риска, характерными для конкретной зоны. Таким образом, перемещение мест сбора информации к стационарным объектам с постоянным доступом в течение года (как, например, площадки запорной арматуры) не всегда представляется осуществимым. Места применения дистанционного мониторинга регламентируются нормативной документацией и стандартами организаций, а отказ от их соблюдения связан с дорогостоящими компенсационными мероприятиями, в том числе разработкой специальных технических условий.

В настоящее время активное развитие получили технологии применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). БПЛА имеют различную конструкцию и принцип полета, что обеспечивает существенную вариативность по дальности и высотам полета. При установке на БПЛА устройства опроса системы мониторинга и организации передачи данных между устройством опроса на БПЛА и устройством сбора данных на МТ, БПЛА может быть использован как устройство опроса мест сбора информации. Это позволит заменить ручной сбор информации и исключить логистические и погодные ограничения по доступу к местам сбора информации. При должной оптимизации решения по сбору данных с систем мониторинга с использованием БПЛА можно предположить существенную оптимизацию затрат на сбор данных по сравнению с альтернативными методами наряду с увеличением частоты сбора данных.

С учетом вышеперечисленного актуальной является разработка комплексных систем мониторинга, которые будут включать средства контроля, хранения и передачи информации на устройство опроса на БПЛА различных систем, не ограничиваясь коррозионным мониторингом. Такие системы должны быть интегрированы в существующую архитектуру объектов магистрального транспорта для минимизации затрат на их установку и эксплуатацию.

В статье сформулированы требования к устройствам сбора данных и устройству опроса, включая базовые требования к БПЛА. Представлены результаты успешной апробации системы дистанционного мониторинга на основе решений АО "ТСТ" в области коррозионного мониторинга и стоек контрольно-измерительных пунктов (КИП) с использованием стандарта связи BLE и БПЛА квадрокоптерного типа. В заключение рассмотрены перспективы применения предлагаемой технологии мониторинга и дальнейшие мероприятия по ее внедрению на объектах магистрального транспорта нефти и газа.

Структурная схема системы дистанционного мониторинга МТ

В соответствии с федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности "Правила безопасности для опасных производственных объектов магистральных трубопроводов", утвержденными приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 декабря 2020 г. № 517, для наиболее опасных участков объектов линейной части магистральных трубопроводов в проектной документации должны быть предусмотрены специальные меры безопасности, снижающие риск аварии, в том числе:

- обустройство систем коррозионного мониторинга [9];
- геотехнический мониторинг трубопроводов [6].

Система мониторинга, сбора, хранения и передачи данных на устройство сбора на БПЛА требует источника электропитания, а также устройства надземной установки для обеспечения возможности передачи данных вне зависимости от канала связи. Наличие надземной части системы мониторинга определяет необходимость постоянного землеотвода. Для подземного магистрального трубопровода постоянный землеотвод обеспечивается для стоек КИП, в том числе с километровыми знаками. С учетом того, что в стойке КИП есть возможность размещения оборудования системы мониторинга и организации автономного электропитания, логичной является установка устройства системы мониторинга, обеспечивающего сбор, временное хранение и передачу данных на устройство сбора на борту БПЛА, в стандартной существующей или предусмотренной к установке проектной документацией стойке КИП. Существующая нормативно-техническая документация регламентирует обязательные и рекомендуемые места размещения устройств дистанционного контроля параметров электрохимической защиты (ЭХЗ), в том числе установку стоек КИП. При необходимости обеспечения дистанционного мониторинга вне зон контроля пара-

метров ЭХЗ в проектной документации могут быть предусмотрены дополнительные стойки КИП в местах предполагаемых зон мониторинга.

В соответствии с ГОСТ Р 9.606-2021 конструкция КИП должна обеспечивать размещение дополнительного оборудования, клеммных панелей и кабелей внутри стойки. Размещение внутри стойки КИП устройств системы мониторинга является стандартным решением, применяемым на объектах нефтегазовой инфраструктуры [10]. Таким образом, учитывая требования нормативно-технической документации, особенности применения оборудования и устройств коррозионного мониторинга, можно представить структурную схему системы дистанционного мониторинга МТ (независимо от измеряемых и передаваемых параметров) в виде наглядной визуализации, приведенной на рис. 1 (здесь и далее в качестве примера БПЛА используется изображение БАС-200 [11] с "виртуально" установленным дополнительным оборудованием). В предлагаемой схеме системы дистанционного мониторинга предполагается, что БПЛА, оснащенный устройством опроса системы мониторинга, должен взлетать с оборудованной площадки, осуществлять полет вдоль трассы магистрального трубопровода по заданному маршруту, поочередно опрашивая системы мониторинга на стойках КИП, и приземляться на следующей по трассе стационарной площадке насосных (НС), компрессорных станций (КС).

Требования к БПЛА для системы дистанционного мониторинга МТ

С учетом планируемого использования для дистанционного сбора данных системы мониторинга БПЛА должен удовлетворять следующим требованиям:

- 1) осуществлять автономный полет на расстояния до 400 км (перекрывать расстояние между соседними КС) по трассе трубопроводной системы с "посещением" мест расположения стоек КИП, оборудованных

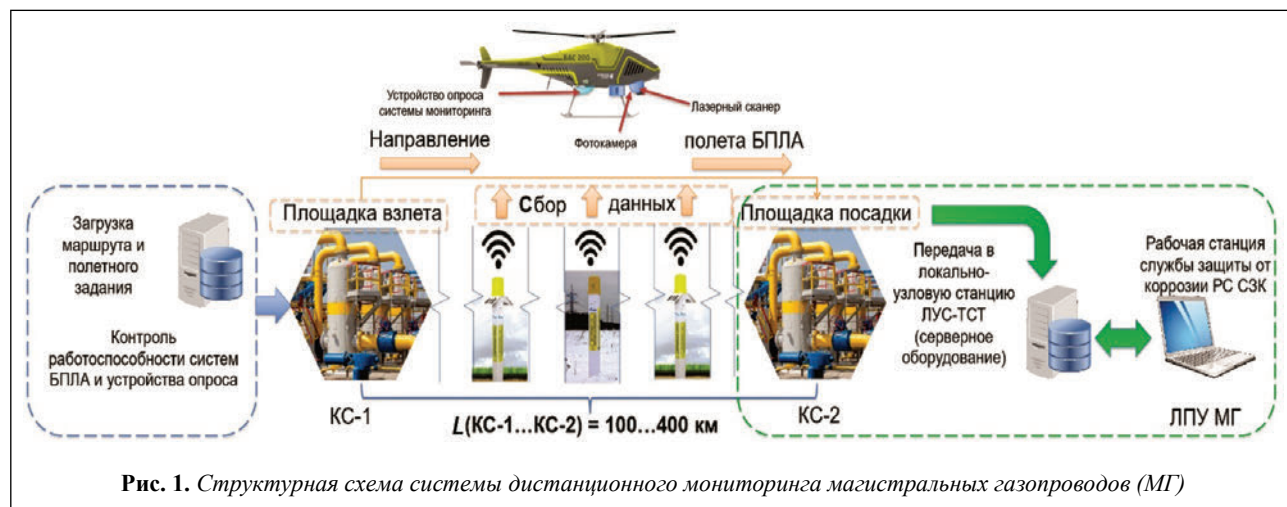


Рис. 1. Структурная схема системы дистанционного мониторинга магистральных газопроводов (МГ)

устройствами приема-передачи данных (устройствами дистанционного коррозионного мониторинга);

2) нести на борту мобильный приемно-передающий модуль (в том числе осуществлять энергоснабжение такого модуля и обеспечивать в нем требуемый температурный режим);

3) уметь позиционировать в пространстве свое положение относительно мест установки стоек КИП, учитывая при полете характер рельефа, залесенность, наличие линий электропередачи, автомобильных и железных дорог и других возможных препятствий, которые могут оказать влияние на безопасное выполнение операции;

4) подлетать к точкам расположения стоек КИП:

а) и пролетать на определенной высоте и со скоростью, позволяющей установить контакт между устройством приема-передачи данных в стойке КИП и приемно-передающим модулем на борту БПЛА и, активировав устройство приема передачи данных, обеспечивать получение требуемых пакетов данных без локального снижения и "зависания";

б) либо "зависать" над стойкой или на определенном расстоянии и высоте на заданное время;

5) вести видео/фотофиксацию точек "остановок" по трассе для возможности позиционирования на местности, визуальной оценки обстановки и состояния стойки КИП в момент считывания данных;

б) выполнять лазерное сканирование точек "остановок" по трассе для возможности построения цифровой модели рельефа "на лету" для позиционирования на местности.

В настоящее время существуют беспилотные летательные аппараты различного принципа действия. Среди них можно выделить следующие типы БПЛА, теоретически подходящие для выполнения заявленных выше задач, классифицируемые по принципу взлета и выполнения полета:

1) квадрокоптеры или мультикоптеры, оснащенные независимыми несущими винтами, обеспечивающими взлет, подъемную силу, горизонтальное перемещение в воздухе и маневрирование. Взлет и посадка возможны даже с неподготовленной площадки ограниченных размеров. Такие БПЛА практически не ограничены в возможностях маневрирования в воздухе, в том числе "зависания" над объектом с заданными координатами [12];

2) конвертопланы, имеющие конструкцию, которая является симбиозом квадрокоптера/мультикоптера и БПЛА самолетного типа. Конвертопланы оснащены независимыми поворотными винтами, которые в момент взлета являются несущими, а в момент полета поворачиваются в положение тянущих (толкающих) винтов [13];

3) БПЛА вертолетного типа, оснащенные основным несущим и рулевым винтами. Взлет и посадка

возможны с площадки ограниченных размеров. Такие БПЛА по возможностям маневрирования в воздухе существенно превосходят БПЛА самолетного типа и обеспечивают широкие возможности по маневрированию, в том числе с возможностью зависания над объектом с заданными координатами [14].

Каждый из перечисленных типов БПЛА имеет свои преимущества для применения в целях, описываемых в статье. Конвертопланы и БПЛА вертолетного типа имеют преимущества в дальности полета над квадрокоптерами, но уступают им в обеспечении точности позиционирования. БПЛА вертолетного типа имеют преимущества в обеспечении транспортировки полезной нагрузки, но при этом имеют большую себестоимость в содержании и обслуживании самих бортов.

Выбор БПЛА целесообразно привязать к конкретным этапам создания системы дистанционного мониторинга МГ в труднодоступных районах:

– апробация схемы дистанционного мониторинга;

– отработка технологий дистанционного мониторинга в рамках испытаний на полигоне;

– отработка технологий дистанционного мониторинга в рамках реальных условий трассы МГ.

В рамках апробации предлагаемой схемы мониторинга и отработки технологий при испытаниях на полигоне требования по дальности полета и максимальной массе полезной нагрузки к БПЛА не предъявляются. Достаточно, чтобы БПЛА обеспечивал возможность полетов на дистанции до 10 км с устройством дистанционного опроса массой до 1 кг и имел функцию "зависания" над стойкой КИП. В то же время в рамках отработки технологий дистанционного мониторинга в рамках реальных условий трассы МГ необходимо выбрать БПЛА, имеющий, помимо функции "зависания" над стойкой КИП, возможность осуществлять беспосадочный полет на дистанцию более 100 км (а в перспективе до 400 км), а также возможность одновременно нести на борту в соответствии с требованиями, перечисленными выше: устройство опроса, лазерный сканер и фотокамеру. Опционально на БПЛА может быть осуществлено и размещение сканера обнаружения утечек метана. Таким образом, БПЛА для мониторинга должен иметь массу полезной нагрузки от 10 кг до в перспективе 20...30 кг.

Для этапов апробации и испытаний на полигоне с учетом характеристик по длительности полета, разрешению фотокамеры, устойчивости к погодным условиям и ограничениям по минимальной безопасной высоте полета был использован БПЛА типа квадрокоптер Геоскан-401. Для полевых испытаний и эксплуатации, например для МГ "Сила Сибири" и других строящихся в восточной части РФ МГ, в настоящее время предпочтительным выглядит применение БПЛА вертолетного типа, исходя из максимальной дальности полета. Это определяется

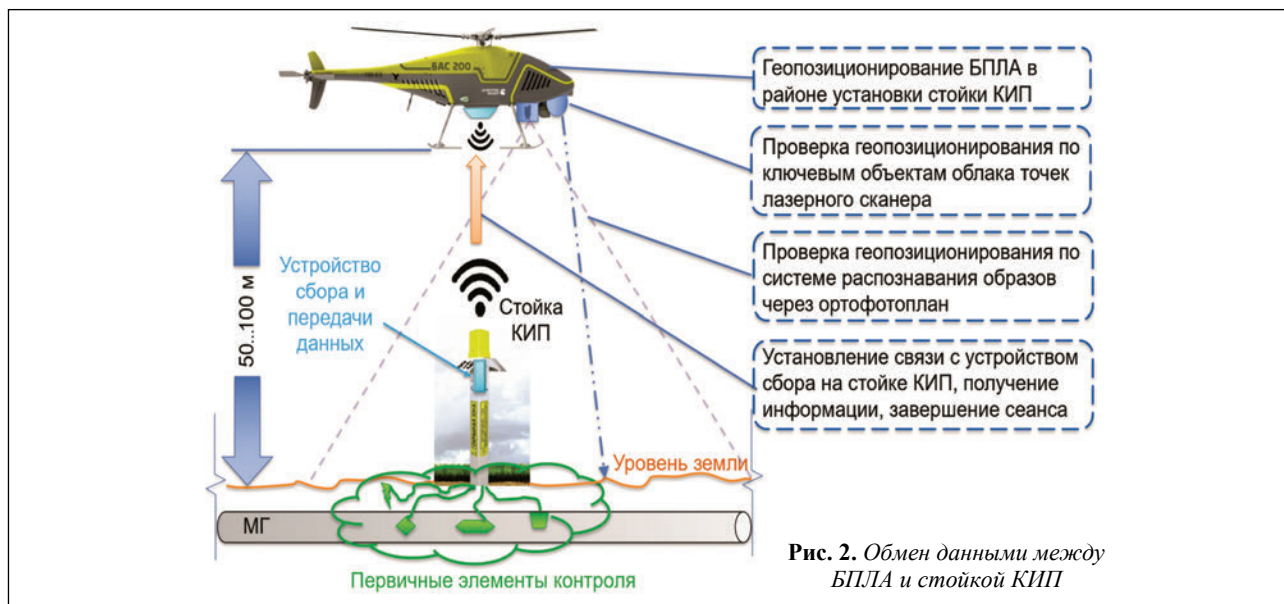


Рис. 2. Обмен данными между БПЛА и стойкой КИП

максимальным расстоянием между компрессорными станциями, которое может достигать 400 км. Также БПЛА вертолетного типа обеспечивают большую массу полезной нагрузки, что может позволить совмещать функции дистанционного мониторинга с вертолетным обследованием и контролем утечки метана по трассе МГ [15, 16].

Поскольку предполагается, что сбор данных мониторинга должен осуществляться в зонах отсутствия связи между БПЛА и оператором, то на площадке взлета, помимо ординарных проверок воздушного судна и его электронных систем перед полетом, в блок управления БПЛА должно загружаться полетное задание. Полетное задание должно включать координаты маршрута вдоль трассы магистрального трубопровода, а также координаты каждой стойки КИП, для которой необходимо считывание информации мониторинга. Помимо координат каждой стойки, в память модуля управления БПЛА могут быть загружены цифровая модель рельефа и ортофотоплан мест расположения стоек КИП для подтверждения позиционирования.

При выполнении полета БПЛА вдоль трассы магистрального трубопровода при подлете к стойке КИП первичное позиционирование БПЛА должно выполняться по координатам стойки КИП на высоте 50...100 м над уровнем земли (рис. 2). Такая высота позиционирования БПЛА должна обеспечить безопасное выполнение операции опроса устройства системы мониторинга в стойке КИП с учетом возможного сложного рельефа, наличия залесенности, линий электропередачи, автомобильных и железных дорог и других возможных препятствий. При этом дополнительное подтверждение корректности положения БПЛА может быть получено путем сравнения ортофотоплана и ЦМР (цифровой модели рельефа) из памяти БПЛА с ортофотопланом и ЦМР, полученными

фотокамерой и лазерным сканером "на лету" после "зависания" над стойкой КИП.

По завершении полета БПЛА должен войти в зону опознавания оператором и выполнить посадку в автоматическом или ручном режиме на оборудованной площадке. После посадки оперативным персоналом считываются данные, полученные мобильным приемно-передающим модулем, лазерным сканером и фотокамерой. Далее полученные данные, в зависимости от направления мониторинга, должны быть переданы на соответствующие уровни систем мониторинга.

Требования к приемно-передающим модулям

Мобильное устройство опроса, устанавливаемое на БПЛА, должно удовлетворять следующим требованиям:

1) обеспечивать уверенную связь с устройствами сбора и передачи данных в стойках КИП на расстоянии порядка 100 м;

2) работать в едином режиме с устройствами сбора и передачи данных, размещенными в стойках КИП (активировать устройства в стойках КИП на определенном расстоянии для организации возможности приема от них пакетов данных; получать пакеты данных по согласованным между устройствами протоколам; хранить полученные данные в энергонезависимой памяти в течение полета; передавать полученные данные после окончания полета в требуемом формате для возможности их дальнейшего использования и анализа в специализированном программном обеспечении);

3) иметь минимальные габариты и весовые характеристики для размещения на борту БПЛА;

4) иметь минимальное энергопотребление.

Устройства сбора и передачи данных в стойках КИП должны удовлетворять следующим требованиям:

- 1) размещаться в стандартных стойках КИП;
- 2) иметь в своем составе автономный источник питания (как вариант – и от возобновляемых источников энергии);
- 3) получать в автономном режиме данные измерений (от различных индикаторов, датчиков) по установленным/настраиваемым расписаниям измерений;
- 4) осуществлять накопление и хранение массива данных за период измерений в требуемом формате и передачу данных пакетами по событию установления контакта с мобильным устройством опроса, оказывающимся в зоне контакта при прилете БПЛА в зону размещения стойки КИП;
- 5) иметь характеристики, соответствующие требованиям эксплуатации в различных климатических зонах (климатическое исполнение).

В рамках системы дистанционного мониторинга с учетом особенностей мест размещения приемников и передатчиков, ограничений БПЛА по минимальной высоте полета можно сформулировать следующие требования к стандарту/оборудованию связи:

- 1) обеспечивать связь КИП–БПЛА на расстоянии минимум 50–100 м;
- 2) иметь низкое энергопотребление;
- 3) иметь минимальные габариты и вес как для размещения внутри КИП, так и на борту БПЛА;
- 4) являться решением, реализованным в изделиях серийного производства.

По результатам анализа современных стандартов связи на соответствие вышеперечисленным требованиям наиболее подходящим является стандарт Bluetooth, а именно протокол Bluetooth с низким энергопотреблением BLE (Bluetooth Low Energy). Он характеризуется малыми значениями потребляемого тока и мощности [17].

Демонстрационный образец системы дистанционного мониторинга МГ на базе решений АО "ТСТ"

В качестве опорного производителя оборудования дистанционного мониторинга Губкинским университетом выбрано АО "ТСТ", специализирующееся на разработке и производстве оборудования и программного обеспечения дистанционного мониторинга и имеющее опыт поставок серийно производимых подсистем коррозионного мониторинга ПКМ-ТСТ с 2013 г. на объекты нефтегазового комплекса РФ.

Подсистемы ПКМ-ТСТ – это аппаратно-программные комплексы коррозионного мониторинга стальных трубопроводов и конструкций, позволяющие контролировать скорость коррозии и одновременно широкий спектр электрических параметров защищаемого объекта [18]. При этом функциональные возможности ПКМ-ТСТ позволяют обрабатывать, передавать и хранить данные от иных внешних систем, например: датчики температуры, датчики загазованности и т. п. АО "ТСТ" имеет положительный опыт интегра-

ции датчиков температуры и газоанализаторов с использованием стандартных изделий линейки ПКМ-ТСТ.

Отличительной особенностью устройств коррозионного мониторинга (УКМ) ПКМ-ТСТ является наличие двух типов модификаций: для применения на новых строящихся объектах в стойках КИП-ТСТ и на эксплуатируемых объектах для размещения в существующих стойках КИП иных производителей (рис. 3, а) с определенным набором функций в зависимости от наличия и конфигурации датчиков, установленных в подземной части. Это расширяет возможности интеграции рассматриваемого принципа сбора информации с использованием БПЛА на существующих объектах, не использующих дистанционный коррозионный мониторинг в настоящий момент. Питание УКМ, установленных на трассе в стойках КИП, осуществляется от батарейных блоков различной емкости (до 5 лет автономной работы при стандартном расписании измерений). В качестве альтернативного варианта АО "ТСТ" применяются решения по энергообеспечению УКМ при помощи солнечных панелей и АКБ требуемой емкости, устанавливаемых в стандартные стойки КИП (рис. 3, б).

В качестве одного из вариантов передачи данных от УКМ в локально-узловую станцию ЛУС-ТСТ в труднодоступных местах, где отсутствует покрытие GSM и неоправданно использование спутниковой связи, а также нет возможности передачи данных через вдольтрассовую волоконно-оптическую линию связи (ВОЛС), альтернативой может служить использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с многофункциональным мобильным устройством (ММУ) "eHOT" или мобильным приемно-передающим модулем ПКМ-ТСТ на борту. ММУ "eHOT" представляет собой среднего размера планшетный компьютер в промышленном исполнении, обеспечивающий передачу данных через Bluetooth. При использовании БПЛА в качестве транспорта для перемещения мобильного устройства (мобильного приемно-передающего модуля ПКМ-ТСТ) по трассе, ПКМ-ТСТ с модулем Bluetooth, установленный в стойке КИП, проводит измерения согласно заранее установленному расписанию и сохраняет их в энергонезависимой памяти. В остальное время блок контроллера находится в "спящем" режиме, что позволяет обеспечивать сверхнизкое потребление от автономного батарейного блока (БП-ТСТ) или системы с солнечными панелями. Начало передачи данных от УКМ в мобильный приемно-передающий модуль ПКМ-ТСТ производится при подлете БПЛА к точке установки стойки КИП на трассе по сигналу от мобильного приемно-передающего модуля ПКМ-ТСТ, который переводит УКМ в режим приема/передачи данных. Общение мобильного приемно-передающего модуля ПКМ-ТСТ с УКМ ПКМ-ТСТ производится с использованием сети Bluetooth LE v.4.0. Дальность устойчивой связи составляет порядка 100 м. Время передачи данных

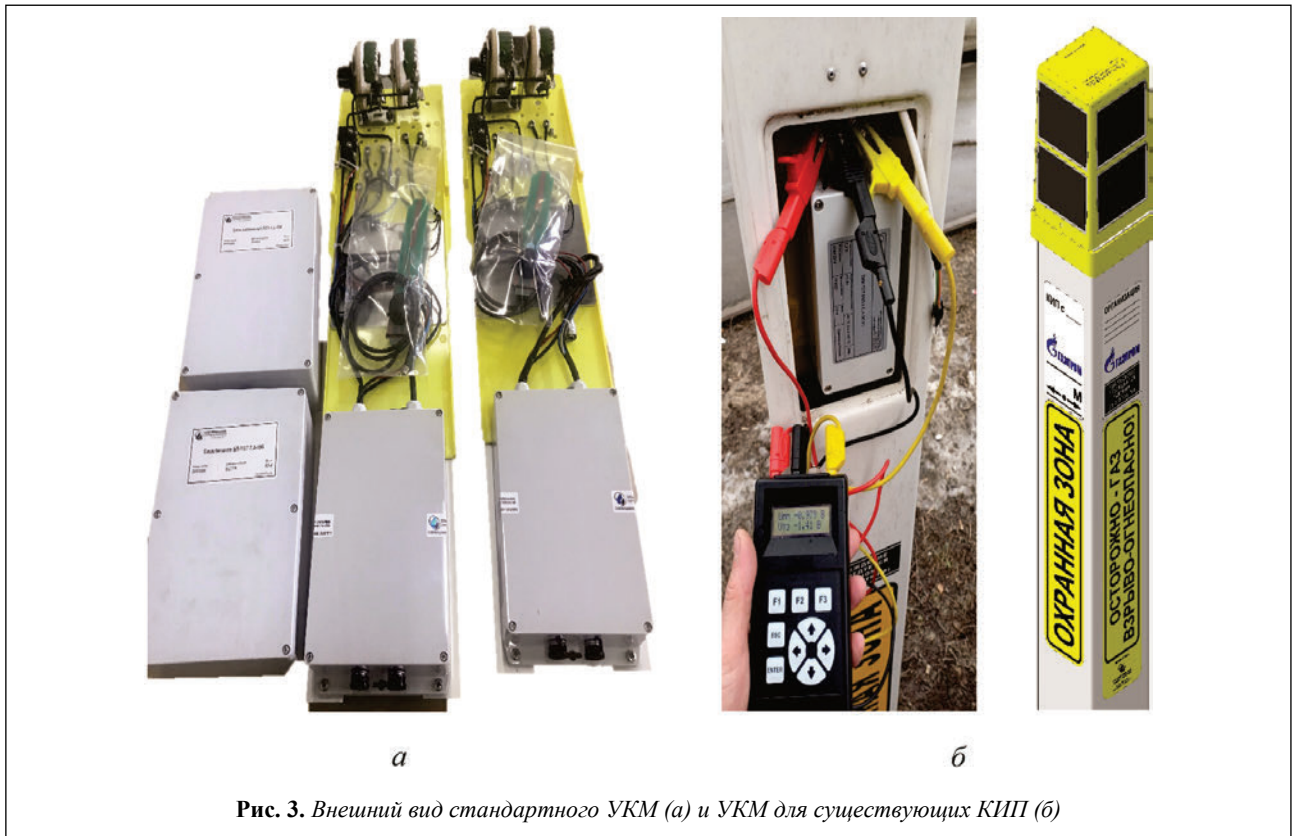


Рис. 3. Внешний вид стандартного УКМ (а) и УКМ для существующих КИП (б)

в зависимости от количества измерений занимает не более 5 с. По окончании передачи данных блок контроллера переходит в "спящий" режим. После облета трассы данные с приемно-передающего модуля (в том числе в варианте использования ММУ "еНОТ") передаются в подсистему коррозионного мониторинга ПКМ-ТСТ и сохраняются в базе данных локально-узловой станции ЛУС-ТСТ, впоследствии они могут быть использованы для обработки, интерпретации и прогнозирования, а также для передачи в дру-

гие специальные информационные системы и базы данных.

Для отработки технологии передачи данных ММУ "еНОТ" было установлено подвесное оборудование на Геоскан-401 (рис. 4), для чего разработали специальное жесткое крепление. Данное крепление обеспечивает надежную фиксацию планшета к БПЛА во время полета. Для целей апробации системы дистанционного мониторинга являлось достаточным использование серийных БПЛА и планшета. Данное оборудова-

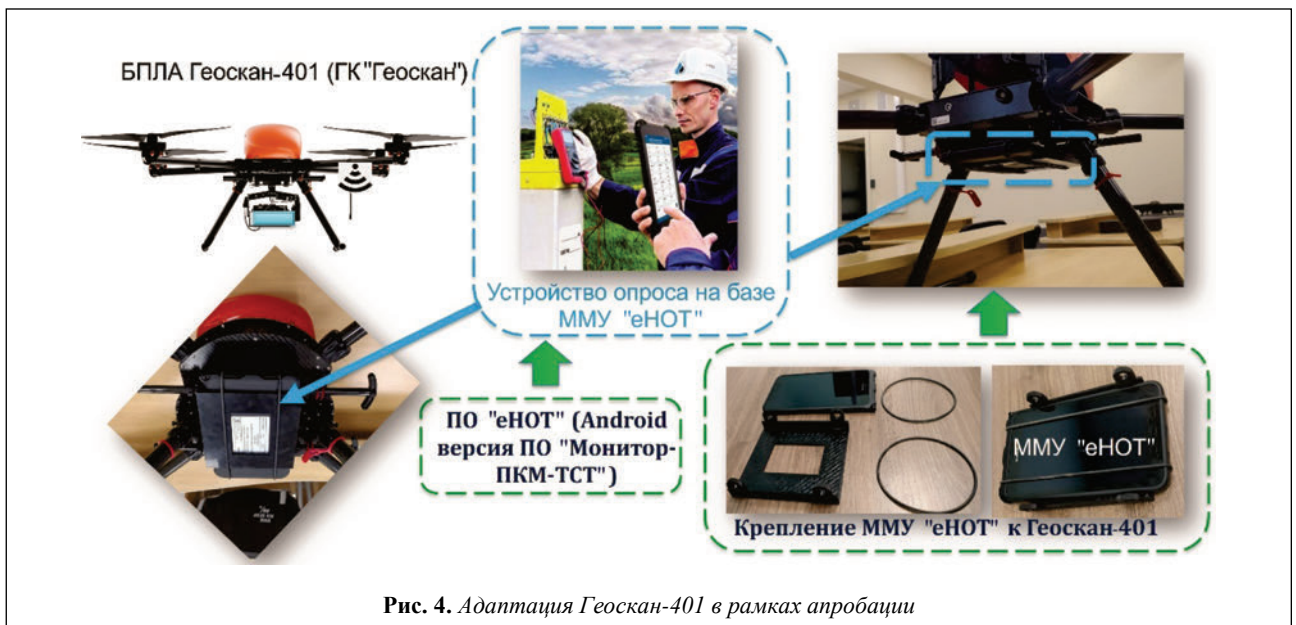


Рис. 4. Адаптация Геоскан-401 в рамках апробации

ние позволило отработать технологию передачи данных как в наземных тестах, так и при выполнении полетов.

Выводы

Предложена система дистанционного мониторинга МТ с использованием БПЛА, позволяющая собирать информацию с различных датчиков, устанавливаемых на МТ и связанных с устройством опроса в стойке КИП. Для предлагаемой системы мониторинга проработана принципиальная схема организации дистанционного мониторинга с применением БПЛА с задействованием инфраструктуры подсистемы коррозионного мониторинга. Сформулированы требования к основным элементам системы дистанционного мониторинга. Определены базовые требования к техническим характеристикам БПЛА. Выполнена апробация решений по дистанционному мониторингу с применением БПЛА на технической базе серийных решений АО "ТСТ" и БПЛА ГК "Геоскан", в рамках которой отработаны структурные связи между основными элементами системы дистанционного мониторинга и подтверждена эффективность передачи данных стойка КИП – устройство опроса на борту БПЛА с применением протокола BLE.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Промышленная безопасность и надежность магистральных трубопроводов / В.С. Аванесов, А.Б. Александров, С.А. Александров [и др.]. – М.: Национальный институт нефти и газа, 2009. – 695 с. – (Конкурентоспособность и управление качеством в нефтегазовом комплексе).
2. Контроль и регистрация технологических параметров при добыче, транспорте и переработке углеводородов / И.И. Хасанов, Г.Ю. Колчина, Е.А. Логинова, О.Ю. Полетаева; под ред. Б.Н. Мастобаева, Э.М. Мовсумзаде. – М.: Общеракадемическая наука, 2019. – 92 с.
3. Гольдзон И.А., Завьялов А.П., Лопатин А.С. Апробация автоматизированной системы технического диагностирования газопроводов с использованием беспилотных летательных аппаратов // Автоматизация и информатизация ТЭК. – 2023. – № 3(596). – С. 38–44. – DOI: 10.33285/2782-604X-2023-3(596)-38-44
4. Мазур И.И., Иванцов О.М. Безопасность трубопроводных систем. – М.: ИЦ "Елима", 2004. – 1104 с.
5. Коваленко А.Н., Уланов В.В., Шестаков Р.А. Методы неразрушающего контроля и диагностики газонефтепроводов: учебное пособие. – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2018. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
6. Реутских Н.В., Бережной М.А., Дуденко И.А. Геотехнический мониторинг для магистральных трубопроводов в различных типах многолетнемерзлых пород // Научный журнал Российского газового общества. – 2016. – № 2. – С. 22–26.
7. Проектирование и эксплуатация нефтепроводов: учебник для нефтегазовых вузов / М.В. Лурье, Б.Н. Мастобаева, П.А. Ревель-Муроз, А.Е. Соценко. – М.: Недра, 2019. – 434 с.
8. Исследование напряженно-деформированного состояния труб магистрального трубопровода с помощью волоконно-оптических датчиков деформации / Ф.А. Егоров, А.П. Неугодников, И.И. Велиулин [и др.] // Территория Нефтегаз. – 2011. – № 10. – С. 26–29.
9. Краус Ю.А., Варепо Л.Г., Китаев Ф.С. Коррозионный мониторинг подземных трубопроводов // Нефтегазовое дело. – 2019. – Т. 17, № 6. – С. 58–65. – DOI: 10.17122/ngdelo-2019-6-58-65
10. Жила В.А. Автоматика и телемеханика систем газоснабжения. – М.: ИНФРА-М, 2020. – 238 с.
11. Комплекс вертолетного типа с внешним пилотом БАС-200. – 2021. – URL: <https://helirusia.ru/wp-content/uploads/2022/05/Markin.pdf> (дата обращения 21.07.2024).
12. Комплексная оценка качества малогабаритных квадрокоптеров / В.В. Слепцов, А.Д. Лагунова, А.Е. Аблаева, Динь Ба Фыонг // Научно-технический вестник Поволжья. – 2021. – № 10. – С. 35–39.
13. Абдуллаев А.А. Тенденция развития беспилотных летательных аппаратов конвертопланового типа // Тенденции развития науки и образования. – 2020. – № 63-1. – С. 84–90. – DOI: 10.18411/lj-07-2020-21
14. Викулов О.В. Перспективные беспилотные летательные аппараты вертолетного типа отечественного производства // Инноватика и экспертиза: научные труды. – 2023. – № 1(35). – С. 70–82.
15. Возможности применения вертолетного лидара на основе излучения перестраиваемого ТЕА СО₂-лазера для обнаружения утечек метана / А.И. Карапузики, И.В. Пташник, О.А. Романовский [и др.] // Оптика атмосферы и океана. – 1999. – Т. 12, № 4. – С. 364–371.
16. Гольдзон И.А., Завьялов А.П., Лопатин А.С. О перспективах использования систем автоматизированного контроля технического состояния оборудования объектов ТЭК с использованием беспилотных технологий // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2019. – № 6(551). – С. 25–30. – DOI: 10.33285/0132-2222-2019-6(551)-25-30
17. Lyatuu С.А. An analysis of bluetooth 5 in comparison to bluetooth 4.2 // Europub Journal of Education Research. – 2022. – Vol. 3, No. 1. – P. 112–120. – DOI: 10.54745/ejerv3n1-008
18. Захаров Д.Б., Титов А.В. Подсистемы коррозионного мониторинга серии ПКМ-ТСТ // Коррозия Территории Нефтегаз. – 2015. – № 1(30). – С. 66–68.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Promyshlennaya bezopasnost' i nadezhnost' magistral'nykh truboprovodov / V.S. Avanesov, A.B. Aleksandrov, S.A. Aleksandrov [i dr.]. – М.: Natsional'nyy institut nefti i gaza,

2009. – 695 s. – (Konkurentosposobnost' i upravlenie kachestvom v neftegazovom komplekse).
2. Kontrol' i registratsiya tekhnologicheskikh parametrov pri dobyche, transporte i pererabotke uglevodorodov / I.I. Khasanov, G.Yu. Kolchina, E.A. Loginova, O.Yu. Poletaeva; pod red. B.N. Mastobaeva, E.M. Movsumzade. – M.: Obrakademnauka, 2019. – 92 s.
3. Gol'dzon I.A., Zav'yalov A.P., Lopatin A.S. Aprobatsiya avtomatizirovannoy sistemy tekhnicheskogo diagnostirovaniya gazoprovodov s ispol'zovaniem bespilotnykh letatel'nykh apparatov // Avtomatizatsiya i informatizatsiya TEK. – 2023. – № 3(596). – S. 38–44. – DOI: 10.33285/2782-604X-2023-3(596)-38-44
4. Mazur I.I., Ivantsov O.M. Bezopasnost' truboprovodnykh sistem. – M.: ITs "Elima", 2004. – 1104 s.
5. Kovalenko A.N., Ulanov V.V., Shestakov R.A. Metody nerazrushayushchego kontrolya i diagnostiki gazonefteprovodov: uchebnoe posobie. – M.: RGU nefti i gaza (NIU) imeni I.M. Gubkina, 2018. – 1 elektron. opt. disk (CD-ROM).
6. Reutskikh N.V., Berezhnoy M.A., Dudenko I.A. Geotekhnicheskii monitoring dlya magistral'nykh truboprovodov v razlichnykh tipakh mnogoletnemerykh porod // Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo gazovogo obshchestva. – 2016. – № 2. – S. 22–26.
7. Proektirovanie i ekspluatatsiya nefteprovodov: uchebnyy dlya neftegazovykh vuzov / M.V. Lur'e, B.N. Mastobaev, P.A. Revel'-Muroz, A.E. Soshchenko. – M.: Nedra, 2019. – 434 s.
8. Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya trub magistral'nogo truboprovoda s pomoshch'yu volokonno-opticheskikh datchikov deformatsii / F.A. Egorov, A.P. Neugodnikov, I.I. Veliyulin [i dr.] // Territoriya Neftegaz. – 2011. – № 10. – S. 26–29.
9. Kraus Yu.A., Varepo L.G., Kitaev F.S. Korroziyonnyy monitoring podzemnykh truboprovodov // Neftegazovoe delo. – 2019. – T. 17, № 6. – S. 58–65. – DOI: 10.17122/ngdelo-2019-6-58-65
10. Zhila V.A. Avtomatika i telemekhanika sistem gazosnabzheniya. – M.: INFRA-M, 2020. – 238 s.
11. Kompleks vertoletnogo tipa s vneshnim pilotom BAS-200. – 2021. – URL: <https://helirussia.ru/wp-content/uploads/2022/05/Markin.pdf> (data obrashcheniya 21.07.2024).
12. Kompleksnaya otsenka kachestva malogabaritnykh kvadrokopteroz / V.V. Sleptsov, A.D. Lagunova, A.E. Ablaeva, Din' Ba Fyong // Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Povolzh'ya. – 2021. – № 10. – S. 35–39.
13. Abdullaev A.A. Tendentsiya razvitiya bespilotnykh letatel'nykh apparatov konvertoplanovogo tipa // Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya. – 2020. – № 63-1. – S. 84–90. – DOI: 10.18411/lj-07-2020-21
14. Vikulov O.V. Perspektivnye bespilotnye letatel'nye apparaty vertoletnogo tipa otechestvennogo proizvodstva // Innovatika i ekspertiza: nauchnye trudy. – 2023. – № 1(35). – S. 70–82.
15. Vozmozhnosti primeneniya vertoletnogo lidara na osnove izlucheniya perestraivaemogo TEA CO₂-lazera dlya obnaruzheniya utechek metana / A.I. Karapuzikov, I.V. Ptashnik, O.A. Romanovskiy [i dr.] // Optika atmosfery i okeana. – 1999. – T. 12, № 4. – S. 364–371.
16. Gol'dzon I.A., Zav'yalov A.P., Lopatin A.S. O perspektivakh ispol'zovaniya sistem avtomatizirovannogo kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya oborudovaniya ob'ektov TEK s ispol'zovaniem bespilotnykh tekhnologiy // Avtomatizatsiya, telemekhanizatsiya i svyaz' v neftyanoy promyshlennosti. – 2019. – № 6(551). – S. 25–30. – DOI: 10.33285/0132-2222-2019-6(551)-25-30
17. Lyatuu C.A. An analysis of bluetooth 5 in comparison to bluetooth 4.2 // Europub Journal of Education Research. – 2022. – Vol. 3, No. 1. – P. 112–120. – DOI: 10.54745/ejerv3n1-008
18. Zakharov D.B., Titov A.V. Podsystemy korroziyonnogo monitoringa serii PKM-TST // Korroziya Territorii Neftegaz. – 2015. – № 1(30). – S. 66–68.

Информация об авторах

Павел Кириллович Калашников, канд. техн. наук, доцент, проректор по научной работе

Дмитрий Юрьевич Пионт, первый заместитель ген. директора – технический директор

Михаил Юрьевич Темис, канд. физ.-мат. наук, директор

Павел Николаевич Глазов, директор инженерного центра

Александр Андреевич Козлов, аспирант

Information about the authors

Pavel K. Kalashnikov, PhD (engineering), associate professor, Vice-Rector for Scientific Work

Dmitry Yu. Piont, First Deputy General Director – Technical Director

Mikhail Yu. Temis, PhD (physics-mathematics), Director

Pavel N. Glazov, Director of the Engineering Center

Alexander A. Kozlov, postgraduate student

Статья поступила в редакцию 27.10.2025; одобрена после рецензирования 20.11.2025; принята к публикации 25.11.2025.