



## ДИАГНОСТИКА ТРУБОПРОВОДОВ ДКС И ВОЗДУШНЫХ ПЕРЕХОДОВ МЕЖПРОМЫСЛОВЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Г. А. ЛАНЧАКОВ, А. И. СТЕПАНЕНКО, А. Я. НЕДОСЕКА, М. А. ЯРЕМЕНКО, С. А. ЕГУРЦОВ

*Проведен краткий анализ факторов, вызывающих аварийные ситуации на технологических трубопроводах «высокой стороны» дожимных компрессорных станций (ДКС). Представлены некоторые технические решения, их реализация на объектах ООО «Уренгойгазпром» по обеспечению более надежной эксплуатации трубопроводов на вечной мерзлоте, состояние свайных оснований во времени, воздушных переходов и т. п.*

*Brief analysis of factors causing emergency situations in process pipelines of the High side of booster compressor stations is given. The paper presents some engineering solutions, their implementation in the facilities of OJSC YUrengoy-gasprom for guaranteeing a more reliable pipeline operation on permafrost, condition of pile supports in time, aerial transitions, etc.*

В настоящее время протяженность трубопроводов, требующих ремонта или замены, превышает протяженность вновь строящихся. Удельные затраты на капитальный ремонт возросли только по ОАО «Газпром» за последние годы в несколько раз. Особо следует выделить межпромысловые трубопроводы, воздушные переходы через мелкие реки, ручьи и малые водотоки [1]. Условия их эксплуатации характеризуются режимом малоциклового нагружения в широком диапазоне температур от 20 до  $-60$  °С, воздействием высоких неконтролируемых упругопластических деформаций. Систематическое изменение теплового потока постепенно приводит к отклонению трубопровода от первоначального (проектного) положения. Образуются арки трубопроводов на свайных основаниях. Нередко меняются внешние условия, отрицательно влияющие на работоспособность трубопроводов, меняется расчетная схема и напряженно-деформированное состояние. Факторы, влияющие на работоспособность трубопроводов, представлены на рис. 1. Это относится и к трубопроводным обвязкам ДКС, которые выполнены в наружном исполнении на свайных основаниях. Особое место по

обеспечению надежности трубопроводов необходимо выделить на стадии эксплуатации.

Важная роль в решении этой проблемы отводится технической диагностике трубопровода как эффективному средству прогнозирования и предотвращения аварийных ситуаций, а также экологической защиты и обеспечения промышленной безопасности.

Рассмотрим некоторые особенности обеспечения надежности трубопроводов в районе Крайнего Севера. Традиционные подходы и методы диагностики, применяемые в районах с умеренными природно-климатическими условиями, нельзя применить для трубопроводов Крайнего Севера. Связано это с тем, что трубопроводы в этих регионах эксплуатируются в сложных природно-климатических и геокриологических условиях в области отрицательных температур.

Несомненный интерес представляет опыт обеспечения надежной эксплуатации трубопроводов, проложенных в условиях вечной мерзлоты, накопленный в газодобывающей компании ООО «Уренгойгазпром».



Рис. 1. Факторы, вызывающие аварийную ситуацию на технологических трубопроводах «высокой стороны» ДКС



Трубопроводные системы Уренгойского НГКМ представляют собой разветвленный комплекс трубопроводов различного назначения (газо-, нефте-, конденсаторопроводы) и диаметра, начиная от 57 до 1420 мм, общей протяженностью более 5000 км, эксплуатирующихся на различных типах многолетнемерзлых пород в экстремальных природно-климатических условиях, характерных для Крайнего Севера. Трубопроводы и трубопроводные обвязки установки комплексной подготовки газа (КПГ), ДКС выполнены в различном исполнении прокладки (надземной и подземной), пересекают большое количество ландшафтных зон, малых рек и водотоков, резко различающихся между собой как температурой грунта, так и его составом.

Для обеспечения устойчивости трубопровода в таких условиях его обваловывают и закрепляют пригрузами. Однако в процессе эксплуатации газопроводов в многолетнемерзлых слабонесущих грунтах вносится возмущение в температурный режим грунтов. При этом развиваются процессы многочисленных локальных пучений, происходит деградация многолетнемерзлых пород вокруг газопровода, сопровождающаяся разрушением обваловки, всплытием и просадками трубопроводов, пучением (просадкой) свайных оснований трубопроводных обвязок (ТПО) ДКС и воздушных переходов [2].

Наибольшую опасность для межпромысловых коллекторов (МПК) представляют участки переходов через геолого-геоморфологические уровни (коренной берег–пойма), контрастные типы и состояния местности (мерзлое–талое–болото–сухой участок), водотоки. На этих участках, как правило, происходят интенсивные перемещения трубопроводов с возникновением в них напряженно-деформированного состояния (НДС).

Таким образом, можно смело констатировать, что одной из основных задач диагностирования трубопроводов, эксплуатирующихся в условиях Крайнего Севера, является оценка НДС трубопроводов и динамика его изменения в результате взаимодействия их со слабонесущими многолетнемерзлыми грунтами.

В связи с этим в ООО «Уренгойгазпром» была предпринята попытка решить эту задачу на конкретных, наиболее значимых объектах добычи газа и его транспортировки, а именно на подключающих трубопроводах наружной и подземной прокладки (шлейфах) и ТПО ДКС, а также на воздушных переходах через ручьи, малые водотоки и реки МПК.

Традиционные методы проведения диагностических обследований указанных трубопроводов включали в себя: визуально-измерительный контроль, при обнаружения потенциально-опасных участков (ПОУ) трубопроводов применяли аппаратуру ультразвукового (УЗ) контроля, магнитные

методы для выявления дефектов на данных участках. После проведения обследований принимали решение о выполнении ремонтных работ. В большинстве таких случаев принятое решение о ремонтных работах носило субъективный характер и, как правило, зависело от человеческого фактора и не всегда было верным. Это влекло за собой неоправданное увеличение объемов ремонтных работ и увеличение денежных средств, потраченных на их выполнение. В данный момент такой подход неприемлем.

Устранение выявленных дефектов (в основном пучение и просадка свайных оснований трубопроводов) выполняли путем подрезания и наращивания свай с помощью сварки. Данные работы приходилось проводить почти ежегодно.

Поставлена задача — уйти от проведения ненужных сварочно-монтажных работ и попытаться разработать систему диагностики, которая бы позволяла получать информацию о НДС свайных оснований во времени и проводила постоянный мониторинг.

В первую очередь оснащению измерительными модулями системы инструментального мониторинга (СИМ), «отслеживающими» изменения параметров технического состояния объектов добычи и транспорта газа, подлежат потенциально опасные участки трубопроводов — трубопроводные обвязки «высокой стороны» (ДКС, УКПГ) и воздушные переходы, указанные в «Правилах технической эксплуатации магистральных газопроводов» (ВРД-39-0.10-006–2000).

Для решения поставленной задачи были проведены диагностические обследования выбранных объектов с целью выявления ПОУ, а именно: трубопроводные обвязки ДКС-7 и воздушный переход МПК через малый водоток длиной около 60 м.

Параллельно совместно с ООО «Газпромэнергодиагностика» разрабатывалась диагностическая система инструментального контроля, которая включает саму регулируемую опору, систему контроля и регулировки опорных конструкций, систему линий связи и регистрирующую аппаратуру с программным обеспечением [3, 4].

Здесь решались задачи информационной, программной и аппаратной совместимости, эффективности хранения данных, выбора номенклатуры пользовательских запросов и т. п. Исходя из концептуальных соображений, определялись требования к отдельным подсистемам и модулям. Учитывалось, что СИМ не должна нарушать технологические процессы добычи и транспорта газа.

Изготовленные регулирующие конструкции опор (рис. 2) были установлены на выбранных ПОУ ДКС и воздушном переходе МПК Уренгойского НГКМ, совместно с изготовленной измерительной автоматизированной системой мониторинга.



После полугодовой эксплуатации установленных систем на ТПО ДКС и переходе проведены эксплуатационные ведомственные испытания с участием представителей ООО «ВНИИГАЗ» и проектного института ООО «ВНИПИгаздобыча», выпущены нормативные документы, утвержденные ОАО «Газпром», согласована проектная документация. В процессе испытаний выявлены некоторые недостатки, которые были устранены при изготовлении последующих конструкций диагностической системы.

Испытания показали надежную работу разработанной системы и конструкций силоизмерительных регулируемых опор. Это позволило рекомендовать данную разработку для внедрения на предприятиях ОАО «Газпром».

На Уренгойском месторождении предварительно была проработана документация по ранее проводившемуся базовому обследованию объектов и выявлены ПОУ. После уточнения результатов диагностики на опасных участках трубопроводов шести цехов ДКС и пяти воздушных переходах на малых реках и водотоках МПК (р. То-Яха, Яр-Яхатарка и др. длиной от 50 до 180 м) были смонтированы измерительные системы мониторинга. Всего было установлено 65 силоизмерительных опор.

Измерительные модули, из которых состоит сама система, герметичны (IP67), имеют широкий диапазон рабочих температур (от  $-55$  до  $+70$  °С) и удовлетворяют требованиям ПУЭ для оборудования, применяемого во взрывоопасных зонах. Частота расположения модулей и датчиков на объектах обеспечивает достаточную точность измерений параметров с аналоговым изменением в пространстве. Цифровые каналы выполнены в помехозащищенном исполнении, что гарантирует отсутствие искажений информации при ее передаче от модулей к центру. Кроме того, аппаратура, предназначенная для размещения в неохранных зонах, изготовлена в «вандалоустойчивом» исполнении.

На рис. 3 представлена структурная схема СИМ. Ядром системы является отказоустойчивый сервер, который с заданной периодичностью опрашивает измерительные модули, установленные непосредственно в наиболее ответственных узлах. Способ передачи цифровой информации от измерительных модулей в каждом случае определяется в зависимости от требуемой оперативности принятия решений. Предусмотрены каналы: проводной (Field-bus), УКВ-канал с использованием существующих радиосетей, GSM-радиоканал при работе в зоне покрытия сетей GSM, спутниковый, с использованием средств телемеханики. При необходимости данные могут быть считаны с помощью переносного устройства сбора информации.

Сервер работает в комбинации с динамической экспертно-диагностической базой данных (БД),

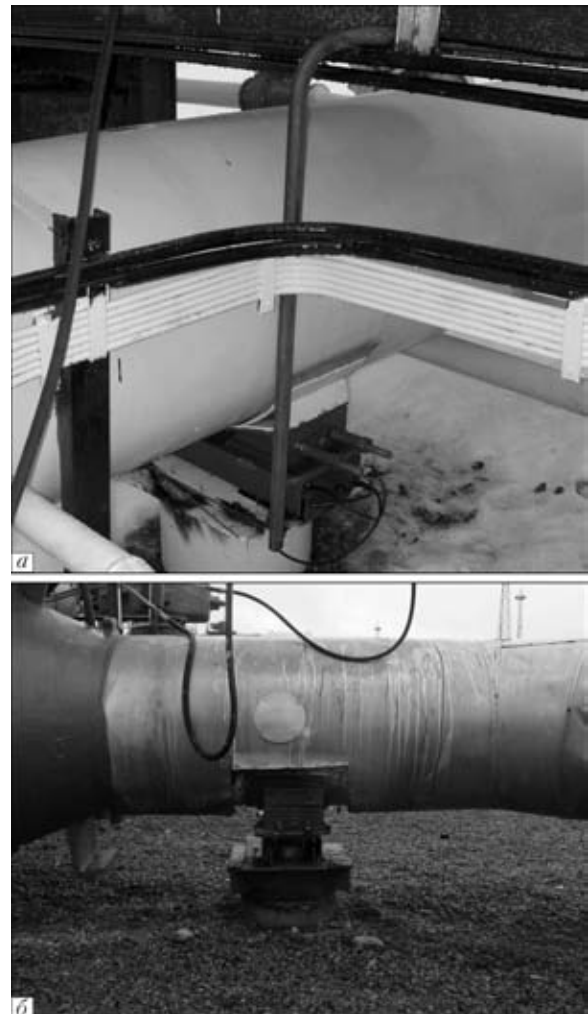


Рис. 2. Устройство контроля (а) и регулирования (б) опорной конструкции трубопроводов

где происходит постоянное накопление получаемой информации. Существенным для БД является организация хранения и представления данных в соответствии с принятым компьютерным моделированием технических устройств и сооружений и контролируемых параметров. Информация о техническом состоянии, накопленная за определенный период, используется для коррекции расчетных и статистических моделей диагностируемых узлов в реальном масштабе времени, причем интервал коррекции выбирается исходя из требуемой оперативности принятия решения о прекращении эксплуатации опасного производственного объекта. Централизованный сбор информации различной природы и ее однозначная временная привязка позволяет получать более достоверные результаты диагностирования [5].

В дальнейшем, по нашему мнению, в систему можно добавлять другие модули диагностики, которые увеличат ее функциональные возможности, а именно:

системы непрерывного мониторинга предельного состояния труб в области расположения опор на основе аттестованной акустической эмиссии;

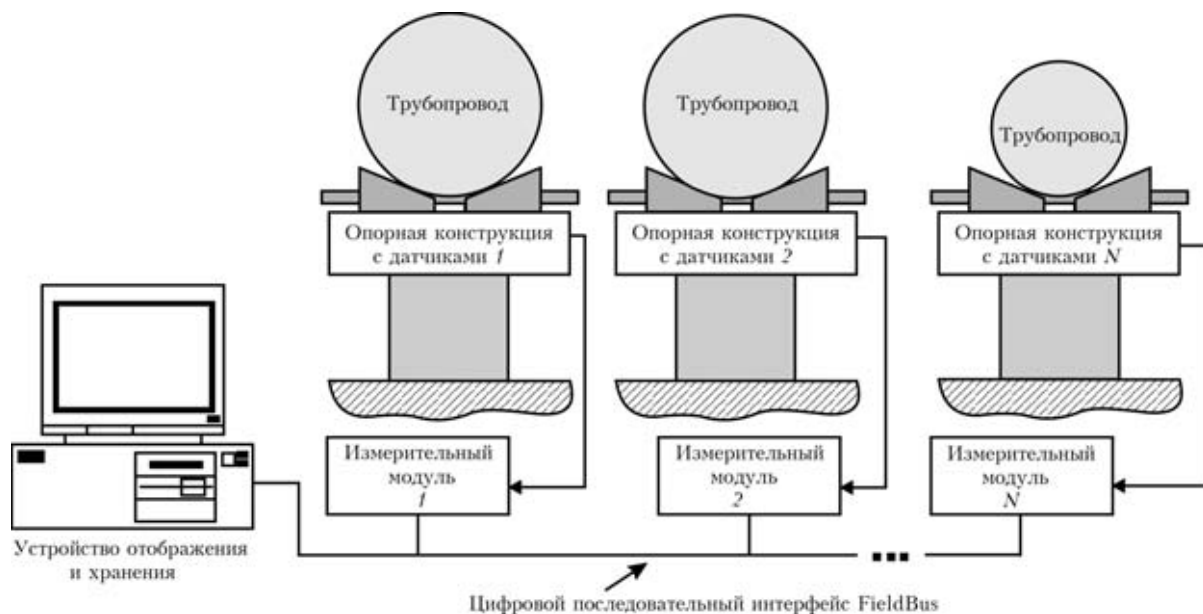


Рис. 3. Структурная схема передачи информации интегральной автоматизированной системы контроля и регулирования опорных конструкций трубопроводов

системы контроля и регулировки (СКР) опорных конструкций трубопроводов, которые позволяют вести непрерывный контроль фактической нагрузки на опоры в условиях нестабильности свайных оснований и проведение регулировки в случае появления отклонений от номинальной нагрузки;

системы виброконтроля ТПО, позволяющие вести непрерывную оценку вибросостояния в различных режимах работы ГПА;

системы мониторинга НДС трубопровода в реальном времени;

системы мониторинга коррозионного состояния, контролирующие скорость коррозии подземных технологических трубопроводов и эффективность работы электрохимической защиты (ЭХЗ);

системы контроля пространственного положения трубопровода (СКПТ), позволяющие вести высокоточные измерения отклонений положения трубопровода от проектного.

Силоизмерительные опоры были выполнены с таким расчетом, чтобы в течение минимум 10...15 лет свайные основания, претерпевающие наибольшие пучения–просадки, могли регулироваться, что исключает их ремонт в процессе эксплуатации.

Перечень модулей и условия контроля определяются техническим состоянием оборудования и условиями эксплуатации.

Системами контроля и регулирования опорных конструкций могут оснащаться как действующие, так и строящиеся, ремонтируемые или реконструируемые надземные трубопроводы.

Целью применения систем контроля и регулирования опорных конструкций трубопроводов является обеспечение надежной и безаварийной эк-

сплуатации надземных трубопроводов на опорах и, тем самым, обеспечение промышленной безопасности опасных производственных объектов ООО «Уренгойгазпром», а также снижение затрат на выполнение ремонтных работ по восстановлению свайных оснований.

Системы контроля и регулирования опорных конструкций трубопроводов предназначены для решения следующих задач [6]:

автоматизированного получения информации в реальном масштабе времени о силовом взаимодействии трубопроводов и опор для ее использования при комплексной оценке и прогнозировании технического состояния надземных трубопроводов, выработки обоснованных рекомендаций по их дальнейшей эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту;

увеличения сроков безопасной эксплуатации надземных трубопроводов на опорах за счет компенсации негативного влияния природно-климатических воздействий (изменение температуры окружающего воздуха, многолетние и сезонные морозное пучение и термоосадка опор, примыкающих подземных коллекторов, ветровые воздействия) и эксплуатационных факторов (колебания температуры и давления газа, вибрация) путем проведения обоснованного регулирования высотного положения опорных конструкций;

систематического накопления информации для использования при проведении экспертизы промышленной безопасности надземных трубопроводов с целью продления срока их эксплуатации;

снижения эксплуатационных затрат и затрат на капитальный ремонт.



## Выводы

В результате решения указанных задач обеспечивается: определение фактических параметров силового взаимодействия трубопроводов и опор; оптимизация уровня НДС трубопроводов; предупреждение достижения заданных предельных состояний трубопроводов вследствие изменения его планово-высотного положения, инициируемого комплексом внешних и внутренних нагрузок и воздействий; оптимизация равномерности и уровня нагруженности опорных конструкций трубопроводов; предупреждение достижения заданных предельных состояний опорных конструкций трубопроводов; оптимизация управления техническим обслуживанием и ремонтом надземных трубопроводов на опорах за счет перехода на стратегию технического обслуживания и ремонта по «фактическому техническому состоянию» [7, 8].

1. *Диагностика напряженного состояния газопроводов при эксплуатации* / Г. А. Ланчаков, А. И. Степаненко и др. — М.: Газовая пр-сть. — 1996. — № 4. — С. 15–18.

ООО «Уренгойгазпром»

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев  
ООО «Газпромэнергодиагностика», Москва

2. Пат. № 2249747 МКИ<sup>7</sup> F 163/205. Опорная система трубопровода / С. В. Власов, И. И. Губанок, А. Н. Дудов и др. — Оpubл. 12.10.2006, Бюл. № 34.
3. *Инструментальный мониторинг промышленной безопасности технологических объектов* / И. И. Губанок, В. В. Салюков, А. В. Хороших и др. — М.: Газовая пр-сть. — 2004. — № 11. — С. 82–84.
4. *Система инструментального мониторинга промышленной безопасности технологических объектов* / И. И. Губанок, В. В. Салюков, А. В. Хороших и др. — М.: Газовая пр-сть. — 2004. — № 9. — С. 82–83.
5. *Ланчаков Г. А., Зорин Е. Е., Степаненко А. И.* Работоспособность трубопроводов. Диагностика и прогнозирование. — М.: ООО «Недра-бизнесцентр», 2003.
6. *Ремонт магистральных и промысловых газопроводов.* — Справ. пособие / Под ред. А. И. Степаненко. — Киев: Интерграфик, 1996. — 191 с.
7. *Недосека А. Я.* Контроль критического напряженного состояния методом акустической эмиссии // В мире неразрушающего контроля. — 2005. — № 1 (27). — С. 14–16.
8. *Акустико-эмиссионный контроль в нефтехимическом производстве* / А. Я. Недосека, С. В. Агарков, М. А. Овсиенко и др. // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2003 — № 4. — С. 37–39.

Поступила в редакцию  
14.11.2006



Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

### Шоста науково-технічна конференція «ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ»

24–25 квітня 2007 р.

м. Київ, Україна

#### Шановні колеги!

Пропонуємо Вам взяти участь в науково-технічній конференції «ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ», яка відбудеться в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут».

Метою конференції є спілкування фахівців з питань перспективних розробок, прецизійних технологій, нових рішень в приладобудуванні, зустріч з керівниками провідних підприємств, формування спільних проектів, пошук партнерів для співпраці.

#### В рамках конференції будуть працювати секції:

- ✓ Теорія та практика навігаційних приладів і систем
- ✓ Оптичні та оптико-електронні прилади і системи
- ✓ Процеси виготовлення приладів, методи і засоби їх контролю
- ✓ Теорія і проектування наноприладів і систем вимірювання механічних величин і нанопереміщень
- ✓ Аналітичне та екологічне приладобудування
- ✓ Біомедичне приладобудування
- ✓ Неруйнівний контроль, технічна та медична діагностика
- ✓ Прилади і системи обліку витрат енергоносіїв

Контактні телефони: (044) 454-95-47, (044) 241-77-01

E-mail: [psnk@ntu-kpi.kiev.ua](mailto:psnk@ntu-kpi.kiev.ua)