



ПЯТИУРОВНЕВАЯ МОДУЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ТРУБОПРОВОДАХ, СОСУДАХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ, ХРАНИЛИЩАХ, РЕЗЕРВУАРАХ МАГНИТОАНИЗОТРОПНЫМ МЕТОДОМ

С. К. ФОМИЧЕВ, С. Н. МИНАКОВ, В. В. КОЧУБЕЙ, М. А. ЯРЕМЕНКО, С. В. МИХАЛКО,
А. В. ДАНИЛЬЧИК, П. О. КАРПЕНКО

Приведено описание пятиуровневой системы мониторинга механических напряжений в магистральных трубопроводах магнитоанізотропным методом. Она предназначена для периодических измерений механических напряжений, накопления и анализа полученных данных с целью предоставления объективной информации для принятия технологических решений. Система построена на основе унифицированных модулей, которые формируют блоки, последние формируют уровни системы. Данные, полученные любым уровнем системы, используются для глобального мониторинга конструкций без ограничений, т. е. все уровни системы совместимы между собой как на уровне данных, так и на уровне их интерпретации.

The paper gives a description of a five-level system of monitoring the mechanical stresses in line pipelines by magnetic anisotropy method. The system is designed for periodical measurement of mechanical stresses, acquisition and analysis of the obtained data to obtain objective information for taking technology decisions. The system is based on unified modules, forming the blocks, which form the system levels. The data obtained by any system level, are used for global monitoring of structures without limitations, i.e. all the system levels are compatible both at the level of the data and at the level of their interpretation.

Основная часть магистральных газо-, нефте- и продуктопроводов Украины находится в эксплуатации от 20 до 55 лет. После 20 лет эксплуатации в результате старения происходит нарушение изоляции трубы, деградация металла и замедленное разрушение, механизмы которых описаны в работе [1]. В связи с этим мониторинг технического состояния магистральных трубопроводов в настоящее время становится государственной проблемой.

В этой работе рассмотрена система, предназначенная для периодических измерений механических напряжений, накопления и анализа полученных данных с целью предоставления объективной информации для принятия технологических решений.

Неразрушающий магнитоанізотропный метод контроля механических напряжений, основанный на зависимости магнитной проницаемости ферромагнитных материалов измеряемых объектов от их напряженного состояния, составляет базис всех уровней системы мониторинга, использующих один и тот же унифицированный тип датчика [2].

Применяемая аппаратура требует минимальной подготовки контролируемой поверхности, что является преимуществом метода и позволяет проводить измерения при неполном снятии покрытия с измеряемого объекта. Достаточно очистить поверхность изделия в зоне контроля (размером ориентировочно 50×50 мм) от грубых наслоений ржавчины, грязи и окалины. Способ позволяет

также проводить измерения напряжений на поверхностях, покрытых неметаллическими покрытиями (лаки, краски и т. д.) толщиной до 0,3 мм.

Для оптимизации структуры системы под конкретные объекты мониторинга предложены соответствующие уровни исполнения системы. Данная система разбита на пять технологических уровней, каждый из которых учитывает конкретные условия эксплуатации трубопроводов, сосудов под давлением, хранилищ, резервуаров. Количество применяемых уровней и состав системы может быть определен из конкретных условий эксплуатации трубопроводов.

Данные, полученные любым уровнем системы, могут быть использованы для глобального мониторинга всего трубопровода без ограничений, т. е. все уровни системы совместимы между собой как на уровне регистрации данных, так и на уровне их интерпретации. Полученные с их помощью данные доступны для общего анализа соответствующим программным обеспечением (ПО) на ПК и поступают по имеющимся линиям связи на локальные и глобальный серверы.

Под локальным сервером понимается ПК, установленный в местном офисе организации, в зону ответственности которой входят участки трубопровода, на которых применяются соответствующие уровни системы. Накопление, обработка и анализ полученных данных дают информацию для



принятия технологических решений на местном уровне.

Под глобальным сервером понимается ПК, установленный в главном офисе организации, эксплуатирующей трубопровод, что позволяет оценивать напряженное состояние трубопровода в целом и предоставляет информацию для принятия технологических решений глобального характера.

Система построена на основе унифицированных модулей, которые формируют блоки. Данная структура позволяет гибко подбирать необходимую комплектацию оборудования для измерения механических напряжений, а также при необходимости проводить модернизацию с минимальными затратами.

Для всех уровней одинаковый и неизменный модуль — это датчик, который непосредственно проводит первичный съем информации об изменениях напряженного состояния объекта названным методом. Его основа — унифицированный магнитоанізотропный четырехполюсный преобразователь специального исполнения.

Разработчики предлагают **пять уровней** исполнения системы для измерения механических напряжений трубопроводов:

первый: одноканальный портативный прибор;

второй: многоканальная коммутируемая система на основе переносного портативного прибора;

третий: многоканальная стационарная неавтономная система с использованием носимого устройства съема информации;

четвертый: автономная стационарная многоканальная система мониторинга механических напряжений трубопроводов;

пятый: автоматическая, автономная стационарная многоканальная система мониторинга.

Рассмотрим каждый уровень системы более детально.

Первый уровень системы (рис. 1) включает портативный регистрирующий прибор — измеритель механических напряжений типа MESTR; присоединяемый к прибору датчик — четырехполюс-

ный магнитоанізотропный преобразователь; прилагаемое программное обеспечение первого уровня (ПО1) для построения эпюр распределения осевых напряжений в сечении трубопровода, как правило, используется в стационарных условиях центра мониторинга, но может применяться и непосредственно в местах проведения измерений с использованием переносных ПК.

Прибор типа MESTR [2, 3] представляет собой автономное устройство, питание которого вместе с датчиком осуществляется от установленных в нем аккумуляторных батарей. Прибор закреплен в сумке для ношения на плече.

Система первого уровня, основанная на портативном приборе, может быть использована для определения действующих напряжений в процессе эксплуатации трубопроводов с целью выявления наиболее напряженных участков; выбора технологии сборки, сварки и послесварочной обработки, обеспечивающей наименьший уровень остаточных напряжений; оценки напряженного состояния при монтаже и ремонте конструкций с целью принятия решения об оптимальном методе монтажа или ремонта; выбора места установки первичных преобразователей акустической эмиссии путем определения участков конструкции с наибольшим уровнем напряженного состояния.

С помощью оборудования данного уровня возможно проведение измерений в ручном режиме на любых доступных участках прохождения трубопроводов, в колодцах либо в случаях проведения ремонтных, диагностических, профилактических работ — как с земляными работами для шурфовки, так и без них.

Оператор, проводящий измерение, устанавливает датчик на место проведения измерения, ориентирует его, после чего на буквенно-цифровом дисплее считывает цифровое значение, которое заносит в протокол измерений с указанием места и времени проведения измерения. Затем полученные данные обрабатываются на ПК с помощью прилагаемого программного обеспечения первого уровня и только после этого информация о напряженном состоянии объекта поступают по линии связи на локальный и глобальный серверы.

Первый уровень системы строится на основе двух базовых блоков: прибора типа MESTR и программного обеспечения ПО1.

Рассмотрим состав блока «прибор типа MESTR», который состоит из следующих унифицированных модулей.

Магнитоанізотропный четырехполюсный преобразователь. Этот модуль представляет собой преобразователь трансформаторного типа, первичная обмотка которого является обмоткой намагничивания, на которую подается ток, а вторичная — измерительная обмотка, с которой сни-

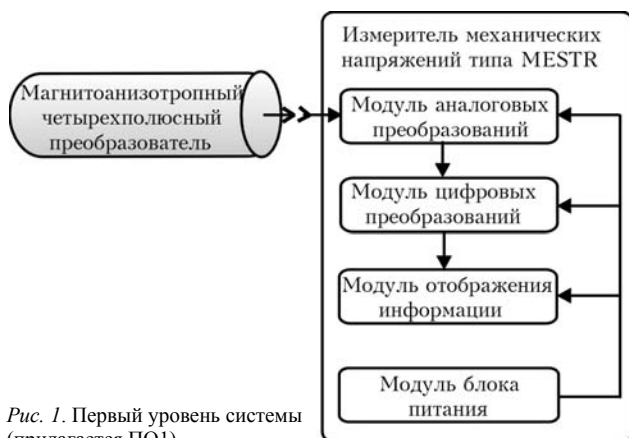


Рис. 1. Первый уровень системы (прилагается ПО1)



мается напряжение для дальнейшей обработки прибором. Обмотки размещены на П-образных сердечниках, расположенных под углом 90° по отношению одна к другой.

Модуль аналоговых преобразований (МАП). Служит для формирования входного сигнала, подающегося на обмотку намагничивания четырехполюсного магнитоанізотропного преобразователя и аналоговой обработки выходного сигнала, поступающего с измерительной обмотки. Содержит входные и выходные усилители, фазочувствительный выпрямитель, цифровой генератор синусоидального сигнала, аналогово-цифровой преобразователь (АЦП).

Модуль отображения информации (МОИ). Предназначен для отображения неименованных показаний четырехполюсного магнитоанізотропного преобразователя на буквенно-цифровом дисплее.

Модуль цифровых преобразований (МЦП). Предназначен для нормирования показаний четырехполюсного магнитоанізотропного преобразователя, выдачи управляющих команд на модуль МОИ, формирования команд данных, а также предусматривается возможность передачи их по сетевому протоколу RS-485/232.

Модуль блока питания. Предназначен для формирования напряжений питания, необходимых для работы других модулей.

Применение первого уровня системы целесообразно на открытых участках конструкций, в колодцах при плановом ремонте трубопроводов, при тестировании участков. И является оптимальным на участках, где предполагаемое количество измерений несколько сотен измерений в год. Первый уровень системы может быть модифицирован во второй уровень.

Второй уровень системы (рис. 2) состоит из прибора MESTR, блока коммутации, датчиков, программного обеспечения (ПО1) для построения эпюр распределения осевых напряжений в разрезе трубопровода.

Построение второго уровня системы основано на стационарной постановке датчиков на сечения трубопровода (сосуда, резервуара) и применении специального блока коммутации для их опроса оператором с применением регистрирующего прибора MESTR. Это является отличительной особенностью данного уровня системы от первого.

Этот уровень построен на идеологии первого уровня и полностью с ним совместим. Он отличается от него возмож-

ностью применения нескольких датчиков в непосредственной близости один от другого, которые устанавливают на трубопровод стационарно (как правило, в одном сечении) по заранее определенной схеме с фиксированием их нумерации и порядка производимых измерений на данном сечении в соответствующем формуляре.

Показания с них снимают поочередно портативным прибором MESTR, снабженным блоком коммутации. Ограничениями при этом, как и в первом уровне, могут быть лишь временные рамки производства измерений и перемещения к новому сечению трубопровода.

Блок коммутации — устройство, посредством которого осуществляется последовательная коммутация датчиков.

Датчики устанавливаются на трубопровод стационарно и могут работать как на открытых участках, так и под землей. В последнем случае после установки датчиков трубопровод засыпают и на поверхность выводится выводная труба с разъемом для подключения портативного прибора MESTR через модуль коммутации.

Подключив через разъем датчики к блоку коммутации посредством выведенных информационных и питающих проводов, оператор проводит не-

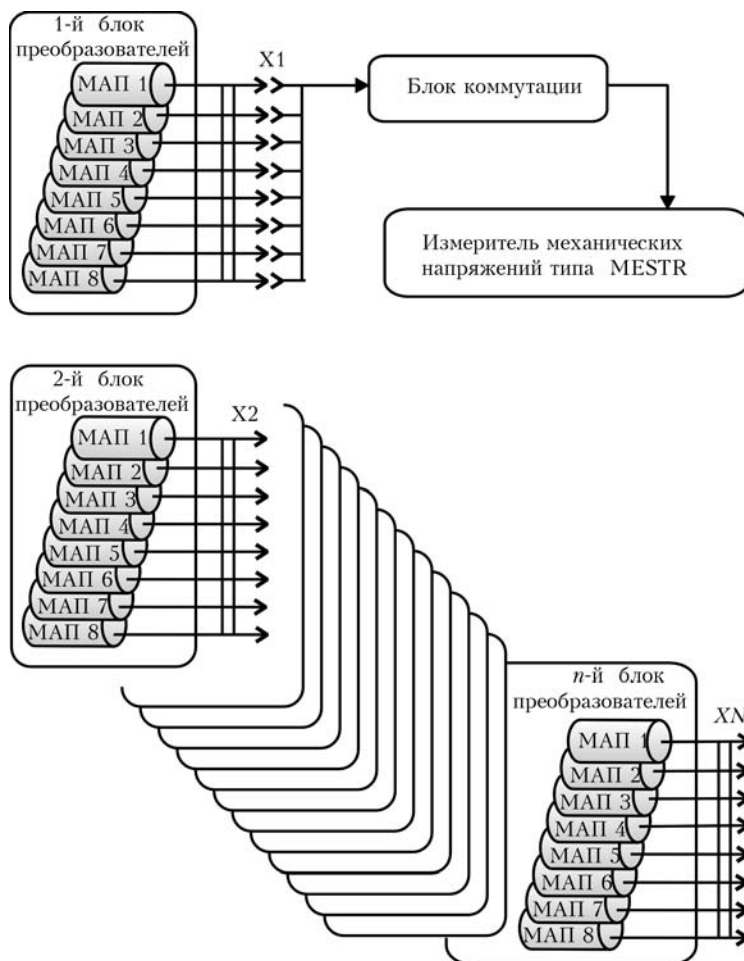


Рис. 2. Второй уровень системы (прилагается ПО1)



обходимые измерения и заносит данные в протокол измерений.

Области применения второго уровня системы: постоянные опасные места прохождения трубопроводов, требующие повышенного контроля в локальное определенное время, например, в период сезонных изменений, оползней, размывов и т. д.; опасные участки сосудов, резервуаров и хранилищ. Применение второго уровня системы оптимально при необходимости снятия показаний в пределах тысяч измерений в год. Полученные данные так же, как и в первом уровне системы, систематизируются посредством бумажного делопроизводства, обрабатываются на ПК с использованием программного обеспечения ПО1 для построения эпюр распределения осевых напряжений в сечении трубопровода, после чего поступают по линиям связи на локальный и глобальный серверы.

Третий уровень системы (рис. 3) — многоканальная стационарная неавтономная система для измерения механических напряжений. Данный уровень открывает следующее поколение систем сбора и обработки данных напряженного состояния и значительно снижает трудозатраты процесса мониторинга. Этот уровень позволяет на порядок увеличить производительность и количество датчиков, используемых в мониторинге объекта, соответственно повышая информативность и оперативность системы в целом.

Состоит из таких блоков: блока датчиков, универсального измерителя напряжений (УИН), переносного устройства съема информации, прила-

гаемого программного обеспечения нового уровня ПО2.

Рассмотрим детально каждый из блоков.

Универсальный измеритель напряжений (УИН). Устройство, предназначенное для непосредственного опроса четырехполюсных магнитоанізотропных преобразователей, оцифровки и нормировки их показаний с возможностью передачи данных на порт вывода информации RS-485. Этот порт позволяет передавать информационные данные по физической витой паре на расстояние до 2 км. Так же, как и блок датчиков, данное устройство является базовым для последующих уровней системы.

В состав блока входят модули: аналоговых преобразований, цифровых преобразований и коммутации.

Универсальный измеритель напряжений характеризуется такими параметрами: количество опрашиваемых четырехполюсных магнитоанізотропных преобразователей — до 23 шт.; питание УИН-12-24В постоянного тока; канал передачи данных реализован через порт RS-485; модульная компоновка УИН: состоит из легко заменяемых стандартизованных модулей для облегчения ремонта, замены либо тестирования любого из них; герметичный, прочный некорродируемый корпус; при подземной постановке на поверхность выводится всего четыре провода в защитной оболочке: два информационных, два питания.

Переносное устройство съема информации. Предназначено для опроса УИН, установленного

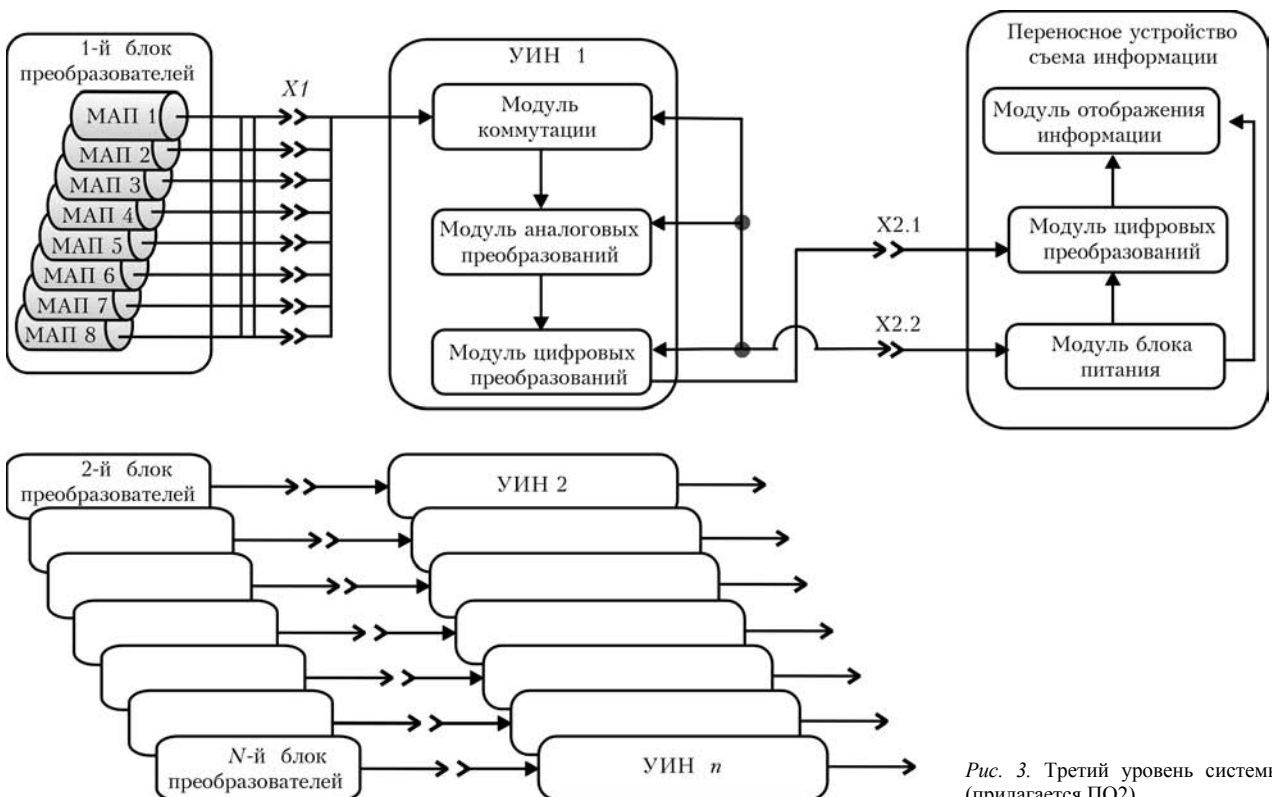


Рис. 3. Третий уровень системы (прилагается ПО2)



на трубопроводе как на поверхности, так и под землей. Применяется для получения по каналу передачи данных с УИН. Питающее напряжение для УИН подается с переносного устройства съема информации по кабелю при его подключении и регистрации данных через единый разъем.

Переносное устройство съема информации состоит из модулей: цифровых преобразований, отображения информации, блока питания.

Из перечисленного видно, что система третьего уровня — это возможность установки неограниченного количества УИН, стационарная постановка датчиков, надежность эксплуатации. Оператор имеет при себе только переносное внешнее устройство съема информации, которым проводит измерения путем подключения к одному из установленных УИН. Данные, поступающие с датчиков, автоматически передаются в переносное устройство съема информации и подлежат дальнейшему анализу на ПК с помощью прилагаемого программного обеспечения второго уровня (ПО2), затем поступают по линиям связи на локальный и глобальный серверы.

Возможности третьего уровня системы с минимальными затратами позволяют модифицироваться в четвертый, а затем в пятый уровень системы. Применение третьего уровня систем является оптимальным при снятии показаний в пределах десятков тысяч измерений в год.

Четвертый уровень системы (рис. 4) — автономная стационарная многоканальная система мониторинга механических напряжений трубопроводов. В отличие от системы третьего уровня

дополнительно содержит блоки контроллера, повторителей, программное обеспечение ПО2.

Контроллер предназначен для периодического опроса УИН и состоит из следующих модулей: концентратора, микроконтроллера, модуля блока питания.

Следует отметить, что применение блока контроллера в этом уровне системы позволяет присоединять к одной информационной шине любое количество УИН и обеспечивать при этом съем информации сразу со всех устройств лишь в одной, удобной точке коммутации. Также имеется возможность в любой момент подключить к системе портативный персональный компьютер с возможностью получить весь объем информации за период от последнего сеанса измерения. Модули датчиков, блоки УИН и повторителей стационарно закреплены на объекте мониторинга в корпусах соответствующего исполнения.

Модуль концентратора предназначен для концентрации информационных потоков с блоков УИН и преобразовании их в протокол связи с компьютером.

Модуль микроконтроллера предназначен для периодического опроса УИН, накопления и хранения данных.

Модуль блока питания предназначен для выработки напряжений питания на УИН, повторители и модуль концентратора (12...24 В постоянного тока).

Повторитель — устройство, служащее «промежуточным звеном» для последовательного подключения УИН. Этот блок устанавливается вмес-

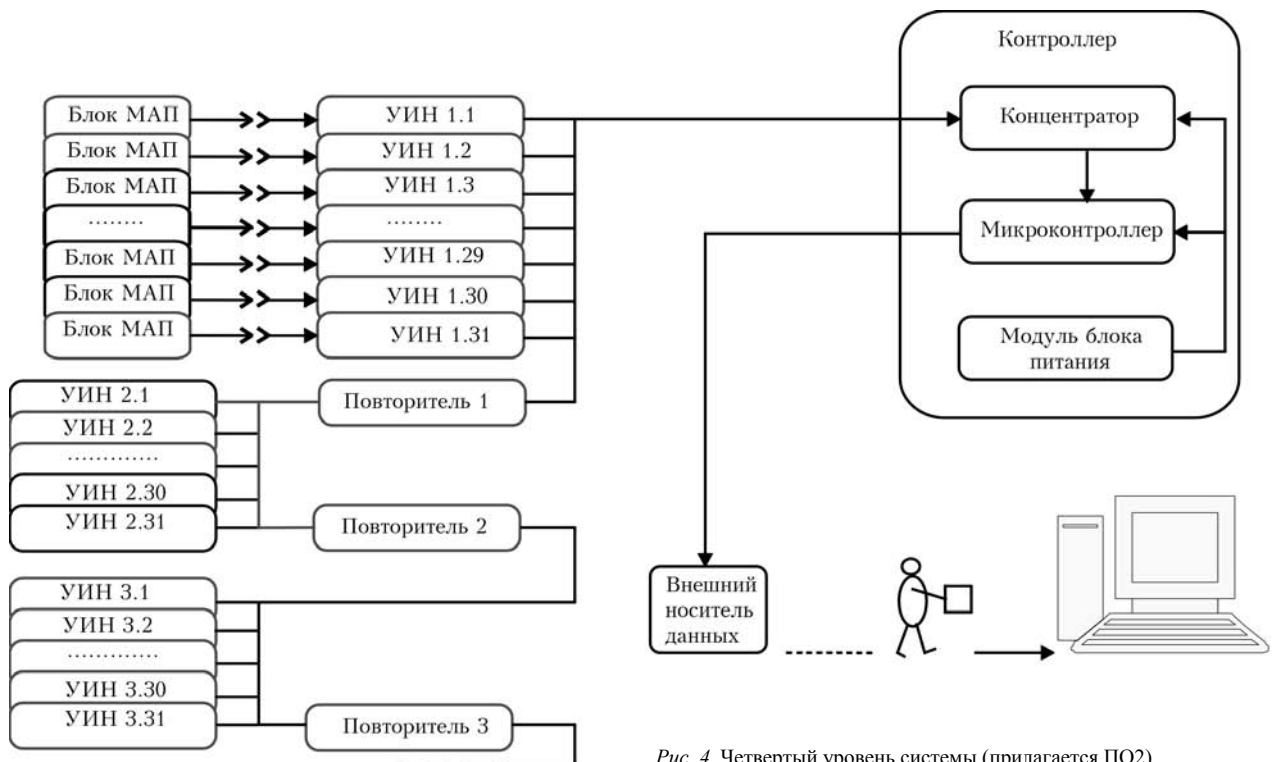


Рис. 4. Четвертый уровень системы (прилагается ПО2)

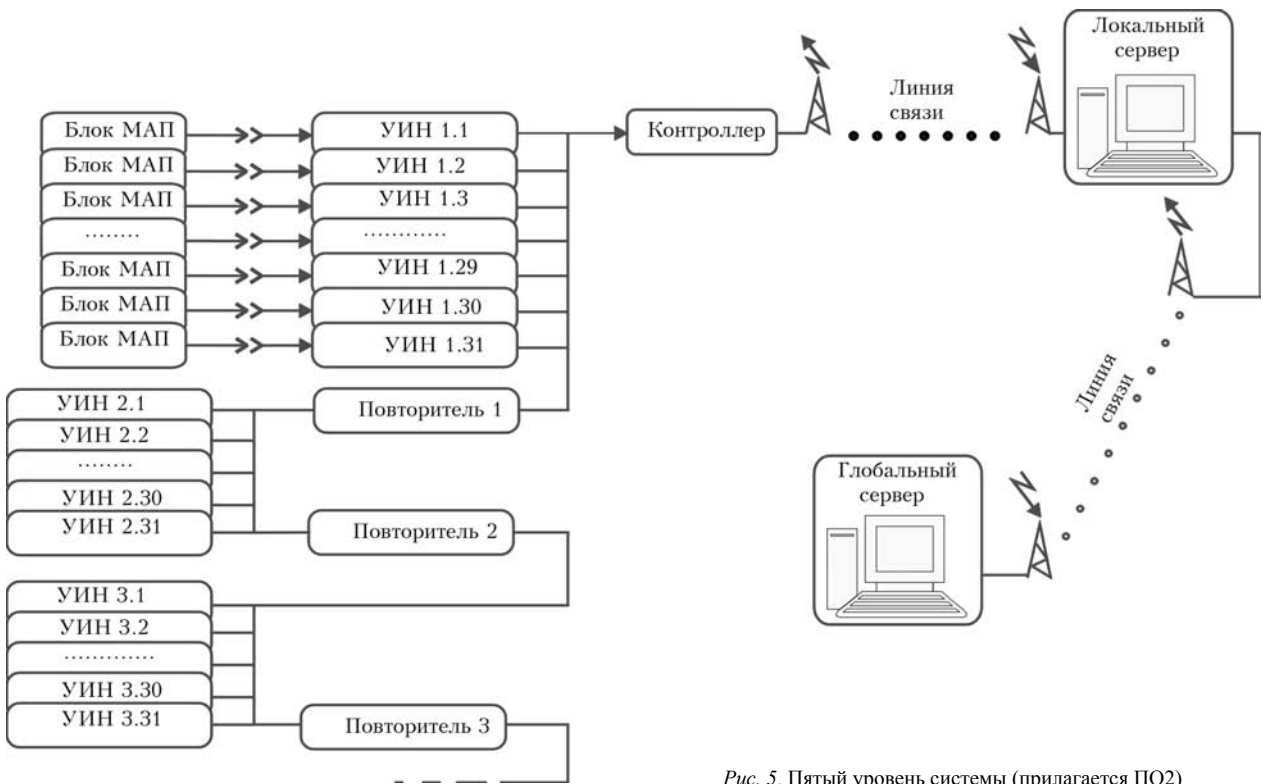


Рис. 5. Пятый уровень системы (прилагается ПО2)

то одного из 32-х УИН в случае необходимости последовательного подключения более 31 УИН на одну информационную шину при мониторинге объекта, требующего очень большого количества датчиков в определенной локальной зоне. В противном случае его наличие не требуется.

Внешний носитель данных — это устройство, предназначенное для съема накопленной информации с блока контроллера (модуля микроконтроллера) и передачи ее в ПК (локальный сервер) для последующей обработки с помощью программного обеспечения ПО2. Затем данные поступают по линиям связи в глобальный сервер.

Блок питания 12...24 В постоянного тока.

Применение четвертого уровня системы оптимально при снятии показаний в пределах сотен тысяч измерений в год и не требует бумажного делопроизводства. Четвертый уровень системы легко модифицируется в пятый, так как отличается лишь средствами автоматизации доставки и обработки данных механических напряжений и может функционировать в полностью автономном режиме. Предполагает замену бумажных технологий учета электронными формами, ликвидирует возможность неточностей субъективного характера.

Пятый уровень системы (рис. 5) — представляет автоматическую автономную стационарную многоканальную систему мониторинга механических напряжений трубопроводов. Она базируется на системе четвертого уровня и в отличие от последней пересылает данные через линии связи к локальному и глобальному серверам в автоматическом режиме.



Рис. 6. Оптимальные области применения уровней системы

Этот уровень системы предполагает полную автоматизацию мониторинга механических напряжений трубопровода, что позволяет отслеживать опасные участки в режиме реального времени без каких-либо ограничений, находясь далеко от места их нахождения.



Разработанная пятиуровневая модульная система мониторинга напряженного состояния трубопроводов магнитоанізотропным методом предназначена для гибкой оптимизации структуры системы под конкретные объекты мониторинга, уровни опасности объектов, а также стоимости получения данных одного измерения. Каждый из разработанных уровней системы имеет свою экономическую целесообразность применения (рис. 6). Система не ограничена количеством и качественным составом применяемых одновременно уровней. По мере роста производственной и экономической необходимости предусмотрена модификация первого уровня во второй, а также третьего в четвертый и далее в пятый. Для современных объектов трубопроводного транспорта может быть рекомендовано комплексное использование различных уровней системы с применением отдельных уровней на различных участках.

Выводы

Разработана многоуровневая система мониторинга напряженного состояния, обеспечивающая безопасную эксплуатацию трубопроводов, сосудов под давлением, хранилищ и резервуаров.

Использование магнитоанізотропного метода контроля предъявляет минимальные требования к

подготовке контролируемой поверхности и позволяет проводить измерения при неполном снятии защитного покрытия с измеряемого объекта.

Данные, полученные любым уровнем системы, используются для глобального мониторинга конструкций без ограничений, т. е. все уровни системы совместимы между собой как на уровне данных, так и на уровне их интерпретации.

Предусмотрена возможность наращивания информационной мощности каждого из уровней в отдельности, а также их модификация в более высокие уровни общей системы мониторинга с существенной экономией средств.

В комплексе система обеспечивает предоставление своевременной и объективной информации для принятия технологических решений на любых уровнях управления.

1. *Обоснование* метода обследования и выбор мест шурфовки магистральных газопроводов / Б. Е. Патон, А. Я. Недосека, С. К. Фомичев, М. А. Яременко // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 1999. — № 1. — С. 3–12.
2. *Особенности* измерения механических напряжений электромагнитным методом в трубопроводах и сосудах давления газового и нефтяного комплекса / А. Я. Недосека, С. К. Фомичев, С. Н. Минаков, М. А. Яременко и др. // Там же. — 1996. — № 1. — С. 55–56.
3. *Измеритель* механических напряжений серии MESTR-41x / С. К. Фомичев, С. Н. Минаков, А. В. Данильчик, М. А. Яременко и др. // Там же. — 1998. — № 1. — С. 58–60.

Нац. техн. ун-т Украины «КПИ»,
Киев

Поступила в редакцию
01.06.06

LTWMP-2007
3-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СВАРКЕ
И ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ»
21-25 мая 2007 г.,
Крым, Ялта, Дом творчества ученых «Кацивели»
Организаторы:
ИЭС им. Е.О. Патона
НТТУ «КПИ»
Международная ассоциация «Сварка»
Тел./факс: (38044) 529-26-23
E-MAIL: JOURNAL@PATON.KIEV.UA
WWW.IAW.COM.UA/RUSSIAN/CONFERENCES