

**Диагностический мониторинг объектов энергетики, нефтегазовой,  
нефтеперерабатывающей и химической промышленности – путь повышения  
промышленной безопасности**

**Портненко М. А.<sup>1</sup>, Степанов Е. Г.<sup>2</sup>, Шамаев И. А.<sup>3</sup>, Ермаков К. В.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>*Портненко Максим Александрович / Portnenko Maksim Aleksandrovich - ведущий инженер  
отдела неразрушающего контроля;*

<sup>2</sup>*Степанов Евгений Георгиевич / Stepanov Evgenij Georgievich - начальник  
испытательной лаборатории неразрушающего контроля;*

<sup>3</sup>*Шамаев Игорь Александрович / Shamaev Igor' Aleksandrovich - начальник отдела неразрушающего контроля;*

<sup>4</sup>*Ермаков Константин Васильевич / Ermakov Konstantin Vasil'evich - начальник отдела электромагнитной  
совместимости,*

*ООО «Энергодиагностика», г. Москва*

**Аннотация:** в статье рассматриваются проблемы повышения промышленной безопасности путем мониторинга объектов энергетики, нефтегазовой, нефтеперерабатывающей и химической промышленности методами неразрушающего контроля.

**Ключевые слова:** диагностика, мониторинг, промышленная безопасность, акустическая эмиссия [2], напряженно-деформированное состояние, акустико-эмиссионный преобразователь, тензопреобразователь.

Актуальность проблемы диагностирования технического состояния опасных производственных объектов с каждым годом становится все очевиднее.

В особенности таких объектов, разрушение которых, даже частичное, может привести к техногенной катастрофе или непоправимому материальному ущербу. К таким объектам относятся конструкции энергетики, нефтегазовой, нефтеперерабатывающей и химической промышленности: агрегаты, емкости, колонны, сосуды, работающие под давлением, трубопроводы.

Износ и старение оборудования делают эксплуатацию его опасным, а периодический контроль штатными средствами контроля зачастую не может обеспечить надлежащего уровня эксплуатационной надежности, или проведение его связано с большими потерями времени на подготовительные работы.

Опасности, грозящие трубопроводным системам, можно объединить в две категории: это аварии и диверсии. Многие аварии вызываются земляными работами, недостаточной пропускной мощностью систем, коррозией, погодными условиями, механическими поломками, повреждениями системы контроля, ошибками операторов и стихийными бедствиями. Поэтому все заметнее просматривается тенденция перехода от периодического контроля таких объектов к непрерывному их контролю (мониторингу).

Кроме физического и морального износа оборудования имеется ряд причин, заставляющих производителей обращаться к мониторингу. Можно назвать следующие:

1. *Отсутствие доступа и затрудненный доступ.*

Примером таких конструкций служат, например, емкости для хранения аммиака, колонны и сосуды с теплоизоляцией.

2. *Высокие скорости роста эксплуатационных дефектов и, как следствие, малая долговечность* вынуждают эксплуатационников уменьшать интервалы между очередными инспекциями, что приводит к значительным материальным затратам за счет простоев оборудования и высокой суммарной стоимости работ по инспекции за время эксплуатации объекта.

3. *Последствия от разрушения объектов* могут приводить к большим материальными потерями и значительному риску для здоровья обслуживающего персонала и населения при неблагоприятном расположении объектов.

**Цель диагностического мониторинга объектов нефтяной, газовой, нефтеперерабатывающей и химической промышленности.**

Целью диагностического мониторинга является:

- своевременное обнаружение дефектов в конструкции;
- сбор, хранение и анализ данных технического диагностирования и прогнозирование изменения технического состояния конструкции во времени;
- автоматизация технического диагностирования и снижения роли человеческого фактора при оценке результатов диагностирования;
- повышение уровня промышленной безопасности.

## **Определяющие признаки необходимости диагностического мониторинга технических устройств.**

Системы диагностического мониторинга, обеспечивая высокую достоверность и полноту контроля потенциально опасных производственных объектов, являются сложными и дорогостоящими устройствами. Поэтому необходимо рассмотреть ряд признаков, которые позволяют оценить эффективность диагностического мониторинга объектов с точки зрения эксплуатационной надежности и достаточности для обеспечения эффективной и безопасной эксплуатации объекта в целом.

Таковыми признаками можно считать следующие:

- Последствия от разрушения конструкции.
- Доступ для проведения диагностирования.
- Характеристики эксплуатационной живучести конструкции.

*Последствия от разрушения* зависят от конструктивного исполнения, расположения и функционального назначения объекта.

Например, повреждение днища или стенки хранилища аммиака емкостью 20000-50000 куб. метров, расположенного в зоне морского терминала, приведет к экологической катастрофе, ибо будет полностью нарушен навсегда или на длительное время естественный природный баланс в зоне морской акватории и прибрежной зоне, создаст глобальную опасность здоровью десятков тысяч людей, проживающих в этой зоне.

Диагностический мониторинг в данном случае представляется единственным и наиболее целесообразным видом контроля технического состояния объекта.

*Доступ* к объекту во многом определяет состав и вид системы диагностирования. При отсутствии доступа практически невозможно осуществлять периодическое диагностирование с использованием штатных средств, или суммарные материальные затраты на подготовку объекта к контролю и проведение самого контроля будут очень значительны.

*Характеристики эксплуатационной живучести объекта*, к которым относятся: интервал времени от начала эксплуатации до момента времени, при котором дефект достигает обнаруживаемых размеров (*долговечность до обнаружения дефекта*), интервал времени от момента обнаружения дефекта до момента времени, при котором дефект достигает своего критического значения, т. е. происходит разрушение объекта (*эксплуатационная живучесть*), влияют на выбор способа обеспечения эксплуатационной надежности объекта, одной из составляющих которого является диагностический мониторинг.

Роль и место диагностического мониторинга становится более очевидной при рассмотрении различных сочетаний доступа и характеристик живучести объекта.

**При высоких скоростях развития дефектов (малой живучести) и отсутствии доступа диагностический мониторинг объекта является безальтернативным способом обеспечения требуемой эксплуатационной надежности.**

Весьма дорогостоящим вариантом поддержания необходимого уровня надежности, например, емкости, может явиться снижение уровня напряжений за счет увеличения проектной толщины стенки емкости и введения выходного контроля, обеспечивающего обнаружение всех производственных дефектов. В этом случае в процессе эксплуатации *дефекты в конструкции не должны возникать* по определению за все время эксплуатации, и, естественно, не требуется проведение контроля. Однако для парка существующих эксплуатируемых емкостей проблема остается.

**При невысоких скоростях дефектов и отсутствии доступа мониторинг объектов также предпочтительнее любых других способов обеспечения эксплуатационной надежности**, несмотря на то, что объект с такими характеристиками живучести может эксплуатироваться без использования какого-либо контроля, если выполняются условия критерия медленного роста дефекта, суть которого заключается в том, что в процессе эксплуатации *дефекты в конструкции могут возникать и развиваться*, но их размеры к моменту исчерпания ресурса не должны превышать критических, при которых может произойти разрушение конструкции. Для реализации такого принципа на этапе проектирования должны быть выбраны специальные стали с высокой способностью к сопротивлению усталостным трещинам и другим дефектам.

**При высоких скоростях роста дефекта и наличии доступа мониторинг объектов как способ организации контроля технического состояния является предпочтительнее** обычного периодического контроля в силу значительной трудоемкости последнего и субъективной оценки результатов контроля.

Эксплуатация таких конструкций без проведения какого-либо контроля фактически будет означать эксплуатацию до отказа, т. е. до разрушения.

Блок-схема системы комплексного диагностического мониторинга (КДМ) и решаемые ею задачи отобраны на Рисунке 1.

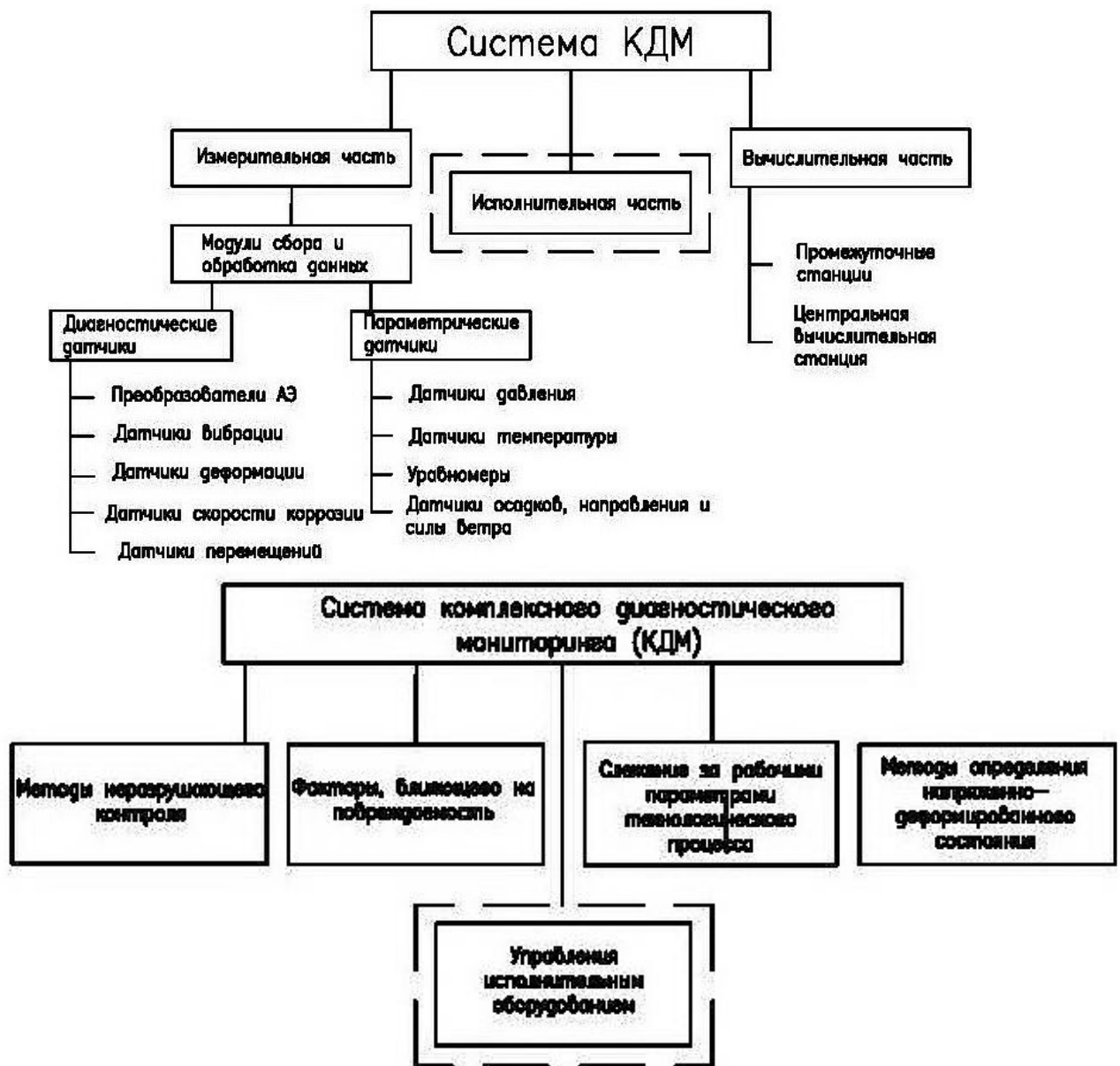


Рис. 1. Блок-схема системы КДМ и решаемые ею задачи

Акустико-эмиссионный контроль технических устройств проводится в соответствии с [1].

Для 100 %-го контроля АЭ методом поверхности резервуара была выбрана следующая расстановка преобразователей АЭ на внутреннем резервуаре изотермического хранилища жидкого аммиака:

- На стенку корпуса внутреннего резервуара устанавливаются акустико-эмиссионные преобразователи по триангуляционной схеме в несколько поясов. Расстояние между поясами составляет 5-6 м., расстояние между ПАЭ в поясе также выбирается 5-6 м. Нижний ряд преобразователей устанавливается на высоте 200 мм от дна резервуара. Точность установки ПАЭ должна быть не хуже  $\pm 50$  мм.

- ПАЭ могут крепиться на стенке резервуара с помощью приваренных к стенке держателей. Способ крепления ПАЭ согласуется с заказчиком.

- Устанавливаемые датчики АЭ позволят полностью контролировать стенку и днище внутреннего резервуара на наличие развивающихся дефектов в реальном времени. При этом проводится локация обнаруженных источников по триангуляционной схеме. Обнаруженные источники АЭ отображаются визуально на 3-х мерной картинке вычислительного комплекса с записью в Протоколе координат источников.

- Около каждого датчика АЭ устанавливаются датчики деформации для локального контроля напряженно-деформированного состояния и датчики температуры.

- Помимо датчиков АЭ устанавливаются уровнемеры и датчики давления для контроля минимального и максимального давления.
- Для контроля нагрузок, связанных с отклонением резервуара от вертикального положения, устанавливаются датчики линейных перемещений.
- Система мониторинга оснащается дополнительным устройством измерения скорости и направления ветра для контроля ветровых нагрузок, а также детектором осадков в виде дождя и снега для фильтрации сигналов АЭ.

Примерная схема расстановки датчиков АЭ на резервуаре приведена на Рисунке 2.

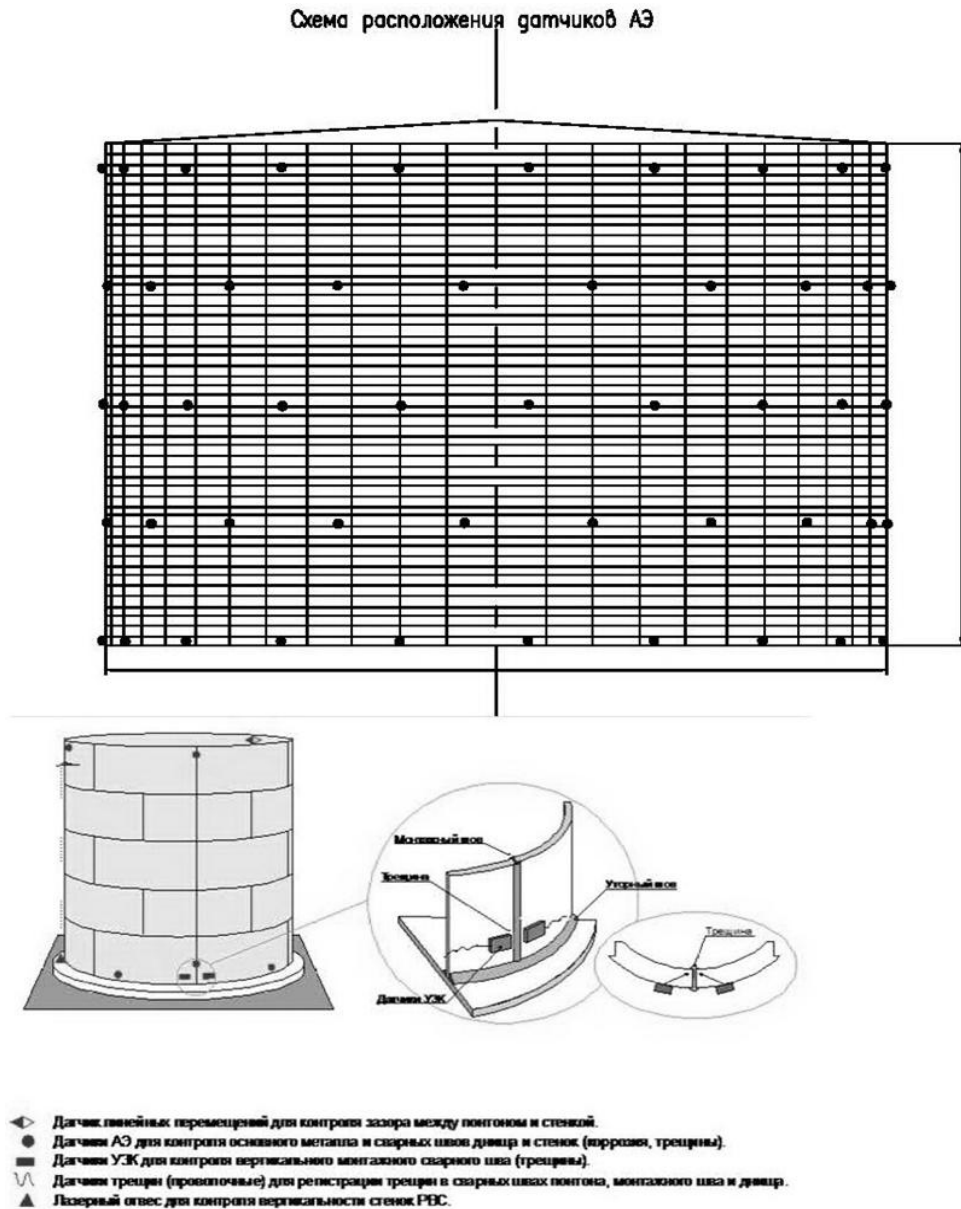


Рис. 2. Схема расположения датчиков АЭ

Примерный перечень оборудования, количество и тип устанавливаемых датчиков системы КДМ на контролируемом резервуаре приведен в Таблице 1.

Таблица 1. Примерный перечень оборудования, количество и тип устанавливаемых датчиков системы КДМ на контролируемом резервуаре

№ п/п	Наименование	Количество, шт.
1	Центральная вычислительная станция	1
1.1	Промышленная стойка	1

1.2	Промышленный системный блок	1
1.3	Промышленная клавиатура	1
1.4	Накопитель	1
1.5	Монитор	1
1.6	UPS	1
1.7	Принтер	1
1.8	Коммутационный шкаф	1
1.9	Удаленный терминал	1
1.10	Информационный экран	1
<b>2</b>	<b>Концентратор</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Модуль сбора и обработки данных</b>	<b>95</b>
<b>4</b>	<b>Сенсорный узел</b>	<b>95</b>
4.1	Преобразователь АЭ (сдвоенный)	95
4.2	Датчик деформации	95
4.3	Датчик температуры	95
<b>5</b>	<b>Дополнительные датчики</b>	
5.1	Датчик давления	2
5.2	Датчик перемещения	8
5.3	Виброизмерители	2
5.4	Уровнемеры	4
5.5	Газоанализаторы	8
5.6	Метеостанция	1
<b>6</b>	<b>Кабель</b>	
<b>7</b>	<b>Программное обеспечение</b>	

Схема диагностического мониторинга трубопроводов приведена на Рисунке 3.

В условиях эксплуатации на трубопровод действуют следующие виды нагрузок:

1. Постоянные.
2. Временные длительные.
3. Кратковременные.

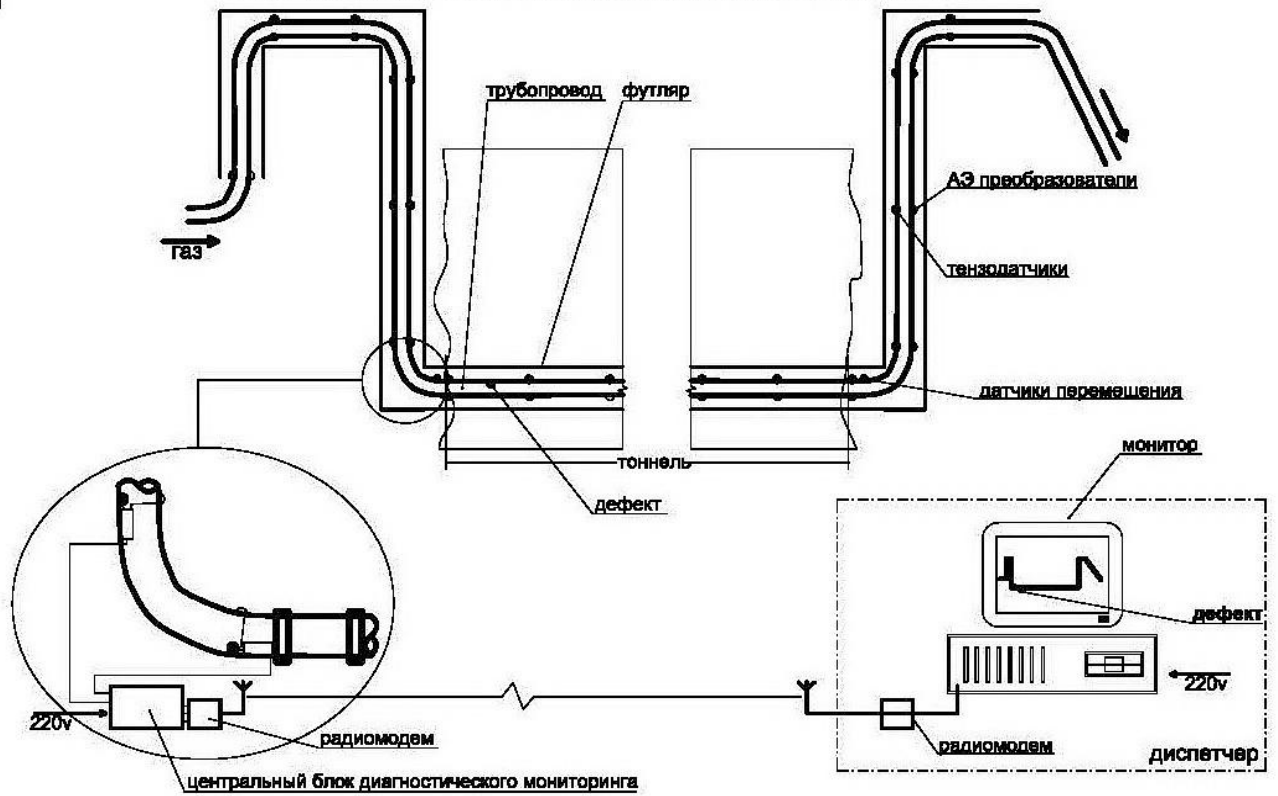
К числу постоянных нагрузок относятся:

- Собственный вес трубопровода.
- Предварительное напряжение трубы (упругий изгиб).
- Вес грунта (для подземной прокладки).

Временные длительные нагрузки:

- Внутреннее давление.
- Масса продукта.
- Температурные воздействия.
- Неравномерная деформация грунта.

**Схема диагностического мониторинга перехода газопровода.**



**Трубопровод тоннельной части газопровода.**

(Установка измерительных модулей и датчиков перемещения).

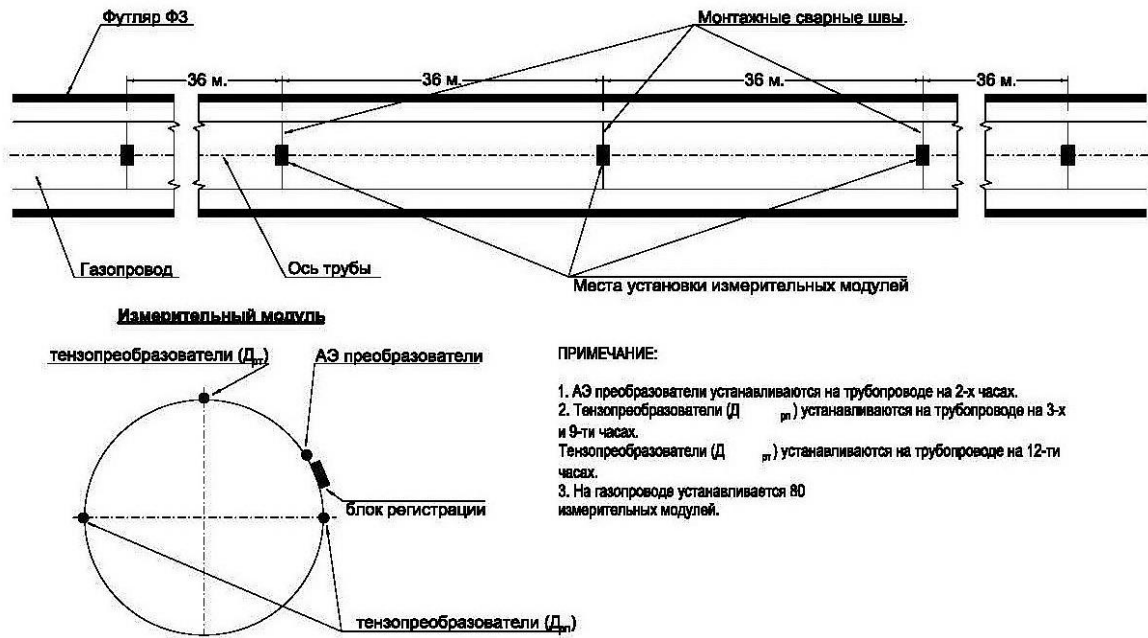


Рис. 3. Схема диагностического мониторинга трубопроводов

Кратковременные нагрузки:

- Нагрузки, возникающие при испытаниях.
- Нагрузки от оползней.

В результате действия этих нагрузок в местах концентрации напряжений, образованных производственными дефектами или геометрическими концентраторами, могут появляться и развиваться *трещины* в основном металле и сварных швах трубы.

При неблагоприятном сочетании постоянных, временных и кратковременных нагрузок трубопровод может изменить пространственное, проектное положение, что приводит к появлению *дополнительных нерасчетных напряжений*.

Кроме механических нагрузок, стенка трубопровода в связи с различными условиями эксплуатации и разным характером транспортируемой среды испытывает дополнительные воздействия, приводящие к следующим негативным последствиям:

- *возрастанию интенсивности коррозионных процессов внутренней и наружной стенок трубопроводов;*

- *эрозионному износу внутренней стенки трубы.*

Чтобы снизить эти нагрузки мы предлагаем проложить трубопровод в бетонном коробе, соответственно облегчим доступ к сложному участку трубопровода для установки АЭ датчиков и последующему ремонту. Также мы применили систему компенсаторов.

На трубе компенсатора устанавливаются семь рабочих и семь резервных акустико-эмиссионных преобразователей (Д1, Д1р.-Д7, Д7р). Для измерения внутреннего давления и напряженно деформированного состояния трубы в зоне установки акустико-эмиссионных преобразователей Д7, Д7р устанавливаются один тензопреобразователь для измерения кольцевых напряжений и два по бокам трубопровода для измерения продольных напряжений. В тех же местах установлены резервные тензопреобразователи.

На опоре устанавливается датчик перемещений для измерения бокового смещения трубы тоннельного участка, обусловленного работой компенсатора в процессе транспортировки продукта.

Акустический контакт между акустико-эмиссионными преобразователями и трубой осуществляется с помощью акусто-проводящего клея. Тензопреобразователи наклеиваются на трубу по технологии завода-изготовителя. Для защиты тензопреобразователей от влаги, механических и других видов повреждений они вместе с выводными концами покрываются защитным слоем на эпоксидной основе.

Датчики линейных перемещений устанавливаются на хомутах опор.

Особенность контроля данного участка трубопровода состоит в том, что в течение всего периода эксплуатации система работает в автоматическом режиме, поставляя информацию о техническом состоянии трубопровода диспетчеру трубопровода.

При поступлении данных о повреждениях в диспетчерский пункт происходит автоматическая выборка всех параметров поврежденной конструкции из базы знаний, и формируется строка-сообщение в списке банка данных, включая: конструктивное описание газопровода и описание дефекта, далее выводится на дисплей в виде упомянутых выше курсоров разного цвета и формы.

Инициализация блока экспертных решений может осуществляться вручную или автоматически. При этом в результате сравнения обнаруженных дефектов с допустимыми и уточнения срока службы газопровода до возникновения дефектов, делается прогноз прочности газопровода, на основе которого вырабатываются следующие решения:

1. Оставить без внимания.
2. Следить за развитием (с рассчитанной ранее периодичностью или иной, уточненной расчетом).
3. Удалить дефект и продолжить эксплуатацию без ограничений.
4. Произвести локальный ремонт газопровода без вырезания «катушки».
5. Произвести капитальный ремонт газопровода в месте повреждения.
6. Отключить поврежденную нитку газопровода.

### *Литература*

1. ПБ 03-593-03. «Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов». М.: «ПАО ОБТ» 2003. 55 с.
2. ГОСТ 27655-88. «Акустическая эмиссия. Термины, определения и обозначения». М.: «Издательство стандартов», 1988. 13 с.