
ИНЖЕНЕРНОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ СОЗДАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Н.Н. Гусев, доктор технических наук, профессор.

ООО «НПФ «Лидинг», Санкт-Петербург.

С.Д. Прозоровская, кандидат педагогических наук, доцент.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.

А.В. Бажухин.

ООО «Промстандарт», Санкт-Петербург

Рассматривается современное состояние вопроса в области создания и эксплуатации систем мониторинга за безопасностью зданий и сооружений ответственных объектов. Дан анализ нормативной базы, регламентирующей создание таких систем, и предложены направления ее совершенствования.

Ключевые слова: системы мониторинга за безопасностью зданий и сооружений, создание и эксплуатация систем контроля безопасности зданий и сооружений

PROBLEM QUESTIONS OF ESTABLISHMENT AND OPERATION OF SAFETY CONTROL SYSTEMS OF BUILDINGS AND STRUCTURES OF DANGEROUS INDUSTRIAL OBJECTS AND HYDROTECHNICAL BUILDINGS

N.N. Gusev. LLC «SPC «Liding», Saint-Petersburg.

S.D. Prozorovskaya. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.

A.V. Bazhuchin. LLC «Promstandart», Saint-Petersburg

The article addresses the current status of development and operation of safety monitoring systems for dangerous industrial objects. Along with an analysis of the existing regulations in this area, it also contains some improvement suggestions to such regulations.

Keywords: monitoring the safety of buildings and structures, construction and operation of safety control systems of buildings and structures

21 июля 1997 г. были приняты два основополагающих закона Российской Федерации в области безопасности сооружений: № 116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (ФЗ РФ № 116-ФЗ) и № 117 «О безопасности гидротехнических сооружений» (ФЗ РФ № 117-ФЗ), которые обязывают собственников или организации,

эксплуатирующие опасные объекты, декларировать безопасность сооружений на всех стадиях их существования от проектирования до ликвидации. При составлении декларации безопасности и последующей ее экспертизе особое внимание должно быть уделено системе мониторинга за показателями состояния сооружений, которая основывается на данных средств контрольно-измерительной аппаратуры (КИА). Наличие системы мониторинга, достаточность и работоспособность средств КИА – обязательное условие для получения положительного заключения экспертизы декларации безопасности, а затем и ее утверждения органами надзора.

Система мониторинга посредством средств КИА должна дать однозначный ответ – соответствует ли фактическое состояние объекта допустимым критериям безопасности, которые определяются на стадии разработки декларации безопасности.

Логично предположить следующую последовательность мер по обеспечению безопасности сооружений:

1. Разработка критериев безопасности сооружения.
2. Проектирование сооружения, отвечающего требованиям этих критериев.
3. Разработка средств контроля (мониторинга) за показателями состояния сооружения

и сличения их с критериями безопасности.

Создание и эксплуатация сооружения, показатели фактического состояния которого постоянно контролируются и сравниваются с их предельными значениями (критериями безопасности) с помощью средств КИА.

На практике эта последовательность нарушается по вполне объективным причинам:

– большинство объектов, безопасность которых подлежит декларированию, возведено до принятия законов о безопасности;

– системы наблюдения за состоянием сооружений, которые сейчас пытаются приспособить к решению задач мониторинга за показателями состояния, были созданы до разработки критериев безопасности.

В данной ситуации разработчики декларации безопасности стоят перед выбором: или сократить число критериев безопасности сооружений и «подогнать» их под имеющиеся качественный и количественный состав средств КИА на объекте, чем снижается достоверность и полнота оценки соответствия фактического состояния сооружения критериям безопасности, или приспособить имеющиеся средства КИА к новым критериям, то есть доказать, что имеющиеся средства контроля позволяют отслеживать состояние сооружения по всем критериям безопасности данного объекта, что проблематично, исходя из современного состояния средств КИА на объектах.

Средства КИА создавались с целью проведения натуральных исследований и контрольных наблюдений за напряженно-деформированным состоянием и пространственной стабильностью конструкций в строительный и эксплуатационный периоды, для проверки правильности принятых проектных решений и последующего наблюдения за эксплуатационным состоянием сооружения, то есть не ориентировались на решение конкретной задачи мониторинга безопасности сооружения.

Традиционно комплекты средств наблюдения систем испытаний и долговременного контроля (ИДК) объектов создавались на основе струнных преобразователей, позволяющих осуществлять оперативный дистанционный контроль статических показателей состояния сооружения. Однако гарантийный срок струнных преобразователей всего от 6 до 18 месяцев, а сами преобразователи поверкам не подлежат.

Система ИДК используется в течение 30–40 лет, при этом большая часть преобразователей, общее число которых на некоторых объектах составляло десятки тысяч, за это время вышли из строя или дают нестабильные показания. На гидротехнических объектах стабильные показания дают не более 20 % струнных преобразователей.

На основании вышеизложенного, средства КИА существующих систем ИДК не могут быть сертифицированы в соответствии с Законом Российской Федерации от 27 апреля 1993 г. № 4871-1 «Об обеспечении единства измерений» в связи с тем, что:

1. Средства КИА традиционных систем ИДК не могут рассматриваться в качестве средств систем мониторинга за показателями состояния сооружений, как не соответствующие требованиям федеральных законов по безопасности, а получаемые с их помощью данные не могут использоваться для оценки безопасности сооружений.

2. Существующие системы и средства КИА должны быть подвергнуты детальному диагностированию с целью оценки их работоспособности, после чего переведены из разряда «средств измерения» в разряд «средств контроля» или «индикации».

3. Выводы и заключения о показателях состояния сооружений и их безопасности, сделанные на основании существующих средств КИА на базе струнных преобразователей, должны быть детально проанализированы.

4. На объектах, безопасность которых подлежит декларированию, должны быть созданы новые системы мониторинга, отвечающие требованиям законов о безопасности.

5. Необходимо осуществить передачу данных о состоянии сооружений, полученных с помощью прежних средств КИА, к вновь создаваемым.

6. Декларации безопасности ныне существующих объектов должны пройти повторную экспертизу.

На переходном этапе основной задачей является обеспечение непрерывности получения информации о состоянии сооружений (объектов) при максимально возможном количестве точек контроля и параметров контроля.

Одним из возможных путей увеличения объема информации о состоянии сооружения на существующих объектах может быть увеличение количества точек измерения или контроля параметров, так как не более 20 % струнных преобразователей дают стабильные показания, то есть признаются работоспособными. На практике же отсутствие стабильности показаний еще не означает, что преобразователь утратил свою работоспособность. Для пояснения необходимо рассмотреть основы теории измерений с помощью струнных преобразователей.

Способ измерения с помощью струнных преобразователей основывается на зависимости частоты ω колебания частотного резонатора (струны) от напряжения растяжения струны, которое в каждом конкретном струнном преобразователе пропорционально измеряемому параметру P (линейному перемещению, давлению, температуре и т.д.).

Для возбуждения колебаний струны используются электромагнитные катушки, при подаче на клеммы которых импульса возбуждения стандартной амплитуды и длительности в катушке генерируется импульс силы возбуждения с определенной амплитудой F и длительностью τ . Импульс силы «щипком» возбуждает затухающие колебания струны u , частоту которых можно измерять до некоторого наперед заданного значения u_{\min} . Нестабильные показания струнного преобразователя могут возникнуть в случае, если значение амплитуды колебания струны на интервале измерения значения частоты ω станет ниже значения u_{\min} . Основной причиной возникновения такой ситуации на реальных объектах является изменение со временем характеристик кабельной сети от струнного преобразователя к вторичному измерителю. Возбуждать колебания струны необходимо последовательностью импульсов возбуждения при условии, что период их следования не превышает времени T^* затухания амплитуды колебания струны до значения u_{\min} . Такой режим возбуждения вносит резонансные явления в процесс колебания струны и амплитуда колебаний должна возрастать.

Выражение для амплитуды колебаний струны, возбужденных бесконечной серией импульсов силы, следующих с периодом $T^0 > T^*$ в момент времени $t_s = t_0 - S T^*$, где S – номер импульса, имеет вид:

$$y(t) = \frac{2}{\pi \varepsilon C} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2F}{n \omega_n} K_n \exp[-\alpha_n (t - t_0)] R_p \sin \frac{\omega_n \tau}{2} \sin[\omega_n (t - t_0) + \Theta], \quad (1)$$

где ε – линейная плотность материала струны; C – скорость распространения поперечной волны по струне; F – амплитуда импульса силы возбуждения; n – номер гармоники; ω_n – круговая частота n -й гармоники; K_ε – коэффициент, учитывающий форму импульса; μ_n – коэффициент затухания; τ – длительность импульса возбуждения; t_0 – момент генерации последнего импульса возбуждения; Θ – сдвиг фазы колебания струны относительно импульса возбуждения; R_p – резонансный множитель.

Анализ выражения (1) позволяет сделать следующие выводы:

1. Максимальное значение амплитуды колебания струны достигается при синхронизированном ($\Theta=0$) возбуждении колебаний, то есть при соблюдении условия $T^0=m T_1$, где m – целое число периодов T_1 колебаний струны.

2. Для поддержания на постоянном уровне максимального значения амплитуды колебаний струны, которое достигается в момент времени.

$$t = t_0 + \frac{1}{\omega_1} \left(\frac{\pi}{2} - \Theta \right), \text{ значение амплитуды } F \text{ силы импульса запроса должно}$$

быть обратно пропорционально значению R_p .

В большинстве случаев нестабильность показаний струнных преобразователей связана со слабым откликом преобразователя на импульс возбуждения. Слабый отклик объясняется главным образом двумя факторами:

1. В известных средствах измерения предусмотрено возбуждение колебаний струны стандартным импульсом с постоянными значениями амплитуды F и длительности τ импульса возбуждения, что с теоретической точки зрения делает при $\tau=T_1$ неработоспособной систему измерения на значительном интервале, что неизбежно, так как в процессе изменения параметра P от минимума до максимума в стандартных датчиках период колебания изменяется более, чем в два раза. Влияние длительности импульса возбуждения τ на амплитуду колебания струны проиллюстрировано на рис. 1, 2, влияние сдвига фазы колебания струны относительно импульса возбуждения Θ – на рис. 3, 4; влияние внешних вибраций – на рис. 5, 6.

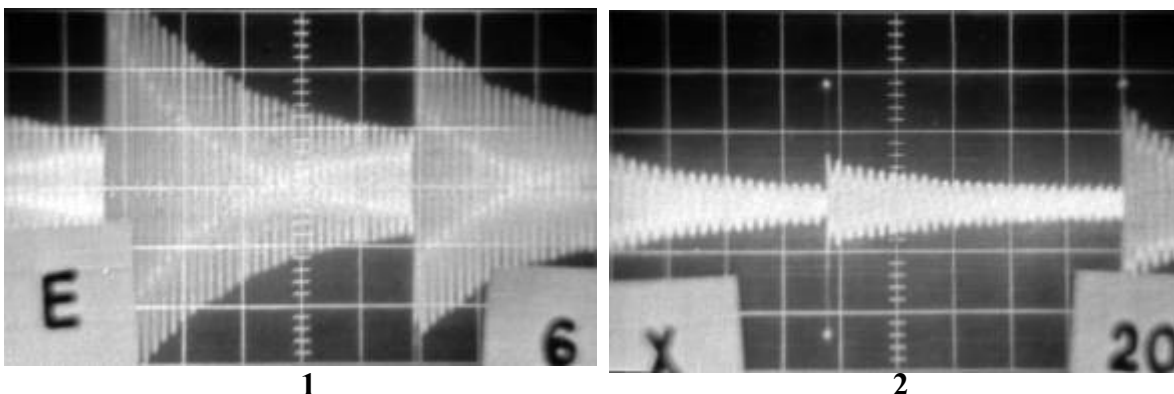


Рис. 1, 2. Влияние длительности импульса возбуждения τ на амплитуду колебания струны

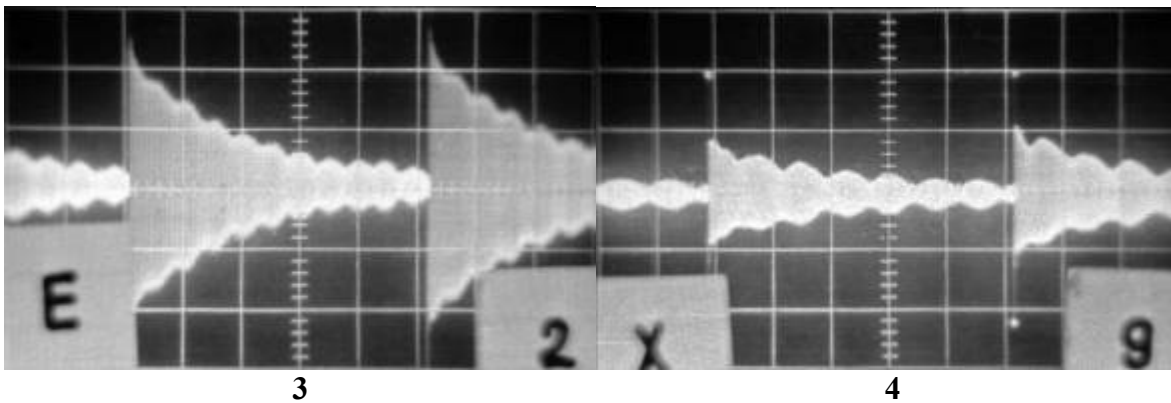


Рис. 3, 4. Влияние сдвиг фазы колебания струны относительно импульса возбуждения Θ

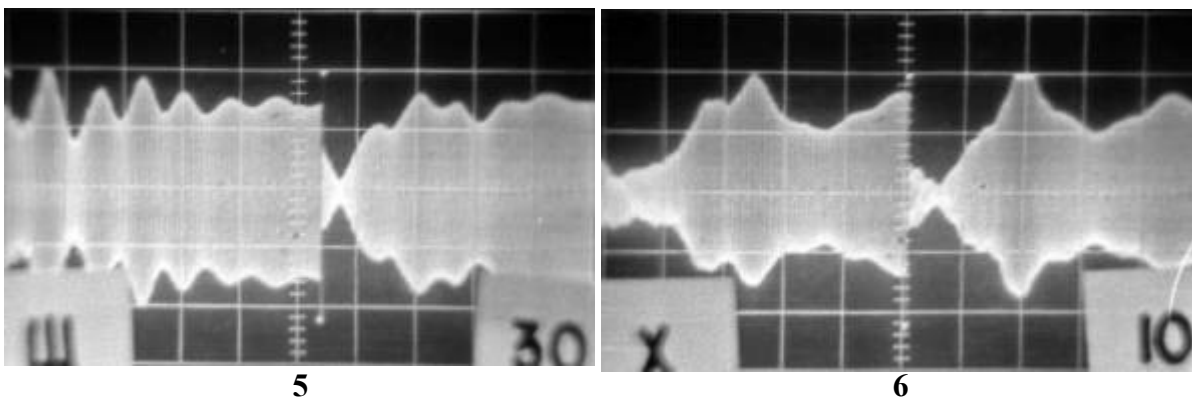


Рис. 5, 6. Влияние внешних вибраций

2. Характеристики канала измерения «датчик – кабель – вторичный измеритель» в процессе эксплуатации системы ИДК неизбежно меняются, что приводит к изменению формы и амплитуды и длительности импульса возбуждения струнного преобразователя, что приводит к снижению амплитуды колебания струны.

Для «реанимации» струнных датчиков с нестабильными показаниями достаточно обеспечить подбор параметров импульса возбуждения для каждого преобразователя индивидуально.

Данная разработка реализована в разработках Научно-производственной фирмы «ЛИДИНГ» (Санкт-Петербург) и позволяет:

1. Вернуть в состав измерений до 60 % струнных преобразователей, ранее считавшихся неработоспособными, то есть увеличить на 60 % достоверность оценки безопасности ответственных объектов и сооружений, доведя число работающих преобразователей до 80 % от общего числа установленных.

2. Принимая во внимание, что стоимость одного канала измерения систем ИДК составляет от 1 000 до 10 000 долл. США, внедрение предложенного способа обеспечивает существенный экономический эффект, исчисляемый в масштабах страны миллиардами долларов.

Реанимированные таким образом преобразователи не могут рассматриваться как средства измерения и могут использоваться только как средства контроля или индикации. Тем не менее получаемая с помощью струнных преобразователей информация может явиться основой для анализа тенденций в поведении сооружений и прогноза уровня безопасности объекта в целом.

Использование струнных преобразователей для решения задач оценки эксплуатационного состояния объектов – это вынужденная мера на переходном этапе создания общей концепции обеспечения мониторинга безопасности объектов у нас в стране.

Необходимость наличия систем мониторинга на основе средств КИА на опасных объектах законодательно закреплена ФЗ РФ № 116-ФЗ и ФЗ РФ № 117-ФЗ, однако требования к указанным системам не регламентированы нормативными актами, что отрицательно сказывается на их эффективности, при этом эффективность систем мониторинга на опасных объектах не может быть обеспечена:

1. Необходима разработка более детализированной, чем предусмотрено в Приложении 1 к ФЗ РФ № 116-ФЗ от 21 июня 1997 г., классификация сооружений по степени опасности. Эта классификация должна учитывать:

- класс (группу) факторов, по которым производственный объект отнесен к опасному производству (Приложение 1 к ФЗ РФ № 116-ФЗ от 21 июня 1997 г.);

- реальные, а не только предельные количества опасных веществ на производственном объекте, по которым объект отнесен к опасному производству (Приложение 2 к ФЗ РФ № 116-ФЗ от 21 июня 1997 г.);

- удаленность от населенных пунктов;

- значимость объекта для безопасности страны;

- проектный и фактический ресурс (или срок службы сооружения, объекта).

Система классификации должна рассматривать критерии оценки безопасности вновь проектируемых, строящихся и находящихся в эксплуатации зданий отдельно.

Структура классификации должна быть такой, чтобы на стадии проектирования и экспертизы проекта могла быть реализована фактическая проверка соответствия проекта этим критериям. В числе обязательных разделов проекта должны быть разделы, в которых были бы отражены:

- гарантийный срок эксплуатации;

- критерии оценки безопасного срока эксплуатации объекта (сооружения);

- проверяемые процедуры оценки безопасности сооружения на всем промежутке его существования (строительства, эксплуатации, консервации и ликвидации);

- обоснование (на основе классификации) наличия и объема аппаратурных средств контроля за эксплуатационным состоянием объекта (сооружения);

- обоснование методик, периодичности и объемов наблюдения за состоянием сооружений;

- обоснование обеспечения непрерывности мониторинга за состоянием сооружения, преемственность средств контроля, их совместимость;

- рекомендации по совершенствованию системы мониторинга в случаях:

- а) истечения гарантийного срока эксплуатации сооружения;

- б) выхода из строя части системы контроля;

- в) изменения критериев оценки безопасности;

- г) изменения собственника сооружения;

- д) аварий на объекте природного или техногенного характера;

- е) дробления объекта на несколько более мелких или объединения ряда объектов в один более крупный.

На стадии эксплуатации объекта (сооружения) или экспертизы его состояния должно быть проверено фактическое соответствие состояния объекта критериям безопасности действующим на данный момент, а не на момент создания объекта.

На стадии эксплуатации или экспертизы его состояния должна быть предусмотрена процедура изменения класса безопасности сооружения (объекта). При принятии решения об изменении класса безопасности сооружения должны учитываться следующие факторы:

- изменение в процессе эксплуатации объекта гидрогеологических и метеорологических факторов (в том числе вызванных эксплуатацией данного объекта);

- изменение тектонических условий;
- изменение интенсивности и характера статических и особенно динамических нагрузок на здания и сооружения (например, при замене оборудования в зданиях и на прилегающих территориях на более мощное или имеющее иные динамические характеристики, чем у предыдущего оборудования, или при изменении характеристик транспортных нагрузок);
- изменения в эксплуатационных характеристиках здания и сооружений вследствие техногенных аварий, особенно связанных с разрывами трубопроводов в карстовых зонах;
- изменение физико-механических свойств строительных материалов, из которых возводились здания, ввиду изменения условий эксплуатации, в том числе экологических.

2. Классификация сооружений по степени опасности должна законодательно закреплять необходимость наличия систем контроля на объекте, их состав, этапы (стадии) развертывания и модернизации.

3. На основе классификации безопасности должна быть проведена паспортизация сооружений.

4. Необходимо выработать общий подход к экспериментальной оценке эксплуатационного состояния объектов, то есть оценке их безопасности. Одной из приоритетных задач исследований должна быть задача совершенствования методики оценки срока безопасной эксплуатации сооружений (объектов) на основе как теоретических расчетов, так и экспериментальных исследований и наблюдений.

5. Необходимо определить стратегию в области натурных обследований состояния сооружений. Разработать классификацию средств контроля за состоянием безопасности сооружений и положение по их применению. Классификация должна иметь несколько классификационных признаков:

- гарантийный срок эксплуатации системы, который должен быть не менее срока строительства и эксплуатации опасного объекта;
- тип системы (долговременный, оперативный, комбинированный);
- вид системы (стационарный, мобильный, оперативные подвижные лаборатории, комбинированные).

Состав средств контроля (комплектов):

- тензометрический (статический и динамический);
- геодезический (статический и динамический);
- виброметрический;
- геофизический;
- неразрушающих методов контроля и т.д.;
- оперативность представления информации об измеряемых параметрах;
- объем и периодичность измерений, а в необходимых случаях и алгоритм измерений;
- степень полноты заключения о безопасности сооружения.

6. В зависимости от класса безопасности сооружения необходимо разделить функции контроля (и ответственность за обеспечение безопасности) между:

- проектной организацией;
- строительной организацией;
- научно-исследовательскими и специализированными организациями;
- эксплуатирующими организациями;
- контролирующими организациями.

7. Методика оценки эксплуатационного состояния (безопасности) объекта должна предусматривать преемственность передачи данных от одного поколения средств контроля к другим.

8. Должна быть разработана методика корреляции данных измерений различных комплектов средств измерения на объектах.

9. Данные об изменении состояния сооружений должны направляться в аналитические центры и там анализироваться независимыми экспертами, а не обслуживающим персоналом объектов.

10. Необходимо решить вопрос о средствах долговременного контроля, гарантийный срок эксплуатации которых истек.

11. Гарантийный срок эксплуатации первичных преобразователей средств долговременного контроля соизмерим со сроком строительства ответственных сооружений (от 3 до 8 лет). При этом к моменту начала эксплуатации с метрологической и юридической точек зрения данным отдельным средствам долговременного контроля доверять нельзя, так как их гарантийный срок истек, а поверкам они не подлежат, поэтому необходимо выполнить следующие разработки и методики:

- средств диагностики самих систем контроля;
- методики, позволяющей по истечении гарантийного срока первичных преобразователей давать заключение о судьбе данного средства контроля;
- проведения измерений с помощью средств с истекшим гарантийным сроком первичных преобразователей (возможно, это будет изменение погрешности измерения или перевод системы из средства измерения в средство индикации со всеми вытекающими в связи с этим последствиями);
- оценки срока безопасной эксплуатации объекта с учетом утраты определенного количества первичных преобразователей;
- передачи данных о параметрах напряженно-деформированного состояния в данной точке с помощью нового преобразователя или преобразователя, находящегося в другой точке;
- средств долговременного контроля со значительно увеличенным гарантийным сроком эксплуатации или подлежащих поверкам в процессе эксплуатации;
- средств регистрации экстремальных значений параметров контроля даже в аварийных ситуациях, когда нарушено энергоснабжение и средства связи.

Существующие в настоящее время средства КИА за контролем безопасности зданий и сооружений опасных производственных объектов и гидротехнических сооружений (ГТС) не соответствуют требованиям ФЗ РФ № 116-ФЗ и ФЗ РФ № 117-ФЗ в части мониторинга безопасности, а получаемые с их помощью данные не могут использоваться для оценки безопасной эксплуатации сооружений.

Необходимо совершенствование законодательной базы в области средств мониторинга промышленной безопасности.

Повышение надежности системы управления мониторингом состояния ГТС за счет сохранения в рабочем состоянии значительно большего числа датчиков, что, в свою очередь, повышает вероятность своевременного обнаружения отклонений контролируемых параметров ГТС, и позволяет своевременно принять меры по устранению при их возникновении.

Литература

1. Гусев Н.Н., Яруничев А.В. К вопросу об определении параметров динамических напряжений с помощью однокатушечных струнных преобразователей // Применение методов и средств тензометрии для измерения механических параметров: сб. статей. Пенза, 1982. С. 38–43.