

Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 7, №2 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-2>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/04TVN215.pdf>

DOI: 10.15862/04TVN215 (<http://dx.doi.org/10.15862/04TVN215>)

УДК 624

Тулеушова Рахила
Каспийский университет
Казахстан, Алматы¹
Старший преподаватель
E-mail: ratu@mail.ru

Наурызбаев Мурат Кабдушович
НИЦ ASTEX Corp.
Казахстан, Алматы
НС, руководитель проектов
E-mail: itismurat@yandex.ru

Оценка эффективности системы мониторинга мостового сооружения

¹ 050000 Республика Казахстан, г.Алматы, пр-т С.Сейфуллина 521

Аннотация. Современные средства автоматизированного контроля и измерений позволяют создавать системы удаленного мониторинга типовых мостовых сооружений. Это способствует широкому распространению этой технологии.

Разработка систем мониторинга конкретных объектов сводится к решению задачи обеспечения заданного уровня безопасности при установленном ограничении на затраты путем подбора конфигурации системы.

В рамках системного подхода необходимо определить: что следует понимать под безопасностью сооружения в контексте использования средств контроля, и каким образом можно оценить увеличение безопасности сооружения от внедрения системы мониторинга. В этом случае систематизированное проектирование систем мониторинга мостовых сооружений позволит анализировать конфигурацию системы при наличии общих ограничений на стоимость и уровень безопасности.

В статье предложена методология оценки систем мониторинга мостовых сооружений. Введенная оценки, во-первых, определяет меру снижения риска аварии при развертывании на объекте системы мониторинга. Во-вторых, устанавливает универсальный критерий эффективности системы мониторинга, который необходим при составлении технико-экономических обоснований, разработки технических проектов и оптимизации систем мониторинга.

Для оценки эффективности системы мониторинга по отношению: $\frac{\text{стоимость системы}}{\text{безопасность объекта}}$, аналогично критерию - $\frac{\text{цена}}{\text{качество}}$ для промышленной продукции, понятие безопасности объекта соответствующим образом формализовано. В качестве количественной меры безопасности введено понятие вероятности предупреждения об аварии, имеющее смысл отношения доли опасных событий, которые могут быть предсказаны системой к общему числу возможных событий.

Предложена процедура определения вероятности предупреждения на основе совокупности статистических данных об авариях мостов с установленными причинами. При этом учитываются виды используемых датчиков, их количество и схему размещения датчиков на объекте.

Так как затраты на систему мониторинга определяются количеством и типом измерительных средств а также схемой их размещения, то по заданному отношению $\frac{\text{стоимость системы}}{\text{безопасность объекта}}$ можно вариативно подбирать схему системы мониторинга, используя приведенные способы расчета вероятности предупреждения.

Используемые базы данных могут пополняться, что позволит уточнить эмпирические коэффициенты и со временем существенно повысить достоверность оценки.

Ключевые слова: оценка систем мониторинга; эффективность системы мониторинга; вероятность предупреждения; предвестники опасной ситуации; проектирование системы мониторинга; конфигурация системы мониторинга; риск аварии моста.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Тулешова Р., Наурызбаев М.К. Оценка эффективности системы мониторинга мостового сооружения // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №2 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/04TVN215.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/04TVN215

Описание проблемы

Уникальные мостовые сооружения включают систему мониторинга в качестве своей составной части. Средства контроля состояния объектов особой важности нацелены на получение максимальной информации о состоянии конструкции с использованием автоматизированных измерений, постоянного визуального контроля и периодического проведения специальных тестов [1,2,3].

В отличие от уникальных сооружений, большинство эксплуатируемых мостов создаются на основе типизированных проектов и распространенных конструктивных элементов. В этом случае, ограничения бюджета сооружений значительно сокращают диапазон инструментальных средств наблюдения и исключают возможность регулярного визуального осмотра критических элементов конструкции.

Вместе с тем, наибольшее число аварий и происшествий происходит именно в категории типовых мостов и это стимулирует развитие более дешевых средств автоматизированного удаленного мониторинга мостовых сооружений [4,5,6]. На фоне активного совершенствования технических компонентов системы, в литературе практически не освещена методология автоматизированного контроля типовых мостов. В частности, остается открытым вопрос о количественной мере снижения аварийности, обеспеченной наличием системы мониторинга и связи соответствующего снижения рисков с сопутствующим увеличением затрат.

Существует принципиальная разница в подходах к организации мониторинга уникального сооружения и типового проекта. В первом случае информация о состоянии конструкции регистрируется максимальным числом доступных способов с целью получения наиболее широкого спектра параметров состояния [См. пример 13,14]. В случае типового сооружения стоимость системы мониторинга лимитирована, в силу чего наблюдения заведомо отличаются неполнотой данных.

Неполнота объема данных будет проявляться, в частности в том, что система мониторинга, сработавшая на предупреждение в одном случае, не распознает те же опасные проявления на другом объекте того же типа. Это обстоятельство часто ставит под сомнение целесообразность дополнительных затрат на оснащение типовых мостов системами удаленного мониторинга. Данный вопрос тесно связан с возможностью проектировщиков определить насколько предупреждения происшествий, сделанные системой мониторинга типового моста способны оправдать затраты на ее создание.

По этой причине, на стадии проектирования системы мониторинга возникает специфичная для типовых сооружений задача – получение приемлемого уровня безопасности при заданных затратах, путем подбора оптимальной конфигурации измерительных средств.

Здесь под конфигурацией системы мониторинга понимается количество и виды используемых измерительных средств вместе со схемой размещения этих датчиков на конкретном объекте. При известной конфигурации системы мониторинга определить уровень затрат на систему не составляет особых трудностей. Следовательно, задача технико-экономического анализа сводится к определению конфигурации системы, обеспечивающей достаточную полноту измерений.

Прямой подход к оценке эффективности мониторинга, по-видимому, должен исходить из расчетной модели работы сооружения под нагрузкой. Этот метод обеспечивает достаточную полноту оценки, но предполагает глубокое знакомство с техническим проектом сооружения или разработку системы мониторинга одновременно с проектированием самого объекта. Например, некоторые стороны такого подхода отражены в [7].

Наряду с преимуществами, данный способ имеет несколько существенных недостатков. На практике получить детальную информацию о техническом проекте не так просто, особенно если сооружение достаточно старое. Изучение и анализ технического проекта моста занимает много времени и требует достаточной квалификации, тогда как проектированием систем мониторинга часто занимаются специалисты по автоматизированным системам и связи. Авторами предложено рассмотреть другой подход, не требующий глубокого анализа конструкции и основанный на статистике происшествий с расследованными причинами.

Формализация описания и статистический подход

Можно заметить, что само понятие «полноты и достаточности средств мониторинга» не является формализованным и определенным. Если для промышленного производства параметры эффективности определяются на базе отношения - *цена/качество* конечной продукции, то введению аналогичной оценки - *затраты/безопасность* системы мониторинга препятствует отсутствие явного определения безопасности.

В тоже время определить подобную меру необходимо для приложений. При наличии формального критерия - *затраты/безопасность*, задачу оптимизации конфигурации системы мониторинга можно решить в более общей постановке, используя установленную зависимость уровня безопасности, уровня затрат, номенклатуру используемых средств измерений и схемы размещения датчиков системы. К примеру, в большинстве случаев задаются либо уровень безопасности, либо величина затрат. Тогда состав и схема размещения датчиков подбираются путем варьирования остальных параметров системы.

Поскольку затраты на систему мониторинга легко определить из ее конфигурации, то остается только определить уровень безопасности - количественную меру доли опасных проявлений, которую данная система может выявить.

Для этой цели введем параметр полноты мониторинга - вероятность предупреждения P_p , имеющий смысл вероятности обнаружения системой предвестников опасной ситуации. Параметр P_p зависит от конфигурации системы мониторинга и конструктивных особенностей сооружения. В соответствии со сказанным выше, величина:

$$C = \frac{\text{Затраты}}{P_p}, \quad (1)$$

будет служить универсальным критерием целесообразности системы мониторинга. Входящая в (1) вероятность предупреждения P_p , будет определена на основе следующих соображений.

Система мониторинга типового сооружения не имеет средств ориентированных на распознавание дефектов на ранней стадии. Предупреждение основано на обнаружении предвестников происшествия – значимых механических проявлений, неотвратимо приводящих к аварии.

Предвестники разделяются на две группы. К первой относятся появление микротрещин, коррозии и усталостных явлений в элементах конструкции мостов. Эти предвестники не имеют механического проявления, ощутимого системой предупреждения. Обрушения и аварии в этом случае, как правило, наступают внезапно.

Другая группа происшествий имеет наблюдаемые механические предвестники в виде аномальных колебаний, деформаций, смещения и наклонов частей конструкции. Промежуток времени между появлением предвестника и критическим развитием опасной ситуации может составлять от нескольких секунд до суток.

Таким образом, естественно определить категорию предвестников как совокупность механических проявлений, которые распознаются современными средствами автоматического контроля. Практически используются тензодатчики различных видов, инклинометры, волоконно-оптические линии и тахеометры. Сравнительно недавно к ним добавился метод высокоточной спутниковой GPS, основанный на учете дифференциальных поправок [8,9,14,16]. Одновременно в действии на одном объекте все эти средства измерений можно увидеть в [10].

Для дальнейшего классифицируем перечисленные средства измерений по эффективным диапазонам измеряемых величин, а затем соотнесем полученную структуру измерителей с масштабами видимых механических проявлений (рис. 1).

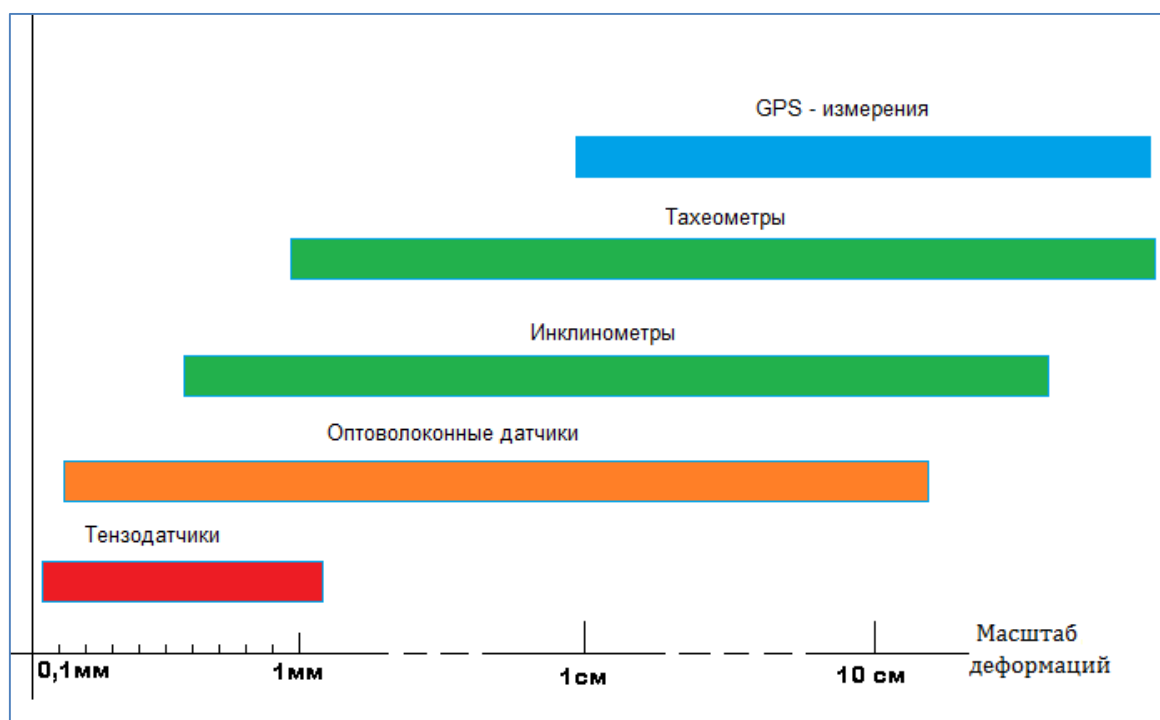


Рисунок 1. Сопоставление масштаба механических проявлений предвестников (смещений и деформаций) опасной ситуации и средств измерений

Таким образом, предвестники можно разбить на несколько (здесь 5) групп, связанных только с эффективными измерительными диапазонами распространенных датчиков.

Оценку эффективности системы предупреждения предлагается сделать на основе статистического распределения частоты появления предвестников по масштабам их механического проявления. Тогда статистической мерой эффективности отдельных групп измерений будет частота появления инцидентов, предвестники которых обнаруживаются i -ой группой измерителей, при неограниченном росте числа рассмотренных случаев. На практике о вероятности говорится при условии анализа достаточно большой базы данных об авариях с мостами, причины которых установлены. В этом смысле введем меру предупреждающей способности конкретной системы мониторинга, которую будем являться показателем безопасности системы в (1).

Будем полагать, что вероятность предупреждения системы мониторинга P_p равна доле общего числа опасных проявлений, которая система может распознать, определенную по

соответствию статистической частоты появления предвестников происшествий эффективному диапазону измерений набора используемых датчиков при данном размещении на объекте.

В представленной работе вероятность предупреждения определялась из данных по 106 происшествиям с мостами, в основном в России и Казахстане, произошедших в период 2006-2013 гг. В большой мере использовалась база мостовых происшествий, предоставленная А. Козловым [11].

Для каждого происшествия были известны механические предвестники, например аномальная амплитуда колебания пролетной части, наклоны опор, деформации элементов конструкции и т.д. Если явные механические предвестники отсутствовали, то разрушение считалось внезапным (по отношению к средствам мониторинга).

Цель проведенного факторного анализа заключалась в определении статистических частот появлений предвестников разных типов в генеральной совокупности рассмотренных происшествий. Процесс отбора факторов иллюстрирует таблица 1, где представлены характерные примеры происшествий из использованной базы данных.

Таблица 1

Фрагмент факторного анализа предвестников аварийных ситуаций

	НК	Тахеометры	ОВД	Тензодачики	Инклинометры	GPS
1	1	1	1	1	1	1
2	1	0	1	1	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	1	0	1	0	0	0

Здесь: НК – методы неразрушающего контроля, ОВД – опτικο-волоконные датчики.

Для каждого происшествия устанавливаются возможные предвестники и их масштабы. Затем выставляется единица в столбце соответствующего средства измерения или ноль, если причины аварии не имеют наблюдаемых предшественников.

Например:

Первое приведенное в таблице происшествие произошло 07.08.2006 в Смоленской области. Обрушение моста через Десну случилось во время работ по реконструкции опор, проводимых без перекрытия движения и не по проекту. В результате мост завалился набок. Этому обрушению предшествовали аномальные наклоны опор, и деформации балок пролетной части. Порядок величины смещений и деформаций 0,1 - 1см, что предполагает возможность распознавания данного предвестника всеми описываемыми средствами измерений;

Во втором и четвертом случае опоры моста находились в нормальном состоянии, обрушения были связаны с дефектами балочных частей конструкции. Недопустимая деформация балок могла быть выявлена тензометрическими измерениями или опτικο-волоконным датчиком (ОВД);

В четвертом случае - прогиб пролета Ворошиловского моста в Ростове-на-Дону (23.10.2007), вероятной причиной которого могла стать коррозия рабочей арматуры из-за неудачной конструкции. Прогиб балок в начале процесса деформации мог быть зафиксирован ОВД;

Наконец третий пример относится к категории случайных факторов, когда 26.08.2007 автокран снес пролет путепровода (трубопровода) через МКАД. Подобные случаи классифицируются как случайные факторы, когда предупреждающая способность всех средств измерений равна нулю.

После этого искомая вероятность P_p рассчитывалась согласно схеме, показанной на рисунке 2.

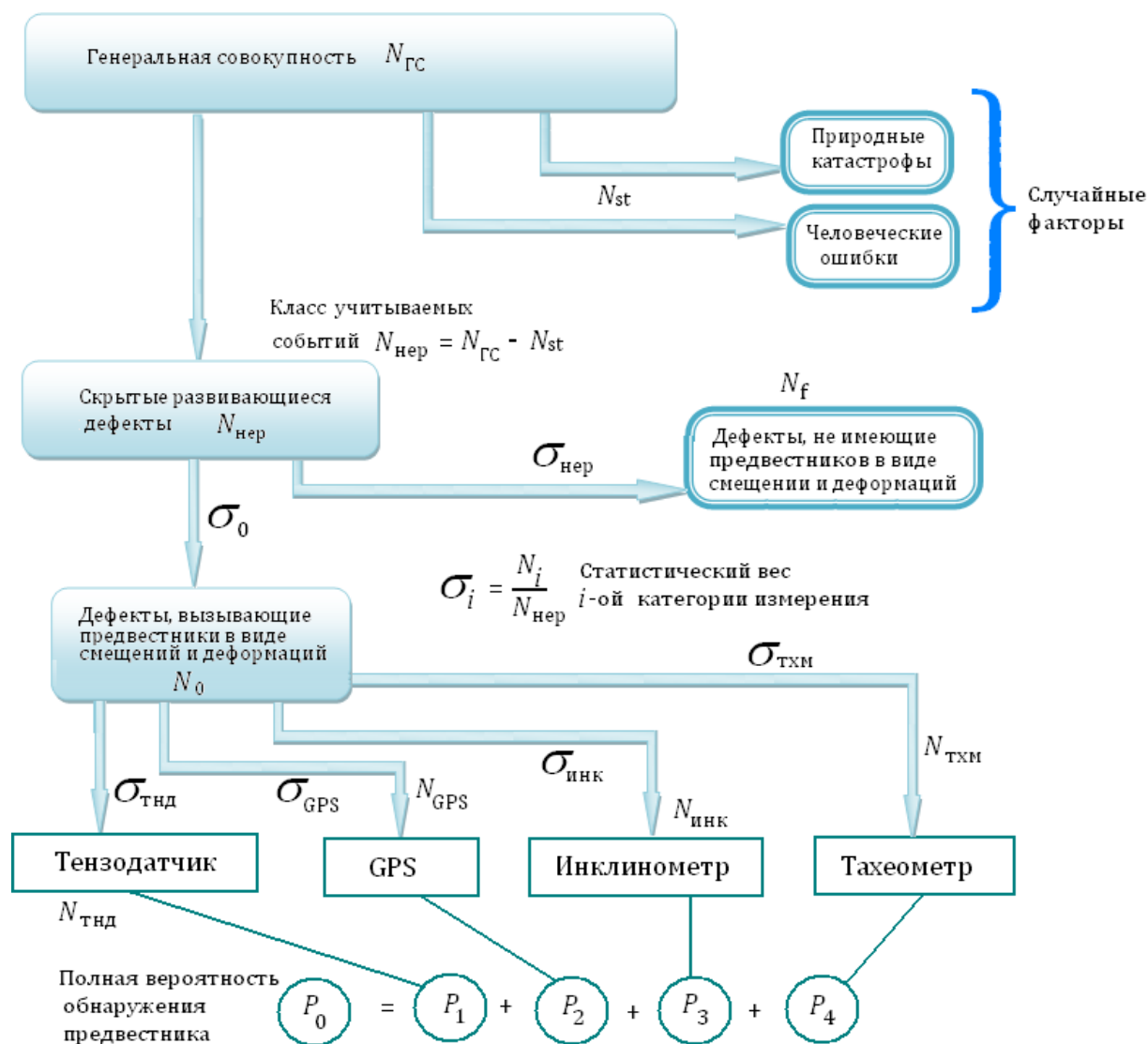


Рисунок Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует.. Схема расчета статистической эффективности системы мониторинга

Согласно данной схеме, из генеральной совокупности рассмотренных случаев $N_{GC} = 106$ следует вычесть случайные аварии и прийти к более узкому классу событий $N_{нep}$:

$$N_{\text{нер}} = N_{\text{гс}} - N_{\text{ст}}. \quad (2)$$

Множество событий $N_{\text{нер}}$ состоит из происшествий обусловленных дефектами, которые могли бы быть выявленными при полном обследовании сооружения методами неразрушающего контроля (НК), что неосуществимо на практике. Вероятность предупреждения при НК условно приравнивается единице и имеет смысл теоретического предела полноты измерения. Фактические характеристики мониторинга будут существенно ниже.

Как показано на рис.1 мы рассматриваем следующие виды измерителей: тензометрические датчики, оптико-волоконные линии, тахеометры, инклинометры и GPS измерения

Для отдельных видов измерений статистическая эффективность вычисляется как статистическая частота появления i - го фактора:

$$\sigma_i = \frac{N_i}{N_{\text{нер}}}, \quad (3)$$

где: N_i – количество событий, предвестники которых могут быть обнаружены средствами i -ой категории измерений. На рисунке 3 представлены статистические эффективности данных видов измерений, рассчитанные по имеющейся базе данных.

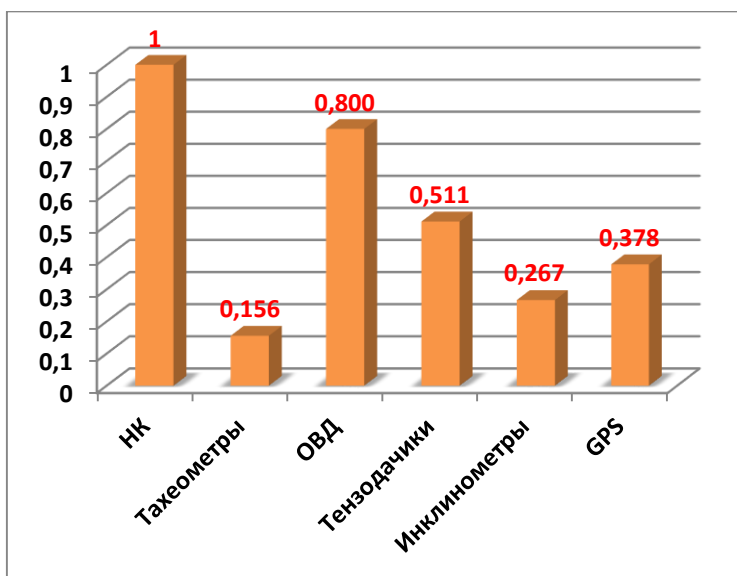


Рисунок 3. Статистическая эффективность часто используемых средств измерений

Статистическая эффективность отдельного вида измерения здесь равна статистической частоте происшествий, предвестники которых можно распознать данным видом датчиков. При неограниченном росте базы данных частота происшествий стремится к вероятности появления инцидента с предвестниками, регистрируемыми данной категорией устройств. Статистическая эффективность датчика никак не совпадает с его техническими возможностями. Например, высокоточные измерения глубины раскрытия микротрещин в системе мониторинга имеют нулевую эффективность.

В тоже время вероятности появления инцидента с определенными предвестниками не является оценкой вероятности предупреждения P_p , а только отражает способность системы распознавать различные признаки опасности.

Перейти к вероятности предупреждения можно введя коэффициент k_i для каждого i -го вида датчиков, показывающий полноту охвата конструкции датчиками данного типа. Коэффициент полноты измерений k_i равен отношению числа установленных датчиков i -ой категории к их числу, необходимому для сбора полной информации в данном диапазоне измерений. Например, если сооружение имеет 4 колонны, наклон которых необходимо контролировать, а инклинометр только один, то $k_i = \frac{1}{4}$.

Вероятность предупреждения i -ой категории будет:

$$p_i = \sigma_i k_i \quad (4)$$

Полная вероятность предупреждения P_p определенной конфигурации системы мониторинга будет пропорциональна:

$$T = \sum_{i=1}^M p_i = \sigma_1 k_1 + \sigma_2 k_2 + \dots + \sigma_M k_M, \quad (5)$$

где: M - число видов измерений.

В выражении (4) значения эффективности средств мониторинга σ_i вычисляются на основе имеющихся данных об авариях на мостовых сооружениях, тогда как значения k_i определяются конструкцией объекта и конфигурацией датчиков системы мониторинга. Это дает возможность, путем варьирования различных значений k_i , моделировать различные варианты оснащения объекта измерительным оборудованием с целью определения наилучшей конфигурации системы мониторинга, с точки зрения эффективности предупреждения.

Для значений эффективности средств мониторинга σ_i в общем случае будет:

$$\sigma_0 = \sum_{i=1}^M \sigma_i \neq 1. \quad (6)$$

В силу этого может быть $T > 1$, так как T не является вероятностью. Условие $T > 1$ означает, что одно событие может быть обнаруженным более чем одной категорией измерительных средств. Перекрывание зон наблюдения различными средствами улучшает характеристики системы мониторинга, поэтому параметр T может служить для оценки надежности системы мониторинга.

В таблице 2 приведены нормированные значения статистической эффективности $\bar{\sigma}_i = \frac{\sigma_i}{\sigma_0}$.

Таблица 2

Нормировка статистической эффективности

Тахеометры	ОВД	Тензодачики	Инклинометры	GPS
0,074	0,379	0,242	0,126	0,179

С учетом $\bar{\sigma}_i$ можно записать искомую вероятность предупреждения в виде:

$$P_p = \sum_{i=1}^M \bar{\sigma}_i k_i = \frac{1}{\sigma_0} \sum_{i=1}^M k_i \frac{N_i}{N_{\text{нпр}}} \quad (7)$$

Теперь расчет вероятности предупреждения сводится к оценке коэффициентов полноты k_i . Тем самым, данный коэффициент привязывает расчет вероятности предупреждения к конкретному объекту.

В небольшом числе случаев k_i можно получить из теоретических представлений. Например, разрыв в предварительно напряженной однородной металлической балке приведет к перераспределению напряжений по всей балке, что может быть зафиксировано локальным тензометрическим измерением в любой ее части. В этом случае зоной охвата датчика будет вся балка. Из [12] можно сделать вывод, что в некоторых случаях это будет справедливо и для бетонных балок. Однако нельзя рассчитывать на то, что на практике этот подход окажется часто применимым.

Одним из альтернативных путей получения значений k_i может быть статистическое сопоставление размеров зон повреждений элементов конструкций, подвергшихся разрушению и зоной чувствительности датчиков. К сожалению детальных описаний разрушений мостов в открытой литературе не много и создание подобной статистической базы выливается в самостоятельную задачу.

Наконец можно использовать эвристическую оценку, основанной на экспертной оценке и статистики развития дефектов в типовых мостовых элементах. Сущность эвристической оценки заключается в том, что связь масштабов проявления опасных дефектов и зон охвата датчиков, устанавливают эксперты на основе известных экспериментальных данных (рис.4). Отношение суммарной площади охватываемой датчиками к площади зоны возможного проявления дефекта будет равно k_i - коэффициенту полноты i -ой группы измерителей. Полному перекрытию зон напряжений измеряющими устройствами соответствует коэффициент полноты равный единице.

В идеале зоны максимальных напряжений указывались бы проектировщиками в рабочей документации на сооружение с учетом потенциального использования систем мониторинга. В реальности выявление зон напряжений и сопоставление их с зонами охвата датчиков производится либо из анализа известных происшествий с аналогичными конструкциями, либо эвристическим путем.

Например, если речь идет о колебаниях пролетной части моста, то из феноменологии ясно, что пучности стоячих волн будут приходиться на середину пролетной части сооружения. Для данного фактора опасности полнота охвата заключается в измерении наибольшей амплитуды колебаний, что достигается размещением датчиков на середине пролетной части.

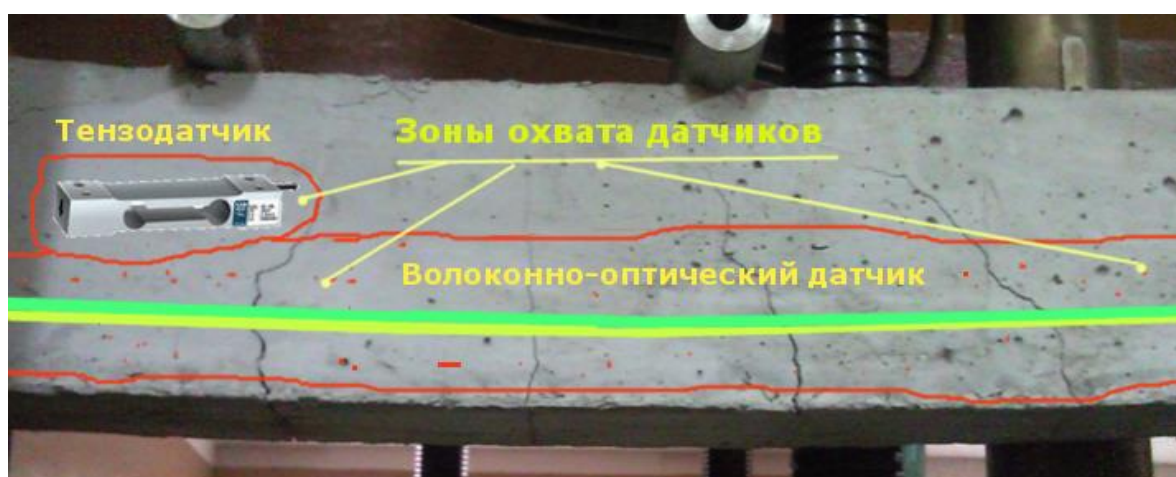


Рисунок 4. Зоны охват для различных типов датчиков
Источник: Фотография балки взята с сайта <http://жбк.рф/>, коллаж авт.

Предлагаемый подход, использующий эвристические оценки коэффициентов k_i , был использован при разработке технического проекта системы мониторинга автодорожного моста в г. Астана (рис.5). Следует заметить, что намерение оснастить системой мониторинга данный объект появилось не вследствие наличия особых рисков для сооружения, а в целях пилотной отработки автоматизированной системы мониторинга с элементами высокоточного спутникового позиционирования.

Изложенный выше подход использовался для обоснования схемы размещения измерительных устройств и конфигурации системы мониторинга по критерию стоимость/безопасность (1).

Некоторые результаты моделирования приведены в таблице 3. При данных условиях возможен перебор 1972 варианта, из которых для реализации рекомендованы варианты №6 и №7.

Таблица 3

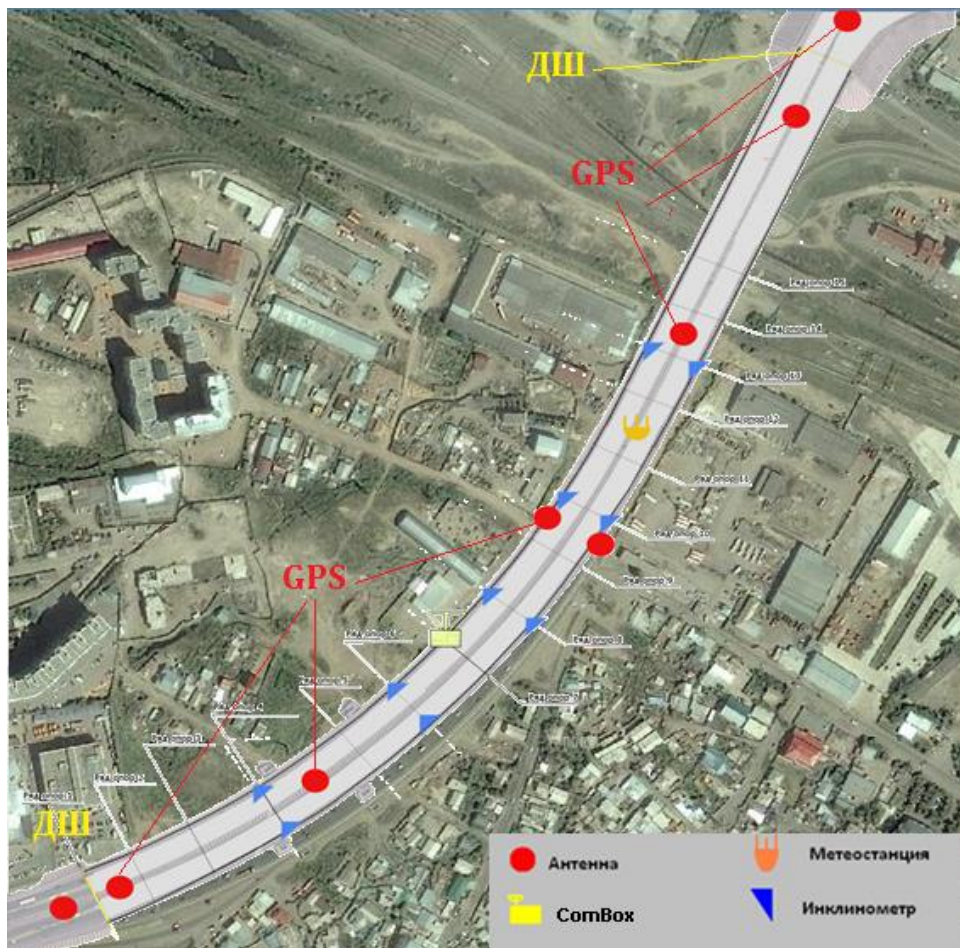
Вероятности обнаружения системы мониторинга автомобильного моста в г. Астана.

Варианты	Тахеометры	ОВД	Тензодатчики	Инклинометры	GPS	p_0
1)		Количество приборов		56	32	0,655
k	1	0,6	0,2	1,00	1,000	
P	0,074	0,227	0,048	0,126	0,179	
2)		Количество приборов		24	24	0,538
k	1	0,6	0,2	0,43	0,750	
P	0,074	0,227	0,048	0,054	0,134	
3)		Количество приборов		18	18	0,491
k	1	0,6	0,2	0,32	0,563	
P	0,074	0,227	0,048	0,041	0,101	
4)		Количество приборов		12	12	0,444
k	1	0,6	0,2	0,21	0,375	
P	0,074	0,227	0,048	0,027	0,067	
5)		Количество приборов		12	8	0,421
k	1	0,6	0,2	0,21	0,250	
P	0,074	0,227	0,048	0,027	0,045	
6)		Количество приборов		8	8	0,412
k	1	0,6	0,2	0,14	0,250	
P	0,074	0,227	0,048	0,018	0,045	
7)		Количество приборов		8	6	0,401
k	1	0,6	0,2	0,14	0,188	
P	0,074	0,227	0,048	0,018	0,034	
8)		Количество приборов		6	6	0,397
k	1	0,6	0,2	0,11	0,188	
P	0,074	0,227	0,048	0,014	0,034	

Можно видеть, что удельный вес мелкомасштабных измерений в вероятности предупреждения преобладает, что указывает на то, что инклинометрические и GPS-измерения несут меньшую часть полного информационного потока.

Анализ конфигурации проводился путем перебора вариантов, отличающихся числом датчиков каждого типа и значениями коэффициента полноты k_i датчиков. Как уже было сказано, коэффициенты k_i определяются плотностью покрытия опасных участков зонами охвата датчиков. В процессе моделирования значения k_i варьировались в широких пределах с целью выявления качественных зависимостей между количеством и видом средств измерений. Приведенные в таблице 3 результаты относятся к достаточно завышенным значениям коэффициента k_i , чтобы представить верхнюю оценку вероятности предупреждения. При подстановке коэффициентов k_i заданных на основе эвристического анализа вероятность предупреждения не превышала 10%.

Рекомендованная схема размещения датчиков показана на рисунке 5. Стоимость данной конфигурации при использовании датчиков и оборудования Leica и лицензионного программного обеспечения GeoMos [10] может составить от 300 000 EUR.



*Рисунок 5. Схема размещения датчиков GPS и инклинометров.
Мост эстакада по шоссе Алаш в г. Астана.*

При этом, как показали расчеты, даже завышенный уровень предупреждения об опасных ситуациях не превысил 50%, то есть система мониторинга не способна выдать предупреждение более чем для каждого второго предвестника аварийной ситуации. Из этого вытекает, что только риск очень серьезных последствий служит обоснованием установки системы мониторинга.

Количество датчиков GPS для данного моста выбрано избыточно. Здесь используется преимущество экспериментального проекта для того, чтобы получить данные по постоянному мониторингу движения мостового полотна непосредственно вблизи деформационных швов. О важности сбора информации о процессах вблизи деформационных швов в частности говорится в [2,13].

Предложенная модель показывает, что наибольший вклад в безопасность дают классические методы контроля, основанные на измерении относительно малых деформаций. Роль GPS датчиков для прямого предупреждения об опасной ситуации мала, так как зона охвата перекрывается более дешевыми средствами. Сокращение числа GPS датчиков и инклинометров заметно сократит стоимость системы.

Сказанное относится только к эксплуатируемым сооружениям. При строительстве мостов [1,3,6,16] средства высокоточной GPS часто остаются безальтернативным средством контроля. Кроме этого [10], GPS наблюдения на постоянной основе позволяют регулярно проводить модальный анализ колебаний конструкции, что дает дополнительную информацию о ее состоянии.

Заключение

Предложенная точка зрения основана на предположении того, что статистическая частота проявления предвестников опасных ситуаций, определенная на генеральной совокупности сооружений применима как мера вероятности появления вида потенциальной угрозы отдельно взятому объекту.

На первый взгляд, здесь имеется статистическая аналогия с подходом, когда прогноз (и эффективность системы предупреждения) распределения заболеваний по видам в отдельном городе, определяется по статистической частоте заболеваний разных видов, определенных на генеральной совокупности населения всей страны.

Однако видимая аналогия не означает полную эквивалентность. Источник возможных ошибок лежит в нивелирование локальных неоднородностей, таких как возрастные, национальные и климатические особенности городов в иллюстрирующем примере. В нашем случае рассматриваются типовые сооружения, составленные из стандартных элементов, эксплуатируемые в близких климатических условиях и построенные по близкой строительной технологии. Конечно, точность выполнения этого допущения может быть проверена на основе большого числа рассмотренных случаев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yasuda, M. Seismic design and behavior during the hyogo-kennanbu earthquake of the Akashi-Kaikyo bridge [Электронный ресурс] / M. Yasuda, M. Kitagawa, T. Moritni, S. Fukunaga // Proc of 12th world conference on earthquake engineering . – Режим доступа : <http://iitk.ac.in/nicee/wcee/article/2794.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.
2. Ефанов, А.В. Мониторинг поведения деформационных швов и опорных частей на автодорожном мосту через р. Волга у с. Пристанное / Ефанов А.В., Овчинников Е.Г., Макаров В.Н., Теплов А.А // Актуальные вопросы строительства: Материалы международной науч.-техн. конф. – Саранск; изд-во Мордов. ун.-та -2004, С. 486-490.
3. Непомнящий, В.Г. Непрерывный мониторинг мостового перехода через бухту Золотой Рог./ В.Г. Непомнящий, А.И. Яценко, Г.В. Осадчий // Дороги и мосты исследования. – 2012. – Май. – С. 30-34.
4. Наурызбаев, М. Система мониторинга стабильности конструкции моста по шоссе Алаш в г. Астана. / М. Наурызбаев, Р. Тулеушова // Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы и перспективы развития строительных конструкций: инновации, модернизация и энергоэффективность в строительстве». – Том II, – Алматы. – 19-20 декабря, 2013г.
5. Тулеушова, Р. Построение системы геотехнического мониторинга горы Кок-Тюбе в г. Алматы / Р. Тулеушова, Г.Алдабергенова // Вестник КазГАСА. – ISSN 1680-080X. –Алматы. – №4. –2013г.
6. Fujino, Y. Structural health monitoring of bridges in Japan: an overview of the current trend. / Y. Fujino & D.M. Siringoringo ; Bridge and Structure Laboratory, Department of Civil Engineering, University of Tokyo, Tokyo, Japan. – Fourth International Conference on FRP Composites in Civil Engineering (CICE 2008) . – 22–24 July. –2008. – Zurich, Switzerland.
7. Machelski, C. Efficiency of monitoring system of a cable-stayed bridge for investigation of live loads and pier settleme / C.Machelski, M. Hildebrand // Civil Structural Health Monitoring. – 26 February 2014. – DOI 10.1007/s13349-014-0074-7.
8. Roberts, G. A remote bridge health monitoring system using computational simulation and GPS sensor data / G. Roberts, X.Meng, M. Meo , A. Dodson , E. Cosser, E. Iuliano, A. Morris //Proceedings 11th FIG Symposium on Deformation Measurements. – Santorini, Greece. – 2003.
9. Тулеушова, Р. Оценка эффективности предупреждения о критических проявлениях на пространственно-протяженных конструкциях с использованием средств высокоточной спутниковой навигации : научный журнал / Р. Тулеушова // Вестник КазГАСА. – ISSN 1680-080X. – №1 (51) . – Алматы, 2014г.
10. Агнесс, Ц. Максимальный контроль моста в Швейцарии [Электронный ресурс] / Агнесс Цейнер // Периодическое издание Leica Geosystems. – Режим доступа : www.leica-geosystems.ru/downloads123/zz/general/general/TruStories/Swiss%20Bridge%2C%20Visible%20World-wide%20TRU_ru.pdf, свободный . – Загл. с экрана.
11. Козлов, А.В. Проектирование автодорожных мостов [Электронный ресурс] / А.В. Козлов. – Режим доступа: <http://www.padm.pro>, свободный.

12. Маилян, Д.Р. Особенности трещинообразования и разрушения усиленных железобетонных балок с различными видами арматуры и композитных материалов [Электронный ресурс] / [Д.Р. Маилян](#), [П.П. Польской](#), [Михуб Ахмад](#) // Инженерный вестник Дона. – Режим доступа <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1677>, свободный. – Загл. с экрана.
13. Определение перемещений концов пролетных строений при проектировании автодорожных мостов / В.И. Шестериков // Тр. ГП Росдорнии, НИИ, «Мосты», ОАО ЦНИИС. – М.: Информавтодор, 2002. – Вып. 12. – С. 25-55.
14. Roberts, G. Monitoring the deformation of a motorway viaduct using kinematic GPS / G. W. Roberts, C. Brown, O. Gundipe // IESSG, The University of Nottingham, UK School of Engineering and Design, Brunel University of West London, Uxbridge, UK.
15. Ni, Y.Q. Integrating Bridge Structural Health Monitoring and Condition-Based Maintenance Management [Электронный ресурс] // Y.Q. Ni, K.Y. Wong // Civil Structural Health Monitoring Workshop (CSHM-4) - Lecture 06. – Режим доступа: www.ndt.net/article/cshm2012/papers/v06.pdf, свободный. – Загл. с экрана.
16. Application of global positioning system to structural health monitoring of cable-supported bridges [Kai-yuen Wong](#) ; [King-Leung Man](#) ; [Wai-Yee K. Chan](#) Proc. SPIE 4337, Health Monitoring and Management of Civil Infrastructure Systems, 390 (August 3, 2001); doi:10.1117/12.435614.

Рецензент: Мухамедшакирова Шара Абзаловна, ассоциированный профессор, к.т.н, Казахская Головная Архитектурно-строительная Академия.

Raxila Tuleushova

Caspian University
Kazakstan, Almaty
E-mail: ratu@mail.ru

Nauryzbayev Murat Kabdushovich

ERC ASTEX Corp.
Kazakstan, Almaty
E-mail: itismurat@yandex.ru

Evaluating the effectiveness of the monitoring system of bridge structures

Abstract. Modern facilities of automatic control and measure allow creating systems of remote bridges monitoring. This circumstance has positive influence to wide spread of this kind of monitoring. Design of monitoring system for specific objects is reduced to solution of the problem about reaching a specified protection level upon condition of low cost of the system by means choice of system configuration.

At the frame of system approach is necessary to make formal definition of structures security in light of using monitoring systems and quantitative evaluation of growth of security due to using monitoring system. At this case feasibility study of monitoring system can be built on base analyze variants of technical configurations under conditions constrains to expenses and protection level.

This paper proposes the one possible way for estimating efficiency of monitoring system based on statistic of incidents with bridges.

At first, the proposed approach is definition of the measure decrease of risk due to including monitoring system. Secondly, it makes possible to set up general efficiency measure systems of monitoring of bridges that can be used for feasibility studies and optimization of monitoring systems.

Basic estimate of efficiency of bridge monitoring system is defined by the ratio - cost/(protection level) like as a well-known ratio of price/quality. For this case, term of “protection rate” was accordingly formalized via introduced concept of warning probability which means a part of dangerous events identified by the system.

In proposed method of calculating warning probability statistical database of bridges incidents including causes of crash was used. In addition this result depends on types of sensors and their allocation on the bridge. Since the cost of system is generally depended on the system configuration (i.e. – allocations and types of sensors plus software) it gives possibility to select configuration for given limit of cost and protection level.

Keywords: estimate of monitoring system; efficiency of monitoring system; probability of warning; harbingers of a dangerous situation; designing a monitoring system; configuration of monitoring system; risk of bridge accident.

REFERENCES

1. Yasuda, M. Seismic design and behavior during the hyogo-kennanbu earthquake of the Akashi-Kaikyo bridge [Elektronnyy resurs] / M. Yasuda, M. Kitagawa, T. Moritni ,S. Fukunaga // Proc of 12th world conference on earthquake engineering . – Rezhim dostupa : <http://iitk.ac.in/nicee/wcee/article/2794.pdf>, svobodnyy. – Zagl. s ekrana.
2. Efanov, A.V. Monitoring povedeniya deformatsionnykh shvov i opornykh chastey na avtodorozhnom mostu cherez r. Volga u s. Pristanoe / Efanov A.V., Ovchinnikov E.G., Makarov V.N., Teplov A.A // Aktual'nye voprosy stroitel'stva: Materialy mezhdunarodnoy nauch.-tekhn. konf. – Saransk; izd-vo Mordov. un.-ta -2004, S. 486-490.
3. Nepomnyashchiy, V.G. Nepreryvnyy monitoring mostovogo perekhoda cherez bukhtu Zolotoy Rog./ V.G. Nepomnyashchiy, A.I. Yashchenko, G.V. Osadchiy // Dorogi i mosty issledovaniya. – 2012. – May. – С. 30-34.
4. Nauryzbaev, M. Sistema monitoringa stabil'nosti konstruksii mosta po shosse Alash v g. Astana. / M. Nauryzbaev, R. Tuleushova // Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya stroitel'nykh konstruksiy: innovatsii, modernizatsiya i energoeffektivnost' v stroitel'stve». – Tom II,. – Almaty. – 19-20 dekabrya, 2013g.
5. Tuleushova, R. Postroenie sistemy geotekhnicheskogo monitoringa gory Kok-Tyube v g. Almaty / R. Tuleushova, G.Aldabergenova // Vestnik KazGASA. – ISSN 1680-080X. –Almaty. – №4. –2013g.
6. Fujino, Y. Structural health monitoring of bridges in Japan: an overview of the current trend. / Y. Fujino & D.M. Siringoringo ; Bridge and Structure Laboratory, Department of Civil Engineering, University of Tokyo, Tokyo, Japan. – Fourth International Conference on FRP Composites in Civil Engineering (CICE 2008) . – 22 – 24 July . – 2008. – Zurich, Switzerland.
7. Machelski, C. Efficiency of monitoring system of a cable-stayed bridge for investigation of live loads and pier settleme / C.Machelski, M. Hildebrand // Civil Structural Health Monitoring. – 26 February 2014. – DOI 10.1007/s13349-014-0074-7.
8. Roberts, G. A remote bridge health monitoring system using computational simulation and GPS sensor data / G. Roberts, X.Meng, M. Meo , A. Dodson , E. Cosser, E. Iuliano, A. Morris //Proceedings 11th FIG Symposium on Deformation Measurements. – Santorini, Greece. – 2003.
9. Tuleushova, R. Otsenka effektivnosti preduprezhdeniya o kriticheskikh proyavleniyakh na prostranstvenno-protyazhennykh konstruksiyakh s ispol'zovaniem sredstv vysokotochnoy sputnikovoy navigatsii : nauchnyy zhurnal / R. Tuleushova // Vestnik KazGASA. – ISSN 1680-080X. – №1 (51) . – Almaty, 2014g.
10. Agness, Ts. Maksimal'nyy kontrol' mosta v Shveysarii [Elektronnyy resurs] / Agness Tseyner // Periodicheskoe izdanie Leica Geosystems. – Rezhim dostupa : www.leica-geosystems.ru/downloads123/zz/general/general/TruStories/Swiss%20Bridge%2C%20Visible%20World-wide%20TRU_ru.pdf, svobodnyy . – Zagl. s ekrana.
11. Kozlov, A.V. Proektirovanie avtodorozhnykh mostov [Elektronnyy resurs] / A.V. Kozlov. – Rezhim dostupa: <http://www.padm.pro>, svobodnyy.

12. Mailyan, D.R. Osobennosti treshchinoobrazovaniya i razrusheniya usilennykh zhelezobetonnykh balok s razlichnymi vidami armatury i kompozitnykh materialov [Elektronnyy resurs] / D.R. Mailyan, P.P. Pol'skoy, Mikhub Akhmad // Inzhenernyy vestnik Dona. – Rezhim dostupa <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1677>, svobodnyy . – Zagl. s ekrana.
13. Opredelenie peremeshcheniy kontsov proletnykh stroeniy pri proektirovanii avtodorozhnykh mostov / V.I. Shesterikov // Tr. GP Rosdornii, NII, «Mosty», OAO TsNIIS. – M.: Informavtodor, 2002. – Vyp. 12. – S. 25-55.
14. Roberts, G. Monitoring the deformation of a motorway viaduct using kinematic GPS / G. W. Roberts, C.Brown, O. Gundipe // IESSG, The University of Nottingham, UK School of Engineering and Design, Brunel University of West London, Uxbridge, UK.
15. Ni, Y.Q. Integrating Bridge Structural Health Monitoring and Condition-Based Maintenance Management [Elektronnyy resurs] // Y.Q. Ni, K.Y. Wong // Civil Structural Health Monitoring Workshop (CSHM-4) - Lecture 06. – Rezhim dostupa: www.ndt.net/article/cshm2012/papers/v06.pdf, svobodnyy. – Zagl. s ekrana.
16. Application of global positioning system to structural health monitoring of cable-supported bridges Kai-yuen Wong ; King-Leung Man ; Wai-Yee K. Chan Proc. SPIE 4337, Health Monitoring and Management of Civil Infrastructure Systems, 390 (August 3, 2001); doi:10.1117/12.435614.