

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» / Russian journal of transport engineering <http://t-s.today/>

2014, Том 1, №1 / 2014, Vol 1, No 1 <http://t-s.today/issues/vol1-no1.html>

URL статьи: <http://t-s.today/PDF/01TS114.pdf>

DOI: 10.15862/01TS114 (<http://dx.doi.org/10.15862/01TS114>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Нигаматова О.И., Михалдыкин Е.С. Прочностной мониторинг мостовых сооружений и особенности его применения. Часть 1. Международный и отечественный опыт применения мониторинга // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», Том 1, №1 (2014)
<http://t-s.today/PDF/01TS114.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/01TS114

For citation:

Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I., Nigmatova O.I., Mikhaldykin E.S. [Strength monitoring of bridge constructions and features of its application. Part 1. International and domestic experience of monitoring application] Russian journal of transport engineering, 2014, Vol. 1, no. 1. Available at: <http://t-s.today/PDF/01TS114.pdf> (In Russ.)
DOI: 10.15862/01TS114

Адрес для связи с авторами:

410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

УДК 624.042

Овчинников Игорь Георгиевич

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Россия, Пермь
ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Россия, Саратов
ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»
Сочинский филиал, Россия, Сочи
Доктор технических наук, профессор
E-mail: BridgeSar@mail.ru

Овчинников Илья Игоревич

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Россия, Пермь
ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Россия, Саратов
ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»
Сочинский филиал, Россия, Сочи
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: BridgeArt@mail.ru

Нигаматова Ольга Ивановна

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения», Россия, Екатеринбург
аспирант кафедры «Мосты и транспортные тоннели»
E-mail: olganigmatova@ya.ru

Михалдыкин Евгений Сергеевич

АО «НИИГрафит», Россия, Москва
Ведущий инженер отдела строительных проектов
E-mail: emihaldikin@niigrafit.org

**Прочностной мониторинг мостовых сооружений
и особенности его применения.**

Часть 1. Международный и отечественный опыт применения мониторинга

Аннотация. Тенденцию развития строительных систем можно охарактеризовать следующими словами: усложнение конструкции и упрощение эксплуатации. При этом основная

задача эксплуатации инженерных конструкций – обеспечение устойчивости функционирующих сооружений по отношению к внешним агрессивным по отношению к сооружению воздействиям. В статье рассматривается предложенный Овчинниковым И.Г. в 1994 году прочностной мониторинг применительно к мостовым сооружениям. Прочностной мониторинг является элементом системы эксплуатации инженерных сооружений. Алгоритм мониторинга сооружений базируется на следующих основных задачах - установление характера внешних воздействий на сооружение и оценка способности сооружения сопротивляться этим воздействиям в определенной среде эксплуатации.

Рассмотрены различные подходы к решению проблемы эксплуатации транспортных сооружений в различных странах мира. Предложено включать в систему эксплуатации сооружений следующие подсистемы: 1) подсистему прочностного мониторинга сооружений; 2) подсистему организации научных исследований и разработок; 3) подсистему автоматизации работ по управлению состоянием сооружений; 4) подсистему подготовки кадров для работы в системе эксплуатации сооружений, включая мониторинг, проведение научных исследований, автоматизацию работ, действия в чрезвычайных ситуациях, управление качеством; 5) подсистему действий в случае возникновения чрезвычайных ситуаций; 6) подсистему управления качеством эксплуатации сооружений; 7) подсистему экологического мониторинга сооружений.

Отмечается, что на этапе эксплуатации сооружения активный мониторинг включает решение следующих основных задач: 1) оценку напряженно - деформированного состояния конструктивных элементов и всего сооружения, а также кинетики его изменения с учётом имеющихся дефектов и повреждений локального и распределенного характера; 2) анализ и оценку степени соответствия несущей способности сооружения внешним воздействиям в рассматриваемый момент времени и на прогнозируемый период; прогнозирование долговечности сооружения при заданных внешних воздействиях и происходящих процессах деградации; 3) разработку альтернативных стратегий по изменению состояния сооружения до проектного или требуемого уровня (ремонт, восстановление, усиление, реконструкция, замена); 4) выбор и реализацию наиболее рациональной стратегии изменения состояния сооружения. Описаны пути решения сформулированных задач.

Ключевые слова: прочностной мониторинг; мостовое сооружение; система эксплуатации; управление эксплуатацией; модели деградации; прогнозирование долговечности

Введение

Анализ основных тенденций развития транспортно-строительных систем показывает, что вектор направления их развития можно охарактеризовать следующими словами: усложнение конструкции и упрощение эксплуатации. Причем основная задача эксплуатации инженерных конструкций – обеспечение устойчивости функционирующих сооружений по отношению к внешним агрессивным по отношению к сооружению воздействиям, имеющим к тому же сложный вероятностный характер.

В силу значительной сложности современных инженерных сооружений, практически невозможно в процессе расчета и проектирования этих сооружений предусмотреть и ввести в расчетную схему все возможные эксплуатационные ситуации, которые к тому же могут меняться в процессе эксплуатации. Кроме того, в процессе эксплуатации весьма сложным и не всегда предсказуемым образом изменяются и характеристики материалов, и параметры внешних воздействий и другие факторы, сопровождающие процесс эксплуатации. В процессе эксплуатации в сооружениях появляются и развиваются дефекты и повреждения различного

вида и характера, которые также оказывают весьма неблагоприятное влияние на эксплуатационное состояние сооружения.

Поэтому обеспечение надежного функционирования вновь создаваемых и уже существующих транспортных сооружений требует разработки и применения специальной системы наблюдений за состоянием сооружения, его дефектами, повреждениями, нагрузками, другими внешними воздействиями с тем, чтобы прогнозировать характер и этих изменений и вызываемых ими изменений напряженно-деформированного и поврежденного состояния сооружения с целью своевременного принятия мер по обеспечению безопасной эксплуатации сооружения в изменившихся условиях эксплуатации.

Для выполнения такого вида работ Овчинниковым И.Г. в свое время была предложена структура прочностного мониторинга сложных инженерных, в том числе мостовых, сооружений [1,2,3,4], которая затем им и его учениками Наумовой Г.А., Дворянчиковым Н.В., была распространена на газопроводные системы [5,6,7,8,9], Денисовой А.П., Шейным А.А., Кудайбергеновым Н.Б, на системы хранения нефтепродуктов [10,11], Наумовой Г.А., Гарибовым Р.Б. на железобетонные конструкции, эксплуатирующиеся в агрессивных эксплуатационных средах [12, 13].

Следует заметить, что в строительстве достаточно давно использовались различные системы наблюдения за статическими и динамическими характеристиками строительных сооружений. Однако применение современных высокотехнологичных измерительных систем и современных средств интеллектуальной поддержки принятия решений с использованием современных компьютерных технологий дает возможность решать гораздо более сложные задачи безаварийной эксплуатации сложных строительных и транспортных объектов на уровне комплексного мониторинга их полного жизненного цикла [14]. Осуществление высокотехнологичного прочностного мониторинга сложных объектов промышленного, гражданского и транспортного строительства позволит прогнозировать наступление многих неблагоприятных и даже аварийных ситуаций и разрабатывать эффективные меры противодействия или уменьшения последствий неблагоприятных внешних воздействий.

В современных реальных условиях эксплуатации в связи с изменением целевого назначения строительных объектов их моральное старение может происходить быстрее, чем физическое, что и предопределяет необходимость конструктивных переустройств сооружения до наступления его полного физического износа.

В процессе мониторинга строительного объекта может возникнуть вопрос об усилении составляющих конструкций, о замене конструкций либо о ликвидации объекта. Своевременное выявление дефектов и повреждений различного вида и происхождения (в том числе силовых и коррозионных) в процессе прочностного мониторинга, анализ роста и перераспределения напряжений и деформаций в конструктивных элементах сооружений позволяет найти наиболее эффективный способ усиления конструкций с использованием современных методов расчета и современных материалов и технологий.

Все вышесказанное подтверждает нужность, эффективность и своевременность разработки высокотехнологичного прочностного мониторинга инженерных сооружений.

Так как прочностной мониторинг всегда должен являться элементом системы эксплуатации инженерных сооружений, то следует отметить следующие направления в развитии технической политики эксплуатации инженерных сооружений:

- экспериментальные методы диагностики сооружений (включая экспресс - методы), базирующиеся на использовании тех или иных физических эффектов и применении современной регистрирующей аппаратуры и персональных компьютеров [15,16,17];

- расчетно - теоретические методы оценки надежности с определением износа и остаточного ресурса сооружений с учетом дефектов, и повреждений, упругопластической работы материалов, ползучести, усталости;
- совершенствование и разработка новых эффективных конструктивно - технологических решений для усиления конструкций, включая нормативную базу для эксплуатации и реконструкции, проверка этих решений на реальных сооружениях;
- технология профилактики, ремонта и реконструкции сооружений и, в первую очередь, создание и совершенствование материалов, машин, оборудования и унифицированных конструктивно - технологических решений;
- управление эксплуатацией сооружений, включая автоматизацию оценки состояния, оптимального планирования ремонта, реконструкции, обеспечение безопасности эксплуатации [18, 19, 20, 21];
- разработка системного (комплексного) подхода к проектированию, строительству сооружений (включая контроль качества строительства, теорию эксплуатации сооружений) с тем, чтобы требования эксплуатации и экологии в оптимальном объеме удовлетворялись еще на стадии вариантных проработок.

Далее рассмотрим стратегии эксплуатации сооружений, ориентируясь, в основном на мостовые сооружения.

Существующие подходы к организации систем эксплуатации мостовых сооружений

Рассмотрим различные подходы к решению проблемы эксплуатации транспортных сооружений в различных странах мира.

В Великобритании в 1980 году было зарегистрировано около 92 тысяч мостов, построенных до 1922 года, из которых 70 тысяч возведено из камня и кирпича, 10 тысяч - из чугуна и стали. Из железобетона возведено 120 тысяч мостов. В конце 1960 - х годов началась реализация программы по идентификации грузоподъемности старых мостов в связи с резким ростом массы транспортных средств и интенсивности их движения. Для оценки грузоподъемности мостов использовались нормы BE 3/73. Но к 1977 году число тяжелых автомобилей массой более 28 тонн возросло от незначительного количества в 1962 году до 90 тысяч. Поэтому в 1977 году для оценки возможности пропуска нагрузок по пролетным строениям мостов, построенных до 1922 года вместо существующих норм BE 3/73 была введена новая инструкция, задача которой - обеспечить тот же уровень безопасности, какой имеют вновь проектируемые мосты [22].

В работе [23] отмечается, что для обеспечения безопасности движения, повышения долговечности мостов считали необходимо своевременное проведение их ремонта. Однако определенную трудность составляло установление обоснованной очередности проведения ремонтных работ. Поэтому был предложен метод, основанный на балльной оценке состояния отдельных элементов мостов (опор, опорных частей, пролетных строений, гидроизоляции, деформационных швов), интенсивности движения, расположения моста и других характеристик – всего рекомендовано проводить оценку по 26 параметрам. На каждый мост предлагалось составлять "лист очередности", который отражал бы как состояние отдельных элементов, так и всего сооружения в целом.

В статье [24] приводится содержание отчета об опыте эксплуатации мостов в различных штатах США. Отмечается, что около 50 % из 574 тысяч автодорожных мостов построено до 1940 года. Около 244 тысяч мостов имеют дефекты несущих элементов, не соответствуют функциональному назначению, нуждаются в ремонте, уширении или реконструкции. Стоимость указанных работ оценивается в 50 миллиардов долларов. Статья содержит описание системы организации работ по проведению ремонта мостов в различных штатах. Например, в Бюро инвентаризации департамента транспорта штата Пенсильвания числится 22500 мостов длиной 6 и более метров, из которых 32 % имеют различные дефекты и, в соответствии с федеральным рейтингом оценки состояния имеют индекс менее 80. Многие мосты штата построены более 40 лет назад и нуждаются в значительной реконструкции или полной замене. Начало инвентаризации мостов в штате Калифорния относится к 1936 году, когда в реестр было занесено 2000 мостов.

Процесс компьютеризации данных по всем 59 округам начался в 1978 году и к 1987 году в базах данных числилось 24116 мостов.

Опыт эксплуатации автодорожных мостов в США кратко освещен в работе [25], где отмечается, что Федеральное управление автомобильных дорог провело анкетирование соответствующих ведомств во всех штатах с целью разработки общей программы по содержанию, восстановлению и ремонту мостов. Необходимость создания данной программы объясняется ограниченными финансовыми средствами, выделяемыми на решение указанных проблем. Указывается, что основной задачей является ранжирование всех сооружений в общем перечне с точки зрения степени необходимости их восстановления или замены. Было проведено обобщение опыта по ремонту и эксплуатации мостов, накопленного в различных штатах. Практика показала, что в случае необходимости ремонта нескольких мостов приоритет обычно отдается одному из них после комплексной оценки всех сооружений, заключающейся в определении физического состояния конструкции, безопасности движения по мосту, параметров моста, финансового состояния эксплуатирующих организаций, степени важности сооружения.

Проблемы эксплуатации мостов в разных штатах рассмотрены в статьях [26, 27]. В работе [26] отмечается, что обследования мостов на дорогах штата Коннектикут показали посредственное и плохое состояние 61 % из 3600 мостов. После катастрофы, произошедшей с одним из мостов, была принята специальная программа ремонтных работ с целью обеспечения эксплуатационной пригодности мостов. Программа включает спектр работ от ямочного ремонта проезжей части до полной замены мостовых конструкций. При изучении статистических данных был отмечен рост объемов работ по ремонту и реконструкции мостов и сделан вывод о том, что экономически предпочтительнее выделять средства на обследование и техническое обслуживание мостов (эксплуатационные расходы) по сравнению с затратами на ремонтные работы при отсутствии надлежащих мероприятий по эксплуатации.

Департаментом транспорта штата Пенсильвания разработана [27] программа децентрализации процесса эксплуатации мостов путем передачи функций их инспекции 11 округам штата, которые осуществляют осмотр мостов в соответствии с Национальным стандартом инспекции мостов - NBIS. Все данные о каждом сооружении поступают в Департамент информации штата и заносятся в банк данных Системы управления мостами - BMS. Эта система является источником информации для строительных организаций, получающих данные об объемах и стоимости как текущих, так и перспективных работ по ремонту, реконструкции и содержанию искусственных сооружений. Эта информация ежемесячно освещается в 20 выпусках BMS, которая включает федеральную службу инвентаризации строительных конструкций. Значительная часть этих выпусков относится к

выработке критериев оценки состояния конструкций и методике определения грузоподъемности мостов.

Авторы работы [28] отмечают, что большое количество мостов в США достигло или приближается к концу проектного срока службы и, поскольку замена такого количества мостов экономически не осуществима, то возникает проблема их реконструкции и усиления. Анализ записей в Национальном перечне мостов, насчитывающем 575 000 наименований, позволил выделить группы мостов, наиболее нуждающихся в усилении: мосты со стальными пролетными строениями, деревянными сквозными фермами. Среди причин выхода мостов из рабочего состояния авторы называют интенсивное применение химикатов против обледенения и недостаточность мероприятий по содержанию. Предлагается серьезное внимание уделять деятельности по обследованию состояния мостов (в частности определению ограничений по грузоподъемности).

Промышленный стандарт Германии регламентировал требования к техническому контролю за состоянием и контрольным испытаниям инженерных сооружений на автомобильных дорогах [29]. Контроль и испытания искусственных сооружений должны давать объективную информацию об устойчивости и влиянии искусственных сооружений на безопасность движения. Кроме того, в процессе контроля и испытаний должна осуществляться оценка функциональной пригодности и строительного состояния искусственных сооружений, поскольку, в конечном счете, именно от этого зависит срок службы сооружений.

Главная цель регулярных контроля и испытаний заключается в том, чтобы своевременно выявить появившиеся дефекты искусственных сооружений и оперативно устранить их, то есть до тех пор, пока они не превратятся в серьезные повреждения, и не возникнет реальная угроза для безопасности движения. Но вопросы устранения дефектов и повреждений выходят за рамки Промышленного стандарта.

Контроль и испытания искусственных сооружений предусматривают ведение следующей технической документации:

1) полный перечень всех имеющихся на автомобильной дороге искусственных сооружений с указанием основных геометрических параметров и технико - эксплуатационных показателей сооружения;

2) акт на каждое искусственное сооружение, в который включается самая подробная постоянная и текущая информация о сооружении (чертежи, проведение ремонтов, всевозможные согласования и т.д.);

3) книга учета искусственного сооружения, которая содержит все важнейшие данные об искусственном сооружении и предназначена для записей результатов проведенных осмотров и испытаний; причем книга должна быть заведена уже к моменту первого испытания.

Контроль за состоянием искусственных сооружений предусматривает проведение ежеквартальных текущих наблюдений и ежегодных осмотров. Испытания искусственных сооружений предполагают проведение раз в 3 года простого испытания (определение несущей способности, определение фактического состояния), раз в 6 лет главного испытания (оценка состояния фундаментов, массивных строительных элементов, стальных и других металлических конструкций, геодезические измерения) и особых испытаний (сроки не регламентируются).

Методология организации инспекции мостов в штате Коннектикут описана в сообщении [30]. Каждая инспекционная бригада состоит из двух человек: главного специалиста, имеющего стаж не менее 5 лет работы в области эксплуатации мостов и инженера со стажем не менее 3 лет. Данные о параметрах мостов, включая результаты обследований, хранятся в памяти ЭВМ.

При выезде на мост каждая бригада снабжается результатами последней инспекции. Географически штат разделен на 8 инспекционных районов, в каждом из которых находится от 500 до 700 мостов. Мосты обследуются, по меньшей мере, один раз в 2 года. Мосты с подвесными элементами обследуются ежегодно, а мост, восстановленный после катастрофы, ежемесячно.

В 1980 году для классификации состояния мостов была введена система оценок, в соответствии с которой рейтинг конструкции свыше 90 при состоянии проезжей части более или равном 9 свидетельствует об идеальном состоянии сооружения. Соответственно: 80 – 90 и 7 - 8 означает хорошее состояние, 50 - 80 и 5 - 6 - плохое, а 0 - 50 и 0 - 4 - аварийное, требующее немедленного ремонта или закрытия движения. В соответствии с этой шкалой в штате имеется 0,3 % мостов первой группы; 39,4% - второй группы; 56,9 % мостов находятся в плохом и 3,4 % в аварийном состоянии.

Классификация пролетных строений существующих мостов по наибольшей пропускаемой нагрузке обеспечивает их дальнейшую безопасную эксплуатацию без необоснованных ограничений, уменьшает угрозу целостности сооружения, повышает его экономическую эффективность.

В штате Пенсильвания проведено изучение этой проблемы [31] и предложена общая методика проведения классификации мостов с учетом опыта других штатов и разных организаций, действующих нормативных документов, факторов, влияющих на состояние несущих конструкций и других параметров. Авторы утверждают, что методика позволяет поднять уровень установленной нагрузки и одновременно уменьшить риск разрушения пролетного строения и что она пригодна для конструкций из разных материалов.

В статье [32] указывается, что каждый мост в системе метрополитена Балтимора должен осматриваться не реже одного раза в 2 года, а в некоторых случаях и чаще. Результаты инспекции заносятся в специальные карты. Процедура обследования упорядочена: сначала осматриваются несущие элементы пролетных строений, плита проезжей части, стенки и плиты коробчатых балок, а также деформационные швы, опорные стойки пешеходных перил, настил тротуаров, бордюры. Затем осматриваются опоры, устои, подпорные стенки, фундаменты, дренажная система. Степень износа мостовой конструкции фиксируется по 9-бальной шкале, в соответствии с которой индексом 9 обозначается новый мост, а нулевым - пролетное строение, требующее немедленного закрытия.

В работе [33], посвященной состоянию мостов в Германии, отмечалось, что весьма важное значение имеет комплексное содержание мостовых сооружений - уход, обслуживание, ремонт, реконструкция, уширение. Необходимая предпосылка комплексного содержания - планомерные испытания, оценка технического состояния и составление документации. Персонал для испытаний мостов устанавливается из расчета: 1 инженер; 1,5 техника и 0,5 - 1 других специалистов на 60 мостов (около 6500 кв. метров).

Для повышения эффективности эксплуатационного содержания мостов большое значение имеет своевременная, правильная и четкая оценка их состояния, которую можно получить во время периодических осмотров, считают авторы публикации [34]. Для полной оценки необходимо, прежде всего, установить условия, определяющие соответствие состояния моста эксплуатационным требованиям на момент обследования и с учетом перспективы развития движения.

При такой постановке вопроса указаний действующих нормативных документов явно недостаточно, так как они учитывают только дефектацию конструкций, в то время как необходимыми условиями являются:

- обеспечение требуемой грузоподъемности несущих конструкций;

- обеспечение приблизительно такой же, как и на основной дороге скорости движения основных видов транспортных средств по мосту и мостовому переходу;
- обеспечение безопасности движения по мосту и мостовому переходу;
- обеспечение требуемой долговечности элементов перехода, то есть надежности их во времени как по грузоподъемности, так и по условиям пропуска движения, в том числе и по условиям пропуска паводковых вод под мостом.

В соответствии с этими требованиями авторами статьи [34] намечены основные показатели, по которым необходима эксплуатационная оценка мостов для организации правильного эксплуатационного содержания: техническое состояние элементов перехода и его влияние на организацию текущего содержания и ремонтов. При этом устанавливается, как влияет состояние несущих конструкций на их грузоподъемность; условия безопасного движения на мосту по допускаемой скорости основных видов транспортных средств в зависимости от габарита моста с учетом туннельного эффекта от ограждений; условия безопасного движения по переходу в целом; грузоподъемность несущих элементов моста с учетом их технического состояния; условия пропуска движения под путепроводами или условия пропуска паводковых вод под мостом.

Эти показатели охватывают оценку состояния мостового перехода с учетом как физического (технического), так и морального износа. В зависимости от значения каждого из этих показателей можно установить рекомендации к текущему содержанию мостов, к потребностям в ремонтах, в том числе и в реконструкции. Имеется возможность классификации состояния мостов. Разработанная и опробованная специальная балльная система оценки эксплуатационных показателей мостов позволила выдавать полноценные рекомендации по их эксплуатационному содержанию. По этой системе каждый основной эксплуатационный показатель выражается количественно в виде коэффициента, определяемого по результатам обследования. В зависимости от величины коэффициента даются конкретные рекомендации по обеспечению соответствующих требований при эксплуатационном содержании.

Автор статьи [35] указывает, что при эксплуатации автодорог содержание искусственных сооружений и собственно дороги следует организовывать по-разному. Содержание включает в себя два вида деятельности: периодические осмотры с целью выявления дефектов и устранение этих дефектов - текущий ремонт, очистка, окраска и т.д.

В Швейцарии все искусственные сооружения подлежат тщательному обследованию 1 раз в 5 лет и, кроме того, за 5 - летний период производится 3 - 4 осмотра. Дефекты, в основном, относятся к одной из следующих групп:

- трещины, сколы и другие дефекты бетона;
- коррозия арматуры;
- дефекты деформационных швов;
- дефекты опорных частей;
- плохой водоотвод;
- общие деформации пролетных строений;
- осадки и смещения фундаментов.

Основной принцип содержания искусственных сооружений должен заключаться в своевременном обнаружении дефектов и скорейшем их устранении. Кроме периодических осмотров производят специальные осмотры в тех случаях, когда сооружение подвергалось

каким-либо особым нагрузкам (сверхнормативная нагрузка, паводок, землетрясение, авария). В тех случаях, когда визуально невозможно оценить состояние тех или иных элементов искусственного сооружения, прибегают к неразрушающим методам контроля. Этими методами определяют прочность бетона, глубину карбонизации бетона, его структуру, толщину защитного слоя, наличие скрытых раковин или пустот и т.п. Автор утверждает, что при эксплуатации искусственных сооружений следует все время помнить, что ремонт должен производиться своевременно, до тех пор, пока дефект не привел к трудно устранимым последствиям. Это позволит продлить срок службы сооружений и сэкономить значительные средства.

В весьма интересной по поднимаемым вопросам статье [36] представлен анализ современных тенденций в проектировании и строительстве опор автодорожных мостов. Подчеркивается, что проектировщики стремятся создать тонкостенные, столбчатые опоры из сборного железобетона, надеясь получить максимальную экономию материалов при обеспечении только расчетной прочности. При этом полностью опускаются требования удобств эксплуатации и дальнейшей модернизации мостов в будущем. Но, как показал многолетний опыт эксплуатации автодорожных мостов, имеющих тонкостенные и столбчатые опоры, последние подвергаются нарушениям сплошности от механических ударов (при пропуске ледохода), и в поврежденных местах начинается активная коррозия арматуры, бетона.

При проектировании опор зачастую не делается обустройство для производства осмотра опорных частей, не учитываются места для установки домкратов при необходимости подъема пролетных строений во время ремонта мостов, совсем не учитываются требования к возможному в будущем уширению опор в случае модернизации сооружения.

Автор статьи приходит к следующим выводам: опоры должны проектироваться и строиться с условием их долговечности на весь срок эксплуатации моста; необходимо, чтобы опоры проектировались монолитными с рационально увеличенными размерами своих элементов; опоры должны иметь определенный запас несущей способности с учетом перспективной модернизации моста; в пролетах опор следует предусматривать сеть постоянных реперов для ведения наблюдения за будущими осадками опор; опоры больших мостов на реках с интенсивным ледоходом желательно облицовывать камнем или бетонными блоками повышенной прочности.

Проблемы сохранения мостовых конструкций и увеличения срока их службы рассматриваются в статье [37]. Отмечается, что Федеральная автодорожная администрация США большое внимание уделяет эксплуатации и инспекции мостов, а также проведению своевременных ремонтных работ, причем роль этих факторов повышается с увеличением возраста сооружений. Соответствующие нормативные документы охватывают и определяют происхождение и обнаружение дефектов, квалификацию инспекторов, организацию инспекции и её деятельность, планирование, качество и контроль инспекции. При инспекции особое внимание уделяется тем критическим элементам конструкции, выход которых из строя вызовет обрушение моста.

Сообщается, что в Великобритании решается проблема оценки несущей способности и возможности дальнейшей эксплуатации каменных арочных мостов, построенных в 19 веке и составляющих 40 % мостов в стране. Исследования ведутся с применением самых современных методов расчета, моделирования, а также натуральных опытов.

В США и Канаде довольно широкое применение находит катодная защита железобетонных пролетных строений.

В Европе этот способ защиты менее распространен, так как здесь при строительстве мостов применяют гидроизоляцию пролетных строений и потому применение соли для борьбы с обледенением менее опасно.

Представляет интерес применение пластиковых покрытий для защиты стальных конструкций от коррозии. Покрытие исключает необходимость в регулярной окраске конструкций и может также использоваться как индикатор наличия повреждений.

Практика показала, что при эксплуатации мостов затраты на постоянное содержание их в хорошем состоянии оказались меньше, чем затраты на единовременные ремонтные работы при отсутствии мероприятий по содержанию [38]. Содержание мостов предусматривает кроме постоянной деятельности по обслуживанию (очистка, защита от обледенения и т.п.), проведение мелких ремонтных работ и периодических обследований, приблизительно через полгода, с целью выявления дефектов. Одной из основных задач является обеспечение безопасного проезда по мосту. При осмотре мостового перехода с точки зрения условий водотока, при наличии русловых опор, следует обратить внимание на паводковые явления (размывы, наносы), необходимо оценить устойчивость откосов конусов и регулиционных сооружений. Обследуя устои и промежуточные опоры важно, кроме локальных дефектов, контролировать перемещения и осадки элементов опор. Существенным этапом обследования является контроль состояния и работы всех опорных частей сооружения. Должен быть осуществлен внеочередной тщательный осмотр опорных частей, если мост подвергнулся необычному воздействию (транспортное происшествие, сейсмическое воздействие). Балки пролетных строений могут быть изготовлены из дерева, стали или железобетона. Каждый материал порождает присущие ему проблемы эксплуатации и содержания. Большое количество элементов в фермах металлических мостов создает трудности при их обследовании. При осмотре проезжей части следует уделить внимание обеспечению водоотвода и наружным разрушениям. Серьезные проблемы создает применение на мостах с цементобетонным покрытием солей для борьбы с образованием наледей. Регулярный осмотр состояния деформационных швов, покрытия и подходов является неотъемлемой частью мероприятий по содержанию моста.

Проблемы эксплуатации мостов в Великобритании рассматриваются в статье [39], где обращается внимание на то, что в мостостроении сложилась ситуация, когда задачи по оценке несущей способности, ремонту и техническому обслуживанию существующих мостов встали на один уровень значимости с задачами проектирования и строительства новых мостов. В связи с этим рассмотрено несколько причин, приводящих к невозможности эксплуатации мостов: несоответствие проектным нагрузкам, реакция между щелочью, содержащейся в цементе и заполнителем и местная коррозия арматуры. Отмечается, что несоответствие проектной нагрузке не всегда является поводом для закрытия движения, так как она не достаточно точно отражает реальные нагрузки, а нормы учитывают только упругую работу материала. Но указывается, что, в отличие от реакции между щелочью цемента и заполнителем, которая не может значительно отразиться на прочности, проблема местной коррозии арматуры в мостах с натяжением арматуры после бетонирования может иметь катастрофические последствия.

В статье [40], посвященной содержанию мостов в США, сообщается, что затраты департамента транспорта США на содержание автомобильных дорог и мостов на них составляют 25,1 - 28,8 миллиардов долларов ежегодно, но эта сумма признается недостаточной. Одной из основных причин нарушения работы мостов является разрушение покрытий и плит проезжей части вследствие воздействия солей, используемых для борьбы с обледенением. Теоретический срок службы плиты проезжей части при отсутствии защиты от коррозии составляет 30 - 40 лет, однако реально, с учетом тяжелых условий эксплуатации он снижается до 5 - 10 лет.

В работе [41], посвященной активному контролю эксплуатации мостов, отмечается, что мосты, как и другие уникальные дорогостоящие конструкции в процессе эксплуатации подвергаются воздействию сложных нагрузок, приводящих к накоплению повреждений в несущих элементах; эти повреждения меняют структуру конструкций и их реакцию на внешние воздействия. Идея активного вмешательства в эксплуатацию сложных строительных конструкций путем оптимизации их напряженного состояния с помощью специальных активно воздействующих средств восходит к 1960 - тым годам (Фрейсине). В 1965 году L.Zetlin предложил установить в верхней части высотных сооружений датчики смещений, передающие сигнал гидравлическим устройствам, осуществляющим натяжение определенных арматурных пучков для уменьшения изгибных деформаций. Но наиболее эффективной является система контроля, исследованная Уао, которая включает датчики, фиксирующие одновременно внешние воздействия и реакцию на них конструкции с последующим вычислением посредством микропроцессора тех значений усилий воздействия активных средств регулирования, которые обеспечат минимум некоторой целевой функции. Работа [42] посвящена техническим решениям по содержанию мостов в Германии. В ней говорится, что моральный износ многих сооружений часто снижает их несущую способность и надежность.

Типичные повреждения мостов являются результатом воздействия влаги и агрессивных факторов окружающей среды. Особенно неблагоприятно воздействие химических средств, применяемых на дорогах для борьбы с гололедом. В связи с этим необходимо создание эффективной системы содержания мостов, обеспечивающей технически безупречное состояние сооружений. Приводятся технические решения по содержанию подпорных стен и мостовых устоев из сборных элементов, сборных арочных мостов, применению техники скольжения на воздушной подушке при постройке водопропускных труб, устройству гидроизоляции из реактивных смол на массивных мостах, испытанию мостов с применением компьютеров. Для подпорных стен разработаны три системы сборных конструкций, обеспечивающие эффективное ведение работ и значительное сокращение времени ограничения движения транспорта. Для ремонта арочных мостов разработаны сборные элементы массой 1,5 тонны и размерами 3,70*1,50*0,38 м. из железобетона, что позволяет повысить несущую способность сводов. Эти элементы укладывают на своды мостов и заанкеривают стальными стержнями. Элементы можно применять для реконструкции большого числа узких арочных мостов. Способ дает сокращение времени примерно на 30 % по сравнению с использованием монолитного бетона.

В статье "Новые памятки для планирования, расчетов, конструирования, испытаний и осмотров несущих конструкций" [43] делается заключение, что существовавшие в Германии в 1982 году "Памятки" существенно помогли повысить надежность несущих конструкций, увеличить их долговечность. Новое, третье издание "Памяток" учитывает продвижение науки и техники в области строительства, что обусловило появление некоторых дополнительных разделов и глав, отражающих новые методы расчетов и проверок, вопросы проектирования и расчетов новых типов несущих конструкций современных сооружений.

За последние годы в Германии не отмечено особо тяжелых случаев из - за непрочности несущих конструкций, что стало следствием специальных разделов в Памятках по вопросам подготовки фундаментов и оснований. Отмечается, что практические работники за прошедшие годы существенно помогли своим опытом в редактировании новых документов по безопасности строительных работ, в дополнении "Памяток" данными по обеспечению прочности несущих конструкций.

Статья [44] содержит описание быстрой и безопасной системы контроля состояния пролетных строений и опор мостов. Сначала подчеркивается, что значительно возросло грузовое движение и грузовые автомобили достигают массы 44 тонн, а с учетом того, что они

двигаются со значительной скоростью, следует опасаться негативных результатов их воздействия на мосты и эстакады. Имеются примеры, когда интенсивность движения с момента сдачи в эксплуатацию автомагистрали выросла в 20 раз. Для успешного и безопасного контроля состояния пролетных строений и опор мостов, эстакад в процессе их эксплуатации итальянская фирма Varin выпускает специальные смотровые установки под титулом "Автоматический контроль мостов" 5-ти типоразмеров с длиной смотрового мостика от 8 до 20 метров. Эти установки отличаются техническими особенностями: высокой степенью устойчивости, обеспечивающей безопасность ведения контроля; установка может быть смонтирована на грузовом автомобиле любой марки серийного производства, оснащена вспомогательными моторами; наличие гидроприводов обеспечивает выполнение всех необходимых инспекционных маневров; давление на покрытие проезжей части в пределах нормативов. При выполнении смотровых работ установка занимает только одну полосу движения и не мешает движению на мостах.

В Германии выпускается смотровая установка Moog MBI 80 - 1/s, смонтированная на базе легкого грузового автомобиля [45]. Установка весьма маневренна, с её помощью можно осмотреть подмостовое пространство при вылете по горизонтали до 8 метров и по вертикали до 7 метров. Эта же фирма Moog выпускает смотровые установки для железнодорожных мостов, действующие с консолей пролетных строений или с пути. Со смотровых установок могут быть выполнены некоторые ремонтные работы.

В японской статье [46] указывается на важность регулярного контроля за состоянием мостовых конструкций и описывается применяемая в последнее время система контроля мостов с помощью специальных смотровых самоходных тележек типа телевизионных мониторов. Ширина зоны осмотра равна 12 метрам, имеются стрелы (смотровые консоли) с различным числом сочленений при длине одного плеча 2 - 5,8 м. Размеры тележки: длина 11,9 м., ширина 2,5 м., высота 3,2 м., масса тележки 14,7 т. Тележка оснащена ЭВМ, цветной телекамерой с трансформатором и двумя прожекторами с лампами мощностью 500 Вт. Обслуживающий персонал двух тележек составляет 7 человек.

В соответствии с нормами DIN 1076 все инженерные конструкции на автодорогах должны регулярно обследоваться и испытываться [47]. В Берлине эту задачу выполняет группа по испытаниям строительных конструкций в составе администрации по строительным и жилищным вопросам, причем под её надзором находится около 2000 строительных конструкций. Результаты испытания каждого моста имеют индивидуальную документацию. В тысячах мелких заключений отмечаются повреждения и их причины, устанавливаются способы их устранения и степень их срочности. С введением в 1988 году указаний министра транспорта по единообразному пониманию, оценке, записи испытаний строительных конструкций появилась основа для ведения работы по испытаниям мостов на базе ADV. Одновременно начались пробы по внедрению системы DV-BWPRUF по выявлению и оценке повреждений мостов.

В статье [48] рассмотрена система управления мостами, состоящая из шести модулей:

- модуль базовых данных,
- модуль содержания, восстановления и разборки,
- модуль текущего содержания,
- модуль анализа исторических данных,
- модуль проектирования,
- отчетный модуль.

В весьма интересной статье [49] отмечается, что 41% мостов в США признаны "конструктивно недостаточными и функционально устаревшими". Эти категории не означают, что мосты обязательно небезопасны, но на многих мостах введено ограничение веса пропускаемых грузов из-за износа или повреждения конструктивных элементов. Кроме того, наблюдается весьма критическое отношение со стороны специалистов к визуальной инспекции мостов и практикуемым способам расчетов. Визуальная инспекция весьма субъективна, и она не в состоянии обнаружить все трещины под слоем краски и ржавчины. Практикуемые способы расчетов весьма приближены ("на уровне поваренной книги") и не отражают фактической картины работы сооружения, которая часто не соответствует принятым предположениям. Многие специалисты считают, что прочность мостов значительно занижается, так как должна быть обеспечена безусловная безопасность движения на мостах. Поэтому отсутствие систем общего мониторинга мостов приводит к неэффективной инспекции их, сверхконсервативным расчетным оценкам, необоснованным заменам или другим работам, необоснованным расходам материалов и других средств. Отмечается, что в ряде университетов США проводятся исследования и эксперименты с целью разработки систем общего мониторинга мостов, которые позволили бы получить экономический эффект за счет более точных расчетов, устранения ограничений на мостах и предполагаемых работ по замене или усилению, продлению срока службы конструкций.

В статье [49], посвященной системе эксплуатации мостов, также отмечается, что рост интенсивности автомобильного движения на дорогах вызвал необходимость реализации двух процессов, обеспечивающих нормальную эксплуатацию сети дорог:

- получение постоянной информации о состоянии дорог,
- проведение технико-экономических мероприятий для обеспечения нормальной эксплуатации данной сети.

Для автомобильных дорог Польши начато внедрение такой информационной системы. Также предлагается концепция информационной системы для эксплуатации существующих мостов на данной сети дорог.

В этой системе модели мостов составляют подсистемы, позволяющие выполнять автоматическое сравнение их состояния на данном этапе с идеализированными мостами, или выявить наличие отклонений от допускаемых или граничных условий.

Модели мостов должны обеспечивать оценку их состояния в самом широком диапазоне.

В рассматриваемой системе представлены концепции мостов по следующим техническим группам:

- безопасность мостового сооружения;
- техническое состояние сооружения;
- общее состояние мостового хозяйства на данном участке дорожной сети.

Рассмотрены алгоритмы модели безопасного состояния идеального и реального мостов, а также аналогичных моделей для остальных тематических групп информационной системы мостового хозяйства.

Статья [50] также посвящена системе управления эксплуатацией мостовых сооружений. В ней сообщается о разработке специализированной фирмой Spea-Ingegneria Europea SpA (Италия) пакета прикладных программ для автоматического управления эксплуатацией мостовых сооружений и контроля качества. Кроме обычных функций (управление потоком движения, передачи различной информации и т.д.) система позволяет оперативно получать все данные о физическом состоянии моста и его отдельных частей, базируясь на результатах

прямых измерений. При помощи системы обнаруживаются дефекты конструкции моста, производится классификация аномалий, выдается статистический доклад о результатах измерений, производится периодическая проверка состояния исправленных аномалий. Утверждается, что система имеет высокую работоспособность, универсальность и применима в различных условиях эксплуатации.

В Германии развивается система постоянного контроля за стабильностью мостовых конструкций [51], что должно предупредить внезапные катастрофы. Новые подходы к решению этой проблемы предложены испытательным Центром исследования материалов в Берлине. Считается необходимым не реже, чем раз в два года проводить подробное обследование несущих конструкций мостов, что позволит по методике Центра определить остаточную несущую способность конструкций с учетом проводимой профилактики, ремонтов. Предложено устанавливать на несущие стальные конструкции или арматуру железобетонных конструкций чувствительные датчики, фиксирующие изменение магнитного поля этих элементов, а по нему и изменение состояния конструкций.

Заканчивая приведенный краткий исторический обзор, отметим, что эксплуатация мостов включает в себя учет мостов, периодическую инспекцию их состояния, текущее содержание, ремонт и реконструкцию, планирование работ при соответствующем распределении материально - технических и людских ресурсов. Работы, выполняемые при эксплуатации мостов, отличаются от общестроительных и дорожных работ, поэтому для большей их эффективности необходимы специальные эксплуатационные службы.

За рубежом наибольшее распространение получили две системы организации работ по эксплуатации мостовых сооружений.

Первая характеризуется неизменной во времени организационной схемой, большим числом уровней принятия решений при жестком соблюдении сроков осмотров, наличием подробной отчетной документации. Такая система эксплуатации мостов используется в странах Западной Европы, где существует развитая и практически сложившаяся дорожная сеть. Но, при всех её достоинствах, такая система, в силу её определенной закостенелости, оказывается непригодной в случае существенных качественных и количественных изменений дорожной сети и соответственно количества и протяженности мостовых сооружений.

Другая система эксплуатации организована по региональному признаку и, кроме надзора и учёта мостов, в её функции входит разработка инженерных решений по ремонту мостов, а также привлечение ресурсов для крупных и сложных работ. По такому принципу сформированы мостовые инспекции в США, Канаде, штаты этих инспекций минимальны, для учёта и обработки информации широко применяются ЭВМ, имеющиеся ресурсы они привлекают для решения основных задач. Эта система эксплуатации обеспечивает довольно эффективную работу, но она не решает проблемы текущего ремонта и содержания.

В Чехии и Словакии создана мостовая эксплуатационная система, предназначенная для решения вопросов эксплуатации [52].

Основа этой системы - банк данных о надёжности мостов и основных дефектах на них. Разработчики системы ориентировались на поэтапное введение системы - сначала для новых и уникальных мостов, а потом для остальных.

Система включает:

- требования и инструкции;
- каталог возможных дефектов и критерии для их квалификации и идентификации;
- подсистему сбора достоверной информации (методы обследования, учёта и т.д.);

- величины, которыми можно охарактеризовать режим работы мостовых конструкций и появляющиеся дефекты;
- вычислительные средства и способы кодирования данных;
- тесты, оценки и т.д.;
- непараметрические методы оценки информации;
- сведения об основных характеристиках и надежности конструкций;
- перечень задач, которые можно решать с помощью системы.

Региональный принцип создания систем эксплуатации мостовых сооружений предложен В.П. Еремеевым из Татарстана [53]. Структура системы эксплуатации мостов с его точки зрения представляет собой региональный центр (мостовую инспекцию), который должен решать следующие задачи:

- сбор, обработка и обновление информации о мостах;
- определение грузоподъемности мостов;
- планирование ремонтов и распределение ресурсов;
- анализ наиболее распространенных и типовых решений;
- приём в эксплуатацию новых сооружений;
- регистрация и контроль выполнения принятых в системе эксплуатации мостов решений.

Предполагается, что возможны три варианта организации системы эксплуатации мостов:

первый - мосты на федеральных дорогах контролируются федеральной мостовой инспекцией, а на местных - региональной инспекцией;

второй - мосты на всех автомобильных дорогах контролируются региональной инспекцией по структуре административного деления;

третий - мосты на федеральных дорогах контролируются федеральными субрегиональными центрами мостовой инспекции, а на местных - региональными мостовыми инспекциями.

К сожалению, сейчас не хватает специалистов, подготовленных к решению задач эксплуатации мостов, ибо учебные программы мостовых специальностей в вузах ориентированы в основном на проектирование и строительство; отсутствуют также специализированные курсы по переподготовке инженеров - мостовиков к работе в сфере эксплуатации мостовых сооружений. Те же специалисты, которые привлекаются к работе по эксплуатации мостов приобретают необходимый опыт в процессе длительной работы и нередко классическим методом "проб и ошибок".

Проведенный выше анализ показывает необходимость разработки структуры и концепции развития системы эксплуатации мостовых сооружений региона и свидетельствует о том, что как в России, так и за рубежом (и в ближнем и в дальнем зарубежье) проблема разработки систем эксплуатации мостов назрела и предпринимаются попытки её решения.

Мы полагаем, что возможно появление нескольких альтернативных систем эксплуатации мостовых сооружений, более или менее подходящих к определенным регионам. Наличие нескольких разновидностей систем эксплуатации мостов следует приветствовать, ибо

это позволит проверить их пригодность на практике и, позаимствовав из каждой разновидности наиболее удачную часть, создать более рациональную систему эксплуатации.

В монографии [54] рассматривается относящееся к нашей проблеме новое направление системотехники строительства – инженерный мониторинг строительных сооружений на примере автодорожных мостов. В книге рассматривается системный анализ функционирования сложных строительных сооружений типа железобетонных автодорожных мостов, теоретические и методологические основы системного анализа сложных строительных сооружений, разработка инженерного мониторинга функциональных параметров эксплуатируемых строительных сооружений, методы формирования банка данных инженерного мониторинга мостовых сооружений. Однако анализ изложения показал, что процесс мониторинга автором воспринимается скорее как процесс сбора, обработки и передачи информации. С нашей точки зрения понятие мониторинга должно быть значительно шире и мониторинг обязательно должен быть составной частью системы эксплуатации сооружения.

Система эксплуатации мостовых сооружений и концепция её развития

Анализ современного технического состояния многих сооружений показывает, что участвовавшие случаи отказов и аварий объясняются не только физическим износом эксплуатируемых сооружений, но также и просчетами в их эксплуатации.

Поэтому в последнее время вопросы организации эксплуатации, обследования сооружений, оценки выработанного и прогноза остаточного ресурса, организации ремонтно-восстановительных мероприятий и разработки систем управления эксплуатацией сооружений приобрели особую актуальность.

Увеличивающийся «средний возраст» сооружений сопровождается снижением их надежности в эксплуатации, экологической безопасности, сооружения становятся более чувствительными к воздействиям агрессивных эксплуатационных сред, изменениям действующих на них нагрузок и других внешних воздействий.

К сожалению, вопросам организации эксплуатации сооружений до недавнего времени уделялось недостаточное внимание, а научно-производственных центров выполняющих необходимые научно-исследовательские работы по организации системной эксплуатации сооружений не существовало. Поэтому важнейшие и сложнейшие проблемы по организации и проведению работ по обследованию, оценке состояния, разработке способов модернизации сооружений во многом решались на основе опыта и интуиции отдельных квалифицированных специалистов, а нередко и работниками, не имеющими соответствующей квалификации.

Современные подходы к проблемам эксплуатации сооружений должны опираться на положения теории эксплуатации сложных инженерных сооружений, которая начинает развиваться в настоящее время.

Разрабатываемая система управления эксплуатацией сооружений должна решать следующие задачи:

- разработку системы мониторинга сооружений, включая методы технической и экспертной диагностики и документальное сопровождение;
- разработку требований к информационному обеспечению в системе эксплуатации сооружений;
- разработку требований к документации по обследованию, оценке состояния и обеспечению эксплуатации сооружений с учетом их поврежденности;

- формулирование основных требований к классификациям дефектов и повреждений, схем усиления, ремонта, усиления, реконструкции; к формам представления и хранения информации о них;
- разработку предложений по созданию методик оценки состояния, несущей способности и прогнозирования остаточной долговечности сооружений;
- разработку основных требований к комплексной формализованной оценке состояния отдельных участков сооружений, отдельных сооружений, групп сооружений;
- формулировку основных требований по ведению документации по эксплуатации сооружений;
- разработку предложений по подготовке кадрового обеспечения для организации нормальной системы эксплуатации сооружений;
- разработку предложений по составу, оснащению и организации работы специализированных лабораторий по обследованию и оценке состояния сооружений;
- разработку предложений по составу проектной документации для организации ремонтных работ, реконструкции, замены сооружений;
- предложения по формам организации работ при ремонте, реконструкции и замене сооружений;
- разработку предложений по использованию новых информационных технологий (банки и базы данных, экспертные системы, программные комплексы) в системе эксплуатации сооружений;
- разработку предложений по возможным направлениям научных и инженерных исследований с целью развития и совершенствования системы эксплуатации сооружений;
- разработку основных требований к действиям должностных лиц при отклонении параметров сооружений от допустимых пределов их изменения, возникновении нестандартных ситуаций.

Система эксплуатации сооружений может быть представлена в виде совокупности нескольких подсистем, которые, в свою очередь, представляют собой сочетание нескольких программ или проектов различного уровня сложности.

Приведём возможную структуру системы эксплуатации сооружений по подсистемам и проектам и программам.

Система эксплуатации сооружений включает следующие подсистемы:

1. Подсистема прочностного мониторинга сооружений;
2. Подсистема организации научных исследований и разработок;
3. Подсистема автоматизации работ по управлению состоянием сооружений;
4. Подсистема подготовки кадров для работы в системе эксплуатации сооружений, включая мониторинг, проведение научных исследований, автоматизацию работ, действия в чрезвычайных ситуациях, управление качеством;
5. Подсистема действий в случае возникновения чрезвычайных ситуаций;
6. Подсистема управления качеством эксплуатации сооружений;

7. Подсистема экологического мониторинга сооружений.

Рассмотрим теперь состав подсистем системы эксплуатации сооружений.

Подсистема прочностного мониторинга сооружений включает в себя:

- диагностику сооружений;
- оценку состояния сооружений;
- организацию ремонта, восстановления, реконструкции, замены элементов сооружений;
- создание и ведение банков данных по сооружениям.

Диагностика включает:

- разработку и создание технических средств диагностики;
- разработку методик диагностирования (как экспресс методик, так и комплексных методик), подготовку памяток.

Оценка состояния сооружений включает:

- разработку методик определения выработанного ресурса, прогноза остаточного ресурса, напряженно-деформированного состояния сооружений с дефектами и повреждениями различного происхождения и характера;
- разработку методов экспресс оценки состояния сооружений;
- разработку экспертных систем с целью классификации состояния сооружений с учетом имеющихся дефектов и повреждений, а также выбора расчетных схем и методов расчета несущей способности и прогнозирования остаточного ресурса и долговечности.

Организация ремонта, восстановления, реконструкции, замены элементов сооружений включает:

- разработку методик выбора вида ремонта, реконструкции, усиления;
- анализ, систематизация существующих, разработка новых схем ремонта, усиления, замены;
- разработка технологий проведения ремонта, реконструкции, усиления;
- организация учета и контроля за качеством работ при ремонте, реконструкции, усилении;
- определение остаточного ресурса сооружения после проведения ремонтно-восстановительных мероприятий;
- разработка методик проведения прочностных испытаний сооружения с учетом его состояния при приемке после ремонта или усиления;
- оценка потребности в материалах, конструкциях, технике и создание необходимого резерва;
- выбор наиболее рациональных схем распределения ресурсов по объектам ремонта;
- подбор наиболее подходящего подрядчика (организация тендера).

Создание и ведение банков данных включает:

- создание банка данных по конструктивным элементам и узлам сооружений;
- создание банка данных по схемам усиления, ремонта, реконструкции сооружений и их элементов;
- создание банка данных по дефектам и повреждениям;
- создание банка данных по расчетным схемам и методам расчета.

Подсистема организации научных исследований и разработок включает:

- разработку методов оценки эксплуатационного (напряженно-деформированного, поврежденного, коррозионного и т.д.) состояния сооружений;
- разработку методов оценки долговечности и остаточного ресурса сооружений;
- разработку проектов эксплуатации сооружений;
- разработку рациональных схем усиления сооружений и методов расчета усиленных конструкций.

Подсистема автоматизации работ по управлению состоянием сооружений включает:

- разработку различных баз и банков данных и информационных систем по сооружениям;
- разработку и эксплуатацию программных комплексов по расчету и анализу поведения сооружений с дефектами и повреждениями различного происхождения и характера;
- разработку экспертных систем по оценке состояния сооружений, по выбору наиболее рациональных схем ремонта, усиления сооружений;
- разработку программных комплексов по оценке поведения сооружений в запредельных состояниях и чрезвычайных ситуациях и изменения их состояния и поведения после реализации конкретных инженерных решений.

Подсистема подготовки кадров для работы в системе эксплуатации сооружений включает:

- обучение специалистов работе с банками данных по сооружениям;
- обучение специалистов автоматизации работ при эксплуатации сооружений;
- подготовка специалистов по обследованию и оценке состояния сооружений;
- подготовка специалистов – эксплуатационников системной организации работ по эксплуатации сооружений;
- подготовка кадров для действий при возникновении чрезвычайных ситуаций;
- обучение руководителей и исполнителей организаций качественному ведению работ по эксплуатации, ремонту, усилению;
- подготовка необходимых руководств, пособий, учебников, памяток по организации эксплуатации сооружений на основе системного подхода.

Подсистема действий в случае возникновения чрезвычайных ситуаций включает в себя:

- ликвидацию последствий экологического загрязнения окружающей среды;
- организацию работ по ремонту, восстановлению, реконструкции, замене, разборке аварийных сооружений;

- разработку маршрутов движения тяжелой техники к потенциально опасным сооружениям;
- создание необходимого резерва материалов и конструкций для организации работ в аварийных и чрезвычайных ситуациях.

Подсистема управления качеством эксплуатации сооружений включает:

- контроль приемки сооружений в эксплуатацию;
- контроль режимов эксплуатации сооружений;
- оценку причин возникновения чрезвычайных ситуаций;
- контроль выполнения плановых обследований;
- контроль выполнения плановых ремонтно-профилактических работ;
- контроль ведения технической и эксплуатационной документации по сооружениям.

Подсистема экологического мониторинга сооружений может включать:

- эргономику производства строительно-монтажных работ;
- диагностику экологического состояния окружающей среды в процессе эксплуатации сооружения;
- разработку и ведение паспорта экологического состояния среды эксплуатации сооружения;
- разработку методик восстановления экологической среды после ликвидации чрезвычайных ситуаций;
- разработку методик оценки экологической ситуации в период эксплуатации.

Организация системы управления эксплуатацией сооружений, её активное внедрение в практику и постоянное совершенствование позволят решить важнейшую проблему - обеспечить безопасную эксплуатацию сооружений в течении всего срока эксплуатации, снизить риск возможных отказов и аварий и минимизировать затраты на техническое обслуживание и проведение ремонтно - восстановительных мероприятий.

Мониторинг сооружений - его задачи и структура

Под мониторингом сооружений понимается контроль и управление состоянием сооружения с целью обеспечения надёжной его эксплуатации в течение заданного срока службы. Мониторинг является одним из важных элементов системы эксплуатации сооружений. Схематическое изображение мониторинга сооружения приведено на схеме ниже.

Мониторинг должен быть организован на всех этапах существования сооружения:

- на этапе проектирования он включает обоснованный выбор места расположения сооружения, его конструктивной схемы, выбор материалов, правильность конструктивных решений элементов, расчета напряженно - деформированного состояния, обоснованную оценку региональных геологических и климатических условий, выбор средств защиты от агрессивного воздействия среды эксплуатации;

- на этапе изготовления сооружения он включает соблюдение проектных решений по технологии изготовления и монтажа, а при невозможности точного следования проекту - обоснованность замены одного технологического решения другим;
- на этапе эксплуатации - диагностика состояния сооружения, оценка грузоподъемности и остаточного ресурса, принятие и осуществление рекомендаций по ремонту и реконструкции или замене объекта.

Основой мониторинга является диагностирование на стадиях эксплуатации, проектирования и изготовления объекта. Используются три основных вида диагностирования: функциональное, специальное и модельное.

При функциональном диагностировании состояние сооружения устанавливается в процессе его эксплуатации без воздействия диагностических средств. Функциональное диагностирование позволяет реагировать на нарушения в контролируемом объекте и решать задачи как правильности его функционирования, так и определения мест и причин неисправностей (для этого могут использоваться как группы экспертов, так и встроенные в сооружение диагностические средства - сигнализаторы).

При специальном диагностировании технические средства подают на объект специальные воздействия, а диагноз технического состояния формируется в момент времени, когда сооружение не используется по прямому назначению (испытание сооружения нагружением) или же при функционировании сооружения.

Весьма важное значение начинает приобретать модельное диагностирование, позволяющее на модельных образцах, элементах сооружения или с помощью математических моделей сооружения оценивать и прогнозировать влияние различных эксплуатационных, технологических и конструктивных факторов на работоспособность сооружения, выявлять причины отказов.

Алгоритм мониторинга сооружений может базироваться на следующих основных задачах - установление характера внешних воздействий на сооружение и оценка способности сооружения сопротивляться этим воздействиям в определенной среде эксплуатации.

Сопротивление сооружений разрушению определяется тремя основными факторами: свойствами материалов сооружения, напряженно - деформированным состоянием элементов сооружения, воздействием окружающей эксплуатационной среды.

Все эти факторы в технологическом и эксплуатационном периодах жизненного цикла сооружения изменяются с течением времени, влияя друг на друга.

В зависимости от конкретного сочетания системы материал - напряженное состояние - внешняя среда возможны различные виды разрушения сооружения от механического (с образованием и развитием с высокой скоростью трещин) до коррозионного (с постепенным ослаблением нагруженных сечений элементов вследствие разупрочнения материала под действием окружающей среды).

Свойства материала, определяющие сопротивляемость конструкций разрушению, зависят от исходных параметров материала, их изменения под влиянием технологической обработки в процессе изготовления конструкций из них (бетонирование, сварка, механическое деформирование) и изменения в процессе эксплуатации. Первый фактор определяет исходную сопротивляемость материала воздействию нагрузки и эксплуатационной среды в заданных условиях, а второй и третий факторы характеризуют степень изменения этой сопротивляемости, причем они могут как понижать, так и повышать её. Причём технологические изменения происходят в течение коротких, по сравнению с

эксплуатационными, интервалов времени. Особенно значительное изменение свойств материала происходит при совместном воздействии нагрузки и эксплуатационной среды.

Напряженно - деформированное состояние сооружения определяется эксплуатационными нагрузками - расчетными при проектировании и с учётом отклонений, вызванных технологическими и эксплуатационными причинами.

Воздействие эксплуатационной среды определяется её свойствами, характеризующими влияние внешних факторов (агрессивность атмосферы, климатические воздействия, воздействие воды, свойства грунтов и т.д.). Степень влияния среды зависит от технологических факторов (обеспечение условий контакта конструкции с элементами эксплуатационной среды - температуры, давления, скорости среды), от наличия необходимой защиты от воздействия среды, от эксплуатационных изменений в составе и характере воздействия внешней среды.

В связи с изложенным ясно, что задача корректной оценки сопротивляемости сооружений разрушению с учётом всех взаимодействующих факторов весьма сложна и в настоящее время только намечаются подходы к её решению.

На этапе эксплуатации сооружения активный мониторинг должен включать решение следующих основных задач:

- 1) напряженно - деформированного состояния конструктивных элементов и всего сооружения, а также кинетики его изменения с учётом имеющихся дефектов и повреждений локального и распределенного характера;
- 2) анализ и оценка степени соответствия несущей способности сооружения внешним воздействиям в рассматриваемый момент времени и на прогнозируемый период; прогнозирование долговечности сооружения при заданных внешних воздействиях и происходящих процессах деградации;
- 3) разработка альтернативных стратегий по изменению состояния сооружения до проектного или требуемого уровня (ремонт, восстановление, усиление, реконструкция, замена);
- 4) выбор и реализация наиболее рациональной стратегии изменения состояния сооружения.

Для решения первой задачи необходимо иметь расчетные модели, описывающие поведение сооружения с учетом имеющихся дефектов и повреждений, нужны экспериментальные данные для идентификации моделей, а значит нужны методики технической и экспертной диагностики состояния сооружения по прямым и косвенным признакам, нужны методики анализа поведения мостовых конструкций с использованием этих моделей.

Решение этой задачи значительно упростится, если создать банки данных по различным моделям деформирования и разрушения материалов и конструкций с указанием известных или рекомендуемых областей применения, банки данных по моделям внешних воздействий, банки данных по механическим свойствам материалов, по результатам лабораторных или натурных испытаний конструктивных элементов и целых сооружений, банки данных по типовым проектам, по дефектам и повреждениям различного происхождения и характера, по публикациям, посвящённым рассматриваемой проблеме.

Процедура построения (выбора наиболее подходящей) модели сооружения и его элементов весьма важна, но сложна и требует знания и учета многих факторов. Поэтому целесообразна разработка компьютерных экспертных систем с базами знаний, содержащими

сведения экспертов, занимавшихся проблемой построения и использования моделей конструкций с дефектами и повреждениями различного характера.

Однако знание напряженно - деформированного состояния сооружения (и его элементов) не дает информации, необходимой для контроля за сооружением, так как нужно определить изменившиеся за время эксплуатации сооружения внешние воздействия и оценить степень соответствия сооружения этим воздействиям в рассматриваемый момент времени (здесь можно идти либо по пути сопоставления напряженного состояния или поврежденности сооружения с некоторым предельным их уровнем, либо же сравнивать несущую способность мостового сооружения и его элементов с уровнем внешних воздействий).

Следует иметь ввиду, что первоначально сооружение проектировалось на восприятие какого-то заданного (предполагаемого) комплекса внешних воздействий (в наиболее неблагоприятном их сочетании), но течением времени, в силу разных причин, величина и характер внешних воздействий могли измениться в ту или иную сторону, а значит сооружение должно воспринимать не проектные, а изменившиеся внешние воздействия.

Решение второй задачи позволяет определить необходимость проведения работ по изменению состояния сооружения и приступить к разработке альтернативных вариантов (ремонт, восстановление, реконструкция, замена, защита сооружения, ограничение внешних воздействий).

Для того, чтобы оценить, к каким изменениям состояния сооружения приведут различные стратегии, необходимо разработать (подобрать) расчетные модели поведения модернизированных конструкций. Здесь также большую помощь могут оказать банки данных, содержащие информацию о различных видах инженерных решений по модернизации сооружений с целью изменения их состояния, банки данных по моделям поведения модифицированных конструкций, по методам их анализа.

Выбор рациональной стратегии изменения состояния сооружения весьма сложен, связан с учётом многих факторов (наличие и стоимость материала, квалифицированных кадров, соответствующих техники и технологий), поэтому для решения поставленной задачи разумно использовать технологию, основанную на экспертных системах. Базы знаний экспертных систем должны создаваться на основе анализа и систематизации знаний квалифицированных специалистов-экспертов, имеющих опыт решения подобных задач.

Заключение

Система мониторинга сооружений должна включать:

- системный анализ условий и факторов, определяющих сопротивляемость конструкций сооружения разрушению с учётом различных стадий их жизненного цикла (проектирования, изготовления, эксплуатации);
- разработку и использование методов и средств функциональной, специальной и моделирующей диагностики, позволяющих оценивать свойства материала, напряженно - деформированное состояние, воздействие среды и обеспечивающих надлежащую полноту, точность и достоверность экспериментальных диагностических данных, которые используются для прогнозирования поведения сооружения;
- создание компьютерных банков данных по материалам и их свойствам с учётом региональных условий их эксплуатации и специфики воздействия внешних сред; создание банков данных по нагрузкам на мостовые сооружения;

- создание регламентов мониторинга - диагностики материалов по исходному состоянию, по изменению свойств при изготовлении и эксплуатации; оценки напряженно - деформированного состояния и живучести с учетом измененных свойств материалов и накопленных дефектов; оценки фазы эксплуатационного состояния; экспертизы отказов сооружений;
- разработку математических моделей, адекватно описывающих процессы создания и эксплуатации сооружения и позволяющих прогнозировать живучесть сооружения по показателям прочности, трещиностойкости, усталости, а также по функциональным характеристикам; создание банка типовых расчетных схем конструкций с учетом дефектов различного вида и происхождения;
- разработку мер обеспечения надежности конструкции на основании результатов многофакторной комплексной оценки её состояния, включающей прогнозирование служебных характеристик и допустимого срока эксплуатации объекта при данном его состоянии (степени изменения свойств материала, уровне защищенности от воздействия среды), а также разработку ремонтно - профилактических мер и рекомендаций по повышению надежности объекта на стадии проектирования, строительства и эксплуатации;
- подготовку квалифицированных кадров, способных обеспечить системный мониторинг сооружений с учётом деструктирующего воздействия окружающей среды.

Во второй части данной статьи будет рассмотрена проблема организации непрерывного мониторинга мостовых сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Овчинников И.Г. Разработка концепции мониторинга мостовых сооружений // Саратов. гос. техн. ун-т., Саратов.-1994.-9 с. Рукопись деп. в ВИНТИ 15.03.94 N 614-B94.
2. Овчинников И.Г. Прочностной мониторинг инженерных конструкций (статья)// Архитектура и строительство Беларуси, 1994, №5-6. С.11-13
3. Овчинников И.Г. Прочностной мониторинг мостовых сооружений //Автомобильные дороги. 1995, №7 – 8
4. Овчинников И.Г., Козлов И.Г. Управление эксплуатацией мостовых сооружений (учебное пособие). Изд-во СГТУ, Саратов, 1998. 92 с.
5. Овчинников И.Г., Дворянчиков Н.В. Организация прочностного мониторинга газопроводов, основанная на применении информационных технологий //Тезисы докл. 14 Российск. науч-техн. конф. "Не разрушающий контроль и диагностика". 23-26 июня 1996 г. Москва, с.454,
6. Овчинников И.Г., Дворянчиков Н.В. Экспертная диагностика магистральных газопроводов. М. Изд-во «Газ-ойл Пресс сервис» 1996. 78 с.
7. Дворянчиков Н.В. Прочностной мониторинг трубопроводных конструкций. Автореф. дисс. к.т.н. Волгоград. ВГАСУ. 1997. 18 с.
8. Наумова Г.А., Овчинников И.Г. Расчеты на прочность сложных стержневых и трубопроводных конструкций с учетом коррозионных повреждений. СГТУ. Саратов.2000. 227 с.
9. Овчинников И.Г., Наумова Г.А. О ресурсосберегающих методах диагностики и управления эксплуатацией инженерных сооружений (статья)// Контроль и диагностика. г. 2000. № 1. С. 3-4.
10. Овчинников И.Г., Денисова А.П., Шеин А.А. Прочностной мониторинг металлических резервуарных конструкций и его информационное сопровождение // Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности металлических конструкций и методы их решения: 1-я Международная конференция в г. Санкт-Петербург: Изд-во СПб гос. ун-та, 1995. С. 173-176.
11. Овчинников И.Г., Кудайбергенов Н.Б., Шеин А.А. Эксплуатационная надежность и оценка состояния резервуарных конструкций. Саратов. гос. техн. ун-т. Саратов.1999. 316 с.
12. Гарибов Р.Б. О прочностном мониторинге железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в агрессивных средах// Бетон и железобетон. 2006. Вып. 5 (554).с.15-18.
13. Наумова Г.А., Гарибов Р.Б. Прочностной мониторинг потенциально опасных строительных объектов, выполненных из железобетона, с учетом реальных условий эксплуатации//Вестник ВолгГАСУ. Серия: Строительство и архитектура.2007. Вып. 8(27) с.37-44.
14. Крутиков О.В., Сырков А.В. Оптимизация жизненного цикла моста на остров Русский во Владивостоке средствами анализа рисков и мониторинга// Автоматизация в промышленности. 2012. №9.
15. Солохин В.Ф., Дядькин С.Н., Овчинников И.Г. и др. Отечественное мостостроение на рубеже XX-XXI веков: современные технологии на примере сооружения вантового автодорожного моста через реку Обь у города Сургута. Саратов: Саратов. Гос. Техн. ун-т. 2002.-128 с. ц.ил.32 с.

16. Овчинников И.Г., Кононович В.И., Распоров О.Н., Овчинников И.И. Диагностика мостовых сооружений. Изд-во СГТУ. Саратов, 2003. 181 с.
17. Распоров О.Н., Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Распоров К.О., Кузнецов С.Н. Способ мониторинга мостового перехода в процессе его эксплуатации// Изобретатель №2 (2012). Беларусь. С. 38-40.
18. Овчинников И.Г. Разработка экспертных систем проектирования и оценки эксплуатационного состояния мостовых конструкций// "Автомобильные дороги", 1993, № 10. С.17-19.
19. Овчинников И.Г. Организационные вопросы эксплуатации и массовой реконструкции мостовых сооружений// Транспортное строительство.1996, № 6-7
20. Овчинников И.Г. Вопросы обследования и оценки состояния эксплуатируемых мостовых сооружений // Проблемы развития транспортных коммуникаций. Проектирование, строительство, эксплуатация. Научно-технический альманах. 1996, №2,с.26-29
21. Овчинников И.Г. Распоров О.Н., Макаров В.Н., Ликверман А.И., Шульман З.А. Проект эксплуатации внеклассных мостов как составная часть проектной документации по строительству (статья)// Транспортное строительство, 2002., №11, с. 8-12.
22. Chatterjee S.Assessment of old bridges// "Highways and Transp." 1985,32,N 2, p.18-22.
23. Vebic Dragan. Метод определения очередности ремонта мостов // "Inst. puteve",1986, N 15, 44-45.
24. Hudson S.W.,Carmichael R.F.,Moser L.O.,Hudson W.R., Wilkes W.J. Bridge management systems // "Nat.Coop. Highway Res. Program Rept",1987,N 300 ,1-16,63-74.
25. Saito Mitsuru,Sinha Kumares C. Review of current practices of bridge management at the state level // Transp.Res.Rec.- 1987. - № 1113 - p.1-8.
26. Zawodniak Clement D. Connecticut's bridge infrastructure de sign program // 4 th Annu.Int.Dridge Conf.. Offic.Proc., Pittsburgh,Pa.June 22-24,1987.-Pittsburgh,Pa,(1987), p.6-10.
27. Purvis Ron L.,Koretzky Heinz P. Work in progress report bridge safety inspection quality assurance Pennsylvania department of transportation //4 th Annu.Int. Bridge Conf..Offic.Proc.,Pittsburgh, Pa, June 22-24,1987,Pittsburgh,Pa.(1987),p.148-153.
28. Dunker Kenneth F.,Klaiber F.Waynt,Sanders Wallace W. Bridge strengthening needs in the United States // Transp. Res. Rec. -1987.- № 1118, p.1-8.
29. Ingenieurbauwerke im zuge von strassen und wegen. Uberwachung und prufung.C. DIN 1076-83.
30. Thomas Robert L.Inspection of Connecticut's bridges //4 th Annu. Int.Bridge Conf.,Offic.Proc., Pittsburgh, Pa June 22-24, 1987. Pittsburgh,Pa (1987),p.3-5.
31. Parelch J.R.,Graber D.R.,Berger R.H. A comprehensive bridge posting policy // Transp.Res.Rec.1986, N 1083, p.35-45.
32. Sharma Manesh J. Bridge inspection program for Baltimore metro system //4 th Annu.Int.Bridge Conf.Offic. Proc.,Pittsburgh,Pa, June 22-24,1987. Pittsburgh,Pa. (1987), p.141-147.
33. Schleicher Claus. Bruckenprufung,Dokumentation und Zustandsbe werkung als Voraussetzung fur eine planmabige Bruckeninstand haltung // Strassenwesen.-1989.- 30, № 1-2.-s.3-6.
34. Коваленко С.Н.,Сыроватка Л.И. Методика оценки состояния мостов.//Автомобильные дороги, 1985, № 11,с.17-18.

35. Andrey D. Maintenance des ouvrages d'art: strategie de surveillance et d'entretien // Strasse und Verkehr, 1987, 73, № 3, s.137-144.
36. Pomykala Wieslaw. Projektowanie i wykonowstwo podpor a problemy utrzymania i modernizacji mostow // Drogownictwo,-1988.-43, № 9-c.180-186.
37. Swan Russ. Preserving assets // Int.Constr.,1988,27, № 6,p.103 -104,106,110.
38. Rissel Martin C., Purvis Ronald L. Inspecting bridge for maintenance and repair // Public Works ,1988,119, № 1, p.38-41.
39. Jackson Paul A. Some aspects of the assessment of concrete bridges // Highways.-1988.-56, N 1936,-p.31-32.
40. Bridges need big bucks // ENR.-1989.-222, N 5 ,p.18.
41. Soong T.T. Active structural control in civil engineering //Eng.Struct.,1988,10,p.74-84.
42. Hofmann Gunter. Technische Losungen fur die Bruckeninstandhaltung und ihre Rationalisierung // Strassen wesen.- 1989.- 30, № 1-2.-s.6-8.
43. Scheer J. Neue Checliste fur Planung, Berechnung, Konstruktion, Prufung und Uberwachung von Traggerusten // Bauingenieur - 1992.-67, № 2.s.76.
44. Lotto Sergio. Un sistema rapido e sicuro per il controllo e la manutenzione di ponti e pile // Costr.strade cant.- 1989.-6, № 2.-c.20-23.
45. Underbridge units from Moog //Granes Today.-1989.- № 183,p.49.
46. Sakiyama Kunio.Система контроля мостов с помощью специальных смотровых тележек типа телевизионных мониторов // Кэнсэцу кикай = Constr.Mach.and Equip.-1988.-24, № 5,c.45-50.[Sakiyama Kunio.Sistema kontrolya mostov s pomoshch'yu spetsial'nykh smotrovykh telezhok tipa televizionnykh monitorov // Kensetsu kikay = Constr.Mach.and Equip.-1988.-24, № 5,c.45-50.]
47. Bruckenprufung mit dem DV-System//Strassen - und Tiefban.- 1993.-47, № 1-2, s.42
48. Merani N.V. Bridge management system //Indian Highways.- 1989. -17, № 10.-p.29-39.
49. Rewinski Stefan. W sprawie Systemu Gospodarki Mostowej// Drogownictwo, 1985, 40, № 7, 167-171.
50. The bridge management system // Ital.Build.and Constr.- 1993. -№ 53,p.65-75.
51. Stabilitatstests fur Brucken entwickelt // Schweiz.Ing. und Archit.-1993.-111, № 3,s.40.
52. Chladek J.Moznosti vyuzitu informaenthe sustemu o spolehlivosti mostu // Insenyzski stsvby.-1982, №4,c.189-192.
53. Еремеев В.П. Региональные структуры в организации эксплуатации мостов // Автомобильные дороги,1993 г.,N 5,c.16-17.
54. Саммитов Р.А. Системотехника инженерного мониторинга сложных строительных конструкций на примере железобетонных автодорожных мостов. М. Фонд «Новое тысячелетие». 2001. 248 с.

Ovchinnikov Igor Georgievich

Perm National Research Polytechnic University, Russia, Perm
Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov
Moscow state automobile & road technical university, Russia, Moscow
E-mail: BridgeSar@mail.ru

Ovchinnikov Ilya Igorevich

Perm National Research Polytechnic University, Russia, Perm
Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov
Moscow state automobile & road technical university, Russia, Moscow
E-mail: BridgeArt@mail.ru

Nigamatova Olga Ivanovna

Ural state university of railway transport, Russia, Ekaterinburg
E-mail: olganigamatova@ya.ru

Mikhaldykin Evgeny Sergeevich

JSC «Scientific research institute of graphite», Russia, Moscow
E-mail: emihaldykin@niigrafit.org

**Strength monitoring of bridge constructions
and features of its application.**

Part 1. International and domestic experience of monitoring application

Abstract. The development trend of building systems can be characterized in the following words: sophistication of design and simplification of operation. And the main task of the engineering structure operation is to ensure stability of the functioning structures with respect to the external aggressive impacts. The article considers the strength monitoring of bridge structures proposed by Ovchinnikov I.G. in 1994. The strength monitoring is an element of the engineering structure operation system. Algorithm of structure monitoring is based on the following main tasks - establishing nature of the external impacts on the structure and evaluating capacity of structure to resist these impacts in the concrete environment of operation.

The article considers the different approaches to solving problem of transport structure operation around the world. It is proposed to include the following subsystems in the system of structure operation: 1) a subsystem of the strength monitoring of structures; 2) a subsystem of the scientific research and development organization; 3) a subsystem of work automation on the structure status management; 4) a subsystem of personnel training for work in the system of structure operation, including monitoring, research, automation of works, emergency response and quality management; 5) a subsystem of actions in the case of emergencies; 6) a subsystem of the quality management of structure operation and 7) a subsystem of ecological structure monitoring.

It is noted that at the stage of structure operation the active monitoring includes the solution of the following main tasks: 1) evaluation of the stress - strain state of construction components and the whole structure, as well as the kinetics of its change taking into account the existing defects and damages of local and distributed type; 2) analysis and evaluation of degree of conformity for the ultimate load-carrying capacity of structure to the external impacts during the moment under consideration and over the forecasting period; prediction of structure durability under the given external impacts and current processes of degradation; 3) development of alternative strategies on change of the structure status prior to project one or up to the required level (repair, restoration, reinforcement, reconstruction, replacement); 4) selection and implementation of the most efficient strategy to change the structure status. The article describes the solutions of formulated tasks.

Keywords: strength monitoring; bridge construction; system of operation; management of operation; models of degradation; prediction of durability

REFERENCES

1. Ovchinnikov I.G. Razrabotka kontseptsii monitoringa mosto-vykh sooruzheniy // Sarat.gos.tekhn.un-t., Saratov.-1994.-9 s. Ru-kopis' dep. v VINITI 15.03.94 N 614-V94. [Ovchinnikov I.G. Razrabotka kontseptsii monitoringa mostovykh sooruzheniy // Sarat.gos.tekhn.un-t., Saratov.-1994.-9 s. Rukopis' dep. v VINITI 15.03.94 N 614-V94.]
2. Ovchinnikov I.G. Prochnostnoy monitoring inzhenernykh konstruktsiy (stat'ya)// Arkhitektura i stroitel'stvo Belarusi, 1994, №5-6. S.11-13.[Ovchinnikov I.G. Prochnostnoy monitoring inzhenernykh konstruktsiy (stat'ya)// Arkhitektura i stroitel'stvo Belarusi, 1994, №5-6. S.11-13.]
3. Ovchinnikov I.G. Prochnostnoy monitoring mostovykh sooruzheniy //Avtomobil'nye dorogi. 1995, №7 – 8/ [Ovchinnikov I.G. Prochnostnoy monitoring mostovykh sooruzheniy // Avtomobil'nye dorogi. 1995, №7 – 8]
4. Ovchinnikov I.G., Kozlov I.G. Upravlenie ekspluatatsiy mostovykh sooruzheniy (uchebnoe posobie). Izd-vo SGTU, Saratov, 1998. 92 s. [Ovchinnikov I.G., Kozlov I.G. Upravlenie ekspluatatsiy mostovykh sooruzheniy (uchebnoe posobie). Izd-vo SGTU, Saratov, 1998. 92 s.]
5. Ovchinnikov I.G., Dvoryanchikov N.V. Organizatsiya prochnostnogo monitoringa gazoprovodov, osnovannaya na primenenii informatsionnykh tekhnologiy //Tezisy dokl. 14 Rossiysk. nauch-tekhn. konf. "Nerazrushayushchiy kontrol' i diagnostika". 23-26 iyunya 1996 g. Moskva, s.454,[Ovchinnikov I.G., Dvoryanchikov N.V. Organizatsiya prochnostnogo monitoringa gazoprovodov, osnovannaya na primenenii informatsionnykh tekhnologiy //Tezisy dokl. 14 Rossiysk. nauch-tekhn. konf. "Nerazrushayushchiy kontrol' i diagnostika". 23-26 iyunya 1996 g. Moskva, s.454.]
6. Ovchinnikov I.G., Dvoryanchikov N.V. Ekspertnaya diagnostika magistral'nykh gazoprovodov. M. Izd-vo «Gaz-oyl Press servis» 1996. 78 s.[Ovchinnikov I.G., Dvoryanchikov N.V. Ekspertnaya diagnostika magistral'nykh gazoprovodov. M. Izd-vo «Gaz-oyl Press servis» 1996. 78 s.]
7. Dvoryanchikov N.V. Prochnostnoy monitoring truboprovodnykh konstruktsiy. Avtoref. diss. k.t.n. Volgograd. VGASU. 1997. 18 s. [Dvoryanchikov N.V. Prochnostnoy monitoring truboprovodnykh konstruktsiy. Avtoref. diss. k.t.n. Volgograd. VGASU. 1997. 18 s.]
8. Naumova G.A., Ovchinnikov I.G. Raschety na prochnost' slozhnykh sterzhnevnykh i truboprovodnykh konstruktsiy s uchetom korrozionnykh povrezhdeniy. SGTU. Saratov.2000. 227 s.[Naumova G.A., Ovchinnikov I.G. Raschety na prochnost' slozhnykh sterzhnevnykh i truboprovodnykh konstruktsiy s uchetom korrozionnykh povrezhdeniy. SGTU. Saratov.2000. 227 s.]
9. Ovchinnikov I.G. , Naumova G.A. O resursoberegayushchikh metodakh diagnos-tiki i upravleniya ekspluatatsiy inzhenernykh sooruzheniy (stat'ya)// Kontrol' i diagnostika. g. 2000. № 1. S. 3-4.[Ovchinnikov I.G. , Naumova G.A. O resursoberegayushchikh metodakh diagnos-tiki i upravleniya ekspluatatsiy inzhenernykh sooruzheniy (stat'ya)// Kontrol' i diagnostika. g. 2000. № 1. S. 3-4].
10. Ovchinnikov I.G., Denisova A.P., Shein A.A. Prochnostnoy monitoring metallicheskiykh rezervuarnykh konstruktsiy i ego informatsionnoe soprovozhdenie // Nauchno-tekhnicheskie problemy prognozirovaniya nadezhnosti i dolgovechnosti metallicheskiykh konstruktsiy i metody ikh resheniya: 1-ya Mezhdunarodnaya konferentsiya v g. Sankt-Peterburg: Izd-vo SPb gos. un-ta, 1995. S. 173-176.[Ovchinnikov I.G., Denisova A.P., Shein A.A. Prochnostnoy monitoring metallicheskiykh rezervuarnykh konstruktsiy i ego informatsionnoe soprovozhdenie // Nauchno-tekhnicheskie problemy prognozirovaniya nadezhnosti i dolgovechnosti metallicheskiykh konstruktsiy i metody ikh resheniya: 1-ya Mezhdunarodnaya konferentsiya v g. Sankt-Peterburg: Izd-vo SPb gos. un-ta, 1995. S. 173-176.]

11. Ovchinnikov I.G., Kudaybergenov N.B., Shein A.A. Eksploatatsionnaya nadezhnost' i otsenka sostoyaniya rezervuarnykh konstruksiy. Sarat. gos. tekhn.un-t. Saratov.1999. 316 s. [Ovchinnikov I.G., Kudaybergenov N.B., Shein A.A. Eksploatatsionnaya nadezhnost' i otsenka sostoyaniya rezervuarnykh konstruksiy. Sarat. gos. tekhn.un-t. Saratov.1999. 316 s.]

12. Garibov R.B. O prochnostnom monitoringe zhelezobetonnykh konstruksiy, eksploatiruyushchikhsya v agressivnykh sredakh// Beton i zhelezobeton. 2006. Vyp. 5 (554).s.15-18.[Garibov R.B. O prochnostnom monitoringe zhelezobetonnykh konstruksiy, eksploatiruyushchikhsya v agressivnykh sredakh// Beton i zhelezobeton. 2006. Vyp. 5 (554).s.15-18]

13. Naumova G.A., Garibov R.B. Prochnostnoy monitoring potentsial'no opasnykh stroitel'nykh ob"ektov, vpolnennykh iz zhelezobetona, s uchetom real'nykh usloviy eksploatatsii//Vestnik VolgGASU. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura.2007. Vyp. 8(27) s.37-44.[Naumova G.A., Garibov R.B. Prochnostnoy monitoring potentsial'no opasnykh stroitel'nykh ob"ektov, vpolnennykh iz zhelezobetona, s uchetom real'nykh usloviy eksploatatsii//Vestnik VolgGASU. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura.2007. Vyp. 8(27) s.37-44]

14. Krutikov O.V., Syrkov A.V. Optimizatsiya zhiznennogo tsikla mosta na ostrov Russkiy vo Vladivostoke sredstvami analiza riskov i monitoringa// Avtomatizatsiya v promyshlennosti. 2012. №9. [Krutikov O.V., Syrkov A.V. Optimizatsiya zhiznennogo tsikla mosta na ostrov Russkiy vo Vladivostoke sredstvami analiza riskov i monitoringa// Avtomatizatsiya v promyshlennosti. 2012. №9.]

15. Solokhin V.F., Dyad'kin S.N., Ovchinnikov I.G. i dr. Otechestvennoe mostostroenie na rubezhe XX-XXI vekov: sovremennye tekhnologii na primere sooruzheniya vantovogo avtodorozhnogo mosta cherez reku Ob' u goroda Surguta. Saratov: Sarat. Gos. Tekhn. un-t. 2002.- 128 s. ts.il.32 s. [Solokhin V.F., Dyad'kin S.N., Ovchinnikov I.G. i dr. Otechestvennoe mostostroenie na rubezhe XX-XXI vekov: sovremennye tekhnologii na primere sooruzheniya vantovogo avtodorozhnogo mosta cherez reku Ob' u goroda Surguta. Saratov: Sarat. Gos. Tekhn. un-t. 2002.- 128 s. ts.il.32 s.]

16. Ovchinnikov I.G., Kononovich V.I., Rasporov O.N., Ovchinnikov I.I. Diagnostika mostovykh sooruzheniy. Izd-vo SGTU. Saratov, 2003. 181 s. [Ovchinnikov I.G., Kononovich V.I., Rasporov O.N., Ovchinnikov I.I. Diagnostika mostovykh sooruzheniy. Izd-vo SGTU. Saratov, 2003. 181 s.]

17. Rasporov O.N., Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I., Rasporov K.O., Kuznetsov S.N. Sposob monitoringa mostovogo perekhoda v protsesse ego eksploatatsii// Izobretatel' №2 (2012). Belarus'. S. 38-40.[Rasporov O.N., Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I., Rasporov K.O., Kuznetsov S.N. Sposob monitoringa mostovogo perekhoda v protsesse ego eksploatatsii// Izobretatel' №2 (2012). Belarus'. S. 38-40.]

18. Ovchinnikov I.G. Razrabotka ekspertnykh sistem proektirovaniya i otsenki eksploatatsionnogo sostoyaniya mostovykh konstruksiy// "Avtomobil'nye dorogi", 1993, № 10. S.17-19.[Ovchinnikov I.G., Razrabotka ekspertnykh sistem proektirovaniya i otsenki eksploatatsionnogo sostoyaniya mostovykh konstruksiy// "Avtomobil'nye dorogi", 1993, № 10. S.17-19.]

19. Ovchinnikov I.G. Organizatsionnye voprosy eksploatatsii i massovoy rekonstruktsii mostovykh sooruzheniy// Transportnoe stroitel'stvo.1996, № 6-7 [Ovchinnikov I.G. Organizatsionnye voprosy eksploatatsii i massovoy rekonstruktsii mostovykh sooruzheniy// Transportnoe stroitel'stvo.1996, № 6-7]

20. Ovchinnikov I.G. Voprosy obsledovaniya i otsenki sostoyaniya ekspluatiruemykh mostovykh sooruzheniy // Problemy razvitiya transportnykh kommunikatsiy. Proektirovanie, stroitel'stvo, ekspluatatsiya. Nauchno-tekhnicheskii al'manakh. 1996, №2,s.26-29 [Ovchinnikov I.G. Voprosy obsledovaniya i otsenki sostoyaniya ekspluatiruemykh mostovykh sooruzheniy // Problemy razvitiya transportnykh kommunikatsiy. Proektirovanie, stroitel'stvo, ekspluatatsiya. Nauchno-tekhnicheskii al'manakh. 1996, №2,s.26-29]
21. Ovchinnikov I.G. Rasporov O.N., Makarov V.N., Likverman A.I., Shul'man Z.A. Proekt ekspluatatsii vneklassnykh mostov kak sostavnaya chast' proektnoy dokumentatsii po stroitel'stvu (stat'ya)// Transportnoe stroitel'stvo, 2002., №11, s. 8-12.[Ovchinnikov I.G. Rasporov O.N., Makarov V.N., Likverman A.I., Shul'man Z.A. Proekt ekspluatatsii vneklassnykh mostov kak sostavnaya chast' proektnoy dokumentatsii po stroitel'stvu (stat'ya)// Transportnoe stroitel'stvo, 2002., №11, s. 8-12.]
22. Chatterjee S.Assessment of old bridges// "Highways and Transp." 1985,32,N 2, p.18-22.
23. Bebic Dragan. Metod opredeleniya ocherednosti remonta mostov // "Inst. puteve",1986, N 15, 44-45.
24. Hudson S.W.,Carmichael R.F.,Moser L.O.,Hudson W.R., Wilkes W.J. Bridge management systems // "Nat.Coop. Highway Res. Program Rept",1987,N 300 ,1-16,63-74.
25. Saito Mitsuru,Sinha Kumares C. Review of current practices of bridge management at the state level // Transp.Res.Rec.- 1987. - № 1113 - p.1-8.
26. Zawodniak Clement D. Connecticut's bridge infrastructure de sign program // 4 th Annu.Int.Dridge Conf.. Offic.Proc., Pittsburgh,Pa.June 22-24,1987.-Pittsburgh,Pa,(1987), p.6-10.
27. Purvis Ron L.,Koretzky Heinz P. Work in progress report bridge safety inspection quality assurance Pennsylvania department of transportation //4 th Annu.Int. Bridge Conf..Offic.Proc.,Pittsburgh, Pa, June 22-24,1987,Pittsburgh,Pa.(1987),p.148-153.
28. Dunker Kenneth F.,Klaiber F.Waynt,Sanders Wallace W. Bridge strengthening needs in the United States // Transp. Res. Rec. -1987.- № 1118, p.1-8.
29. Ingenieurbauwerke im zuge von strassen und wegen. Uberwachung und prufung.C. DIN 1076-83.
30. Thomas Robert L.Inspection of Connecticuts bridges //4 th Annu. Int.Bridge Conf.,Offic.Proc., Pittsburgh, Pa June 22-24, 1987. Pittsburgh,Pa (1987),p.3-5.
31. Parelch J.R.,Graber D.R.,Berger R.H. A comprehensive bridge posting policy // Transp.Res.Rec.1986, N 1083, p.35-45.
32. Sharma Manesh J. Bridge inspection program for Baltimore metro system //4 th Annu.Int.Bridge Conf.Offic. Proc.,Pittsburgh,Pa, June 22-24,1987. Pittsburgh,Pa. (1987), p.141-147.
33. Schleicher Claus. Bruckenprufung,Dokumentation und Zustandsbe werkung als Voraussetzung fur eine planmabige Bruckeninstand haltung // Strassenwesen.-1989.- 30, № 1-2.-s.3-6.
34. Kovalenko S.N.,Syrovatka L.I. Metodika otsenki sostoyaniya mostov.//Avtomobil'nye dorogi, 1985, № 11,s.17-18.[Kovalenko S.N.,Syrovatka L.I. Metodika otsenki sostoyaniya mostov.//Avtomobil'nye dorogi, 1985, № 11,s.17-18.]
35. Andrey D. Maintenance des ouvrages d'art: strategie de surveillance et d'entretien // Strasse und Verkehr, 1987, 73, № 3, s.137-144.
36. Pomykala Wieslaw. Projektowanie i wykonowstwo podpor a problemy utrzymania i modernizacji mostow // Drogownictwo,-1988.-43, № 9-c.180-186.

37. Swan Russ. Preserving assets // Int.Constr.,1988,27, № 6,p.103 -104,106,110.
38. Rissel Martin C., Purvis Ronald L. Inspecting bridge for maintenance and repair // Public Works ,1988,119, № 1, p.38-41.
39. Jackson Paul A. Some aspects of the assessment of concrete bridges // Highways.-1988.-56, N 1936,-p.31-32.
40. Bridges need big bucks // ENR.-1989.-222, N 5 ,p.18.
41. Soong T.T. Active structural control in civil engineering //Eng.Struct.,1988,10,p.74-84.
42. Hofmann Gunter. Technische Losungen fur die Bruckeninstandhaltung und ihre Rationalisierung // Strassen wesen.- 1989.- 30, № 1-2.-s.6-8.
43. Scheer J. Neue Checliste fur Planung, Berechnung, Konstruktion, Prufung und Uberwachung von Traggerusten // Bauingenieur - 1992.-67, № 2.s.76.
44. Lotto Sergio. Un sistema rapido e sicuro per il controllo e la manutenzione di' ponti e pile // Costr.strade cant.- 1989.-6, № 2.-c.20-23.
45. Underbridge units from Moog //Granes Today.-1989.- № 183,p.49.
46. Sakiyama Kunio.Sistema kontrolya mostov s pomoshch'yu spetsial'nykh smotrovykh telezhek tipa televizionnykh monitorov // Kensetsu kikay = Constr.Mach.and Equip.-1988.-24, № 5,c.45-50.[Sakiyama Kunio.Sistema kontrolya mostov s pomoshch'yu spetsial'nykh smotrovykh telezhek tipa televizionnykh monitorov // Kensetsu kikay = Constr.Mach.and Equip.-1988.-24, № 5,c.45-50.]
47. Bruckenprufung mit dem DV-System//Strassen - und Tiefban.- 1993.-47, № 1-2, s.42
48. Merani N.V. Bridge management system //Indian Highways.- 1989. -17, № 10.-p.29-39.
49. Rewinski Stefan. W sprawie Systemu Gospodarki Mostowej// Drogownictwo, 1985, 40, № 7, 167-171.
50. The bridge management system // Ital.Build.and Constr.- 1993. -№ 53,p.65-75.
51. Stabilitatstests fur Brucken entwickelt // Schweiz.Ing. und Archit.-1993.-111, № 3,s.40.
52. Chladek J.Moznosti vyuzitu informaenthe systemu o spoehlivosti mostu // Inzenyjski stsvby.-1982, №4,c.189-192.
53. Eremeev V.P. Regional'nye struktury v organizatsii ekspluatatsii mostov // Avtomobil'nye dorogi,1993 g.,N 5,s.16-17.[Eremeev V.P. Regional'nye struktury v organizatsii ekspluatatsii mostov // Avtomobil'nye dorogi,1993 g.,N 5,s.16-17.]
54. Sammitov R.A. Sistemotekhnika inzhenerenogo monitoringa slozhnykh stroitel'nykh konstruktsiy na primere zhelezobetonnykh avtodorozhnykh mostov. M. Fond «Novoe tysyacheletie». 2001. 248 s.[Sammitov R.A. Sistemotekhnika inzhenerenogo monitoringa slozhnykh stroitel'nykh konstruktsiy na primere zhelezobetonnykh avtodorozhnykh mostov. M. Fond «Novoe tysyacheletie». 2001. 248 s.]