

Министерство образования Республики Беларусь
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Мосты и тоннели»

Е.А. Мойсейчик

А.Е. Мойсейчик

**ПРИБОРЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА, НЕРАЗРУШАЮЩЕГО
КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Учебное пособие для слушателей факультетов и курсов
повышения квалификации, магистрантов и студентов
по дисциплинам «Обследование и испытание мостовых конструкций»,
«Проектирование и строительство больших мостов»,
«Проектирование мостов», «Городские мосты»
по специальности 1-70.03.02 «Мосты, транспортные тоннели и метропо-
литены»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
по образованию в области строительства и архитектуры*

Минск
БНТУ
2023

УДК 624.15.002.02
М74

Объектом пособия являются современные приборы и оборудование на основе электронных технологий для неразрушающего контроля, диагностики и мониторинга мостовых сооружений из стали и железобетона.

В пособии излагаются основные требования к системам диагностики и техническим средствам для измерения параметров и оценки состояния мостов. Изложен отечественный и зарубежный опыт применения комплексных диагностических лабораторий для этих целей, приведены характеристики применяемого оборудования и приборов, особенности соответствующих методик. Рассмотрены основы мониторинга мостовых сооружений, особенности систем мониторинга и их проектирования, приведены сведения о приборах неразрушающего контроля, системах сбора, передачи и обработки данных, используемых в процессе мониторинга.

Отдельно рассмотрены приборы и особенности применения современных георадарных и термографических технологий для обследований и диагностики мостовых сооружений и автомобильных дорог.

В приложениях к пособию приведены характеристики основных диагностических приборов и оборудования.

Пособие предназначено для слушателей факультетов и курсов повышения квалификации, магистрантов и студентов специальности 1-70.03.02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены», изучающих дисциплины «Обследование и испытание мостовых конструкций», «Проектирование и строительство больших мостов», «Проектирование мостов», «Городские мосты».

Ил. 28, табл.12, прил. 8. Библиогр. 71 назв. Объем издания: 12,3 Мб.

Рецензенты:

Кафедра промышленной безопасности
университета гражданской защиты МЧС Беларуси, зав. кафедрой
канд.техн.наук, доцент *В.А.Бирюк*
доктор техн. наук, проф. *В.М. Пилипенко*;
доктор техн. наук, проф. *В.Н. Яромко*

© Мойсейчик Е. А. 2023 г.

© Мойсейчик А. Е. 2023 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ ДИАГНОСТИКИ МОСТОВ.....	9
1.1. Методы, основные требования и применяемые типы приборов при обследовании мостов	12
1.2. Инструментальные измерения геометрических параметров конструкций.....	14
1.3. Исследование физико-механических характеристик материалов...14	
1.4. Дефекты защитного слоя бетона.....16	
1.5. Коррозия арматуры.....17	
1.6. Прочность и трещинообразование в бетоне.....17	
1.7. Уровень натяжения арматуры в конструкциях. Определение свойств стали.....22	
1.8. Оценка антикоррозионного покрытия металлоконструкций.....22	
2. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ И ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ.....	24
2.1. Приборы визуального обследования, инструментальных измерений геометрических параметров и определения положения мостовых конструкций.....	24
2.2. Приборы для определения механических свойств материалов мостовых конструкций	27
2.3. Приборы для контроля коррозионной устойчивости материала мостовых конструкций.....	38
3. ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ МОСТОВЫХ ЛАБОРАТОРИЙ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	40
3.1. Диагностическая мостовая лаборатория НТЦ Госстроя России.....	40
3.2. Передвижная мостовая испытательная лаборатория ЗАО НТЦ «Экспертцентр».....	41
3.3. Мобильный измерительный комплекс для проверки мостов.....	43
4. ГЕОРАДАРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ.....	47
4.1. Георадарные технологии.....	47
4.1.1. Принцип действия георадара.....	47
4.1.2. Использование георадара в дорожной отрасли.....	51
4.1.3. Примеры использования георадара при обследовании зданий и сооружений.....	52
5. ТЕПЛОВОЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ В ДОРОЖНОМ И МОСТОВОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ	57
5.1. Общие сведения о тепловом контроле.....	57
5.2. Краткие сведения о физических основах теплового контроля..	58

5.3. Принципы бесконтактной термометрии.....	65
5.4. Приборы для бесконтактной термометрии.....	67
5.4.1. Пирометры.....	67
5.5. Термографы (тепловизоры).....	68
5.6. Применение термометрии в строительстве и эксплуатации транспортных сооружений.....	71
5.7. Выявлений дефектов в элементах стальных конструкций транспортных сооружений методом пассивной термографии.....	74
5.8. Тепловой неразрушающий контроль растянутых элементов стальных конструкций мостов.....	78
5.8.1. Теплообразование при деформировании.....	78
5.8.2. Выявление опасных участков.....	81
6. ПРИБОРЫ И ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	85
6.1. Мониторинг технического состояния мостового сооружения..	85
6.1.1. Общие требования к мониторингу. Виды мониторинга.....	85
6.1.2. Объекты мониторинга мостовых сооружений. Цель, задачи, объем работ по мониторингу.....	87
6.1.3. Программа мониторинга.....	88
6.2. Стадии проектирования и разработки автоматизированных стационарных систем мониторинга технического состояния сооружения.....	89
6.3. Структурная схема систем мониторинга мостов.....	93
6.4. Контролируемые параметры, средства измерения и аппаратура мониторинга.....	99
6.5. Пример выполнения мониторинга напряженно-деформированного состояния стальных пролетных конструкций моста на стадии монтажа.....	100
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	105
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	107
Приложение 1. Цифровые штангенциркули, микрометры, индикаторы.....	112
Приложение 2. Лазерные рулетки серии DISTO.....	113
Приложение 3. Толщиномеры.....	116
Приложение 4. Детекторы арматуры и измерители защитного слоя бетона типа «ELCOMETER».....	122
Приложение 5. Ультразвуковые приборы прочности.....	125
Приложение 6. Примеры измерений прибором CANIN.....	127
Приложение 7. Мостовая лаборатория.....	129
Приложение 8. Системы мониторинга ЗАО «Институт Гипростроймост-СПБ».....	130

ВВЕДЕНИЕ

Обследования, диагностика и мониторинг мостовых сооружений являются основой системы управления их состоянием, в том числе планирования, распределения и использования средств, направляемых на содержание, ремонт и реконструкцию мостов, оптимизацию соответствующих программ.

Их целью является получение полной, объективной и достоверной информации об эксплуатационном состоянии, условиях их работы, а также степени соответствия фактической работоспособности мостовых сооружений, их параметров и характеристик нормативным требованиям.

Результаты диагностики и оценки состояния мостов используются для решения управленческих задач двух уровней:

- определение и оценка технического уровня, эксплуатационного состояния, потребительских свойств мостов;
- управление их состоянием на основании рационального использования финансовых средств и материально-технических ресурсов.

Исходя из установленных целей и задач можно сформулировать основные требования к обследованиям, диагностике и мониторингу мостов (далее - ОДМ), включающие единую нормативно-методическую базу по обследованию мостов, единую систему транспортно-эксплуатационных показателей мостов, использование метрологически аттестованных технических средств, обеспечение уровня нормативно-методической базы и технических средств диагностики, не уступающих международным стандартам.

Необходимым инструментом для достижения указанной цели являются технические средства на основе неразрушающих методов контроля состояния бетонных, железобетонных, металлических конструкций сооружений, позволяющие объективно контролировать показатель качества работ в процессе возведения моста [1] и его эксплуатации [2, 3]. Достоверность неразрушающего контроля в дорожной отрасли зависит от нескольких факторов. Это, прежде всего, наличие современных приборов и оборудования для ОДМ мостовых сооружений из стали и железобетона, современных нормативных документов по методам контроля. В Беларуси действуют нормативные документы, рекомендации, методики, регламентирующие правила обследований и испытаний мостов и труб, неразрушающий контроль стальных, бетонных и железобетонных изделий [4 -18]. Во-вторых, это наличие современных средств неразрушающего контроля, позволяющих достоверно и качественно определить состояние мостовых конструкций. В-третьих, это наличие достаточного числа квалифицированных специалистов, способных осуществить неразрушающий контроль, оценить его результаты и расшифровать их.

В последние годы при организации содержания искусственных сооружений на железных, автомобильных дорогах и в городах стали широко использовать информационные технологии. Применение таких технологий при эксплуатации сооружений повышает производительность труда и служит промежуточным звеном к переходу на информационно-технологическую модель управления техническим состоянием мостовых сооружений.

Дисциплины «Обследование и испытание мостовых конструкций», «Проектирование и строительство больших мостов», «Проектирование мостов», «Городские мосты» изучаются студентами на завершающем этапе подготовки их к инженерной деятельности по специальности 1-70.03.02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены» и им известна профессиональная терминология, особенности проектирования и строительства искусственных сооружений. Особенности эксплуатации, содержания, различных ремонтов мостовых сооружений, структуру и обязанности дорожных служб, занимающихся обеспечением эксплуатационной надежности мостов студенты обычно изучают в начальной части курсов по обеспечению эксплуатационной надежности искусственных сооружений [19, 20]. С назначением и элементами технологии и организации осмотров, обследований и испытаний студенты автодорожных и других родственных специальностей знакомятся в завершающей части соответствующих курсов. В указанных учебниках [19, 21], как и в доступной большинству инженерно-технических работников литературе [20], рассматривается приборное обеспечение осмотров, обследований и испытаний искусственных дорожных сооружений, разработанное до 80 - 90-х годов прошлого столетия.

Изложенные особенности учебной и технической литературы по эксплуатации мостовых сооружений на дорогах учтены авторами при составлении настоящего пособия.

Введение, главы 2, 3, 5, заключение написаны Е.А. Мойсейчиком, гл.1, 4 – совместно Е.А. Мойсейчиком и А.Е. Мойсейчиком.

Авторы благодарны рецензентам пособия, докторам технических наук В.Н. Яромко и А.В. Буслу, замечания и рекомендации которых были учтены при подготовке рукописи к изданию.

1. ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМАМ ДИАГНОСТИКИ МОСТОВ

На республиканских автомобильных дорогах Беларуси эксплуатируются 2273 мостовых сооружения. Часть из них, 551 сооружение (24,2%), не соответствуют действующим нормативным требованиям по грузоподъемности и (или) габариту [22]. На сети местных автомобильных дорог не соответствуют этим требованиям 1102 моста (36,4 %) из общего количества 3025 мостов [22].

Большинство мостов Беларуси имеют малые и средние пролеты и выполнены из железобетона. Несущие пролетные конструкции указанных мостов, возведенные в 1958–1971 гг., в основном представляют собой сборные диафрагменные балочные строения. В последующие годы применялись типовые бездиафрагменные балки [23]. По расчетной схеме 70% железобетонных мостов относятся к балочному типу, а 30 % – к плитному [23]. Усилия от пролетных строений воспринимают и передают на фундаменты и грунты оснований опоры из железобетонных свай, стенок и стоек. Несущие конструкции больших мостов выполнялись из железобетонных балок коробчатого сечения, свай-оболочек и др. Пролетные и опорные несущие конструкции часто содержат повреждения, снижающие их работоспособность и долговечность. Срок службы этих объектов не соответствует нормативным значениям по различным причинам [23]. Жизненный цикл отдельных мостов этого и других типов заканчивается обрушением несущих конструкций, приводящим к авариям с последствиями различной тяжести [24 - 26].

Подобная ситуация складывается и в странах, в которых в начале прошлого века строились стальные мосты, а после второй мировой войны - железобетонные мостовые сооружения [27].

Характерным примером является состояние эксплуатируемых мостов в США [28]. Выполненный в начале 90-х годов прошлого столетия анализ данных по обследованиям таких сооружений показал, что из 577 тысяч эксплуатирующихся мостов 90 тысяч были построены в 30-х годах, а более половины из общего числа мостов имеют серьезные конструктивные недостатки и повреждения. При этом большинство из 35 тысяч мостов со стальными фермами имеют не только серьезные повреждения, но и не выдерживают современных нагрузок, 223 тысячи мостов, построенных в 1956-1975гг. требуют ремонта. Средний срок службы стальных мостов в США составляет 100 лет, а железобетонных - 50 лет.

Аварии мостовых сооружений в 60-70-е годы в США привели к разработке Федеральной дорожной администрацией национальных стандартов на инспектирование мостов (NBIS), согласно которым мосты в США ин-

спектрируются в среднем с двухгодичным периодом. Информация по данным инспектирования накапливается в базе данных Инвентарного учета национальных мостов (NB) США. Проблемы финансирования работ, направленных на сохранение эксплуатационной надежности транспортных сооружений, привели к дальнейшему развитию системы управления мостами (СУМ) в США, основанной на финансовом планировании. Были разработаны две СУМ (“Pontis” и “BRIDGIT BMS”), представляющие собой комплексы программного обеспечения, с помощью которых осуществляется планирование мероприятий по перестройке, модернизации и обслуживанию (содержанию, ремонту и восстановлению) мостовых сооружений. Наибольшее применение получила система “Pontis”, усовершенствованная версия которой эксплуатируется с 1993г. в 38 штатах США и в ряде стран Европы. В части европейских государств функционируют национальные системы управления мостами (Германия, Франция, Дания, Финляндия, Швеция и др.). Общими составляющими для современных СУМ являются: наличие баз данных по мостам, возможность долгосрочного и кратковременного планирования работ, ранжирование сооружений с целью приоритетного обслуживания.

В России система управления эксплуатацией мостов (СУЭМ) принята в 2003г., а ее реализация продолжается с 2004-2010 годов в следующих направлениях:

- модернизация базы данных по мостам;
- совершенствование методов сбора и обработки информации;
- совершенствование планирования работ по ремонту и содержанию мостовых сооружений;
- контроль качества работ при строительстве, содержании, ремонте и реконструкции мостовых сооружений;
- создание нормативной базы СУЭМ.

В перечисленных СУМ базовой составляющей является сбор, накопление и обработка информации о мостах. При этом основные характеристики информации о мостах фиксируют износ элементов и конструкций в увязке с прежними системными подходами, использующих классификацию конструкций и элементов. Диагностирование, обследование и мониторинг мостов и их элементов потребовал разработки и применения в СУМ специальных приборов и оборудования. Приборное обеспечение СУМ компонуется в виде мобильных лабораторий и устройств.

В российской СУЭМ сбор информации предполагается вести дифференцировано, в зависимости от срока службы мостов [29]. Для «молодых мостов» основным видом сбора информации является диагностика. Для старых мостов и сооружений, имеющих повреждения, выполняются обследования, а в промежутках между ними – диагностика. При этом предполагаются ежегодные визуальные осмотры сооружений эксплуатационными организациями.

В Беларуси формирование системы управления мостами находится в стадии становления. Изложенные выше основные черты зарубежных СУМ выявляют особую важность обоснованного приборного оборудования такой системы, квалифицированного обслуживания технологии сбора, расшифровки и обработки первичных данных диагностики и обследований мостов.

1.1. Методы, основные требования и применяемые типы приборов при обследованиях мостов

Требования к приборам и оборудованию, обеспечивающим сбор, хранение и обработку информации для СУМ и структуру соответствующих мобильных лабораторий и установок можно сформировать, используя два подхода. Первый подход – это анализ опыта и технологий обследований мостовых сооружений в СССР и государствах, образовавшихся на его просторах. Вторым подходом – анализ структуры и материального обеспечения зарубежных подразделений по диагностике и обследованию мостов.

Анализ опыта и технологий обследований мостовых сооружений проведем с использованием зарубежных наработок, опыта кафедры «Мосты и тоннели» БНТУ. Так, сравнительный анализ систем эксплуатации, оценки технического состояния и грузоподъемности железнодорожных и автодорожных (городских) мостов позволяет выявить структуру и особенности нерешенных до сих пор проблем мостового хозяйства и применить их при оценке и контроле технического состояния, разработке рекомендаций по содержанию и ремонту автодорожных мостов. При этом проявляются следующие основные нерешенные проблемы модернизации мостового хозяйства автодорог, с которыми приходится иметь дело на практике:

- 1) отсутствие или неполная документация на обследуемые мостовые сооружения;
- 2) отсутствие нормативных документов по оценке грузоподъемности стальных автодорожных и городских мостов;
- 3) недостаточный учет особенностей проектирования ремонтов, усилений, реконструкций эксплуатирующихся мостов в действующих нормах проектирования в части оценки прочностных характеристик материалов старых мостов, методики перехода от расчетов по допускаемым напряжениям к расчетам по предельным состояниям, методики перерасчета по определению предельной нагруженности сечений и элементов, методик учета существующих дефектов при определении грузоподъемности и долговечности мостовых конструкций;
- 4) отсутствует обоснованная однозначная система ограничений условий эксплуатации по мостам с пониженной грузоподъемностью.

В таких условиях со многими неизвестными основным путем контроля состояния мостовых сооружений и фиксирования соответствующей информации являются обследования. В мостовом хозяйстве проводится, кроме постоянного наблюдения, несколько видов осмотров и обследований (в зависимости от целей и периодичности проведения):

- текущие осмотры (проводятся мастером дорожного подразделения в соответствии с требованиями и периодичностью, установленными нормативными документами);

- периодические осмотры (проводятся главным инженером или заместителем начальника и мастером дорожного подразделения в соответствии с требованиями и периодичностью, установленными нормативными документами);

- специальные обследования, выполняемые специализированными организациями и подразделениями.

Наиболее сложные задачи решаются при специальных обследованиях, которые можно разделить в зависимости от назначения на следующие виды:

- обследования при вводе новых мостов в эксплуатацию (опыт строительства мостов показал, что научно-техническое сопровождение необходимо и на стадиях проектирования, изготовления и монтажа мостов и их элементов);

- плановые обследования (проводятся в соответствии с требованиями и периодичностью установленными нормативными документами);

- обследования с целью установления возможности пропуска сверхнормативной нагрузки;

- предремонтные обследования;

- обследования для сбора статистических данных;

- специальные обследования в других целях.

Наиболее сложным и дорогостоящим работам по поддержанию требуемой надежности эксплуатируемых мостов из приведенного перечня (ремонтам и реконструкциям) соответствуют специальные предпроектные (предремонтные) обследования мостовых сооружений, для которых используется наиболее полный комплекс обследовательских работ и соответствующего приборного обеспечения и методик. Объективность и качество предремонтного обследования, полнота полученных результатов в значительной мере предопределяет качество проекта ремонта (реконструкции), стоимость ремонтных мероприятий и в итоге – эксплуатационную надежность, долговечность, требуемую грузоподъемность, пропускную способность и безопасность дальнейшей эксплуатации сооружения [30]. Специальные предпроектные (предремонтные) обследования часто проводятся в режиме научно-технического сопровождения ремонтов и реконструкций мо-

стовых сооружений.

В процессе таких обследований выполняются следующие работы.

1). Дообследование недоступных ранее конструкций в процессе ремонта и принятие совместно с проектной организацией оперативно-го решения по устранению обнаруженных дефектов и повреждений.

2). Контроль регулирования усилий при замене поврежденных элементов.

3). Инструментальный контроль деформаций и перемещений конструкции при снятии пролетного строения с временной опоры и др.

4). Исследования свойств материалов.

5). Испытания применяемых элементов (резино-металлических опорных частей и др.).

6). Обследование поверхностей заводского слоя грунта перед созданием антикоррозионного покрытия строящихся и реконструируемых объектов.

7). Контроль качества работ по созданию или восстановлению антикоррозионной защиты стальных изделий железобетонных элементов.

8). Приемочные испытания, и другие работы.

При этом приборное обеспечение требуется обычно при проведении следующих работ:

- визуальное изучение конструкций;
- выявление дефектов и повреждений;
- установление несоответствий отдельных элементов нормативным требованиям;
- осмотр сложных узлов и соединений;
- контрольные измерения и инструментальные съемки;
- изучение поведения конструкций под нагрузкой и во времени;
- определение характеристик материалов «в деле»;
- неразрушающие испытания и исследования;
- уточнение или подтверждение расчетов испытаниями;
- анализ состояния;
- причины образования дефектов и повреждений;
- определение грузоподъемности, долговечности, безопасности с учетом повреждений и дефектов;
- определение критических величин повреждений и скорости их образования;
- степень опасности дефектов и повреждений;
- разработка рекомендаций по устранению дефектов и повреждений;
- испытания после ремонта и реконструкции и др.

1.1. Визуальное освидетельствование

Это первый этап натурного исследования мостов, часто проводимый зрительно, невооруженным глазом. Визуальное обследование проводится с составлением схем (карт) расположения обнаруженных дефектов, повреждений. Различают два вида визуального контроля: 1) прямой визуальный контроль (direct visual control) и 2) непрямой визуальный контроль (indirect visual control).

Прямой визуальный контроль -это визуальный контроль с непрерывным ходом лучей между глазами оператора и контролируемой поверхностью. Этот контроль проводится без применения или с применением вспомогательных средств, например, зеркала, линзы, эндоскопа или волоконно-оптических устройств.

Непрямой визуальный контроль -это визуальный контроль с прерыванием хода лучей между глазами оператора и контролируемой поверхностью. Непрямой визуальный контроль проводится с применением фото- и видеотехники, автоматизированных и роботизированных систем.

Визуальный контроль предполагает 1) подробный осмотр всех элементов сооружения, 2) выявление дефектов и повреждений, 3) проверку качества соединений.

Осмотр проводится с максимально близкого расстояния.

Прямой визуальный контроль проводят в виде местного контроля при условии, что контролируемая поверхность расположена на расстоянии не более 600 мм под углом не менее 30°. Для улучшения угла обзора могут применять зеркала. Если контроль проводится на расстоянии более 600 мм –это обзорный контроль. Объект контроля или его элементы должны иметь освещение не менее 160 лк (для обзорного контроля) и не менее 500 лк (для местного контроля).

При прямом визуальном контроле **возможны следующие осложнения**, являющиеся следствием ограниченной доступности к объекту осмотра даже при наличии устроенных по проекту смотровых ходов и высокие требования к персоналу. В этом случае приходится вести визуальный осмотр конструкций моста с помощью бинокля или видеокамеры с оптикой высокого разрешения. Персонал, выполняющий работы визуальный контроль должен: 1) быть хорошо знаком с соответствующими стандартами, правилами, техническими условиями, оборудованием и процедурами/инструкциями; 2) в деталях знать соответствующую технологию производства и/или условиями эксплуатации объекта, подвергающегося контролю; 3) зрение специалистов по визуальному контролю должно удовлетворять требованиям ИСО 9712. При выполнении обзорного визуального контроля, миопия (близорукость), проверенная с помощью стандартного опто типа в соответ-

ствии с ИСО 8596, должна быть не хуже 0,63 хотя бы для одного глаза с коррекцией или без. Проверку зрения следует проводить не реже одного раза в 12 мес.

Непрямой визуальный контроль проводится в случае, если проведение прямого визуального контроля невозможно. Для непрямого визуального контроля могут применяться такие вспомогательные средства, как эндоскоп, волоконно-оптические средства, соединенные с камерой, или другие подходящие устройства. Пригодность конкретного устройства непрямого визуального контроля для целей визуального контроля должна быть проверена.

При визуальном контроле сооружения основное внимание следует уделять выявлению в элементах конструкций неисправностей (например, трещин, сколов, погнутостей и выпучиваний, расстройств в стыковых соединениях и прикреплениях элементов, коррозионных повреждений, разрушений откосов конусов, струенаправляющих и берегоукрепительных дамб, повреждений водоотвода, гидроизоляции, деформационных швов, уравнильных приборов и других элементов мостового полотна или верхнего строения пути). Необходимо также выявлять в конструкциях места, где вследствие неизбежного скопления грязи, воды, снега, льда возможно интенсивное развитие различных неблагоприятных явлений (коррозионных процессов, замораживания и оттаивания бетона, гниения древесины и др.). Обнаруженные неисправности должны быть с необходимой полнотой описаны в материалах обследований с указанием времени выявления и возможных причин появления. Наиболее опасные, а также характерные повреждения и дефекты должны быть отражены в эскизах (фотографиях)

Каждую характерную группу дефектов и повреждений необходимо рассматривать с пяти позиций:

- описание дефекта и повреждения, с указанием адреса, размеров, повторяемости по длине или поверхности элементов;
- причины возникновения;
- прогноз развития;
- влияние на потребительские свойства моста;
- рекомендации по устранению или консервации.

Из изложенного следует, что визуальный контроль использует человеческий глаз и мозг как биологический прибор для исследования процессов, испускающих электромагнитное излучение в диапазоне длин волн 400—750 нм (0,4-0,75 мкм, видимое излучение). Такой подход позволяет выявить видимые дефекты и несоответствия в стальных конструкциях. Он не может выявить внешние острые дефекты, опасные зоны, точки, определить стадию работы стали в конструкции, напряжения, уровень деформаций, коэффициенты концентрации напряжений у различных поверхностных дефектов и др. По-

ложительным свойством визуального контроля является его «дистанционность».

Получить большую информацию и устранить недостатки визуального контроля можно с использованием приборов, работающих в других диапазонах электромагнитного спектра.

1.2. Инструментальные измерения геометрических параметров конструкций

При подготовке к измерениям должны быть обеспечены свободный доступ к объекту измерения и возможность размещения средств измерения. Места измерений должны быть очищены, размечены или замаркированы. Средства измерений должны иметь действующие свидетельства о поверке (калибровке) или оттиски соответствующих клейм на пломбах и подготовлены к измерениям в соответствии с инструкцией по их эксплуатации.

Измерения следует проводить в соответствии с требованиями ГОСТ 26433.0 при нормальных условиях измерений:

- температуре окружающей среды 293 °К (20 °С);
- атмосферном давлении 101,3 кПа (760 мм рт. ст.);
- относительной влажности окружающего воздуха 60 %;
- относительной скорости движения внешней среды 0 м/с.

При выполнении измерений в условиях, отличающихся от нормальных, необходимо контролировать действительные значения указанных выше величин и при необходимости вводить поправки при отклонении условий измерений от нормальных.

Для обмера конструкций и сечений используются мерные инструменты, ультразвуковые и лазерные дальномеры, электронные рулетки и др. приборы в соответствии с требованиями ГОСТ 26433.0. Измерения размеров и их отклонений, а также отклонений форм проводятся по схемам приложения 1 ГОСТ 26433.0.

1.3. Исследования физико-механических характеристик материалов

Такие исследования проводятся как на вырезаемых образцах, так и неразрушающими методами.

При исследовании свойств бетона выявляют слой бетона с характеристиками, измененными в процессе карбонизации (процесс превращения гидроксида кальция (известки) в карбонат кальция). Процесс карбонизации, начинается с поверхности бетонной конструкции. Непременным условием протекания карбонизации является присутствие углекислого газа CO_2 , поэтому раз-

витие этого процесса вглубь элемента имеет затухающий характер. Интенсивность процесса зависит от многих факторов, в том числе от плотности бетона, температуры, влажности, расположения бетонной поверхности в конструкции и так далее. В сжатых элементах процессы карбонизации протекают значительно медленнее, нежели в растянутых. В более плотных (прочных) бетонах эти процессы также замедляются. С наветренной стороны элементов процесс карбонизации протекает более интенсивно, так как происходит высушивание пор, что обеспечивает доступ CO_2 из воздуха на большую глубину. Соотношение глубин карбонизации в ряде случаев может достигать 3-7 раз. Обычно, глубина карбонизации достигает 10 мм за 10 лет. Карбонизированный слой имеет более высокую прочность и плотность по сравнению с некарбонизированным. По этой причине в гидротехнических сооружениях для повышения плотности поверхностных слоев создают искусственную карбонизацию. Однако в процессе карбонизации уменьшается показатель рН, что снижает естественные защитные свойства бетона и вызывает коррозию арматуры. Таким образом, одним из благоприятных условий для возникновения процесса коррозии арматуры в бетоне является снижение показателя рН на глубине расположения арматурных стержней. Определить глубину карбонизированного слоя в полевых условиях возможно калориметрическим методом, смачивая свежий скол бетона 1% спиртовым раствором фенолфталеина, который окрашивается в малиновый цвет. Другой, более точный способ определения карбонизации бетона предусматривает послойное изъятие порошка цементного камня и последующий его анализ при помощи рН-анализаторов в лабораторных условиях.

Исследование глубины карбонизации не является достаточным для оценки распространения коррозионных поражений арматуры. Коррозия арматуры также зависит от содержания агрессивных добавок, водопоглощения бетона и других факторов. Хлористые ионы вызывают коррозию арматуры при превышении величины 0,2-0,4% концентрации их химически связанной доли в цементе. Скорость проникновения хлористых соединений в бетон зависит от многих факторов. Для оценки концентрации хлористых соединений в цементе, распределения хлоридов в бетоне по глубине, изымаются с различных слоев конструкции образцы цементного камня, которые затем, при помощи анализаторов хлоридов исследуются в лабораторных условиях.

Гигроскопичность бетона сказывается на долговечности конструкций. Величина водопоглощения бетона зависит от числа и размеров открытых пор. Защитные свойства бетона снижаются с увеличением пористости. Для бетона хорошего качества коэффициент водопоглощения не превышает $0.5 \text{ кг/м}^2/\text{час}$. В полевых условиях водопоглощение может быть приблизительно оценено при помощи трубки Карстена. В лабораторных условиях водопоглощение и плотность исследуются непосредственными измерениями. Величина защитного слоя существенно сказывается на долговечности железобетонной конструкции. Защитный слой бетона затрудняет доступ к арматуре влаги, кислорода и кислотообразующих газов. В первую очередь коррозии подвергаются арматурные стержни, имеющие малый защитный слой.

Повреждения арматуры железобетонных конструкций выявляют электронными томографами, измерителями защитного слоя, диаметра арматуры и другими приборами.

1.4. Дефекты защитного слоя бетона

На долговечность железобетонных конструкций существенное воздействие оказывают внутренние и наружные дефекты защитного слоя - трещины, поры. Развитие дефектов в защитном слое бетона резко снижает его пассивирующие и защитные свойства. Глубина распространения трещин определяется ультразвуковыми трещиномерами, или с использованием щупов. Для определения ширины раскрытия трещин применяются специальные оптические микроскопы с 20-30 - кратным увеличением. Обнаружение внутренних и наружных дефектов в бетоне, а также в металлических элементах, в том числе в сварных швах производят с использованием портативных ультразвуковых дефектоскопов, вихретоковых приборов. Дефекты защитного слоя, вызванные циклическим замораживанием – оттаиванием, свидетельствуют о недостаточной морозостойкости бетона элемента в условиях его эксплуатации. Общепринятые методики расчетной оценки долговечности железобетонной конструкции с учетом стандартной характеристики морозостойкости бетона на сегодняшний день отсутствуют. Поэтому качественную оценку морозостойкости бетона эксплуатируемой конструкции можно дать по наличию повреждений на поверхности элемента от размораживания-оттаивания.

1.5. Коррозия арматуры

После того, как в бетоне на глубине залегания арматурных стержней возникли благоприятные условия для развития процессов коррозии, в течение некоторого промежутка времени проходит скрытая коррозия арматуры (первая фаза коррозии) – без заметных признаков на поверхности. Количественно оценить состояние арматуры при первой фазе коррозии можно прямым вскрытием или определением коррозионной активности арматуры, основанном на измерении электрохимических потенциалов полуэлемента арматуры в бетоне. Эти исследования проводят с помощью специальных приборов. Результаты измерений могут быть представлены в виде схем (карт) с изолиниями равных напряжений. Такой метод стандартизирован в США. По мере развития коррозии появляются трещины в защитном слое вдоль арматурных стержней. Эта фаза может сопровождаться появлением на поверхности бетона ржавых пятен. По величине раскрытия коррозионных трещин можно косвенно судить о степени коррозии арматуры. Отличить трещину коррозионного характера от иных видов трещин возможно при помощи индикатора металла или измерителя защитного слоя. Во второй фазе развития коррозии трещинообразование усиливается и под действием давления продуктов коррозии происходит отслоение защитного слоя, сколы бетона и обнажение арматуры. Разрушение арматуры в бетоне может иметь характер язвенного поражения ее отдельных участков, либо равномерного уменьшения сечения по всей поверхности.

1.6. Прочность и трещинообразование в бетоне

Разработано ряд методов испытания прочности бетона. При обследованиях конструкций в основном применяются:

- неразрушающие методы;
- метод отрыва со скалыванием;
- метод упругого отскока;
- для бетона малой прочности используют молоток и зубило;
- выемка и испытание кернов.

Неразрушающие методы испытания бетона основаны на едином принципе: сначала измеряют какую-либо физико-механическую характеристику, а затем переходят к определению R_b на основании соответствующей зависимости между этой характеристикой и R_b .

Наибольшую точность среди неразрушающих механических методов обеспечивает метод отрыва со скалыванием. Он сравнительно трудоемок, предусматривает установку анкера в заранее просверленное отверстие в конструкции, частично повреждает защитный слой конструкции, поэтому его используют при выборочных испытаниях ответственных конструкций (толщина конструкций не менее 15 см). Метод основан на довольно тесной связи R_b и $R_{вр}$. В сравнении с другими механическими методами метод отрыва со скалыванием позволяет исследовать бетон на большую глубину, учитывать качество заполнителя и его сцепление с раствором.

Наиболее широко при обследованиях применяется метод упругого отскока. Для исследования мостовых конструкций применяются склерометры Шмидта швейцарского и итальянского производства с энергией удара 3 кгс·м. Для измерения прочности тонкостенных конструкций или конструкций, изготовленных из бетона с низкой прочностью, могут применяться склерометры с меньшей энергией удара. Использование молотков типа Шмидта в Германии регламентируется немецким стандартом DIN 4240, у нас - ГОСТ 10180-67. На точность этого метода влияют следующие факторы:

- вид опалубки (металлическая - точность 15%; деревянная - точность 35%);

- наличие соприкосновения поверхности бетона с опалубкой в период бетонирования конструкции (открытые поверхности) - точность >35% - необходимо удалить слой затвердевшего цементного молока;

- качество заполнителя;

- наличие дефектов на поверхности бетона.

При применении склерометров следует также учитывать факторы:

- толщина бетона в месте удара должна быть не меньше 10 см при использовании молотков с энергией удара 3 кгс·м;

- угол наклона исследуемой поверхности;

- при отрицательной температуре вода, содержащаяся в порах и капиллярах бетона, замерзает, и твердость бетонной поверхности увеличивается.

Если водонасыщенный бетон находится в замороженном состоянии, получаются завышенные значения прочности (до 30%), в зависимости от влажности и пористости бетона. Производя испытания прочности бетона зимой, эти изменения можно предупредить следующими приемами:

- прогревая бетонную поверхность;

-вводя поправочные коэффициенты (менее точен, так как увеличение твердости бетонной поверхности при замораживании зависит не только от температуры, но и от степени водонасыщения структуры бетона. Для бетона в возрасте более 1 года рекомендуется удалять поверхностный слой толщиной 3-5 мм, однако следует учитывать, что обработка (шлифовка) бетонной поверхности несколько искажает данные испытаний. Наиболее точные результаты получаются при испытании на поверхности, примыкавшей в процессе бетонирования к опалубке.

Состав бетона и свойства его составляющих оказывают влияние на показания приборов. Применение твердых пород щебня повышает высоту отскока, если слой раствора в месте удара меньше 3 мм. Находящаяся в месте удара арматура на глубине до 10 мм, также повышает высоту отскока, однако если начались процессы коррозии, сопровождаемые отслоением защитного слоя (который может на начальной стадии быть невидимым на поверхности), отскок может уменьшаться. Поэтому перед испытаниями необходимо при помощи детекторов арматуры или измерителей защитного слоя наметить расположение арматурных стержней.

Наличие дефектов в виде раковин, швов опалубки, усадочных трещин, влажная поверхность в месте ударов может сильно исказить получаемые результаты. Водонасыщение бетона влияет на твердость его поверхностных слоев. Поэтому испытание следует проводить в воздушно-сухом состоянии.

При практическом использовании метода упругого отскока для оценки класса бетона следует соблюдать следующий порядок испытаний.

1). Выбрать время проведения исследования с благоприятными погодными условиями. Неблагоприятными климатическими факторами являются: а) отрицательная температура (влияние воздействия отрицательных температур на воздушно-сухие и водонасыщенные бетоны при испытании методом упругого отскока недостаточно изучены); б) повышенная влажность (в целом с увеличением влажности величина упругого отскока уменьшается, а при замерзании влаги — увеличивается). Для более прочных бетонов влияние этих факторов несколько снижается, что связано с меньшей величиной водопоглощения бетона. При испытаниях неразрушающими методами водонасыщенных и замороженных в водонасыщенном состоянии бетонов необходимо учитывать поправочные

коэффициенты, величина которых зависит от структуры и свойств бетона, а это недостаточно исследовано.

2). Определить число участков испытаний:

- разбить конструкцию на однородные элементы;
- выделить однородные поверхности;
- учесть протяженность элемента по высоте.

Изменение прочности по высоте связано с неоднородностью бетона. Как правило, следует использовать несколько участков испытаний. На однородной поверхности, прочность бетона в верхней части может быть существенно ниже, чем в основании элемента. Поэтому для стоек, бетонируемых вертикально, необходимо проводить испытания на нескольких участках по длине. Выбрать участки для испытания размером около 10x10 см, предварительно исследовав их, выровнять и сдуть крошку, пыль с поверхности. Плохая очистка или неровная поверхность приводят к незначительному снижению показаний прочности. На каждом участке производится не менее пяти ударов склерометром. Средняя величина отскока определяется по результатам 5-ти измерений выполненных на одном участке и считается единичным значением. При этом каждое измерение не должно отличаться от среднего более, чем на 15%. В противном случае производятся дополнительные удары склерометром. По средней величине отскока по тарировочным зависимостям определяется прочность бетона R_b на участке (в точке). Количество участков испытаний, как правило, должно быть не менее 10. Если средняя прочность на отдельных участках отличается не более чем на 10%, количество испытаний на участке сокращают вдвое. При выборе участков следует учитывать:

- наличие дефектов на поверхности (поры, усадочные трещины в поверхностном слое);
- угол наклона поверхности;
- толщину бетонного элемента в месте удара (от 5 до 60см);
- соприкасалась или нет бетонная поверхность с опалубкой, тип опалубки;
- влажность бетона (в местах обводнения испытания лучше не проводить» т.к. вопросы, связанные с учетом влияния влажности на результаты испытаний, основанных на методе упругого отскока недостаточно изучены);
- наличие арматуры в месте проведения испытаний, глубина залегания арматурных стержней, ее коррозионное состояние.

Обработка результатов испытаний производится с использованием известных методов математической статистики с уче-

том положений ГОСТ18105-86. При значительной выборке результаты испытаний подчиняются нормальному закону распределения. Для упрощения обработки используют компьютерные программы.

Одна из причин несоответствия между прочностью бетона, определенной методом упругого отскока и кубиковой прочностью состоит в том, что этими приборами измеряется твердость в отдельных точках поверхности, а при прямых испытаниях на сжатие (участвует) - весь объем бетона, поэтому в отдельных случаях выполняются испытания на отрыв со скалыванием или прямые испытания кернов, изъятых из бетонной конструкции. Прочность бетона в конструкциях, эксплуатирующихся продолжительное время (десятки лет), как правило, выше проектной. Это объясняется следующим. У бетона в возрасте 1 года содержится около 25% кристаллических составляющих и 75% гелевых составляющих, представляющих гидросиликат кальция между прослойками воды. Со временем количество кристаллических составляющих возрастает, поэтому прочность и плотность цементного камня, а, следовательно, и бетона, также возрастает. Прочность бетона может снижаться в отдельных случаях, вследствие выщелачивания извести или образования трещин в массиве по контакту цементного камня и заполнителя в зонах элементов конструкций, работающих при больших переменных напряжениях.

В поверхностных слоях бетона, где имеются усадочные трещины, открытые поры, в которых содержится влага, прочность может существенно снижаться вследствие размораживания, капиллярной усадки с ростом трещин. Ускоренному росту трещин в поверхностном слое, кроме воздействия капиллярных сил способствуют напряжения от внешних силовых факторов, действующих в одноименном направлении с капиллярными силами и складываются с ними. Попеременное увлажнение и высушивание поверхности бетона ускоряет процессы трещинообразования.

Образуются и силовые трещины в бетоне. Такие трещины, как правило, имеют сквозной характер или значительную глубину. Отличить трещину силового происхождения от иных видов трещин, кроме ультразвукового трещиномера, во многих случаях помогает мессура с острыми опорами (щелемер). Приспособление позволяет фиксировать незначительное изменение раскрытия трещин при проходе нагрузки.

Определение напряженного состояния материалов в конструкциях производится методом вырезания с использованием тензометрической и другой аппаратуры.

1.7. Уровень натяжения арматуры в конструкциях. Определение свойств стали

Определение уровня натяжения арматуры в конструкциях производится динамическим частотным методом при помощи специализированного оборудования, включающего портативный компьютер с аналого-цифровым преобразователем, усилителем и с датчиками ускорения или тензодатчиками, а также методом подвешивания грузов. Для контроля может быть применен метод вырезания отдельных стержней.

Характеристики стали, арматуры мостов определяются, в основном, в лабораторных условиях, для чего вырезаются пробы. При этом могут быть определены следующие характеристики металлов:

- марка стали;
- химический состав;
- механические характеристики (предел текучести, временное сопротивление, ударная вязкость);
- хладноломкость;
- склонность к механическому старению;
- склонность к водородному охрупчиванию;
- испытание на загиб;
- коррозионная стойкость;
- температура перехода в хрупкое состояние;
- структура стали;
- усталостные характеристики (предел выносливости и др.);
- состояние поверхности.

6

1.8. Оценка антикоррозионного покрытия металлоконструкций

При обследованиях оценивают качество защитного покрытия металлоконструкций и его долговечность. Для этой цели используются тестированные методы, позволяющие:

- определять толщину слоя коррозии при помощи магнитных толщиномеров. При измерении толщины немагнитных антикоррозионных покрытий металлоконструкций применяются портативные электромагнитные толщиномеры, позво-

ляющие определять толщину покрытия с точностью до 0.1 микрона;

- определять адгезию;
- определять внешний вид и дефекты покрытия по определенным критериям при помощи соответствующих приспособлений.

Полученные данные обрабатываются статистическими методами, анализируются и затем даются соответствующие выводы о качестве материалов и изменении их характеристик за время эксплуатации.

Рассмотренные методы исследований должны применяться комплексно. Каждый из указанных методов отдельно не дает полного ответа на вопрос о техническом состоянии сооружения.

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ И ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ МОСТОВ

Мостовые лаборатории стран СНГ до конца 90-х годов прошлого столетия, как правило, располагали техническими средствами и методами обследования инженерных дорожных сооружений, включая и мосты, содержащимися в справочниках того периода [29 - 45]. Геодезические, геологические и гидрометеорологические инженерные изыскания и исследования строительных свойств грунтов производились методами и аппаратурой, приведенной в [28 - 33, 38, 39]. Физико-механические свойства материалов конструкций инженерных дорожных сооружений исследовались с помощью приборов и оборудования, зафиксированных в справочниках [31, 32, 38]. Рекомендации по проведению натурных исследований, методы и приборы для измерения колебательных и динамических параметров (перемещений, скоростей, ускорений, динамических деформаций, пульсаций давления) приведены в [45]. Коррозионная стойкость конструкций инженерных дорожных сооружений, приборы исследования коррозии элементов изложены в [46 - 48].

В процессе диагностики и обследований мостов и дорожных сооружений для определения физико-механических, физико-химических свойств материалов, геометрических характеристик, прогибов, перемещений и деформаций, дефектоскопии в настоящее время применяются самые разнообразные приборы и оборудование.

Приборы, приведенные в справочниках [41 - 44], как правило, были показывающими или вели запись показаний на бумажный носитель, фотобумагу. Современные приборы имеют в своем составе электронные фиксирующие, запоминающие, обрабатывающие блоки. Рассмотрим современные аналоги приборов, приведенных в [28 - 48].

2.1. Приборы для визуального обследования, инструментальных измерений геометрических параметров и определения положения мостовых конструкций

Для визуального контроля в современной практике используют видеокамеры, цифровые фотоаппараты, подзорные трубы, бинокли, лупы, микроскопы отсчетные. Производить измерения, например, раскрытия трещин и т.п. дефектов, позволяют некоторые лупы и микроскопы отсчетные (лупа измерительная ЛИ-3-10 с диапазоном измерений до 14 мм и ценой деления шкалы 0,1мм; микроскопы измерительные МИР-2, МИР-3; микроскопы отсчетные МПБ-2, МПБ-3 и др.).

Прогибы, перемещения в полевых условиях измеряют как средствами линейных измерений (измерительные инструменты (приложение 1), тензометры, прогибомеры различных конструкций), так и с

использованием геодезических средств. Перемещения отдельных точек сечений конструкций целесообразно определять механическими прогибомерами (с точностью 0,01мм – прогибомер Аистова 6-ПАО; с точностью 0,1мм – прогибомер Максимова ПМ-3). Линейные размеры, толщины определяют как механическим путем (микрометры, штангенциркули, рулетки измерительные (1-100м), измерительные колеса), так и с использованием других измерительных приборов.

Для измерения расстояний до 200 м с точностью до 1,5 мм применяют ручные безотражательные дальномеры (лазерные электронные рулетки). Удобны в работе и широко распространены электронные рулетки DISTO фирмы “Leica Geosystems AG” (технические характеристики рулеток приведены в таблице 2.1 и в приложение 2). Измерения расстояний 0,8 - 19 км с точностью до 3-5мм можно применять электронные дальномеры D/1001, D/1600, D/2002, D/3000S. Фирма “Leica Geosystems AG” производит и другие системы, позволяющие с высокой точностью бесконтактным методом определять перемещения. Так, следящие приборы LT500, LTD500 могут измерять координаты и расположение точек объектов со скоростью 1000 точек в секунду. Перемещения могут определяться и высокопроизводительными цифровыми фотограмметрическими системами совместного предприятия (с участием фирмы “Leica Geosystems AG”) LH-Systems. Применять фотограмметрические методы в строительстве можно в соответствии с руководством [49] при обмерочных работах. Разработаны и приборы трехмерного сканирования (приложение 2).

Для кратковременных и длительных наблюдений за инженерными объектами используется автоматическая полярная измерительная система APSWin. В системе используются механические и электронные теодолиты/тахеометры (LEICA и все приборы системы TPS1000). Система имеет целый ряд интегрированных функций (обработка измерений в режиме онлайн, сравнение проектных и измеренных значений, старт/конец измерительных циклов и др.). К применению предлагаются три модификации системы APSWin: 1) APSWin Standard; 2) APSWin Lite; 3) APSWin Plus. Первая модификация применяется для обработки и анализа измерений, выполняемых системой APSWin. Вторая модификация – это облегченный вариант, предназначенный для сбора и хранения данных. Обработка измерений при этом может выполняться как с помощью собственного программного обеспечения пользователя, так и посредством специально разработанных алгоритмов. Для измерений, при которых используются до 4-х автоматических электронных теодолитов ТСА, самым подходящим вариантом системы является APSWin Plus. Сведения об используемых в системе APSWin геодезических приборах и системах приведены в таблицах 2.2-2.3 (в таблицах приняты обозначения: ТМ- моторизованный

Таблица 2.1 - Технические характеристики электронных рулеток DISTO

Характеристики	Модели рулеток					
	Yardage ProSport	Impulse	Distolite	Disto-classic	DistoPro	Disto ProA
1	2	3	4	5	6	7
Точность	±91,4см	±5см	±3мм	±3мм	±3мм	±1,5мм
Дальность, м	732	575	0,2-200	0,2-200	0,2-200	0,3-100
Память, изм.	нет	нет	Нет	15	800	800
Дисплей	В поле зрения	1 строчный	4 строчный	4 строчный	4 строчный	4 строчный
Интерфейс	нет	RS-232	Нет	нет	RS-232	RS-232
Габариты, м	10x7,9x4,3	15,2x6,4x12,7	14,2x7,3x4,5	17,2x7,3x4,5	18,8x7x4,7	18,8x7x4,7
Вес, г	210	1000	290	310	440	440
Водо-защита	Снег, дождь	IP67	IP54	IP54	IP54	IP54
Источник питания	1 батарейка (Крона)	2 батарейки (AA)	2 батарейки (AA)	2 батарейки (AA)	4 батарейки (AA)	4 батарейки (AA)
Время работы	8 часов	20 часов	10000 измерений	10000 измерений	3000 измерений	3000 измерений
Рабочая температура, °С	-5 до+40	-30 до +50	-10 до +50	-10 до +50	-10 до +50	-10 до +50

теодолит; TDM-моторизованный тахеометр; TCA/TDM- автоматический тахеометр; T- электронный теодолит; TM- моторизованный теодолит).

Высокопроизводительный тахеометр TCA2003 можно применять вне системы, как отдельный прибор, для наблюдения за деформациями и перемещениями. Отличительной чертой тахеометра является высокая точность измерений, гибкое и «умное» программное обеспечение, возможность прямого обмена данных через карты памяти PCMCIA или интерфейс RS232.

При наблюдениях за деформациями используются и окуляры с диодным лазером LEICA DL2/DL3, подключаемые к любому прибору фирмы Leica.

Для измерения перемещений можно применять и соответствующие электронные тахеометры других известных фирм, например, Sokkia (Япония).

Линейные размеры дорожных сооружений, их месторасположение позволяют оперативно определять приборы спутниковой глобальной системы позиционирования (GPS). Такими приборами можно обеспечить различную точность измерений (от (5мм +1x10⁻⁶D) на расстоянии порядка 10км до15м). Для таких целей можно использовать GPS-оборудование фирм Trimble(США) и Leica (Швейцария).

Для определения толщин элементов используется большая гамма приборов, разработанных с использованием различных физических явлений (приложение 3).

2.2. Приборы для определения механических свойств материалов мостовых сооружений

Современные приборы для названной цели построены на базе первичных преобразователей, используемых в приборах предыдущего поколения. Особенностью таких приборов является использование электроники для фиксации, накопления, хранения, передачи и обработки измеряемых параметров.

В таблице 2.4 приведен перечень и внешний вид некоторых приборов предыдущего поколения, до настоящего времени используемых для определения деформативно-прочностных характеристик материалов и конструкций мостов и других сооружений.

Для стран, использующих в строительстве стандарты, строительные нормы СССР (или разрабатывающих на их основе собственные нормативы) предприятия России предлагают свои приборы и оборудование для измерений механических характеристик материалов. Наибольшую гамму приборов для неразрушающего определения параметров строительных материалов «в деле» предлагает российское ООО «Стройприбор» (таблицы 2.5, 2.6).

Для применения в условиях Беларуси эти приборы необходимо адаптировать посредством определения тарировочных кривых для местных материалов.

В приложении 4 приведены характеристики некоторых подобных приборов зарубежного производства. Для контроля физико-механических характеристик железобетона без разрушения используются и другие приборы, производства различных фирм.

Так, на территории стран СНГ прочность бетона определяют приборами: склерометром механическим ОМШ-1 (методом упругого отскока, ГОСТ 22690.1-77, 22690-88), склерометром электронным ОНИКС-2.4, ультразвуковыми приборами (по ГОСТ 17624-87).

Используются производимые в странах СНГ приборы контроля прочности бетона ультразвуковым методом различных моделей (УК-10ПМС, УК-14ПМ, Бетон-32, ДУК-11ИМ, УК-10П, УК-12П, УК-15М

(аналоги в приложениях 3,4)). Расположение арматуры в железобетоне и усилия в ней контролируются приборами: ПОИСК-2.3

Таблица 2.2 - Высокоточные электронные теодолиты и тахеометры марки «Leica»

Характеристики		Модели теодолитов и тахеометров			
		TCA2003	TM5005	TDM5005	TDA5005
Измерение углов	Абсолютн.	+	Д. счит.	Д.счит.	Д. счит.
	Точность, ДИН 18723	0,15мгон, 0,5"	0,15мгон, 0,5"	0,15мгон, 0,5"	0,15мгон, 0,5"
Моторизованный теодолит	Точн.позиционирован.	0,5мгон	0,2мгон	0,2мгон	0,2мгон
	Скорость вращения	5-го н/с	5-го н/с	5-го н/с	5-го н/с
Компенсатор	Жидкостн 2-хосевой	+	+	+	+
	Дапаз.уст.	0,07гон	±0,055 гон,3'	±0,055 гон,3'	±0,055 гон,3'
	Точн.устан.	0,1мгон, 0,3"	≤0,3"	≤0,3"	≤0,3"
Измерение расстояний	С дальн.нас.	-	+	-	-
	Инт.уст-во	+	-	+	+
	Стандарт.	1мм+1 ppm	1мм+1 ppm	1мм+1 ppm	1мм+1 ppm
	Дальность с 1/3призм.	2,5/3,5 км	-	2,5/3,5 км	2,5/3,5 км
Клавиатура и дисплей	Жидко-кристал.	+	+	+	+
	Клавиатура	+	+	+	+
Регистрация	Карта пам. РСМСIA	-	+	+	+
	Инт.RS232	+	+	+	+
Зрительная труба	Увеличение	30i	32i	32i	32i
	Диаметр объектива	42мм	42мм	42мм	42мм
	Мин.расст визирован.	1,7м	1,7м	1,7м	1,7м
Вес, кг	Без аккумуляторов и трегера	7,3	6,8	8,2	8,2

Таблица 2.3 - Высокоточные электронные теодолиты марки «Leica»

Высокоточные электронные теодолиты		T1100	T1800	TM1100	TM1800
1	2	3	4	5	6
Измерение углов	Абсолютн.	+	+	+	+
	Точность, ДИН 18723	1мгон, 3''	0,3мгон, 1''	1мгон, 3''	0,3мгон, 1''
Моторизованный теодолит	Точн.позиционирован.	-	-	0,5мгон	0,5мгон
	Скорость вращения	-	-	50гон/с	50гон/с
Компенсатор	Жидкостн., 2-хосевой	+	+	+	+
	Диап.уст.	$\pm 0,07$ гон	$\pm 0,07$ гон	$\pm 0,07$ гон	$\pm 0,07$ гон
	Точн.устан.	0,3мгон''	0,1мгон	0,3мгон	0,1мгон
Измерение расстояний	С дальн.настр.	+	+	+	+
Клавиатура и дисплей	Жидкокр.	+	+	+	+
	Клавиатура	Опция выбор	+	Опция выбор	+
Регистрация данных	Карта памяти РСМСIA	+	+	+	+
	Инт.RS232	+	+	+	+
Зрительная труба	Увеличение	30i	30i	30i	30i
	Диаметр объектива	42мм	42мм	42мм	42мм
	Мин.расст визирован.	1,7м	1,7м	1,7м	1,7м
Вес, кг	Без аккумуля и трегера	5,6	5,9	5,6	5,9

Таблица 2.4 - Некоторые приборы для определения деформативно-прочностных характеристик материалов и конструкций

Название прибора	Вид прибора
1	2
Эталонный молоток Кашкарова с угловым масштабom	
Прибор типа КМ	
Склерометр Шмидта	
Молоток Физделя	
Прибор типа ПМ	
Гидравлический пресс-насос ГПНВ-5	
Ультразвуковой прибор УК-10ПМ	

Окончание таблицы 2.4




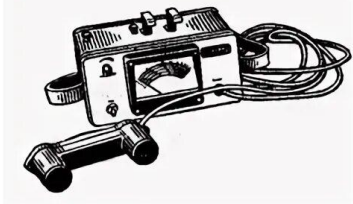
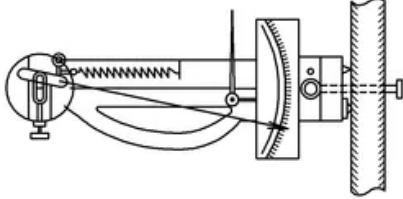
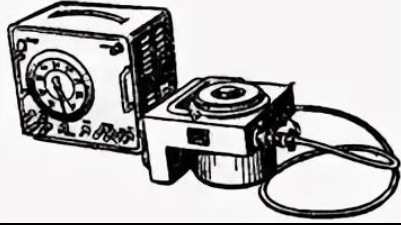
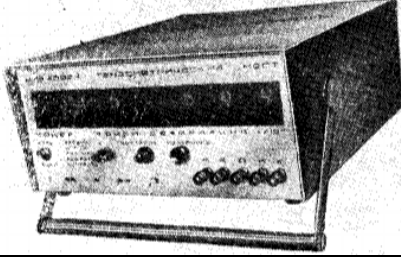
1	2
Индикатор часового типа	
Виброграф ВР-1	
Микроскоп типа МБП-2	
Прибор типа ИЗС-2	
Прогибомер типа ПМ-3 конструкции Н.Н.Максимова	
Тензометры Гугенбергера	
Измеритель деформаций типа АИД	
Измеритель деформаций типа ЦТМ-5	

Таблица 2.5 - Внешний вид и характеристики некоторых приборов неразрушающего контроля ООО «Стройприбор» (г. Челябинск)

Марка прибора	Вид прибора	Основные характеристики
1	2	3
ИПС-МГ4		<p>Микропроцессорный прибор ИПС-МГ4 предназначен для оперативного и лабораторного контроля прочности и однородности бетона, раствора, кирпича, методом ударного импульса по ГОСТ 22690.</p> <p>Диапазон измерения прочности: 3...100 МПа. Предел погрешности измерения прочности не более: 10%. Время одного цикла измерения: 15...30сек. Габаритные размеры: 175x90x30мм. Масса с датчиком: 1,1 кг</p>
ПОС-МГ4		<p>Микропроцессорный прибор ПОС-30-МГ4 (ПОС-50-МГ4) предназначен для неразрушающего контроля прочности бетона (раствора) методом отрыва со скалыванием по ГОСТ 22690.</p> <p>Диапазон измерения прочности: 5...100Мпа. Усилие вырыва анкера: ПОС-30-МГ4: 29,4 кН (3000кГс); ПОС-50-МГ4: 49,0 кН (5000кГс). Предел основной относительной погрешности измерения силы: не более $\pm 2\%$. Размеры анкера (тип II по ГОСТ 22690): D 16x35мм, D 24x48мм. Питание прибора аккумуляторное (5Д-0,26): 6В. Время непрерывной работы: не менее 25 часов. Габаритные размеры: 160x200x220мм. Масса прибора: не более 5,2кг.</p>
Вибротест-МГ4		<p>Микропроцессорный прибор предназначен для контроля и регистрации параметров различных строительных конструкций и механизмов.</p> <p>Технические характеристики: Диапазон измерения: частоты- 2...1000Гц, амплитуды- 0,01...20мм, виброскорости- 3,3-9000м/с; виброускорения-2-400м/с². Погрешность измерения частоты: <1%. Погрешность измерения амплитуды: <4%. Габаритные размеры: 175x90x30мм. Масса прибора: 0,35 кг.</p>

Окончание таблицы 2.5

1	2	3
Вибротест-МГ4		<p>Микропроцессорный прибор предназначен для контроля и регистрации параметров различных строительных конструкций и механизмов.</p> <p>Технические характеристики: Диапазон измерения: частоты- 2...1000Гц, амплитуды- 0,01...20мм, виброскорости- 3,3-9000м/с; виброускорения-2-400м/с². Погрешность измерения частоты: <1%. Погрешность измерения амплитуды: <4%. Габаритные размеры: 175x90x30мм. Масса прибора: 0,35 кг.</p>
Вибротест-МГ4		<p>Микропроцессорный прибор "Вибротест-МГ4" предназначен для оперативного контроля параметров виброплощадок, виброблоков и вибросистем, используемых при формировании бетонных и железобетонных конструкций.</p> <p>Диапазон измерения: частоты- 15...100Гц, амплитуды-0,2...2,5мм. Время одного цикла измерения: <10 сек. Погрешность измерения частоты: <1%. Погрешность измерения амплитуды: <7%. Габаритные размеры: 175x90x30мм. Масса прибора: 0,6 кг</p>
		<p>"Влагомер-МГ4" предназначен для оперативного контроля влажности древесины по ГОСТ 16588 и широкой номенклатуры строительных материалов, в том числе в изделиях, конструкциях и сооружениях по ГОСТ 21718.</p> <p>Диапазон измерения влажности (%): древесина - 4...60; бетон тяжелый 1...5; бетон мелкозернистый (цементно-песчаный раствор): 2...15; бетон на искусственных пористых заполнителях плотностью 1000-1800 кг/м³: 2-20; песок мытый речной, модуль крупности М1,8 и М2,8: 1-15; щебень фракций 3...10: 1-5; - щебень фракций 5-20: 1-3; граншлак: 1-15. Габаритные размеры: 175x90x30 мм. Масса: 0,5 кг</p>

Таблица 2.6 - Предназначение приборов неразрушающего контроля ООО «Стройприбор»

Наименование Прибора	Назначение прибора	Основные технические характеристики
1	2	3
Измеритель прочности бетона ПОС-30-МГ4 «Скол»	Предназначен для неразрушающего контроля прочности бетона методами скалывания ребра и отрыва со скалыванием по ГОСТ 22690. Эффективен при определении прочности бетона на густоармированных конструкциях	Диапазон измерения прочности: методом скола ребра-10-7-МПа; методом отрыва со скалыванием-5-100МПа.
Измеритель прочности бетона ПОС-50-МГ4 «Отрыв»	Предназначен для неразрушающего контроля прочности бетона (раствора) методом отрыва со скалыванием по ГОСТ 22690. Эффективен при определении прочности бетона на густоармированных конструкциях	Диапазон измерения прочности: 5-100МПа.
Измеритель напряжения в арматуре ЭИН-МГ4	Предназначен для оперативного контроля предварительных напряжений в стержневой, проволочной и канатной арматуре железобетонных конструкций частотным методом по ГОСТ 223662.	Диапазон частоты колебаний арматуры:6-160Гц. Диапазон напряжений в арматуре диаметром 5-32мм, длиной 3-18м: 100-1800МПа. Температура эксплуатации: (минус10-плюс40) °С.
Измеритель параметров армирования ИПА-МГ4	Предназначен для измерения толщины защитного слоя бетона, расположения и диаметра арматурного стержня магнитным методом (по ГОСТ 22904), поиска места закладки анкеров	Диапазон измерения толщины защитного слоя 3-70мм. Диапазон диаметров арматурных стержней:3-40мм.

Окончание таблицы 2.6		
1	2	3
Измеритель прочности сцепления (адгезии) ПСО-2,5-МГ4/ ПСО-5-МГ4/ ПСО-10МГ4	Предназначены для определения прочности сцепления фактурных покрытий и т.д.с основанием методом отрыва стальных дисков(пластин) по ГОСТ28089, 28574 и др.	Диапазон измерения прочностисцепления:0,1-35 МПа.
Измеритель температуры и влажности воздуха МГ4Д	Контроль и регистрация влажности и температуры воздуха.	Диапазон измерения температуры: минус 10-плюс 85 °С; влажности-0-99,9%.

защитного слоя бетона толщиной до 120мм), ИЗС-10Н (контроль толщины защитного слоя бетона, до 60мм), ПРД-6 (измерение механических напряжений в арматуре), ПРД-Универсал (универсальный прибор для определения усилий предварительного напряжения в стержневой, прядевой и проволочной арматуре).

Для определения физико-механических характеристик стальных конструкций мостов применяют, как правило, лабораторные или неразрушающие методы. Так, ориентировочно оценить пределы текучести и прочности материалов можно по показаниям твердости, которую в полевых условиях можно измерить портативными твердомерами (54-359М, 54-459М, HLN-11А, TN-130 и др.). Спектральный химический анализ в полевых условиях можно выполнить стилоскопами СЛУ, СПЕКТР, СМУ, Метаскоп, анализатором сплавов модели 9277 Metallurgist-XR(фирма «TN Technologies»)и др.

Для контроля состояния стальных элементов, сварных соединений, наличия дефектов, определения механических характеристик стали, алюминиевых сплавов и других материалов используют различные дефектоскопы: вихревой структуроскоп ВС-30Н (экспресс-контроль прочности изделий из алюминиевых сплавов), дефектоскоп вихретоковый ВД-89Н (обнаружение поверхностных дефектов на изделиях сложной формы из ферромагнитных и неферромагнитных материалов), дефектоскопы ВДЛ-5М (для обнаружения и оценки глубины поверхностных несплошностей и трещин в стальных элементах, МД-43К (обнаружение и оценка поверхностных трещин), ПМД-70 (для выявления поверхностных дефектов в изделиях из ферромагнитных материалов магнитопорошковым методом), «Арматура-1» (для ультразвукового контроля качества сварных стыковых соединений стержней арматуры диаметром 20-80мм), А1212 (для поиска и определения координат различных нарушений сплошности и однородно-

сти материалов, сварных соединений), УЗД МВТУ (для контроля сварных соединений в ЖБК), измеритель глубины трещин ИГТ-10нк, вихретоковые дефектоскопы фирмы “Centurion NDT” для контроля поверхностных и подповерхностных дефектов, цифровой эхоимпульсный портативный дефектоскоп общего назначения ЕРОСН III (фирма “Panametrics”) для обнаружения несплошностей и неоднородностей в основном металле и сварных соединениях, определения их координат, размеров и характера, одностороннего измерения толщин материалов и др.).

К дефектоскопам примыкают приборы, позволяющие исследовать и визуализировать внутреннюю структуру железобетонных изделий и конструкций при одностороннем доступе к ним. Такие приборы используют волны различных длин. Так, ультразвуковой томограф для бетона А1230 (Россия) позволяет обнаруживать дефекты (трещины пустоты, включения) в бетоне размером не менее 30мм при диапазоне исследуемых глубин 20-1000мм.

Подобные возможности дает использование инфракрасного излучения, радиоволн (см. главу 4).

Весьма важным при обследовании конструкций инженерных сооружений является определение величин действующих напряжений в железобетонных и стальных элементах мостов, зон локализации пластических деформаций в стальных элементах (в таких зонах зарождаются трещины).

Для определения деформаций и напряжений в элементах используются как традиционные (тензометрия и другие методы [27]), так и развиваемые в последнее время волновые методы. Так, по данным анализа отраженных от кристаллической решетки исследуемого конструкционного материала зондирующих ультразвуковых импульсов в диапазоне частот 3-15МГц оцениваются одно- и двухосные напряжения в элементах прибором «АСТРОН». Особенностью прибора является его 4-канальное исполнение для одновременного проведения измерений эхо-сигналов по 3-м взаимно перпендикулярным направлениям с термокомпенсацией внешних влияний температуры по 4-му каналу. В приборе используются датчики ультразвуковые 4-х компонентные П-111-6-4К-001. Диапазон измерения напряжений – от $\pm(0,2$ до $0,8)$ предела текучести. Прибор переносной с габаритными размерами 310x230x100 мм и массой 4,5кг в полной комплектации.

Кроме названного, предлагаются и приборы, основанные на других физических принципах. Так, использование эффекта Баркгаузена позволяет измерять напряжения в ферромагнитных материалах при их упругой работе (в ИПФ НАН Беларуси разработана одна из моделей такого прибора).

Фирма “Vallen Systeme”(Германия) разработала акустикоэмиссионную систему AMSY4, предназначенную для многоканальной регистрации и измерений в реальном времени параметров акустической эмиссии. Система используется для неразрушающего контроля и оценки технического состояния при нагружении и эксплуатации производственных объектов и сооружений, включая мостовые конструкции, катастрофическое разрушение которых может привести к значительным экономическим потерям. Аппаратное и программное обеспечения системы имеют следующие особенности:

- число каналов 1-36 с возможностью расширения до 256;
- частотный диапазон 10-2000кГц;
- применение в каждом канале 16-разрядного АЦП с частотой оцифровки 10МГц;
- низкий уровень собственных шумов;
- автоматическая проверка всей системы;
- встроенная система автокалибровки всех каналов с предусилителями и датчиками;
- применение двух управляемых фильтров с крутизной характеристики 54 дБ/октава для отсеки низкочастотных шумов;
- цифровая элементная база на основе 32-х разрядных сигнальных процессоров и ПЛИС, обеспечивает обработку АЭ-сигналов в реальном масштабе времени с быстродействием 420 млн. операций в секунду;
- буферное ОЗУ (до 32 МБ) в каждом канале позволяет сохранять полную информацию о параметрах 400000 событий без обращения к жесткому диску и избежать потерь данных даже при высокой скорости поступления АЭ сигналов;
- до 8 оптоизолированных параметрических входов;
- встроенный промышленный компьютер Pentium;
- полностью 32-разрядное программное обеспечение под Windows, работающее в реальном масштабе времени;
- определение координат источников АЭ (локация);
- фильтрация и кластеризация принимаемых данных;
- анализ формы волны с модальным анализом;
- классификация сигналов (обработка массивов данных формы волны, распознавание типа источников сигналов);
- программно-аппаратная защита от источников постоянного шума;
- диалоговая помощь и наличие начальной обучающей программы.

2.3. Приборы для контроля коррозионной устойчивости материалов мостовых сооружений

Коррозия стальных изделий в бетоне конструкций представляет собой электрохимический процесс, протекающий при функционировании ряда гальванических элементов. При этом возникающий внутри конструкции электрический ток можно измерить на поверхности бетона. Поле потенциала возможно определить при помощи электрода, известного как микрогальваническая пара. Проведя измерения по всей поверхности, находят участки, где протекает коррозия арматуры и где она отсутствует. Этот метод освещен в целом ряде научных исследований и успешно применяется на практике в США, Швейцарии. В Швейцарии проблемой измерения поля потенциалов наиболее подробно занимались специалисты отделения химии и коррозии строительных материалов Швейцарского Федерального Технологического Института в Цюрихе. Цюрихский институт, опираясь на теоретические исследования, начал внедрение прибора CANIN (рис. 2.1) для обнаружения и оценки степени коррозии арматуры на практике. Прибор предназначен для неразрушающего контроля коррозии арматурных стержней в строительных конструкциях из бетона и обнаружения ржавчины на том этапе, когда она еще не определяется визуально и не вызывает разрушений бетона. Преимущества прибора:

- CANIN впервые позволяет производить оценку состояния бетонных конструкций большой площади при непосредственном представлении информации на дисплее индикаторного блока.
- CANIN устанавливает новые стандарты в области обследования строительных конструкций. Большой дисплей, всего 9 операционных кнопок и соответствующее математическое обеспечение делают CANIN уникальным прибором во всем мире.
- На дисплее одновременно может быть с высокой четкостью представлено 240 измерений. В памяти прибора может храниться 120 000 измерений, которые выводятся на дисплей в виде полей по 240 значений. Такой объем памяти позволяет проводить измерения на площади более 4000 м².

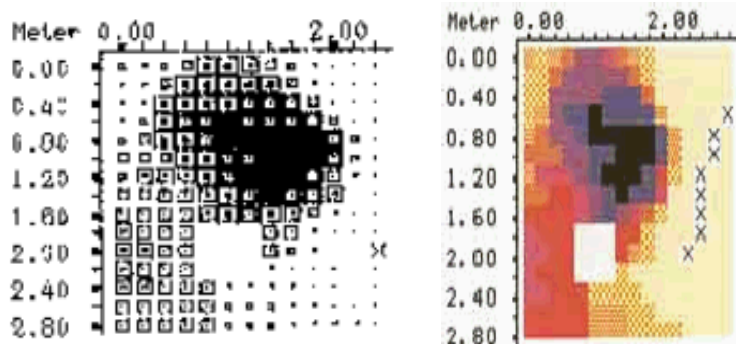
Распечатки содержат:

- Шкалу с 9 черно-белыми или цветными уровнями, соответствующими диапазону потенциалов. Диапазон потенциалов может быть выбран от +200 до -950 mV.
- Сколько значений в процентном выражении может быть измерено в данном диапазоне потенциалов.
- Измеряемая площадь поверхности и количество измерений
- Выбранная ширина колонки x и интервала y в миллиметрах.
- Обозначение системы координат «x-y».
- Номер объекта.



Рисунок 2.1 - Вид прибора CANIN для обнаружения и оценки степени коррозии арматуры

На рисунке 2.2 приведены распечатки непосредственно с прибора CANIN без подключения к ПК через интерфейс.



Принтер:
DICONIX 180

KODAK
500 C

Принтер: HP DeskJet

500 C

Рисунок 2.2 - Распечатка данных с экрана прибора CANIN

3. ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ МОСТОВЫХ ЛАБОРАТОРИЙ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Рассмотрим варианты комплектаций диагностических мостовых лабораторий России.

3.1. Диагностическая мостовая лаборатория НТЦ Госстроя России

Институт «Проектмостореконструкция» (г.Саратов) является базовым центром России по обследованию, испытанию и разработке проектно-сметной документации по реконструкции и ремонту мостовых сооружений (см. сайт <http://bridge-rmr.ru/working/bridge/>). Институтом обследовано более 1500 объектов, в том числе на более 400 из них проведены испытания. Институт обладает тремя ходовыми лабораториями.

Лаборатория предназначена для проведения диагностики, обследований и испытаний мостовых сооружений и строительных конструкций. Она оснащена оборудованием для неразрушающего контроля параметров и характеристик конструкций, средствами измерений, в том числе общих и местных деформаций конструкций, специальными средствами для осмотра и работы в труднодоступных местах.

В комплект лаборатории входят:

- Компьютеризированный комплекс "Лиана-80" (для испытаний конструкций);
- Портативная ЭВМ ("ноутбук");
- Комплект механических приборов (тензометров и прогибомеров) для испытаний мостов;
- Измеритель акустической эмиссии;
- Измеритель защитного слоя бетона;
- Склерометр;
- Определитель марки металла;
- Ультразвуковой толщиномер;
- Ультразвуковой тестер;
- Ультразвуковой прибор "Бетон X-м" для контроля сплошности заполнения бетоном буронабивных столбов;
- Влагомер;
- Лазерный дальномер;
- Ультразвуковой дальномер;
- Эхолот ультразвуковой;

- Электронный уклономер;
- Дорожный курвиметр;
- Комплект геодезических инструментов, включающий высокоточный нивелир;
- Измерительный инструмент (индикаторы, штангенциркуль, линейка, рулетка, микрометр и т.д.);
- Химические средства диагностики;
- Иономер;
- Портативные радиостанции;
- Диктофон;
- Фото- и видеокамера;
- Снаряжение дня промышленного альпинизма;
- Легкое водолазное снаряжение;
- Надувная лодка;
- Электродрель с автономным питанием;
- Бензиновый генератор (электростанция) мощностью 3 кВт;
- Электроинструмент ударно-вращательного действия дня отбора проб бетона и вскрытия арматуры;
- Лестница телескопическая $L_{\max} = 9,5$ м;
- Спецодежда.

3.2. Передвижная мостоиспытательная лаборатория ЗАО «НТЦ Экспертцентр»

Предлагаемая компанией ЗАО «НТЦ Экспертцентр» (г.Москва) передвижная мостоиспытательная лаборатория предназначена для перевозки людей и комплекта электронного и механического оборудования для производства работ, включающих комплексное обследование, диагностику, испытания, паспортизацию и контроль строительства мостовых сооружений. Выпускается на базе автомобилей; ГАЗ-3221 “Газель” или “Баргузин”.

Виды выполняемых работ:

- геодезические работы;
- выявление эксплуатационных и строительных дефектов;
- оценка состояния мостового полотна;
- отбор образцов и проб;
- определение геометрических размеров местных размывов у опор;
- проверка состояния бетонных конструкций неразрушающими методами и методом "выбуривания";
- локализация мест расположения арматуры и толщины защитного бетонного слоя;

- измерение величины напряженного состояния бетона;
- обследование опор и подмостовой зоны;
- статические испытания мостов с определением прогибов балок на всем протяжении;
- паспортизация мостовых сооружений с занесением в банк данных фото- и видеоматериалов.

Таблица 3.1 - Комплект оборудования мостоиспытательной лаборатории:

Приборы и специальное оборудование	Вспомогательное оборудование:
<ul style="list-style-type: none"> -видеокамера; -бинокль; -теодолит; -нивелир; -рулетка; -линейки; -штангенциркуль; -секундомер; -лупа; -измеритель прочности бетона; -измеритель защитного слоя -прогибомер Максимова; -индикатор часового типа ИЧ-50; -эхолот типа ZERCOM LPG 2000; -щупы; -отвесы; -рейка универсальная 3м. 	<ul style="list-style-type: none"> -электроперфоратор; -бензиновая электростанция 2,5 кВт; -спецбагажник с лестницей; -автохолодильник; -лестница-стремянка; -комплект шанцевого инструмента; -жилетки монтажные; -каска строительные; -фонарь; -канистра для бензина; -канистра для масла; -канистра для воды; -ведро.

Возможности программного обеспечения лаборатории.

Программное обеспечение позволяет осуществлять ввод и вывод текстовой и фото (видео) информации о состоянии мостового сооружения, включая особенности конструкции и обнаруженные дефекты, их каталогизацию, хранение, поиск в банке данных.

Особенностями конструкции передвижной лаборатории являются надежное крепление и легкоъемность всего оборудования, свободный доступ к инструменту и механизмам, высокие эргономические характеристики салона. Окраска пере-

движной мостоиспытательной лаборатории выполнена в соответствии требованиям ОСТ 218.011-99 "Машины дорожные. Цветографические схемы, лакокрасочные световозвращающие покрытия, опознавательные знаки и надписи. Общие требования". Передвижная мостоиспытательная лаборатория имеет сертификат одобрения типа транспортного средства, соответствует экологическим требованиям и требованиям техники безопасности.

3.3. Мобильный измерительный комплекс для проверки мостов

Комплекс предназначен для определения грузоподъемности несущих конструкций железобетонных и металлических мостов. Используя различные комбинации программно-аппаратных средств, МИК можно применять для оценки состояния покрытия автомобильных дорог, технического контроля и диагностики зданий, сооружений и других конструкций. Комплекс является одной из разработок НТЦ «Техническая диагностика и прецизионные измерения» (см. www.diag-meas.ru).

Мобильный измерительный комплекс (МИК, рис.3.1) включает:

- Шасси ГАЗ - 2752 с комплектом мебели и стеллажами.
- Мобильный персональный компьютер PCI (может быть использован любой компьютер с шиной PCI).
- Прецизионная 16-канальная 16-разрядная плата ввода сигналов с 16-ю дельта-сигма АЦП с дифференциальными входами, частота дискретизации до 48кГц на канал, PCI bus; ЦАП 16 разрядов до 48 кГц (число синхронно работающих плат не более 16).
- Датчик угловых отклонений от горизонта (точность $\pm 0,2$ угл. сек при времени осреднения 2 сек.).
- Датчик линейных ускорений (точность измерения динамических линейных вертикальных прогибов ± 0.05 мм).
- Прецизионный источник питания датчиков.
- Приспособление для установки датчиков на полотно дороги.
- Комплект кабелей.
- Оборудование электропитания**, состоящее из:
 - инвертора 600VA 12VDC/220VAC 50Hz;
 - 600VA 12VDC/220VAC 50Hz,
 - 1...3 аккумуляторов,

-трех зарядных устройства 220VAC 50Hz/12VDC для подзарядки аккумуляторов;

-инвертора 150VA12VDC 220VAC 50Hz.

-Комплект программно-методического обеспечения управления аппаратными средствами, отображения и анализа данных, для определения грузоподъемности пролетных строений.

Измеряемые параметры: статические (линейные и угловые) перемещения; углы поворота элементов несущих конструкций; динамические перемещения; период собственных колебаний; логарифмический декремент затухания.

Выходные параметры: все виды напряжений и деформаций в любой точке сечений элементов несущих конструкций, грузоподъемность пролетных строений (нормативная, по несущей способности).

Технические характеристики:

-продолжительность развертывания и подготовки аппаратных средств - не более 40 мин;

-число измерительных каналов - 16 и более

-точность измерения: линейных величин - ± 0.05 мм; угловых - перемещений - $\pm 0,1$ угл. сек;

-погрешность определения грузоподъемности - $\pm 10\%$;

-длина измерительных линий- до 1000м

-ПО на платформе WINDOWS.

Методика определения грузоподъемности пролетных строений постоянных железобетонных мостов разработана на основе экспериментальных и теоретических исследований фактической несущей способности железобетонных балочных пролетных строений автодорожных и городских мостов. В методике применен способ определения фактической жесткости конструкции пролетных строений посредством опытного статического нагружения пролетного строения одиночным автомобилем. Применение данного способа дает возможность с помощью разработанной программы расчета "Мост" получать фактические параметры напряженно-деформированного состояния элементов пролетных строений от любой заданной нагрузки, исключив в большинстве случаев необходимость проведения дорогостоящих испытаний сооружения. В железобетонных пролетных строениях, в отличие от металлических, определить расчетным путем фактическую жесткость и, соответственно, прогибы (углы поворота) главных балок труднее, т.к. жесткость зависит, прежде всего, от составных частей бетона, которые могут менять свое соотно-

шение на отдельных участках балки. Как следствие по длине и высоте балки получают различные модули упругости. Определение фактического момента инерции также встречает затруднения, так как неизвестно, какая часть примыкающей железобетонной плиты вступает в работу совместно с ребром.

Все эти проблемы с предварительным вычислением напряжений в балках пролетных строений вынуждают проверять их опытным путем. С этой целью проводится опытное статическое нагружение одиночным автомобилем и измерением углов поворота проверяемых главных балок. Вес автомобиля не должен превышать величины необходимой для перехода работы балок пролетного строения в упруго-пластическую стадию (определяется расчетом), т.е. до начала процесса микротрещинообразования в бетоне. Определение фактической жесткости главных балок пролетных строений производится в соответствии со следующим алгоритмом определения грузоподъемности:

- полученные при статическом нагружении одиночным автомобилем исследуемого пролетного строения углы поворота главных балок сравниваются с расчетными величинами, предварительно определенными по программе расчета "Мост" при адекватной схеме нагружения;

- из отношения углов поворота находится конструктивная поправка, отражающая фактические условия работы пролетного строения под нагрузкой; конструктивная поправка уточняет полученные ранее жесткостные характеристики пролетного строения, которые затем вводятся в расчет грузоподъемности проверяемого моста по программе "Мост".

Примененный диагностический метод определения перемещений ориентирован на оперативное измерение одной из главных характеристик работы сечений балок мостов - углов поворота сечений. Ядром изложенной системы являются прецизионные многоканальные измерительные комплексы для регистрации и обработки сигналов при проведении испытаний, в состав которых входят:

- Мобильный, стационарный или одноплатный компьютер.
- Инструментальные платы АЦП, ЦАП в формате ISA, PCI, USB модули ввода-вывода в формате PC/104.
- Нормализаторы сигналов термомпар, терморезисторов, тензомостов, преобразователи частота-напряжение.
- Датчики различных типов.
- Программное обеспечение: сбор, обработка, отображение, анализ сигналов.



Рисунок 3.1 - Вид основных компонент мобильного измерительного комплекса для проверки мостов

С использованием комплекса производится:

- оценка технического состояния автомобильных мостов по величинам динамических прогибов пролетов, возникающих при прогоне по мосту весовой нагрузки с эксплуатационными скоростями (вертикальные перемещения элементов конструкций мостов могут определяться с погрешностью 0.03...0.05 мм);
- оценка состояния покрытия автомобильных дорог;
- транспортные и стендовые испытания различных образцов техники, в том числе: измерение вибраций, давлений, деформаций, усилий, линейных и угловых перемещений, температур, напряжений.
- технический контроль и диагностика сложных механических систем.
- идентификация моделей многомерных динамических систем.
- контроль низкочастотных колебаний зданий и сооружений.

4. ГЕОРАДАРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ

4.1. Принцип действия георадара. Георадарные технологии

В дорожной отрасли существует множество задач, решение которых требует исследования структуры верхних слоев грунта, дорожных покрытий, строительных конструкций транспортных сооружений. Характерными особенностями этих задач являются условия неразрушения исследуемой среды, глубинность исследования и требуемая разрешающая способность по глубине и в плане. Подобные задачи призваны решать радиолокационные методы исследований среды, часто называемые георадиолокационным подповерхностным зондированием (ГПЗ) или сокращенно просто георадарным методом [32, 33, 51 - 53].

Георадарный метод основан на явлении отражения электромагнитной волны от поверхностей, на которых скачкообразно изменяются электрические свойства — электропроводность или диэлектрическая проницаемость (электропроводность — способность проводить электрический ток; диэлектрическая проницаемость — характеристика среды, показывающая во сколько раз в данной среде силы взаимодействия между зарядами уменьшаются по сравнению с вакуумом).

Распространение электромагнитных волн в среде подчиняется законам геометрической оптики.

Имеется два типа отраженных волн. К первому типу относятся отраженные волны, образующиеся в случае, когда поверхность раздела является плоской или квазиплоской, т.е. размеры ее не ограничены. Примером такой поверхности является граница между слоями грунтов с различными диэлектрическими свойствами. Интенсивность отраженных волн при прочих равных условиях определяется контрастностью электрических свойств контактирующих сред.

Ко второму типу относятся дифрагированные волны, образующиеся на контактной поверхности, один или все размеры которой сравнимы с пространственной длительностью падающего на объект импульса электромагнитной волны. Примерами поверхностей рассматриваемого типа являются трубы, расположенные в грунте (их длины много больше диаметра; захороненные металлические контейнеры или металлические предметы, электрические кабели, локальные неоднородности в грунте, подземные полости. Интенсивность дифрагированных волн зависит от формы и площади контактной поверхности, контраста электрических свойств контактирующих тел и длительности зондирующего электромагнитного импульса. На радарограммах наличие ло-

кальных объектов выражается в виде гиперболы, вершина которой соответствует местоположению объекта.

Схема образования отраженной волны от границы раздела двух сред и дифрагированной волны от локального объекта показана на рисунке 4.1.

Аппаратура, с помощью которой производятся подобные исследования, называется георадаром. Работа георадара основана на использовании классических принципов радиолокации. Передающей антенной прибора излучаются сверхкороткие, полутаропериодные электромагнитные импульсы в единицы и доли наносекунд. Импульс отражается в среде от геологических границ или от неоднородностей. Отраженный импульс принимается приемной антенной, усиливается, преобразуется и запоминается. Получение полевой информации при георадарной съемке производится при перемещении блока антенн георадара вдоль профиля. При передвижении антенны вдоль профиля формируется непрерывный временной разрез изучаемой среды – радарограмма. Для более точной привязки профилей наблюдения к местности, используется замер длины выполненного профиля специальным датчиком – измерительным колесом, жестко связанным с блоком антенн георадара.

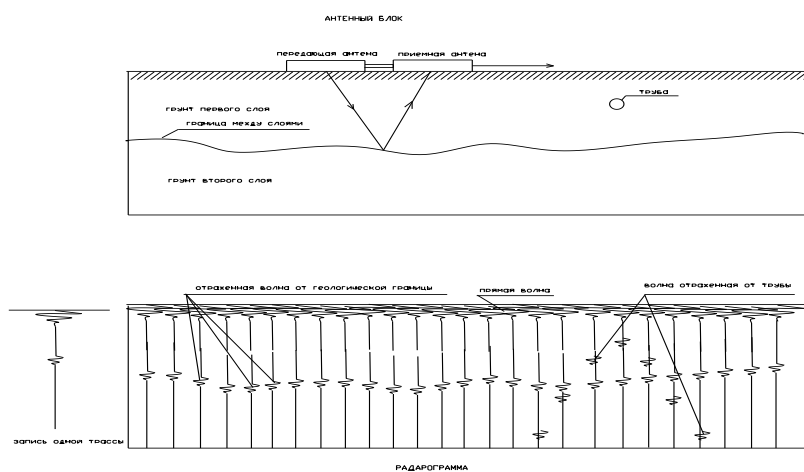


Рисунок 4.1 - Схема работы георадара

Радарограмма представляет собой серию записей сигналов (трасс, прошедших к приемной антенне). Горизонтальная ось радарограммы – ось профиля в метрах. Вертикальная ось радарограммы – ось времени распространения сигнала.

Волновая картина может быть представлена различными способами: методом отклонений; методом отклонений с зачернением; методом переменной плотности. В последнем случае нулю амплитуды соответствует серый фон, положительным амплитудам соответствуют все более черные тона

вплоть до черного, а отрицательным амплитудам сигнала соответствуют все более светлые тона, вплоть до белого. В этом случае трасса на экране будет представлена одной вертикальной линией. На экране может быть размещено до 640 трасс.

Основной величиной, измеряемой при георадарных исследованиях является время пробега электромагнитной волны от источника до отражающей границы и обратно до приемника. Время измеряется в наносекундах (t , нс), (нано - приставка, обозначающая одну миллиардную часть измеряемой величины, 10^{-9} с, от греческого nanos - карлик).

Для того чтобы найти расстояние до границы отражения, необходимо кроме времени пробега знать скорость пробега электромагнитной волны (v):

$$S = v \cdot t,$$

$$V = c / \sqrt{\epsilon},$$

где: c – скорость распространения электромагнитного импульса в вакууме; ϵ - диэлектрическая проницаемость среды (свойство среды).

Поскольку скорость распространения электромагнитной волны в различных средах различна, по времени прихода отраженных волн можно судить о свойствах исследуемого объекта. Скорость распространения электромагнитной волны в некоторых средах приведена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Скорости распространения электромагнитных волн в средах

Среда	ϵ , диэлектрическая проницаемость	Скорость электромагнитной волны, см/нс	λ , м
Воздух	1	30	3
Лед	3	17	1.7
Песок сухой	5	13	1.3
Глина	16	7.3	0.75
Вода	81	3.3	0.3

При георадарных исследованиях в дорожном строительстве используются георадары производства фирм GSSI (New Hampshire, США), Sensor and Software Inc., Geophysikal Survey Systems Inc. (Канада), Era Technology (Великобритания), MALA (Швеция), Radar Systems (Латвия), OYO Corporation (Япония), Geosondas (Литва). В России производством георадаров занимаются различные фирмы (НПО «ИНФИЗПРИБОР», НИИ приборостроения и др.).

В таблице 4.2 приведены сравнительные характеристики некоторых георадаров, наиболее часто используемых на территории стран СНГ.

Таблица 4.2 - Технические характеристики георадаров

Тип георадара	Тип антенного блока	Центральная частота, МГц	Глубина зондирования, м	Разрешающая способность, М	Масса комплекта/АБ, кг	Потребляемая мощность, Вт
1	2	3	4	5	6	7
Геон	АБ-25	25	20-30	2,0	12,0(6,0)	8,0
	АБ-50	50	15,0-20,0	1,0	11,0(5,0)	8,0
	АБ-100	100	8,0-15,0	0,5	11,0(4,0)	8,0
Гея	АБ-250	250	4,0-8,0	0,25	14,0(8,0)	7,0
	АБ-400	400	2,5-5,0	0,15	8,5(2,5)	6,0
Зонд	АБ-700	700	1,0-3,0	0,1	4,5(1,25)	5,0
	АБ-1200	1200	0,5-0,8	0,05	3,75(0,5)	5,0
Око	АБД-25	25	20-30	2,0	12,0(6,0)	8,0
	АБД-50	50	15-20	1,0	11,0(5,0)	8,0
	АБД-100	100	10-15	0,5	10,0(4,0)	8,0
	АБ-150	150	6-12	0,35	20,0(15,0)	7,0
	АБ-25	250	4-8	0,25	14,0(8,0)	7,0
	АБ-400	400	2-5	0,15	8,5(2,5)	6,0
	АБ-500	500	1,5-4,0	0,12	5,5,(1,55)	5,0
	АБ-700	700	1-3	0,1	4,5(1,25)	5,0
	АБ-1200	1200	0,3-0,8	0,05	3,75(0,5)	5,0

В США и Австралии ведутся интенсивные работы по созданию нового типа георадара с частотным сканированием. В этой схеме лока-тор работает последовательно на сетке частот и снимает спектр сигнала. После этого спектр нормируется на предварительно снятую ча-

стотную характеристику приемного тракта и преобразуется во временную область.

Частотный диапазон георадара обычно изменяется в пределах 50-2000 МГц, что является компромиссом между глубиной зондирования в единицы - десятки метров и разрешающей способностью в единицы - десятки сантиметров для реальных геологических структур. Получили развитие и более высокочастотные радары, имеющие верхнюю частоту до 40 ГГц, которые имеют глубину зондирования в единицы - десятки сантиметров и используются, в основном, для анализа состояния бетонных строительных конструкций.

Технические характеристики практически всех георадаров и их схемные решения мало отличаются друг от друга. За основу технического решения принят метод стробоскопического преобразования спектра сигнала в область низких частот, в которой и происходит его регистрация.

4.2. Использование георадара в дорожной отрасли

В настоящее время георадары в дорожной отрасли используются для выполнения следующих работ [23]:

- оценка объемов выполненных скрытых работ, например, объема выторфовки, замены пучинистых либо слабых грунтов;
- определение толщины конструктивных слоев дорожной одежды и грунта земляного полотна;
- определение относительного уплотнения материалов дорожной одежды и грунтов земляного полотна, как по толщине так и длине дорожной конструкции;
- определение неоднородных включений, пустот и переувлажненных зон в теле дорожной конструкции;
- оценка поперечных уклонов и просадок грунтов земляного полотна в подстилающих грунтах;
- контроль возможных мест нарушения устойчивости откосов земляного полотна;
- определение пути инфильтрации поверхностных и грунтовых вод вблизи искусственных сооружений;
- определение месторасположения в дорожной конструкции и целостности геотекстильных прослоек;
- контроль сплошности водопропускных труб по миграции воды вблизи ее внешних стен;
- определение толщины льда, линз и глубины промерзания или оттаивания грунта;

- определение глубины заложения инженерных коммуникаций и искусственных сооружений;
- оценка объемов строительных материалов в карьерах;
- определение положения уровня грунтовых вод;
- оценка несущей способности дорожных конструкций на основе косвенных признаков (толщин слоев дорожной одежды и влажности грунтов земляного полотна).

Особенностью применения георадара в дорожной отрасли является возможность быстрого получения длинных и непрерывных профилей волнового изображения. В результате появляется возможность подповерхностного «сканирования» при выполнении перечисленных видов работ.

Технология ГРЗ в отличие от бурения позволяет обследовать дорогу не «точечно», а непрерывно без нарушения целостности ее покрытия. Данные ГРЗ изображаются в виде радарограмм, которые показывают распространение электромагнитных волн в разрезе дороги. Для построения разрезов на основании георадарограмм необходимы данные бурения скважин, которые позволяют определить электрофизические параметры и состав слоев дорожной одежды. Места заложения параметрических скважин выбираются в соответствии с изменчивостью разреза дороги, устанавливаемой по характеру радарограмм.

Для повышения качества исследования дорожного покрытия антенный блок должен закрепляться на автомобиле и обеспечивать работу ГПЗ с отрывом антенны от поверхности дорожного покрытия на 20-30 см [24]. В этом случае сигнал прямого прохождения из передающей антенны георадара в приемную не маскирует слои дорожного покрытия, расположенные в непосредственной близости от поверхности. Для таких целей применяются антенные рупорные блоки. Рупорный АБ имеет более узкую диаграмму направленности по сравнению с приведенными в таблице 2. Такие блоки характеризуются повышенной помехозащищенностью и пространственной разрешающей способностью. Так, разработанный специально для исследования дорожных покрытий георадаром типа «Око» антенный рупорный блок АБ-1700Р при отрыве от поверхности в 20 см позволяет более контрастно выделять границы слоев [24, 25] и позволяет несколько снизить требования к квалификации специалистов по расшифровке радарограмм.

4.3. Примеры использования георадара при обследовании зданий и сооружений

Георадар «Око» с антенными блоками АБ1200 и АБ250 использовался при проведении обследования ряда зданий и инженерных сооружений. Георадар использовался для просвечивания пола и стен в промышленных

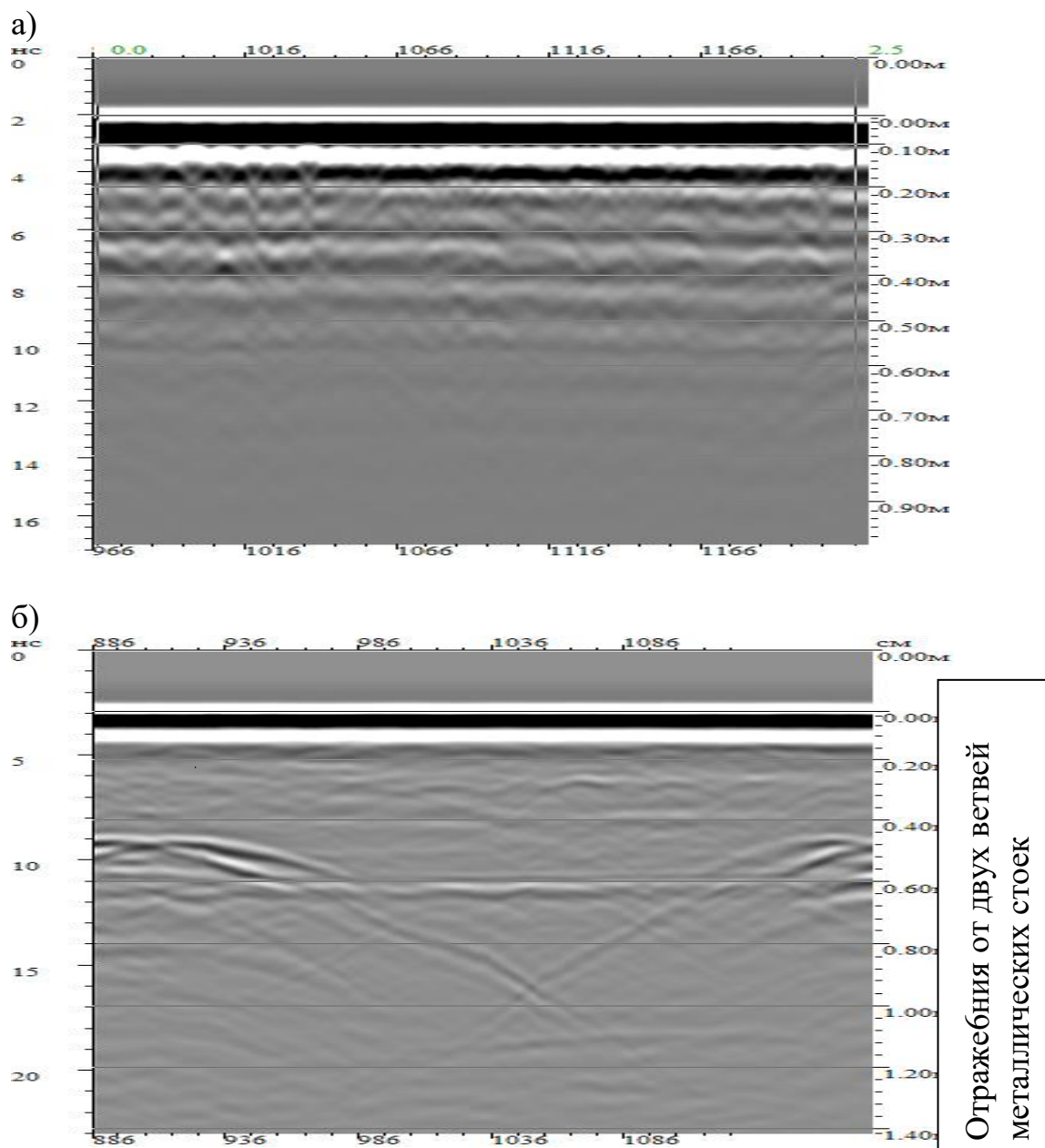
корпусах старой постройки, на которые отсутствовала проектная документация. С помощью георадара были выявлены подпольные каналы, пустоты, коммуникации.

На рисунке 4.2 в качестве примера приведены радарограммы двух стен. Первая радарограмма получена на многослойной стене, со слоем утеплителя внутри, вторая сделана на кирпичной стене, усиленной внутри металлическими двухветвевыми стойками.

На рисунке 4.3 приведена радарограмма подпольного пространства котельной. На радарограмме отображены: граница железобетонного перекрытия, прямка под котлы котельной, рядом с прямой выявлены четыре высоковольтных кабеля, уложенных хозспособом, информации о которых не было на сохранившихся чертежах, а также труба с коммуникациями. Как было установлено в ходе дальнейшего обследования, прямка был наполовину затоплен водой. Уровень воды и стал одной из границ отражения зафиксированных на радарограмме.

Георадар позволяет проследить дефекты внутри массивных подземных конструкций. Так радарограммы приведенные на рисунке 4.3, выполнены на бетонной стене подземного сооружения, имеющей видимые с поверхности стены трещины. Радарограммы позволили установить, что в первом случае (рисунок 4.4а) трещина развивается в приповерхностном слое стены на глубину нескольких сантиметров. Во втором случае (рисунок 4.4б), трещина прорезает всю стену. Радарограмма, приведенная на рисунке 4.4в, сделана на участке стены расположенном в обводненном грунте. В последнем случае противоположная граница стены получилась более контрастной.

Таким образом, применение георадара при обследовании позволяет наиболее приемлемым для заказчика неразрушающим методом получить информацию об объекте: определить наличие внутренних дефектов конструкций, оценить границы этих дефектов, определить расположение подземных коммуникаций, подпольных каналов, прямков, пустот. Исследования с помощью георадара отличаются высокой технологичностью и достаточно низкой стоимостью.



а – многослойная стена; б – кирпичная стена, усиленная внутри металлическими стойками

Рисунок 4.2 - Радарограммы стен.

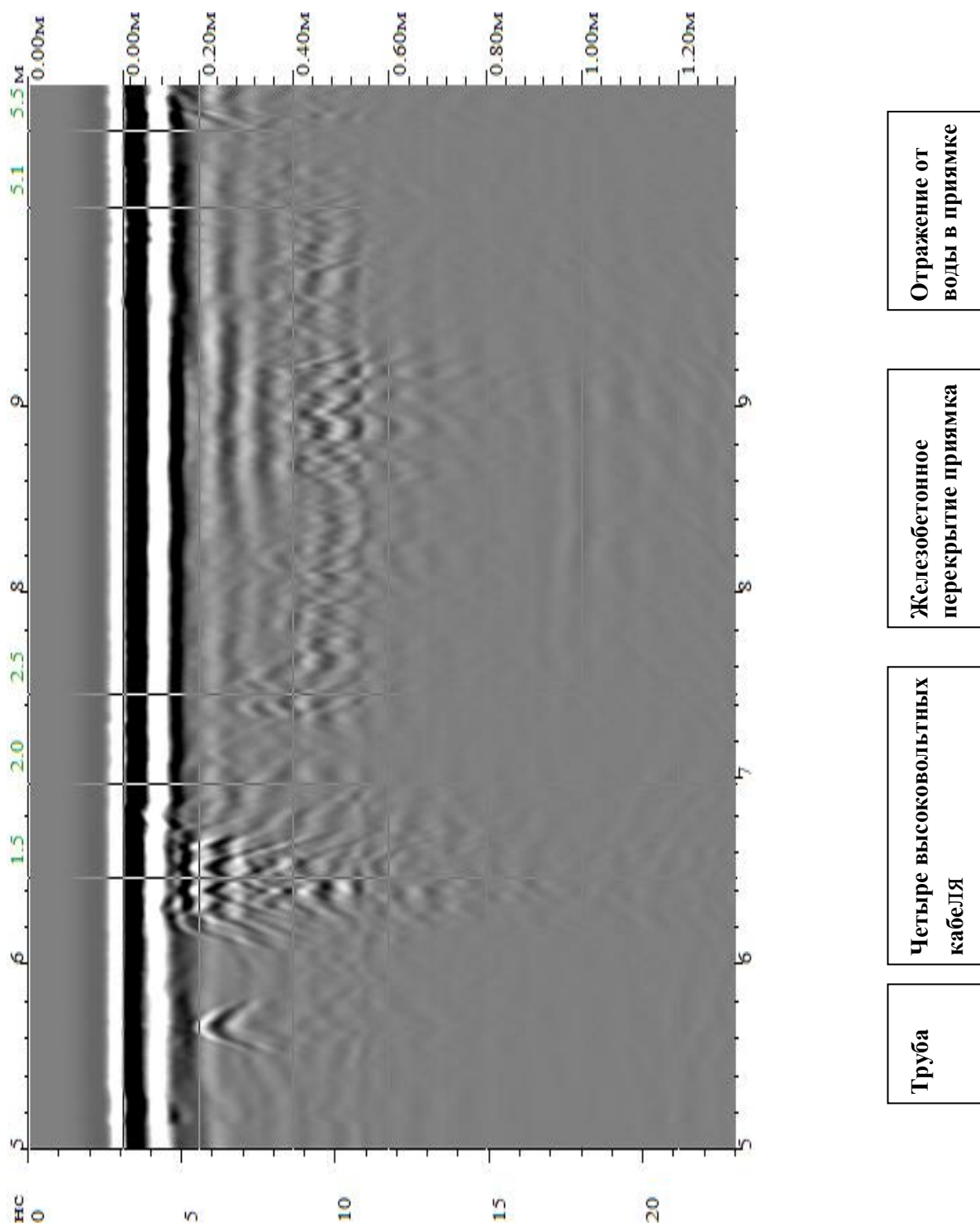
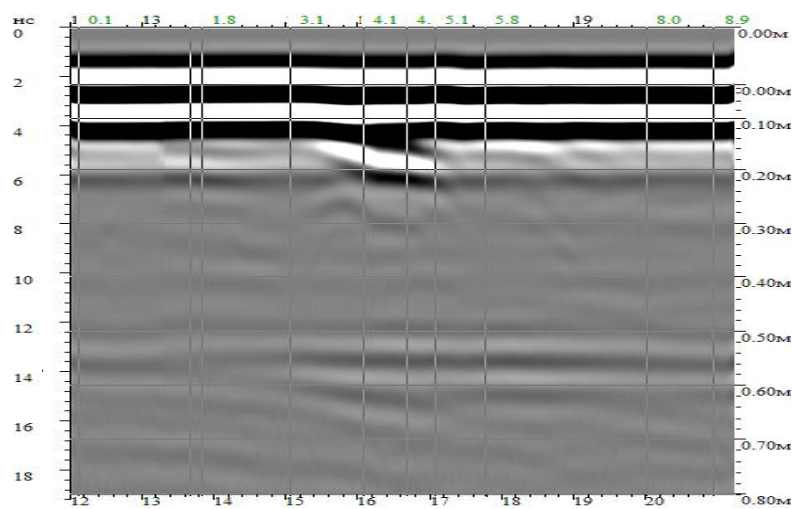
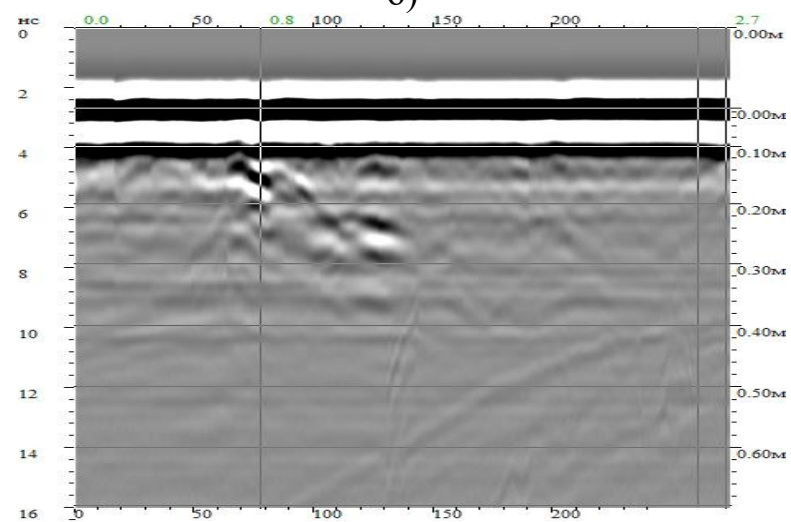


Рисунок 4.3 - Радарограмма подземного пространства под
полом котельной

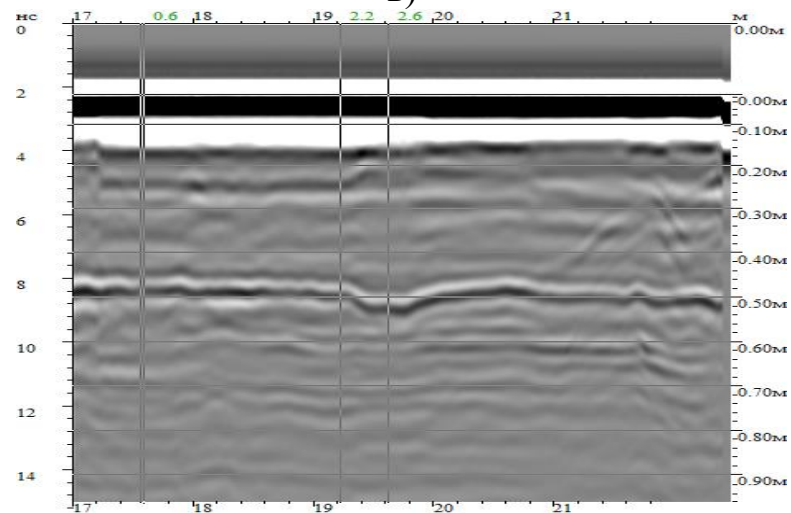
а)



б)



в)



а) – трещина в поверхностном слое; б) – трещина проходит через всю стену; в) – грунт за стеной обводнен

Рисунок 4.4 - Радарограммы подземных бетонных стен

5. ТЕПЛОВОЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ В ДОРОЖНОМ И МОСТОВОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

5.1. Общие сведения о тепловом контроле

Физическая сущность и технология теплового неразрушающего контроля изложена в литературе [34 – 37, 54 - 57]. Методы неразрушающего теплового контроля применяют при исследовании тепловых процессов в объектах, в которых в большинстве случаев регистрируется поверхностное тепловое или температурное поле тела, в пространственно-временной структуре которого содержатся "отпечатки" внутренних геометрических или теплофизических аномалий.

Необходимым условием применения ТК является отличие интегральной или локальной температуры объекта или его части от температуры окружающей среды. Терминология ТК определена ГОСТ 18353-79, ГОСТ 23483-79 и рядом отраслевых документов. Там же приведена классификация видов и способов ТК. На практике наиболее существенно деление ТК на активный и пассивный, одно- и двухсторонний, синхронный и несинхронный. Пассивный способ ТК применяется для объекта испытаний, характеризующегося аномальным выделением теплоты в месте потенциального дефекта. Пассивным способом можно, например, обнаружить локальное увлажнение пористого материала, так как такой участок с аномальным содержанием влаги вследствие испарения воды имеет пониженную температуру.

Если до проведения испытаний температура тела во всех точках одинакова (может быть равной температуре окружающей среды), то обнаружение внутренних дефектов возможно активным ТК. Например, в ряде конструктивных элементов возможны неодинаковые тепловые свойства в различных объемах тела и отсутствие диффузии между такими объемами (арматура в железобетоне, сварной шов в соединении и т.д.). При нагреве таких изделий внешним источником тепловой поток, распространяясь в глубь изделия, на граничных участках испытывает дополнительное тепловое сопротивление. В результате этого наблюдается локальное повышение температуры на нагреваемой поверхности, а на противоположной поверхности изделия в силу закона сохранения энергии знак температурного сигнала инвертируется. При механическом нагружении изделий, например, посредством изменяющейся во времени нагрузки, в области внутренних дефектов в элементе конструкции вследствие внутреннего трения и пластической деформации рассеивается энергия в форме тепла, что повышает температуру дефектного участка. Фиксируемое изменение температуры в зонах конструктивно-технологических дефектов могут вызывать и другие физические причины [34 - 37, 54, 55].

Таким образом, объектами ТК в дорожной отрасли могут быть как тепловыделяющие тела в какой-то период их работы (асфальтобетон, цементобетон на стадии изготовления, транспортирования, укладки, эксплуатации), так и элементы конструкций из названных и других материалов, способные рассеивать тепло в зонах конструктивно-технологических неоднородностей, дефектов (дефектные структуры с трещинами, порами, раковинами, непроварами, участками плохой тепло- и электроизоляции, неоднородным составом, посторонними примесями, зонами термического и усталостного перенапряжения, а также с отклонениями геометрических и теплофизических характеристик от допустимых значений) [55]. Перспективным для обследований мостовых конструкций является анализ полей напряжений в стальных и других элементах мостовых конструкций с использованием теплового излучения исследуемой конструкции (по схеме системы SPATE). Эта система основана на измерении малых изменений температуры инфракрасного излучения, которые сопровождают изменение напряжений в исследуемом элементе конструкции. С помощью системы SPATE могут регистрироваться изменения температуры меньшие, чем 10^{-3}K [36]. Методу присущи и явные достоинства по сравнению с другими методами, но существенными являются и ограничения [36].

Возможности ТК ограничены в основном теплопроводностью (метод не применим или плохо применим для материалов как с высокой, так и с низкой теплопроводностью); структурными помехами, вызванными флуктуациями теплофизических и оптических свойств объектов контроля; внешними тепловыми помехами (для ИК-систем).

Технические средства регистрации собственного теплового излучения разрабатываются с 1800г., т.е. с момента открытия В.Гершелем ИК-участка спектра. Развитие этих средств шло от первого устройства В.Гершеля, регистрировавшего тепловое излучение по неравномерному испарению спирта из тонкой фильтровальной бумаги. Затем появились болометры, фотоприемники, фоторезисторы, электронно-оптические преобразователи, различные эвапорографы. Развитие техники регистрации собственного теплового излучения стимулировали потребности военных технологий (приборы ночного видения). Первый малокадровый тепловизор создан в США в 1952г. К сегодняшнему времени достигнуты значительные успехи в разработке аппаратуры для бесконтактного измерения температуры для различных отраслей деятельности человечества.

5.2. Краткие сведения о физических основах теплового контроля

Между различными составляющими дорожностроительных объектов, дорожными объектами и окружающей средой, дорожной одеждой

и транспортными средствами и т.д. происходит обмен тепловой энергией в процессе их эксплуатации. Источники тепловой энергии могут располагаться как вне, так и внутри объектов (солнечная энергия; конденсация; плавление; затвердевание веществ, входящих в состав дорожной одежды, земляного полотна; теплота деформирования дорожной одежды; теплота деформирования колес транспортных средств; теплота, выделяющаяся в процессе деформирования элементов строительных конструкций транспортных сооружений и т.д.). Соответственно и стоками теплоты могут быть составляющие дорожных объектов, смежные объекты, окружающая среда и т.д. Между источниками и стоками возникает и развивается во времени процесс теплопередачи, характеризующийся переносом теплоты из пространства с более высокой температурой(источник) в область пространства с более низкой по сравнению с источником температурой(сток). При этом передача тепла может происходить как посредством контактов, соударений при перемещении частиц на атомно-молекулярном уровне(теплопроводность), так и при перемещении макрообъемов вещества (конвекция). Теплообмен излучением осуществляется при расположении источника и стока на некотором расстоянии между собой. При этом между источником и стоком может находиться вакуум или некоторая промежуточная среда в газообразном, жидком или твердом состояниях. Процесс излучения имеет электромагнитную природу и обусловлен возбуждением атомов и молекул внутри вещества, при котором возникают излучательные переходы электронов. Выделяющаяся при таких переходах энергия уносится от источника излучения квазичастицами – квантами (фотонами) электромагнитного поля. Величина выделяющейся энергии W обратно пропорциональна длине волны λ испускаемого излучения:

$$W = h c / \lambda,$$

где $h=6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка, $c \approx 3 \cdot 10^8$ м/с - скорость света в вакууме.

В веществах при тепловом возбуждении молекул могут происходить всевозможные переходы электронов. При этом каждый атом излучает определенную его движением энергию, а энергетические уровни всех атомных излучателей принимают все возможные значения. Распределение энергии по длинам волн при тепловом возбуждении – непрерывное (спектр испускания излучения непрерывный). В некоторых средах разрешенными являются только строго определенные (квантованные) переходы электрона внутри атома. В таких средах излучение происходит на дискретных длинах волн (спектр излучения линейчатый). Вещества обладают способностью не только излучать, но и поглощать излучение. Процесс поглощения происходит на длинах волн, характерных для конкретной среды и является селективным.

Часть электромагнитного спектра с длинами волн $\lambda=0,75-1000\text{мкм}$, соответствующая температурам, наблюдаемым на поверхности Земли, называют инфракрасным. Указанный интервал инфракрасного излучения разделяют на три участка (с учетом технологий его фиксации): ближняя инфракрасная область ($\lambda \leq 1,5\text{мкм}$); средняя инфракрасная область ($\lambda = 1,5-20\text{мкм}$); дальняя инфракрасная область ($\lambda = 20-1000\text{мкм}$).

Закономерности теплового излучения абсолютно черного тела (т.е. тела, способного полностью поглощать все падающее на него излучение) базируются на электромагнитной теории Максвелла и описываются основными физическими законами излучения [26]:

- при одинаковых длинах волн и одинаковых температурах у всех тел коэффициенты излучения $\epsilon_{\lambda T}$ равны коэффициентам поглощения $\alpha_{\lambda T}$ (закон Кирхгофа);

- зависимость распределения энергии излучения по спектру длин волн от абсолютной температуры имеет вид

$$E_{\lambda T} = c_1 \lambda^{-5} [\exp(c_2/\lambda T) - 1]^{-1} \text{(закон Планка);}$$

- излучение на всех длинах волн от $\lambda = 0$ до $\lambda = \infty$ элементом с площадью поверхности 1 см^2 в течение 1 секунды в пределах телесного угла 2π определяется соотношением $E = \kappa_{sb} T^4$ (закон Стефана-Больцмана);

- излучение абсолютно черного тела достигает максимума при определенной длине волны $\lambda_{max} = 2898/T$ (закон смещения Вина),

где $\kappa = 1,380662 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ (постоянная Больцмана),

$c_1 = 3,741832 \cdot 10^{-16} \text{ Вт} \cdot \text{м}^2$ (первая постоянная излучения),

$c_2 = 1,438786 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{К}$ (вторая постоянная излучения),

T – абсолютная температура,

$\kappa_{sb} = 5,67032 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$.

Излучение реальных объектов отличается от излучения абсолютно черного тела и зависит в основном от поглощательной способности конкретного тела. Способность конкретных (серых) тел поглощать излучение всегда меньше таковой для черного тела.

При взаимодействии инфракрасного излучения с реальными, серыми, веществами наблюдаются эффекты отражения, поглощения и пропускания излучения. Сумма соответствующих коэффициентов, характеризующих доли поглощенной, отраженной или пропущенной энергии излучения относительно энергии, падающей на вещество, равна единице. При использовании инфракрасного излучения для изучения температуры объекта (инфракрасная термография) необходимо особое внимание уделять отражательной способности объекта, которая всегда тем выше, чем меньше коэффициент излучения. Коэффициент излучения может изменяться для реальных веществ от 0 до 1. Наиболее точные измерения могут быть получены при коэффи-

циенте излучения, близком к единице, т.е. для «черных» или искусственно зачерненных поверхностей. Для материалов с высокими отражательными свойствами измерения с помощью инфракрасной термографии нецелесообразны, т.к. собственное излучение таких материалов практически равно нулю. В таблице 5.1 приведены усредненные коэффициенты излучения ϵ_T поверхностей различных материалов.

Таблица 5.1 - Усредненные коэффициенты излучения материалов

Материал	Температура, °С	ϵ_T
1	2	3
Алюминий	220-520	0,008-0,062
Алюминий с необр.поверхн.	20-50	0,06-0,07
Асбошифер	20	0,96
Асфальт	25-30	0,95
Бетон	20	0,92
Бумага белая	20	0,70-0,90
Бумага красная	20	0,76
Бумага зеленая	20	0,85
Бумага черная	20	0,90
Бумага тонкая, накл. на металл	19	0,924
Вода в виде		
-льда	-10	0,95
-дистиллированная	20	0,96
- снега	-10	0,85
-пленка на металле	20	0,98
Гравий	25-30	0,94
Доски:-сосновые	20	0,7-0,9
-дубовые строганные	20	0,89
Кирпич красный	20	0,88-0,93
Кирпичная кладка (оштукат.)	20	0,94
Краски-алюминиевая	150	0,35
-масляная матовая черная		0,98
Песок	20	0,6-0,9
Песок речной чистый	25-30	0,95
Плексиглас	25-30	0,95
Почва: -влажная	20	0,95
-сухая	20	0,9
Рубероид	20	0,93
Сталь углеродистая:		
-прокат	50	0,56
-покрытая ржавчиной	20	0,69
-ржавая красная	20	0,59
-нержавеющая	20-700	0,16-0,45
-оцинкованная	20	0,28

Окончание таблицы 5.1		
1	2	3
Стекло оконное	25-30	0,91
Цемент		0,54
Черная сажа	20-400	0,95-0,97
Кожа тела человека	32	0,98
Черная одежда	20	0,98
Эталонные черные тела		0,99
Штукатурка известково-песч	10-90	0,91
Шлаки котельные	0-100	0,93-0,97

При количественной характеристике процессов, связанных с тепловым излучением объектов, используют ряд следующих основных понятий и определений.

Радиометрическая цепочка – совокупность явлений, происходящих при излучении с момента его испускания источником и до поглощения приемником.

Поток излучения (переноса, поглощения) – мгновенное значение расхода или прихода излучения, т.е. мощность излучения.

Геометрический фактор пучка лучей. Это понятие относится к системе, состоящей из источника S и приемника R , находящихся друг от друга на расстоянии d . Пусть в указанной системе выделены элементы: элементарные участки поверхностей источника (dS) и приемника (dR), элементарные телесные углы ($d\Omega_s$ – угол, под которым виден элемент dR из dS ; $d\Omega_R$ – угол, под которым виден элемент dS из dR ; θ_s , θ_R – углы между направлением dS - dR (т.е. направленным отрезком, соединяющим центры тяжести площадок dS и dR) и нормальными к соответствующим площадкам. Тогда *геометрический фактор пучка лучей*, стягиваемых площадками dS и dR , определяется соотношением

$$d^2G = dS d\Omega_s \cos \theta_s = dR d\Omega_R \cos \theta_R = dS dR \cos \theta_s \cos \theta_R (d^2).$$

Яркость при равномерной пространственной плотности потока излучения в окрестности направления dS - dR определяется выражением

$$L = d^2F / d^2G,$$

где d^2F – поток излучения от элементарной площадки, переносимый пучком лучей с геометрическим фактором d^2G . Размерность L – Вт/м²·стерадиан.

Если среда, через которую распространяется излучение, является поглощающей, то соотношение между принимаемым и испускаемым потоками определяет коэффициент пропускания среды.

Облученность – это мощность, получаемая единицей площади поверхности приемника (единица измерения – Вт/м²).

Энергетическая светимость - это мощность, испускаемая единицей площади поверхности источника излучения (единица измерения – Вт/м²).

Сила излучения (источника в данном направлении) – это мощность излучения на единицу телесного угла.

Энергия излучения определяется интегралом по времени от потока излучения.

Энергетическая экспозиция – интеграл по времени от облученности.

Излучение внутренних слоев среды (вещества). Рассмотрим некоторую среду, обладающую способностью поглощать проходящее излучение. Направим ось Ox (с началом на поверхности) внутрь среды по нормали к поверхности. Разделим среду на слои толщиной dx . Интенсивность попадающего в рассматриваемую среду излучения за счет поглощения уменьшается в слое dx пропорционально силе падающего излучения I , толщине слоя dx и коэффициенту поглощения α среды

$$dI = -\alpha I dx.$$

Интегрируя это выражение, получаем

$$I = K \exp(-\alpha x).$$

Величина постоянной интегрирования K получается из условия $I = I_0$ при $x=0$

$$I = I_0 \exp(-\alpha x).$$

Коэффициент пропускания слоя материала толщиной x выражается формулой

$$p = I/I_0 = \exp(-\alpha x).$$

Если принять коэффициент отражения между последовательными слоями равным нулю, то коэффициент излучения, соответствующий толщине x материала, будет равен

$$\varepsilon = 1-p = 1 - \exp(-\alpha x).$$

При коэффициенте излучения $d\varepsilon$ элементарного слоя dx

$d\varepsilon = \alpha \exp(-\alpha x) dx$ плотность потока излучения этого слоя определится зависимостью

$$dR_i = d\varepsilon R_x,$$

где R_x – плотность потока излучения черного тела при температуре T_x слоя dx . Для слоя толщиной a интегральная плотность потока излучения будет равна

$$R = \int_0^a R_x \alpha \exp(-\alpha x) dx.$$

Из последней зависимости вытекают два важных следствия.

1. При постоянной температуре внутри среды и одинаковой плотности потока излучения по всей толщине слоя $R_x = R_0$ интегральная плотность потока излучения слоя среды будет равна

$$R = R_0 \alpha \int_0^a \exp(-\alpha x) dx = R_0,$$

а полный коэффициент излучения объекта будет таким же, как и коэффициент излучения внутренней поверхности.

2. При наличии градиента температуры в среде ($dT_x/dx \neq 0$) интегральная плотность потока R , которая может быть измерена термографически, отличается от поверхностной плотности потока излучения R_0 , что видно из следующей цепочки рассуждений. Допуская градиент температуры пропорциональным распределению потока излучения внутри тела, имеем

$$R_x = ax + R_0,$$

где $a = \Delta R/\Delta x$. После интегрирования получим

$$R = (a/a) + R_0.$$

Пропускание атмосферы. Энергия инфракрасного излучения ослабляется при прохождении сквозь атмосферу. На качестве переносимого инфракрасным излучением сигнала, кроме этого, сказываются градиенты температуры и турбулентность воздуха, собственное излучение атмосферы. Пропускание излучения атмосферой зависит, в основном от двух явлений:

- поглощения газов, составляющих атмосферу;
- ослабления излучения из-за рассеяния на частицах, содержащихся в воздухе, аэрозолях, молекулах. Поглощение атмосферных газов является селективным в зависимости от температуры. Ослабление излучения происходит вследствие рассеяния его очень мелкими частицами, взвешенными в атмосфере (*аэрозолями*), микроскопическими частицами влаги, конденсирующимися на пылинках, размером порядка 0,5мкм(*дымка*), капельками воды или кристалликами льда с размером частиц порядка нескольких микрометров(*туман*), каплями воды размерами порядка 0,25мм, не удерживающимися во взвешенном состоянии в воздухе (*атмосферные осадки*). Второе явление делает излучение воздуха видимым для систем инфракрасного наблюдения и наложению на объект светлой «дымки». Степень проявления «дымки» зависит от используемого спектрального диапазона. Из составляющих атмосферы наибольший вклад в поглощение в инфракрасной области вносят присутствующие в атмосфере водяной пар, углекислый газ и озон. Для практики измерений важным является существование интервалов длин волн (окон прозрачности), в пределах которых поглощение атмосферы очень слабое. Наиболее часто при контроле объектов по их собственному излучению используются окна прозрачности (8 -13 мкм) и (3 – 5 мкм).

Оптические свойства сред. При измерениях в инфракрасной области излучения часто используют стекла и керамику, природные и синтетические кристаллы, пластмассы, металлы. Взаимодействие этих материалов (сред) с инфракрасным излучением имеет ряд особенностей, которые следует учитывать при выполнении измерений, изго-

товлении вспомогательных устройств и приспособлений. Электроны среды в присутствии электромагнитного поля колеблются синхронно с собственной частотой поля. Амплитуды их колебаний невелики у диэлектриков и зависят от прочности связи электронов с атомной структурой. Амплитуды колебаний значительно возрастают на частотах, близких к собственной резонансной частоте электрона. В окрестности такой частоты значительная часть энергии падающего излучения может быть поглощена средой. В этом случае поглощение происходит в некотором диапазоне частот, зависит от длины волны, а среда является селективной. В отличие от диэлектриков, металлы, другие проводники имеют весьма подвижные свободные электроны и очень сильно поглощают излучение на всех длинах волн. Для металлов высоким является коэффициент отражения. Промежуточное положение по оптическим свойствам между металлами и диэлектриками занимают полупроводники. Используемые в технике инфракрасных измерений материалы имеют следующие особенности. Большинство стекол не пропускают излучение с длинами волн более 2,7 мкм из-за значительного поглощения излучения ионами гидроксидов. Для стекол из кварца соответствующий диапазон ограничивается величиной 5 мкм. Отдельные пластмассы (полиэтилен, плексиглас) обеспечивают очень хорошее пропускание инфракрасного излучения. Некоторые металлы (алюминий, серебро, золото, медь) являются отличными отражателями в инфракрасной области и используются для оптических зеркал.

5.3. Принципы бесконтактной термометрии

Тела, температура которых выше абсолютного нуля, создают тепловое излучение в окружающее пространство, параметры которого изменяются в соответствии с основными физическими законами излучения. Такое излучение может фиксироваться в конкретной точке пространства термометрическим прибором, в котором зафиксированное тепловое излучение преобразуется и обрабатывается таким образом, чтобы при отсутствии прямого контакта прибора с излучающим телом получить необходимые сведения о размерах, форме, положении, энергетическом состоянии излучающего тела и изменении этих характеристик во времени. Структурная схема такого бесконтактного термометрического прибора включает (рис.5.2): блок оптики **II** (в составе промежуточной среды 3 и оптической системы 4), воспринимающий сигнал от источника излучения **I**; блок усиления и преобразования сигнала **III**, состоящий из устройств преобразования излучения в электрический сигнал 5, его усиления и обработки 6 и блок регистрации обработанного сигнала **IV**. Источниками излучения являются излучающее тело 1 и окружающая его среда (фон) 2, которые образу-

ют изменяющееся в пространстве и во времени поле инфракрасного излучения. Промежуточная среда (влага, пыль, пары, газовая среда и т.п.) может поглощать, рассеивать проходящее излучение и тем самым существенно сказываться на объективности измерений. Оптическая система 4 предназначена для:

- а) сбора наибольшего потока излучения и направления его с минимальным искажением в преобразователь,
- б) обеспечения пространственной и спектральной фильтрации с целью выделения исследуемого излучения излучающего тела 1 от излучения фона,
- в) обеспечения необходимого обзора исследуемого тела.

В преобразователе 5 энергия излучения трансформируется в электрическую. Для этого используются устройства, основанные на принципах фото- и термоэффекта. Выработанный преобразователем 5 сигнал обычно невелик. Для дальнейшей обработки выполняют его усиление и далее преобразуют с использованием различных устройств 6. Регистрацию обработанного сигнала в блоке **IV** производят с использованием различных систем (визуальных, звуковых, фотографических, осциллографов, компьютерных систем) в зависимости от назначения прибора и других требований. Обработанный сигнал в блоке **IV** может представляться в виде радиационных (энергетических), спектральных, действительных температур. Радиационные и спектральные температуры отличаются от действительной температуры излучающего тела. Поэтому при измерениях действительной температуры тела по его собственному излучению преобразуют выходной сигнал так, чтобы учесть особенности излучательной способности тела или автоматически ввести соответствующие поправки.

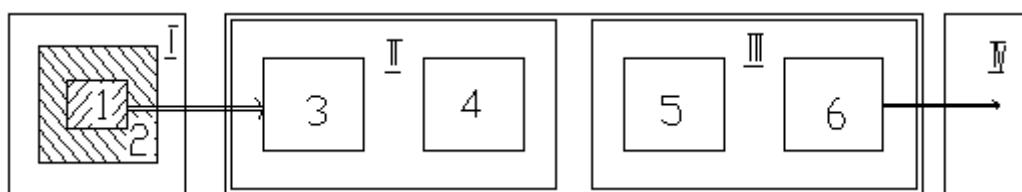


Рисунок 5.1 - Структурная схема бесконтактного термометрического прибора

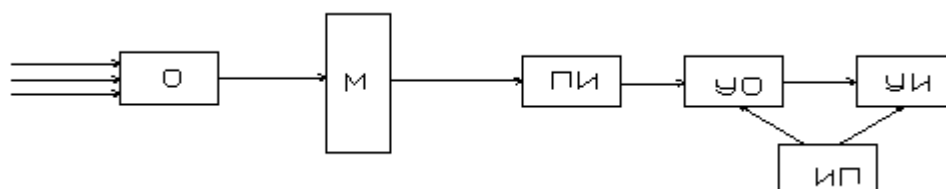


Рисунок 5.2 - Структурная схема пирометра С-300 (О - объектив; М - модулятор; ПИ-приемник излучения; УО - узел обработки сигнала; УИ - узел идентификации; ИП - источник питания)

5.4. Приборы бесконтактной термометрии

В бесконтактной термометрии наиболее часто используются пирометры (радиометры) и тепловизоры (термографы).

5.4.1. Пирометры

Пирометры (от греч. «pyr»- огонь и «metreo»- измеряю) – это приборы, предназначены для бесконтактного измерения температуры тел по их собственному тепловому излучению. Блок IV (рис.5.2) пирометров часто выполняется в виде указывающего, регистрирующего устройства или дополняется устройствами для регулирования температуры. Современные пирометры являются сложными оптико-электронными устройствами. На рис.5.2 приведена структурная схема пирометра инфракрасного С-300, предназначенного для бесконтактного измерения температуры поверхности твердых, сыпучих тел и воды. Технические характеристики пирометра приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 - Технические характеристики пирометра С-300

Наименование характеристики, размерность	Величины
Диапазон измерения температуры, °С	-20 - +600
Абсолютная погрешность, °С	± 2 (-20 - +100)
Относительная погрешность, %	± 1,5 (свыше 100)
Время установления показаний, сек	2
Показатель визирования	1:100
Потребляемая мощность, Вт	0,2
Диапазон установки излучательной способности объекта	0,01 – 1,0
Разрешение прибора, °С	1
Спектральный диапазон, мкм	8...14
Габаритные размеры пирометра, мм	200x150x85
Масса пирометра, кг	Не более 0,8

Пирометр работает по принципу преобразования потока инфракрасного излучения исследуемой поверхности в электрический сигнал, пропорциональный спектральной мощности потока. При этом поток инфракрасного излучения от объекта попадает в объектив О, где диафрагмируется и фокусируется на приемник излучения ПИ, расположенный в фокусе объектива (см. рис.5.2). Модулятор М преобразует поток излучения, попадающий на приемник ПИ, из постоянного в переменный. В приемнике излучения ПИ инфракрасное излу-

чение преобразуется в электрическое напряжение, величина которого пропорциональна температуре исследуемой поверхности тела. В узле обработки УО сигнал, поступающий с приемника излучения ПИ, преобразуется в сигнал, удобный для индикации. Поступающий на узел индикации УИ сигнал отображается здесь на знаковосинтезирующем индикаторе в цифровую величину температуры.

Технология работы с прибором С-300 включает следующие последовательно выполняемые операции: включение; ввод значения коэффициента теплового излучения измеряемого объекта (с использованием данных табл.5.1); направление прибора на исследуемую поверхность и нажатие кнопки «Измерение»; считывание с индикатора величины замеренной температуры.

5.5. Термографы (тепловизоры)

Все тела имеют температуру выше абсолютного нуля и по всей своей поверхности излучают в инфракрасной области спектра энергию в окружающую среду. Интенсивность такого излучения в каждой точке окружающего пространства зависит как от температуры тела и его излучательной способности, так и от ослабления этого излучения из-за его поглощения веществом окружающей среды. Для тел, находящихся в окружении земной атмосферы, поглощение инфракрасного излучения минимально в интервалах длин волн 3,5-5,5 мкм и 7,5-12 мкм, т.е. в этих интервалах инфракрасной области спектра атмосфера имеет «окна прозрачности» для собственного теплового излучения тел. Так как тепловое состояние тела всегда связано с его физико-химическим состоянием, то по наблюдениям инфракрасного излучения некоторого тела можно судить об особенностях внутреннего состояния, строения, изменении положения тела в пространстве. Для этого необходимо преобразовать тепловое (инфракрасное) излучение в видимое человеческим глазом излучение.

Научно-техническое направление, в котором изучаются физические основы преобразования инфракрасного (ИК) излучения в видимое и разрабатываются методы и приборы, обеспечивающие возможность наблюдения слабонагретых объектов главным образом по их тепловому излучению в ИК-области спектра путем преобразования невидимого глазом человека инфракрасного излучения в электрический сигнал, который подвергается усилению и автоматической обработке и затем визуализируется имеет название термография (тепловидение). Такое преобразование осуществляется в термографических системах (термографах, тепловизорах). Современный тепловизор - это система, предназначенная для регистрации теплового излучения объектов и его визуализации в виде двумерных полутоновых или ампли-

тудно-профильных термограмм. В более узком смысле под тепловизором понимают систему с оптико-механической или электронной разверткой. В отличие от пирометров тепловизоры чаще всего не позволяют производить непосредственный отсчет выходного напряжения. Однако, измеряя последовательно выходной сигнал при визировании исследуемого объекта и эталона с известной температурой и излучательной способностью, можно тепловизором определять абсолютную температуру наблюдаемого тела.

Если действительная температура исследуемого объекта T_1 и его коэффициент излучения ε_1 , а температура и коэффициент излучения эталона равны соответственно T_2 и ε_2 , то разность выходных напряжений (ΔU) при переменной фиксации их излучений определится выражением

$$\Delta U = \varepsilon_1 U_1 + (1 - \varepsilon_1) U_{oc} - [\varepsilon_2 U_2 + (1 - \varepsilon_2) U_{oc}],$$

где U_1 -сигнал от исследуемого объекта;

U_2 -сигнал от эталона;

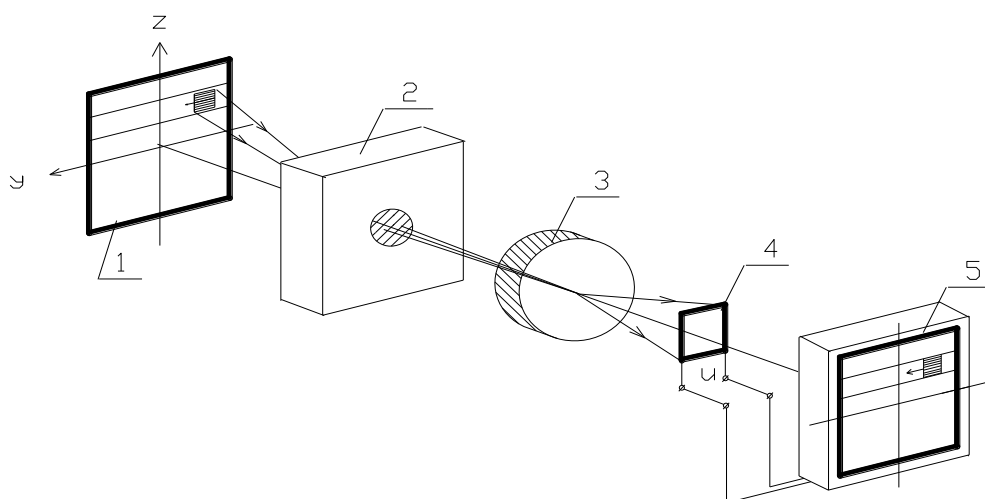
U_{oc} -сигнал от окружающей среды.

В качестве эталона можно принять температуру какого-либо участка поверхности исследуемого объекта. Коэффициент излучения ε_1 для большинства объектов обычно постоянен по всей поверхности, т.е. $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$. Тогда выражение для разности выходных напряжений представится в упрощенном виде:

$$\Delta U = \varepsilon_1 U_1 - \varepsilon_2 U_2 = \varepsilon (U_1 - U_2).$$

При известном значении ε можно с помощью экспериментальной градуировочной зависимости по измеренной разности выходных сигналов для изотерм ΔU определить разность температур: $\Delta T = T_1 - T_2$. Таким образом, в процессе последовательного построения изотерм можно определить действительную температуру и ее распределение по поверхности исследуемого объекта.

Изложенное преобразование температуры точек поверхности объекта $T(y, z)$ через инфракрасное излучение в сигнал ΔU (ΔT) в блоке визуализации структурно изображено на рис.5.3. На исследуемой поверхности объекта 1 (поле обзора термографа) инфракрасное излучение с элементарного участка площадью s поступает через сканирующее устройство 2 и оптику 3 на приемник 4 термографа. В приемнике 4 элементарный сигнал преобразуется в электрический сигнал, затем усиливается, преобразуется и поступает в блок визуализации 5. Мгновенное поле зрения s системой сканирования 2 выбирается малым, быстро перемещается по направлению стрелки исследуемой полосы поля обзора и таким производится сканирование (от англ. «scan» - поле зрения, развертка, разложение изображения) исследуемой поверхности инфракрасного излучения.



1 – поле обзора; 2 – сканирующее устройство; 3 – оптика; 4 - приемник; 5 – блок визуализации

Рисунок 5.3 - Схема преобразования инфракрасного излучения поверхности исследуемого тела в видимое в термографе

При выборе термографов или их эксплуатации следует особое внимание обращать на систему охлаждения приемников излучения 4. Это связано с тем, что все тела с абсолютной температурой выше нуля, являются источниками инфракрасного излучения. К таким источникам относятся и приемники излучения 4. Чтобы повысить способность приемников обнаруживать слабый сигнал исследуемого объекта, необходимо подавить собственное излучение приемника и рядом расположенных устройств термографа. Такое подавление достигается посредством охлаждения приемника до температур, при которых шум собственного излучения становится пренебрежимо малым. Охлаждение приемников производят различными способами: сжиженными газами, за счет эффекта Джоуля-Томсона, криогенными машинами, за счет термоэлектрического эффекта. По соображениям простоты, безопасности эксплуатации, удобства пользования часто охлаждают приемники жидким азотом (обеспечивается температура $(-196)^\circ\text{C}$). Кроме подавления шума от собственного излучения охлаждение до таких температур очень маленьких чувствительных элементов с небольшой теплоемкостью позволяет предотвратить их чрезмерный нагрев падающим на них инфракрасным облучением и нагрев от возбуждения носителей заряда внутри чувствительного элемента.

В таблице 5.3 приведены технические характеристики портативного компьютерного термографа ИРТИС-2000 СВ1, предназначенного

Таблица 5.3. Технические характеристики портативного компьютерного термографа ИРТИС-2000 СВ1 (Россия)

Наименование характеристики, размерность	Величины
Спектральный диапазон, мкм	3 - 5
Диапазон измерения температуры, °С	от - 60 до + 200
Погрешность измерения абсолютных температур, °С	± 1 (или ± 1% от измеряемого диапазона)
Чувствительность к перепаду температур на уроне 30 °С	0,05
Поле обзора (зрения), градусы	25x20
Мгновенное поле зрения, мрад	1,2
Время формирования кадра на экране компьютера, сек	0,8; 1,6; 3,2
Время автономного режима работы, часы	не менее 8
Число элементов разложения по строке	640
Число строк в кадре	480
Условия работы (лабораторные или полевые) -диапазон температур, °С -влажность -охлаждение приемника излучения	От -10 до +50 Не более 85% Жидкий азот
Габаритные размеры пирометра, мм	210x157x92
Масса, кг	1,4

для визуализации тепловых полей различных объектов с дальнейшей их регистрацией и компьютерной обработкой.

Имеется ряд других конструкций тепловизоров, основанных на различных физических принципах [35, 37]. Основные страны-изготовители тепловизоров: США, Швеция, Япония, Великобритания, Франция, Россия. Лучшими в мире считаются тепловизоры фирм «Мицубиси» (Япония), «AGEMA»(Швеция), «FLIR Systems», «Инфраматрикс» (США) [35, 37].

5.6. Применение термометрии в строительстве и эксплуатации транспортных объектов

Объектами термометрического диагностирования в отрасли могут быть конструкции и их элементы, здания и сооружения, технологические процессы.

По данным наблюдения тепловых полей в элементах строительных, транспортных конструкций можно выявлять конструктивно-технологические дефекты (внутренние дефекты, зарождение и развитие трещин, коррозионные поражения и др.). Это связано с тем, что вызываемые этими дефектами физико-химические процессы приводят к изменению абсолютных значений и распределения температур на поверхностях объектов диагностирования. Так, при зарождении разрушения, развитии трещин образуется пластическая зона в материале, в которой выделяется тепловая энергия и образуется участок с повышенной температурой относительно прилегающего материала. На рисунках 5.4, 5.5, 5.6 показано поле температур поверхности плоской стальной пластины с растущей трещиной (визуализация выполнялась термографом ИРТИС-200И). Зарубежный опыт показывает, что с использованием термографии можно выявлять дефекты коррозионной природы с качеством, не уступающим ультразвуковому методу [35]. Термография наиболее нагруженных элементов мостовых конструкций в процессе их пробных нагружений позволит выявить участки, где наиболее вероятно возникновение опасных дефектов. Целесообразно поэтому ведение термографического сопровождения строительства ответственных этапов монтажа мостовых конструкций. При усилении элементов мостовых конструкций полосовой наружной арматурой (листовой углепластик и т.п.) может быть незаменимым в процессе производства и контроля качества работ.

В асфальтобетонных и других дорожных покрытиях в процессе эксплуатации образуются пустоты, расслоения, линзы льда и др. дефекты. Эти дефекты отображаются на тепловых полях соответствующих участков покрытий. По данным термографии поверхности можно установить, что в течение большей части суток температура поверхности над дефектом несколько выше, чем в удаленной бездефектной области. На асфальтобетонном покрытии наилучшие результаты измерений тепловых полей получают по данным наблюдений с 18 часов вечера до 1 часа ночи. В это время перепады температур в дефектных областях покрытия составляют от 2 до 5 °С. При термографических исследованиях расположения дефектов очень важно исключить ложные очаги на тепловом изображении.

С использованием анализа температурных полей можно выявлять дефекты и неоднородности насыпей, подпорных стенок, обделок туннелей, исследовать процессы усталостного трещинообразования в асфальтобетонном покрытии. Вращающиеся шины автомобилей являются источником тепла, изменяющим тепловое состояние асфальтобетонных покрытий. Величина нагрева шин определяется давлением на колесо и скоростью движения автомобиля. Исследование изменений теплового поля асфальтобетонного покрытия при пробеге такого

«утюжка» по дорожной полосе позволит более эффективно предотвращать процесс образования колеи в асфальтобетонном покрытии.

При планировании работ по термометрическому диагностированию транспортных и других объектов следует иметь в виду, что в таких исследованиях успех определяется не стоимостью термографа и количеством термограмм, а квалификацией исследователей и обоснованностью и глубиной проработки применяемых исследовательских методик.

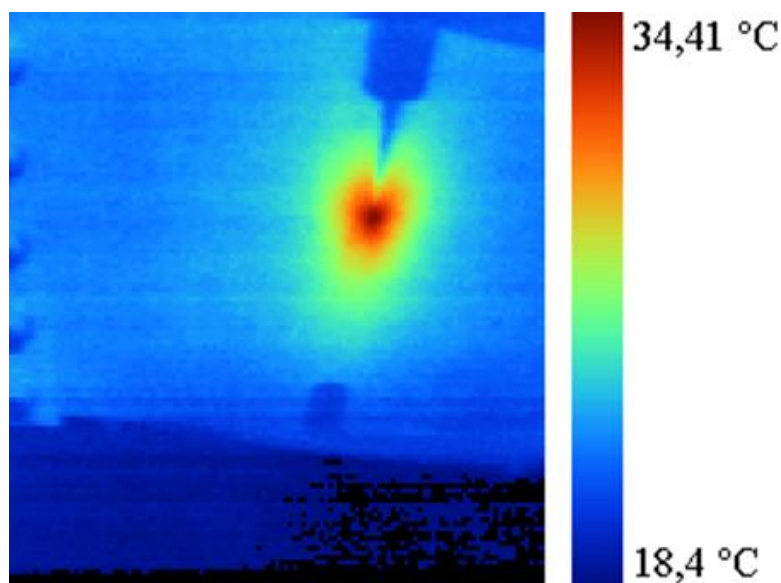


Рисунок 5.4 - Поле температур в плоской стальной пластине с растущей трещиной по данным визуализации термографом ИРТИС-200И

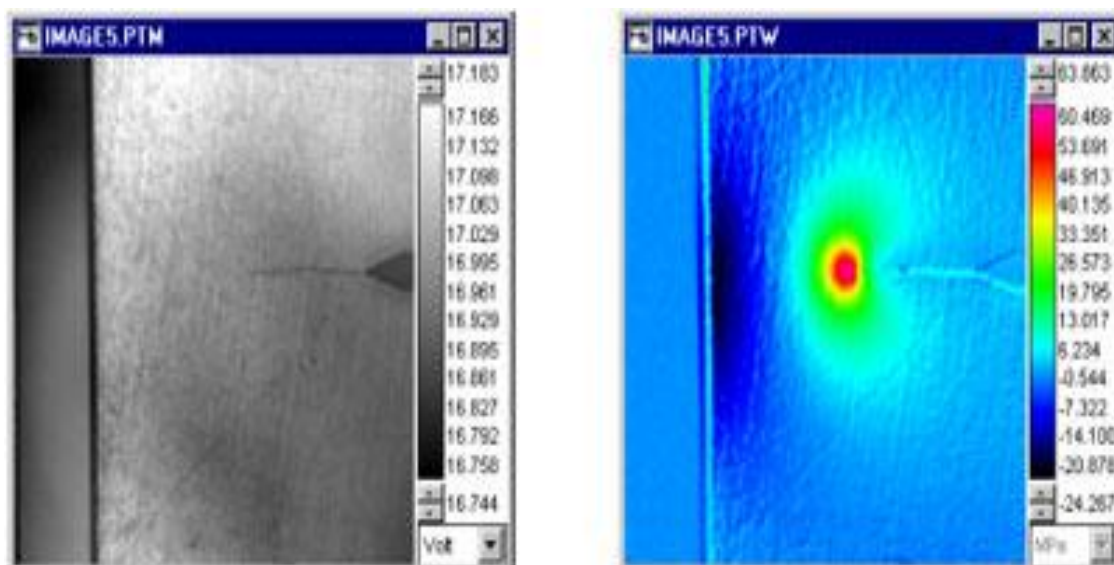


Рисунок 5.5- Вид стального образца с трещиной и поле температур в вершине трещины

5.7. Выявление дефектов в элементах стальных конструкций транспортных сооружений методами пассивной термографии

Исследование физического и напряженно-деформированного состояния конструкций, включающее ознакомление с технической документацией, осмотр сооружения, неразрушающий контроль и инструментальные измерения, выполняемые с целью оценки технического состояния сооружения и выработки рекомендаций по его эксплуатации называют термином «обследование моста».

При обследовании металлических конструкций мостов выявляют наличие коррозии металла, а также дефекты и повреждения элементов, стыков и креплений (погнутости, вмятины, местные ослабления, трещины, разрывы, неплотности, слабые заклепки, незатянутые болты и др.). Внутренние дефекты сварных швов выявляют с помощью неразрушающих методов обследования (ультразвуковая дефектоскопия, радиографические и акустические методы и др.).

При наличии коррозии металла непосредственными замерами устанавливают степень ослабления сечения элементов. По ослаблениям определяют также скорость протекания процессов коррозии. Выявляют конструктивные недостатки, способствующие интенсивной коррозии из-за застоя влаги и плохого проветривания («мешки»; недостатки водоотвода; пазухи и щели, коррозия в которых приводит к распучанию элементов, и др.).

Во всех стальных конструкциях проверяют состояние их окраски; при этом выявляют количество и качество слоев краски, сцепление краски с металлом и состояние металла под краской. Отмечают дефекты в окраске металла (недостатки шпатлевки, различные механические повреждения, трещины, пузыри, отлупы, шелушение, размягчение, потеки, пропуски и т.п.).

При обследовании обращают особое внимание на обнаружение трещин, в случае их выявления выясняют причины их образования, оценивают их опасность для несущей способности, а также дают указания по срочной нейтрализации трещин (сверление отверстий по концам, перекрытие трещин накладками на высокопрочных болтах и т.п.). Причинами образования трещин могут быть: а) концентрация напряжений; б) остаточные напряжения от сварки; в) усталостные явления; г) повышенная хладноломкость металла. Эти причины могут проявляться самостоятельно, однако обычно имеет место влияние нескольких факторов. Наиболее часто образование трещин происходит в местах концентрации напряжений. Поэтому при обследовании на такие места обращают особое внимание. Концентраторами напряжений в первую очередь являются места с резким изменением сечения эле-

ментов (обрывы листов; неплавное изменение их толщины и ширины; места примыкания накладок, ребер, диафрагм и др.). Кроме того, концентрации напряжений могут способствовать необработанные концы сварных швов и различные их дефекты: непровары, несплавления по кромкам, подрезы кромок, наплывы, шлаковые включения, поры, прожоги, неразделанные кратеры, заклепочные отверстия при слабых заклепках.

Большое влияние на образование трещин оказывают остаточные напряжения сварки, которые в околошовной зоне могут достигать предела текучести стали. В связи с этим большое внимание уделяют местам, насыщенным сваркой (обваренным по контуру накладкам, узлам элементов и т.п.).

Для выявления усталостных трещин тщательно исследуют элементы, воспринимающие наибольшее количество циклов нагружения: места прикрепления знакопеременных раскосов, стоек и подвесок к фасонкам главных ферм; места прикрепления распорок поперечных связей к ребрам жесткости главных балок (особенно в железнодорожных мостах); горизонтальные полки уголков верхних поясов продольных балок без горизонтальных листов и горизонтальные листы верхних поясов сквозных ферм при непосредственном опирании на них мостовых брусьев или плиты проезжей части; стенки продольных балок и уголки прикрепления их к поперечным балкам, «рыбки», концевые поперечные связи; элементы проезжей части с этажным расположением балок; ортотропные плиты в автодорожных и городских мостах.

При обследовании обращают особое внимание на болтовые фрикционные и заклепочные соединения в узлах и стыках главных ферм, а также в прикреплениях элементов проезжей части. Дефектными считаются соединения: дрожащие при их простукивании; с неоформленными, плохо притянутыми, сбитыми, маломерными, пережженными головками заклепок; поставленные с зарубкой основного металла; поставленные в отверстиях неправильной формы.

При обследовании мостов с использованием инструментальных методов часто необходимо решить следующие задачи:

- выявление и измерения размеров неисправностей;
- исследования свойств и состояния материалов мостовых конструкций;
- исследование напряженного состояния мостовых конструкций и другие.

Решение названных задач действующие ТНПА [3] предлагают выполнять традиционными методами неразрушающего контроля. Так, для исследования дефектов в стальных пролетных строениях мостов

рекомендуется использовать ультразвуковую дефектоскопию, радиографические, акустические и другие методы.

Переход от традиционных технологий неразрушающего контроля к технологиям технической диагностики конструкций и сооружений предполагает наличие теории, методов и средств определения технического состояния объектов. Определение технического состояния объектов может производиться последовательным решением трех задач: контроль технического состояния; поиск места и определение причин отказа (неисправности); прогнозирование технического состояния.

Весь комплекс исследований целесообразно вести по алгоритму, изложенному на рис.5.6.

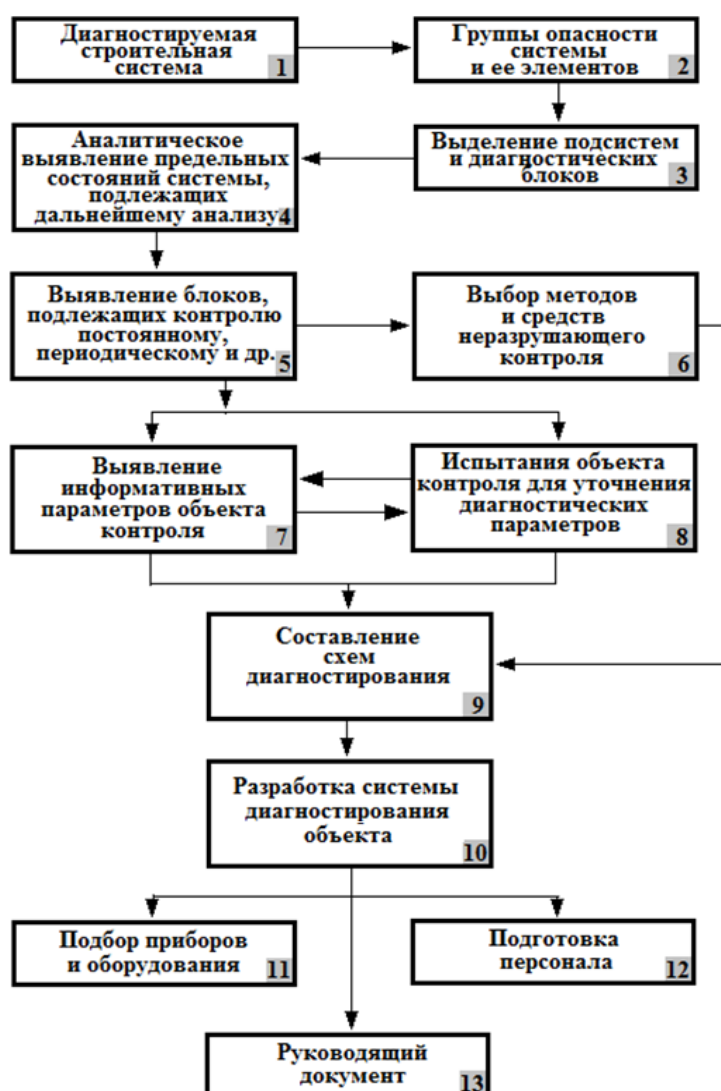


Рисунок 5.6 - Алгоритм решения задач технической диагностики стальных конструкций мостовых сооружений

Наиболее сложной и ответственной является третья задача, решение которой определяет техническое состояние объекта на заданный период эксплуатации. Задача прогнозирования технического состояния строительного объекта требует создания расчетных моделей, которые должны отражать действительные условия работы объектов. При диагностировании применяются расчетные модели нагрузок и воздействий, расчетные модели НДС элементов конструкций и модели сопротивления материалов усилиям и воздействиям.

Из рис. 5.6 следует, что выявление и локализация опасных участков, в которых наиболее вероятно возникновение дефектов (неисправностей) - одна из важнейших задач технической диагностики несущих конструкций. Эту задачу можно решить при комплексном использовании традиционных и новых методов неразрушающего контроля.

Рассмотрим особенности технологии выявления опасных участков конструкций с использованием деформационного теплообразования и термографии.

5.8. Тепловой неразрушающий контроль растянутых элементов стальных конструкций мостов

Методы теплового вида контроля основаны на взаимодействии теплового поля объекта с термометрическим чувствительным элементом (термопарой, болометром, термоиндикатором и т. д.), преобразовании параметров поля (интенсивности, температурного градиента, контраста лучистости и др.) в параметры электрического или другого сигнала и его передаче на регистрирующий прибор. Для контроля применяют пассивный и активный методы теплового неразрушающего контроля [56, 57]. При пассивном контроле объект не подвергают воздействию от внешнего источника энергии [54, 55] (рис.5.7). При активном контроле объект подвергают воздействию от внешнего источника энергии.

В 1855г. В. Томсон опубликовал свои теоретические идеи по термоупругому деформированию твердых тел и показал, что между мгновенными изменениями температуры тела и напряжения существует линейная зависимость. Выводы В. Томсона подтверждались экспериментами Дж.Джоуля и других ученых. В опытах Хорта, Тейлора, Фаррена, Квинни показано, что около 90 % всей механической работы деформирования образцов из пластичных металлов превращается в тепло, а другая часть работы накапливается в материале. Повышение температуры в металлах в процессе деформации может достигать весьма значительных величин, особенно если деформация протекает кратковременно и тепло не успевает рассеиваться в окружающую среду (рис.5.8).

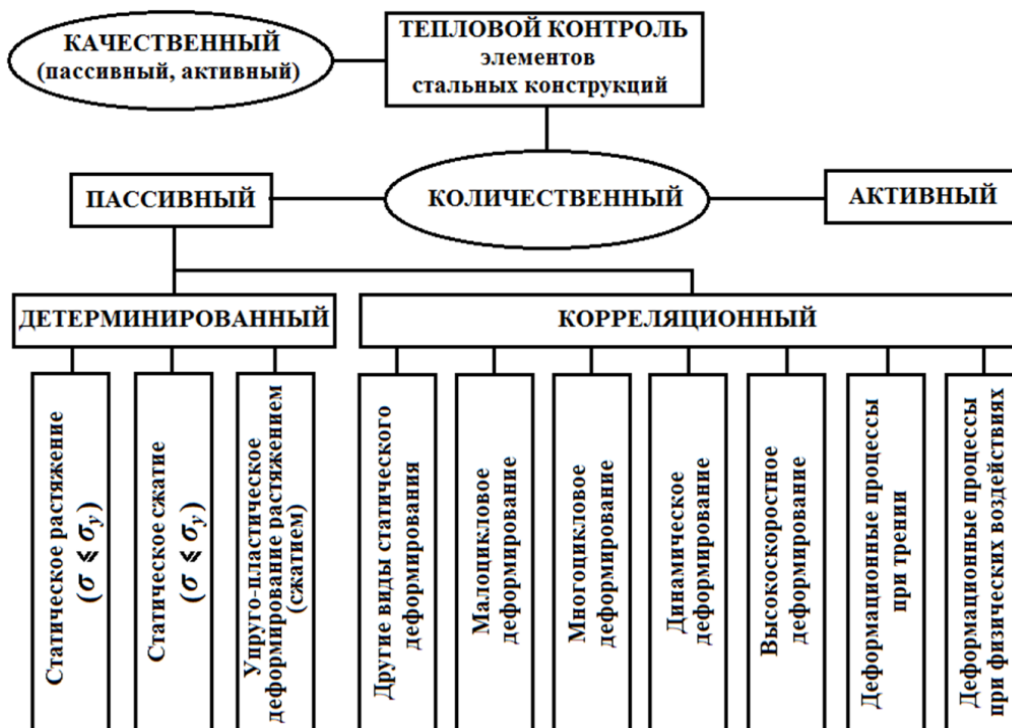


Рисунок 5.7 - Классификация методов теплового контроля элементов стальных конструкций

5.8.1. Теплообразование при деформировании

Экспериментальные данные по изменению температуры поверхности растянутых стальных образцов приведены на рис.5.9, 5.10.

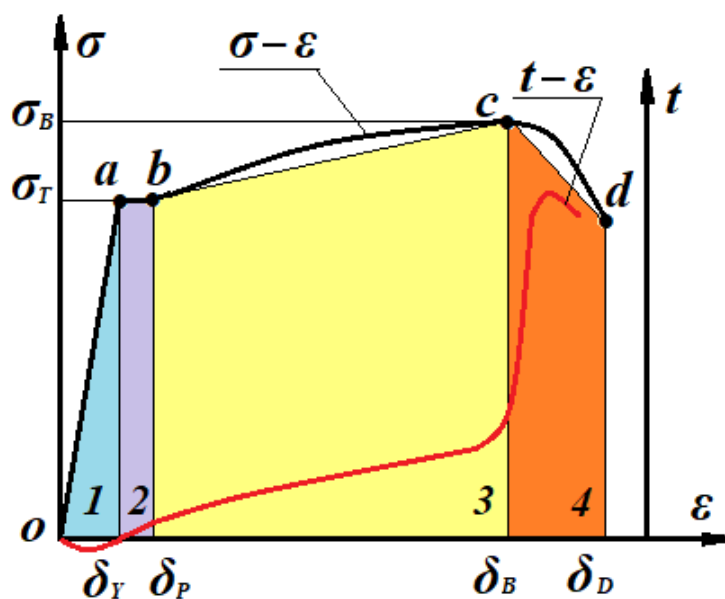
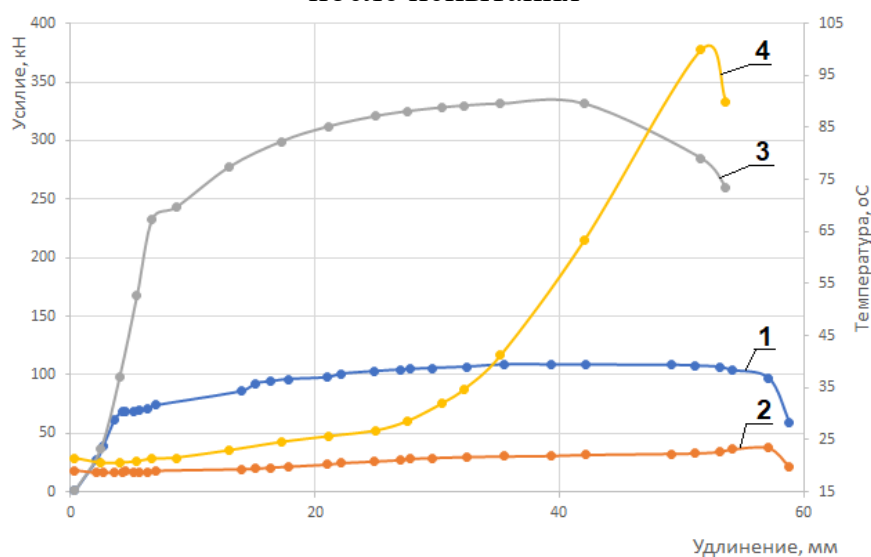


Рисунок 5.8 - Схемы диаграмм деформирования образцов « σ - ϵ » и теплообразования « t - ϵ »



Рис.5.9 - Вид первого (б, 20 мм) и второго (а, 8мм) образцов после испытания



1, 3 – машинные диаграммы «усилие-удлинение» для образцов 2 и 1;
 2, 4 – температуры поверхности в опасном сечении образцов 2 и 1
 Рисунок 5.10 – Машинные диаграммы и изменение температуры поверхности в точке Т пропорциональных образцов при растяжении

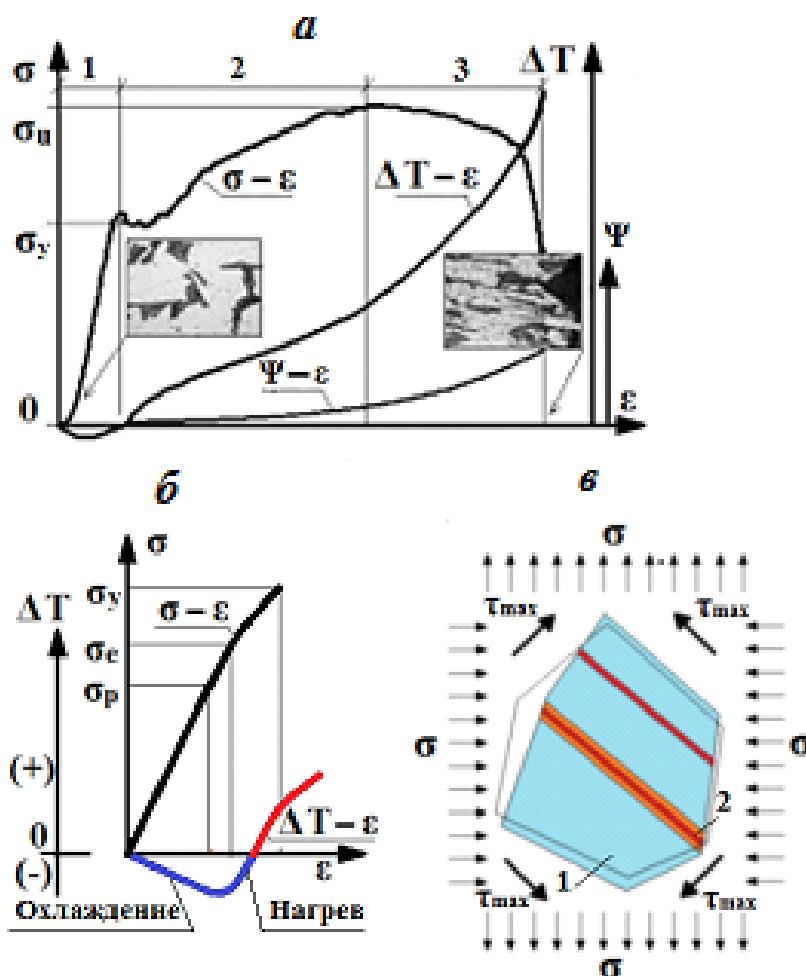
При статическом растяжении элементов стальных конструкций с дефектами (концентраторы напряжений, механические, технологические дефекты) установлено теплообразование как на участках с конструктивными надрезами, дефектами, так и на бездефектных. При этом в пределах упругой работы материала в образцах без дефектов заметно охлаждение материала на несколько десятых градуса, а с момента образования площадки текучести наблюдали линейное во времени увеличение температуры гладкого образца (примерно до 6 °С). Деформационный нагрев в зонах дефектов и трещин. Дефекты в нагруженных объемах материалов приводят к развитию деформации в их окрестностях, структурным изменениям, значительному росту температуры в деформированной области. По теоретическим оценкам в элементах с трещиной, деформируемых при 300 К (27 °С), средняя температура в вершине трещины может достигать для титанового

сплава $\Delta T = 120 \text{ }^\circ\text{C}$, для алюминиевого сплава $\Delta T = 80 \text{ }^\circ\text{C}$, для мягкой стали $\Delta T = 60 \text{ }^\circ\text{C}$.

При увеличении скорости движения трещины в титановом сплаве до 900 м/с возможен рост температуры на $\Delta T = 1400 \text{ }^\circ\text{C}$.

Теплообразование при деформировании твердых тел определяется механизмом и скоростью деформирования и физико-химическими процессами в зонах локализации деформаций.

Процесс теплообразования в стали при ее упругом, упруго-пластическом, пластическом деформировании и разрушении можно качественно отобразить схемой рисунка 5.11.



а – диаграммы растяжения ($\sigma-\epsilon$), нагрева ($\Delta T-\epsilon$) и развития повреждаемости ($\psi-\epsilon$); б – нагрев–охлаждение при упругом деформировании (участок 1); в – участок стержня с зонами упругого охлаждения (1) и нагрева в полосе сдвига (2)

Рисунок 5.11 – Взаимосвязь между диаграммами растяжения, теплообразования, повреждаемости (а, б) и зоны охлаждения (1, голубой цвет) и нагрева (2, красный цвет) контролируемого объема стального изделия

Поэтому при деформировании выделенного объема (рис.9, в) изменение его средней температуры (ΔT_d) будет зависеть от стадии деформирования. Если допустить, что доля пластически деформированного материала в выделенном объеме в текущий момент времени равна n , а упруго деформированного – $(1-n)$, то ΔT_d определится по выражению

$$\Delta T_d = (1-n) \Delta T_e + n(\Delta T_p + \Delta T_r),$$

где ΔT_e , ΔT_p , ΔT_r – соответственно, изменение температуры выделенного объема за счет упругой, пластической деформаций и экзотермических твердотельных физико-химических реакций. В первом приближении можно принять $n = 1$ (при $\sigma \geq \sigma_y$) и $n = 0$ (при $\sigma < \sigma_y$).

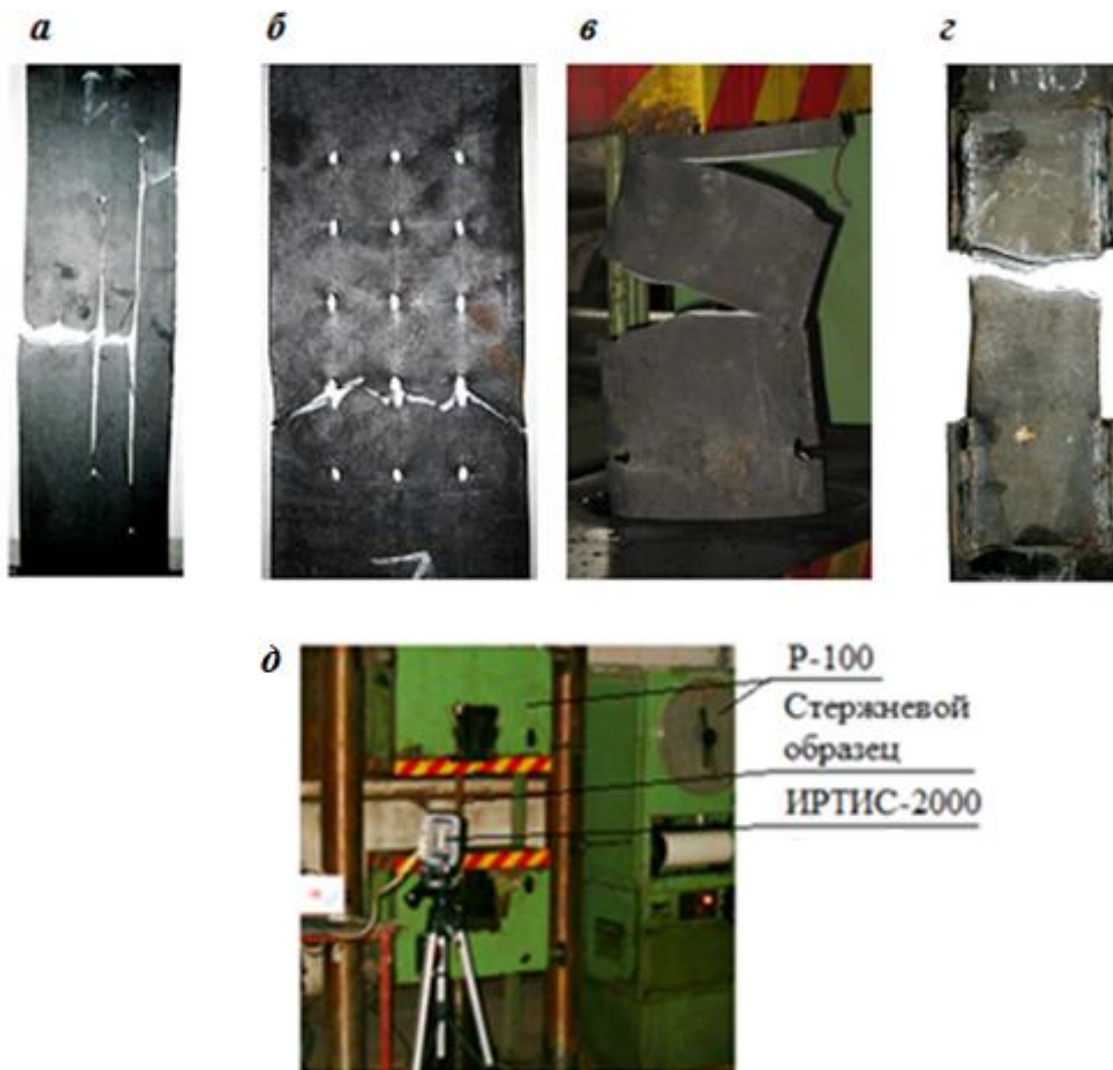
5.8.2. Выявление опасных участков, контроль трещинообразования при растяжении

Приведем экспериментальные данные по квазистатическому растяжению элементов конструкций из стали ВСт3 [55].

Нагружение экспериментальных элементов, образцов производилось до разрушения на различных испытательных машинах («Р-50», «Р-100», «ЦДМ-100» и др.) с записью диаграммы «нагрузка–удлинение». Испытания и обработка данных выполнялись в соответствии с требованиями ГОСТ 1497. Температурные поля при деформировании образцов отображались в термофильмах с помощью компьютерного термографа «ИРТИС-2000». Обработка результатов велась программным пакетом IRTIS. Для отдельных экспериментов использовались приборы других изготовителей. Виды отдельных образцов после разрушения и испытательная установка приведены на рис. 5.12. Термофильмы температурных полей поверхности образцов *a*, *b* показаны на рис. 5.13, 5.14.

Рисунки 5.13, 5.14 скомпонованы из отдельных термограмм (кадров термофильма). Каждая термограмма записывалась в результате сканирования рабочей зоны образца в течение 1 – 1,2 секунд. Такая технология позволяла дистанционно фиксировать температурное поле образца на соответствующей стадии растяжения элемента. Так, 50-й кадр рис.5.13 отображает температурное поле поверхности в конце упругой стадии работы материала. На кадре 90 отображено температурное поле образца 11.11 в стадии зарождения разрушения.

Аналогичные стадии нагрева можно различать и при растяжении образца 12.10 (рис.5.14).



а – комбинированный элемент 11.11 из трех стержней; б – образец-модель фасонки фермы; в – образец 12.10 с тремя парами боковых вырезов; г – соединение двух элементов приваренными накладками
 Рисунок 5.12 - Виды конструктивных элементов из стали ВСт3 (а - г) и общий вид испытательной установки на базе машины Р-100 (д)

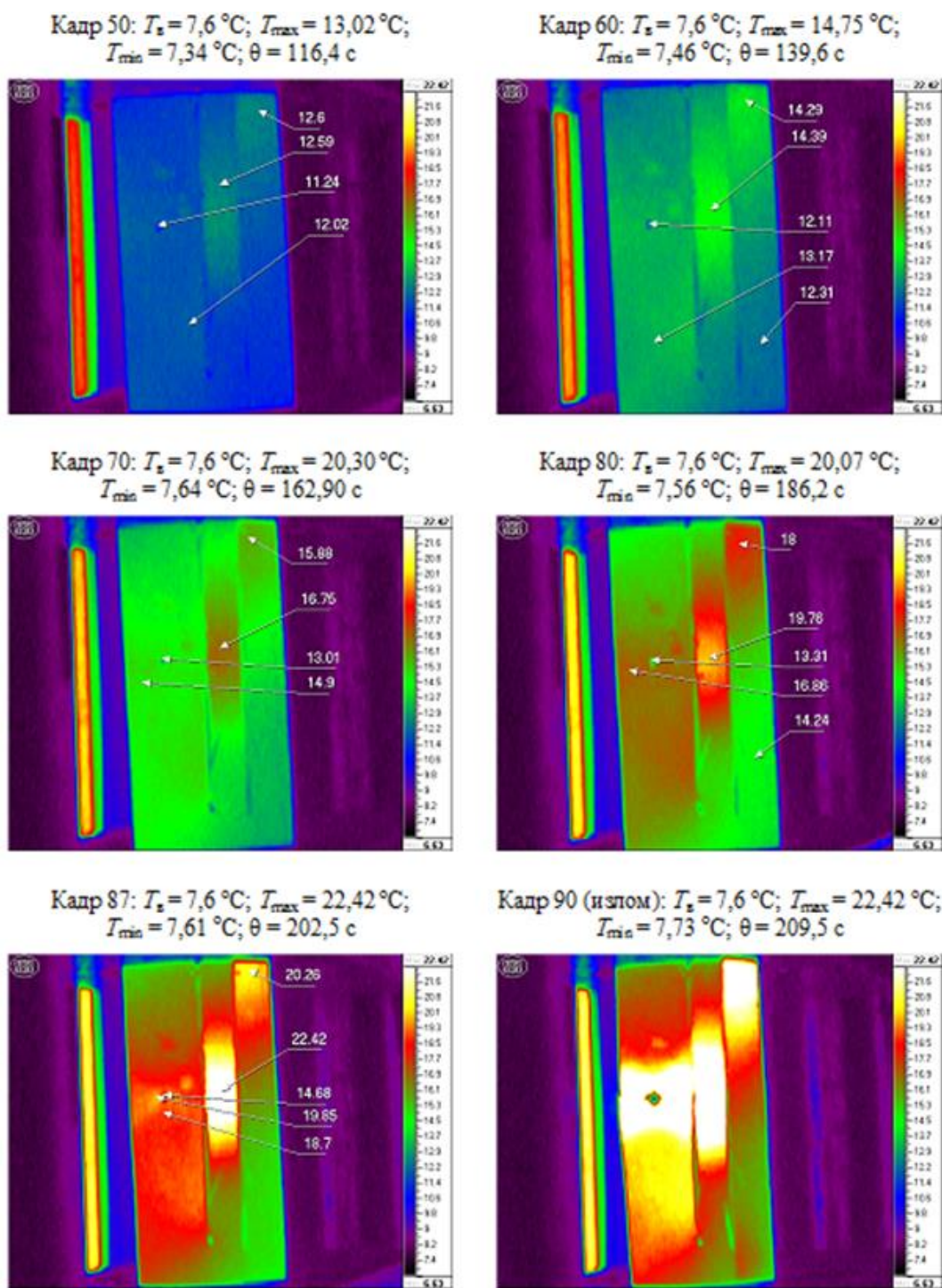
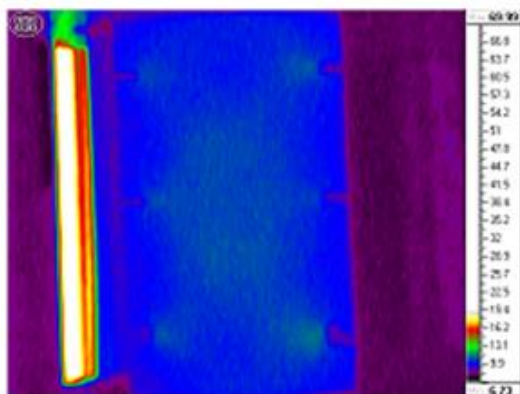
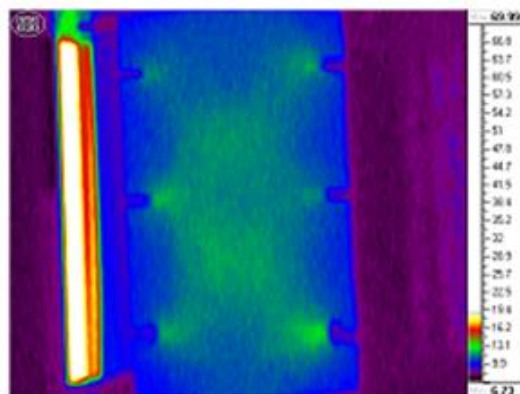


Рисунок 5.13- Кадры термофильма растяжения образца № 11.11

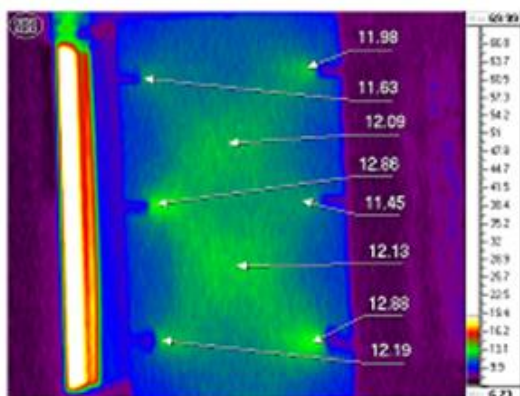
Кадр 25: $T_s = 7,6\text{ }^\circ\text{C}$; $T_{\text{max}} = 11,28\text{ }^\circ\text{C}$;
 $T_{\text{min}} = 7,39\text{ }^\circ\text{C}$; $\theta = 58,2\text{ c}$



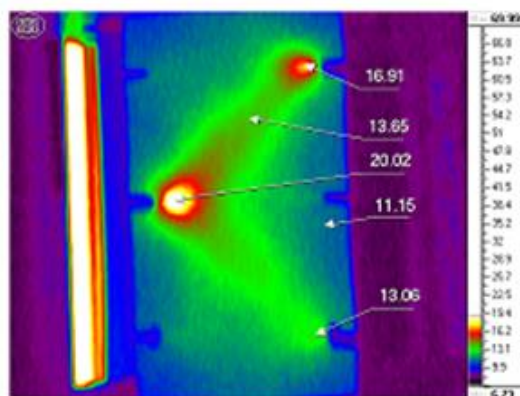
Кадр 30: $T_s = 7,6\text{ }^\circ\text{C}$; $T_{\text{max}} = 12,59\text{ }^\circ\text{C}$;
 $T_{\text{min}} = 7,47\text{ }^\circ\text{C}$; $\theta = 69,84\text{ c}$



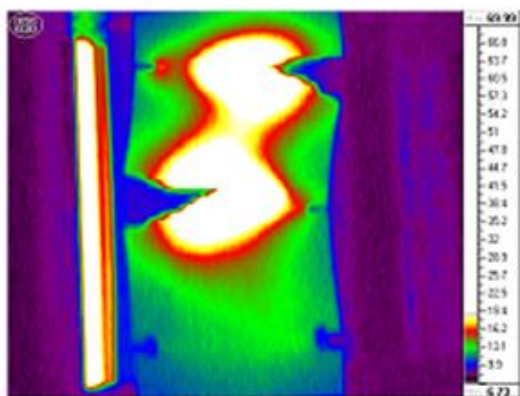
Кадр 32: $T_s = 7,6\text{ }^\circ\text{C}$; $T_{\text{max}} = 19,95\text{ }^\circ\text{C}$;
 $T_{\text{min}} = 7,03\text{ }^\circ\text{C}$; $\theta = 74,49\text{ сек}$



Кадр 35: $T_s = 7,6\text{ }^\circ\text{C}$; $T_{\text{max}} = 20,11\text{ }^\circ\text{C}$;
 $T_{\text{min}} = 7,49\text{ }^\circ\text{C}$; $\theta = 81,48\text{ c}$



Кадр 40: $T_s = 7,6\text{ }^\circ\text{C}$; $T_{\text{max}} = 30,21\text{ }^\circ\text{C}$;
 $T_{\text{min}} = 7,78\text{ }^\circ\text{C}$; $\theta = 93,12\text{ c}$



Кадр 45 (долгом): $T_s = 7,6\text{ }^\circ\text{C}$; $T_{\text{max}} = 25,5\text{ }^\circ\text{C}$;
 $T_{\text{min}} = 7,66\text{ }^\circ\text{C}$; $\theta = 104,7\text{ c}$

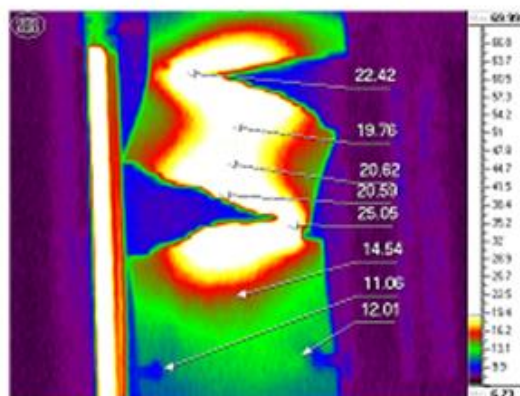


Рисунок 5.14- Кадры термофильма растяжения образца №12.10

6. ПРИБОРЫ И ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

6.1. Мониторинг технического состояния мостового сооружения

6.1.1. Общие требования к мониторингу. Виды мониторинга

В Республике Беларусь наиболее общие требования к технологии обеспечения качества любой производимой продукции сформулированы в СТБ ИСО 9000-2000, СТБ ИСО 9004-2001, СТБ ИСО 9001-2001. Требования этих документов распространяются прямо и через строительные нормативы на продукцию мостостроительной отрасли. Так, в СТБ ИСО 9001-2001 [58] указывается, что «организация должна разработать, задокументировать, внедрить и поддерживать в рабочем состоянии систему менеджмента качества, постоянно улучшать ее результативность в соответствии с требованиями настоящего стандарта». С этой целью «организация должна:

- а) определять процессы, необходимые для системы менеджмента качества, и их применение во всей организации;
- б) определять последовательность и взаимодействие этих процессов;
- в) определять критерии и методы, необходимые для обеспечения результативности как при осуществлении, так и при управлении этими процессами;
- г) обеспечивать наличие ресурсов и информации, необходимых для поддержки этих процессов и их мониторинга;
- д) осуществлять мониторинг, измерение и анализ этих процессов;
- е) принимать меры, необходимые для достижения запланированных результатов и постоянного улучшения этих процессов».

Для обеспечения требуемых свойств и долговечности мостовых конструкций необходимо контролировать соответствующие параметры и прогнозировать работоспособность конструкций. Выполнить такие требования можно с использованием результатов периодических инструментальных измерений в соответствии с требованиями п. 7.6 СТБ ИСО 9001-2001 [58] «Управление устройствами для мониторинга и измерений».

Требования СТБ ИСО 9001-2001 [58] в приложении к несущим мостовым конструкциям детализированы в белорусском ТКП 633-2019 (33200) [59]. Согласно этому документу «мониторинг представляет собой «непрерывный процесс наблюдения и регистрации параметров сооружения (конструкций) в сравнении с заданными критериями и параметрами». Документ регламентирует один подвид мониторинга: мониторинг напряженно-деформированного состояния конструкций.

Содержание мониторинга и технологические требования по его проектированию и проведению рассматриваются в СН 3-2-2020 [58] применительно к геомониторингу перемещений высотных зданий из-за возможного изменения состояния грунтов основания.

Из предыдущего следует, что существующие системы мониторинга сооружений можно разделить на виды и подвиды, исходя из классификационных критериев. Такими критериями могут быть [62 - 65]:

- длительность работы системы;
- назначение результатов измерений;
- измеряемые параметры контролируемой системы;
- характеристики каналов передачи данных;
- способы сбора, передачи, обработки, хранения измеряемых данных (и другие).

По длительности работы системы мониторинга подразделяют на временные (периодические) и постоянные (непрерывные). Временные системы мониторинга функционируют в течение ограниченного этапа жизненного цикла контролируемого объекта (стадии проектирования, строительства, капитального ремонта, реконструкции, демонтажа и др.). Постоянные системы мониторинга предназначены для функционирования в течение всего жизненного цикла мостового сооружения после ввода системы в эксплуатацию или длительного отрезка времени, в течение которого происходит приработка, приспособляемость объекта к основным нагрузкам и воздействиям.

По назначению результатов измерений системы мониторинга можно разделить на исследовательские, контрольные и контрольно-исследовательские. Исследовательские системы мониторинга направлены на установление эффективности процессов технического обслуживания мостовых сооружений и их оптимизацию. Контрольные системы мониторинга позволяют установить уровень работоспособности объекта контроля на конкретной стадии жизненного цикла (ремонт, реконструкция, эксплуатация и т.д.) мостовых сооружений. Контрольно-исследовательские системы позволяют объединить функции двух предыдущих систем.

По измеряемым параметрам контролируемых систем можно выделить системы тензометрические, инклинометрические, для измерения перемещений, вибраций, ультразвуковые, магнитные, тепловые, комбинированные и т.п.

По характеристикам каналов передачи данных выделяются виды и подвиды:

- тип каналов передачи данных (проводная, беспроводная или комбинированная подсистема);

-количество каналов передачи данных (одноканальная, двухканальная или многоканальная подсистема);

-дальность передачи информации (в масштабах объекта, в масштабах города или глобальная);

По способам сбора, передачи, обработки и хранения измеряемых данных выделяют:

- способ сбора измерительной информации (режим реального времени, непрерывный или периодический);

- способ обработки измерительной информации (автоматическая, в том числе с использованием искусственного интеллекта, автоматизированная или ручная);

- способ отображения информации (в виде таблиц, в виде графиков, в виде сигналов, в виде моделей);

- способ хранения информации (без сохранения информации, с частичным сохранением информации, с полным сохранением информации);

- количество уровней сетевой архитектуры диспетчерской службы (одноуровневая, двухуровневая, многоуровневая).

6.1.2. Объекты мониторинга мостовых сооружений.

Цели, задачи и объем работ по мониторингу

Согласно белорусским нормам проектирования ТКП 633-2019 [59] объектами мониторинга являются:

-“конструкции пролетных строений мостов при длине большего из пролетов не менее 50 м”;

-“конструкции опор мостов высотой более 15 м”;

-следующие конструкции мостов, для которых в проектной документации предусмотрено хотя бы одно из следующих условий:

- - “конструктивные элементы мостов после строительства, реконструкции, модернизации или ремонта, осуществленных с использованием новых технологий, конструкций и материалов”;

- - “мосты, находящиеся в предаварийном состоянии в соответствии с инструкцией о порядке расследования строительных аварий”, “эксплуатируемые в период ликвидации аварийных ситуаций на сооружении”;

- - “большие мосты, согласно классификации ТКП 45-3.03-232, в условиях плотной городской застройки, когда конструктивные элементы сооружения расположены на расстоянии 20 м и менее от существующих зданий и сооружений”;

- - “мосты, подлежащие ремонту в случае необходимости установления причин возникновения и динамики развития дефектов несущих конструкций, а также прогнозирования развития дефектов”;

- - других мостов, отнесенных к технически сложным или уникальным объектам (в том числе представляющих историческую ценность)”.

Российский и зарубежный опыт охватывает большую, чем [59], гамму мостовых объектов, для которых обязательно выполнение работ по мониторингу их состояния [62 - 68].

Целями мониторинга технического состояния мостового сооружения являются:

- обеспечение требуемого уровня безопасности с учетом указаний действующих ТНПА;
- повышение эффективности процессов технического обслуживания мостового сооружения.

Основные задачи мониторинга:

- оценка напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов и всего сооружения и его изменения с учетом имеющихся дефектов и повреждений;
- анализ и оценка степени соответствия несущей способности сооружения внешним воздействиям в рассматриваемый и прогнозируемый периоды жизненного цикла, прогнозирование долговечности сооружения при заданных внешних воздействиях и процессах деградации свойств материалов;
- разработка альтернативных стратегий по изменению состояния сооружения до проектного или требуемого уровня (ремонт, восстановление, усиление, реконструкция, замена);
- выбор и реализация оптимальной стратегии изменения напряженно-деформированного состояния элементов сооружения с целью обеспечения требуемой работоспособности.

6.1.3 Программа мониторинга

Объем работ по мониторингу определяется программой, составляемой в соответствии с целями и задачами, требованиями заказчика, действующих законодательных актов и нормативных документов. Содержание программы мониторинга включает:

- цель мониторинга;
- система периодичности измерений и сроки выполнения работ;
- основные характеристики объекта мониторинга;
- задачи мониторинга, анализ материалов наблюдений и обследований;
- перечень видов работ, деталей, элементов конструкции, где необходимо проводить измерения;
- применяемые средства мониторинга, порядок их размещения на конструкции сооружения;

- применяемые средства измерений, приборы, оборудование, порядок и место их установки, порядок измерений;
- порядок проведения инструментальных измерений;
- методика обработки данных измерений и анализа результатов;
- мероприятия по обеспечению доступа к элементам конструкции для установки датчиков, марок, снятия отсчетов;
- мероприятия по обеспечению сохранности установленных датчиков, марок и приборов от их повреждения, вандализма, хищения;
- перечень отчетных документов, сроки их представления.

Дополнительно в программе следует:

- определить понятия «безопасная ситуация» и «опасная ситуация», ввести их граничные условия;
- привести контрольные (проектные) данные по всем параметрам. Если мониторинг планируется проводить не на стадии эксплуатации, то эти данные должны быть привязаны к этапам проводимых работ;
- сформулировать требования к своевременности получаемой информации;
- сформулировать требования к единицам измерения, идентификации, доступности и содержанию получаемой, сохраняемой, используемой и передаваемой информации;
- определить порядок действий при получении данных, значения ко-торых подпадают под понятие «опасная ситуация»;
- определить способы сохранения данных и доступа к архивам.

6.2. Стадии проектирования и разработки автоматизированных стационарных систем мониторинга технического состояния мостового сооружения

Решение об организации процесса мониторинга на любой стадии жизненного цикла мостового сооружения принимает заказчик (владелец, балансодержатель мостового сооружения) на основе:

- проектной документации на мостовое сооружение;
- отчетов по обследованиям, испытаниям и диагностике мостового сооружения;
- отчетов по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам;
- отчетов организаций, осуществляющих техническую эксплуатацию автомобильных дорог и искусственных сооружений на них.

После принятия решения об организации процесса мониторинга производится выбор исполнителя и с ним заключается договор на выполнение работ.

Обязательным приложением к договору, определяющим требования и порядок создания системы мониторинга, является техническое задание. Состав технического задания следует формировать в соответствии с требованиями межгосударственного стандарта ГОСТ 34.602 и других ТНПА Беларуси. Техническое задание составляет и утверждает заказчик.

В качестве исходных данных для проектирования системы мониторинга используют требования технического задания. Эти требования разрабатываются на основе действующих ТНПА. Требования должны содержать (полностью или частично) следующие сведения:

- цели и задачи мониторинга;
- описание мостового сооружения, включая конструктивную схему и особенности эксплуатации;
- сведения об инженерно-геологических, климатических, гидрологических, гидрогеологических, техногенных условиях места размещения мостового сооружения, об окружающей обстановке и других особенностях;
- прогноз развития опасных геологических и гидрогеологических процессов, особых и сложных природно-техногенных условий;
- оценка текущего состояния мостового сооружения по результатам проведенных инструментальных обследований;
- описание изменения состояния мостового сооружения при воздействии нормативных и расчетных нагрузок;
- перечень параметров состояния и измеряемых физических величин, диапазоны измерения и интервалы между измерениями значений этих величин, требования к показателям точности их измерения;
- пороговые значения параметров состояния мостового сооружения, ранжированные по типам состояния или иным признакам;
- сценарии формирования сообщений о событиях и реагирования на них;
- рекомендации по структуре, технологиям и методам измерений;
- рекомендации к расположению точек контроля (схема размещения датчиков);
- порядок сбора, хранения и передачи информации;
- требования к формам отображения данных, их масштабируемости, восстанавливаемости;
- требования по информационной безопасности и разграничению правил доступа (защищенности);
- порядок (алгоритмы) контроля, оценки и прогноза состояния мостового сооружения;
- рекомендации по повышению надежности результатов измерений;

- рекомендации по способам монтажа технических средств мониторинга на мостовом сооружении;
- рекомендации по обеспечению сохранности технических средств мониторинга;
- сведения о системах связи и электроснабжения мостового сооружения;
- сведения о ранее созданной сети (сетях) наблюдения или иных установленных на мостовом сооружении автоматизированных системах мониторинга, возможности и условиях использования их элементов и/или результатов ранее выполненных наблюдений в целях организации мониторинга;
- требования к сопровождению;
- иные требования, устанавливаемые заказчиком.

Проектирование системы мониторинга осуществляют на основании технико-экономического сравнения вариантов реализации системы с учетом перспектив модернизации аппаратно-программных средств системы и возможности использования результатов работы системы на различных стадиях жизненного цикла мостового сооружения.

При проектировании системы мониторинга может быть выполнена оценка риска системы мониторинга.

Проектирование систем мониторинга необходимо вести на основе следующих принципов:

- системность (на всех стадиях создания и развития целостность системы должна быть обеспечена связями между компонентами системы и перечнем реализуемых задач);
- совместимость (интерфейсы системы, включая способы взаимодействия персонала, должны быть согласованы для функционирования с внешними системами);
- стандартизация (компоненты системы должны быть, по возможности, типовыми);
- законность (осуществление защитных мероприятий и разработка системы обеспечения защиты информации в соответствии с действующим законодательством Республики Беларусь в области защиты информации);
- открытость, адаптивность (изменение, развитие, совершенствование и обновление системы в соответствии с оперативными и стратегическими потребностями без нарушения штатного режима работы системы и ее компонентов);
- эффективность (рациональное соотношение между затратами на создание системы и полученными от ее использования результатами);
- технологичность (использование современных технологий при проектировании системы).

В процессе проектирования системы мониторинга должны быть выполнены следующие этапы работ [63 - 67]:

- разработка проектных решений по системе и ее частям;
- разработка документации на систему и ее части;
- разработка и оформление документации на поставку изделий для комплектования системы и (или) технических требований (технических заданий) на их разработку;
- разработка заданий на проектирование смежных частей проекта;
- разработка рабочей документации на систему мониторинга и ее части;
- разработка и (или) адаптация программ.

При разработке проектных решений по системе мониторинга и ее частям разрабатывают общие решения, в том числе по функционально-алгоритмической структуре системы, функциям персонала и организационной структуре, структуре технических и измерительных средств, алгоритмам решений задач и применяемым технологиям, организации и ведению баз данных, системе классификации и кодирования информации, программному обеспечению. При изготовлении документации на систему и ее части выполняют разработку, оформление, согласование и утверждение документации в объеме, необходимом для описания полной совокупности принятых проектных решений и достаточном для дальнейшего выполнения работ по созданию системы мониторинга. При выполнении и оформлении документации на поставку изделий для комплектования системы и (или) технических требований (технических заданий) на их разработку осуществляют подготовку и оформление документации на поставку изделий для комплектования системы мониторинга, определение технических требований и составление технических заданий на разработку изделий, не изготавливаемых серийно. Этап разработки заданий на проектирование в смежных частях проекта мониторинга включает в себя разработку, оформление, согласование и утверждение заданий на проектирование в смежных частях проекта для проведения строительных, электротехнических, санитарно-технических и других подготовительных работ, связанных с созданием системы мониторинга.

Состав разрабатываемой проектной документации мониторинга объекта определяет заказчик в зависимости от конкретных условий и уточняет в техническом задании, исходя из следующего перечня документов [63 - 67]:

- 1) пояснительная записка, включающая описание мостового сооружения, общее описание системы и отдельных технических

средств, описание различных видов обеспечения, описание алгоритмов обработки данных и алгоритмов принятия решений;

- 2) отчет по результатам оценки риска;
- 3) схема организационной структуры;
- 4) структурная схема комплекса технических средств;
- 5) схема функциональной структуры;
- 6) схема принципиальная;
- 7) технические задания на разработку специализированных (новых) технических средств;
- 8) задания на разработку строительных, электротехнических, санитарно-технических и других разделов проекта, связанных с созданием системы;
- 9) чертеж общего вида;
- 10) чертеж установки технических средств;
- 11) план расположения оборудования и проводок;
- 12) схема соединений внешних проводок;
- 13) схема подключения внешних проводок;
- 14) таблица соединений и подключений;
- 15) перечень входных сигналов и данных;
- 16) перечень выходных сигналов (документов);
- 17) спецификация оборудования, изделий и материалов;
- 18) ведомости оборудования, материалов и покупных изделий;
- 19) ведомость запасных частей, инструментов и принадлежностей;
- 20) сметная документация;
- 21) описание программ (исходные коды/тексты в среде разработки), руководство пользователя программного обеспечения, включающее сведения по формированию и ведению баз данных;
- 22) инструкция по эксплуатации системы, включающая сведения о мероприятиях по проверке работоспособности, обслуживанию (графики ревизий, графики поверки и калибровки средств измерений и т.п.) и ремонту элементов системы;
- 23) регламент экстренных действий;
- 24) программа и методика испытаний (отдельных элементов и системы в целом);
- 25) паспорт.

6.3. Структурная схема системы мониторинга мостов

Автоматизацию процесса мониторинга мостовых сооружений производят посредством создания и эксплуатации автоматизированной системы, в состав которой включают технические средства, размещаемые на объектах мониторинга и в

организациях, ответственных за эксплуатацию искусственных сооружений на автомобильных дорогах общего пользования.

Функции системы мониторинга распределяются между измерительной подсистемой, подсистемой передачи данных и подсистемой сбора данных (рис.6.1). Выполнение этих функций осуществляется техническими средствами, размещаемыми на объекте мониторинга (объектовый уровень) и в эксплуатирующей организации (эксплуатационный уровень).

Посредством измерительной подсистемы должен быть выполнен сбор информации о напряженно-деформированном состоянии конструктивных элементов и всего сооружения, его изменения с учетом имеющихся дефектов и повреждений. Измерительная подсистемы должна обеспечивать возможность измерения:

- параметров состояния объекта мониторинга, характеризующих изменение его пространственного, напряженно-деформированного и вибрационного состояния во времени;
- параметров окружающей среды, характеризующих внешние воздействия природного и техногенного характера, оказывающие влияние или способные привести к негативным изменениям состояния и функциональных свойств объекта (температура, влажность, агрессивность и т.д.).



Рисунок 6.1 - Структурная схема системы мониторинга

Измерительная подсистема включает следующие компоненты:

- устройства управления (контроллеры, специализированные ЭВМ и т.п.);
- устройства предварительной обработки данных;
- средства измерений;
- телекоммуникационное оборудование;
- вспомогательное оборудование.

Подсистема сбора, обработки и анализа данных предназначена для выполнения задач, связанных со сбором, обработкой, анализом, хранением и визуализацией данных. Структура подсистемы сбора, обработки и анализа данных должна выполнять следующие действия:

- получение данных от измерительной подсистемы;
- проверка достоверности и фильтрация данных;

- сравнение данных измерений с данными модели объекта;
- анализ и оценка степени соответствия напряженно-деформированного состояния сооружения внешним воздействиям в рассматриваемый и на прогнозируемый период времени;
- разработка альтернативных стратегий по изменению состояния сооружения;
- выбор и реализация наиболее рациональной стратегии по созданию структуры сооружения, соответствующей ее состоянию и внешним воздействиям.

В состав подсистемы сбора данных входят следующие компоненты:

- серверный комплекс (сервер управления, видеосервер, сервер баз данных и т.п.);
- автоматизированные рабочие места;
- телекоммуникационное оборудование;
- вспомогательное оборудование.

Проектируемая система мониторинга должна обеспечивать возможность информационного взаимодействия с внешними (сторонними) системами (системой геомониторинга и др.) и быть работоспособной в течение всего периода мониторинга.

Надежность системы мониторинга обеспечивается выполнением следующих мероприятий:

- использование комплекта запасных частей, инструментов и принадлежностей;
- дублирование средств измерений (датчиков);
- дублирование каналов передачи данных;
- применение специальных конструктивных решений для защиты оборудования и линий связи в период их эксплуатации от климатических воздействий, пыли, влаги, интенсивного электромагнитного излучения (в случае необходимости), вандализма и случайных механических повреждений;
- наличие возможности автоматической остановки рабочих процессов, экстренного оповещения диспетчера о нештатной ситуации, сигнализации и т.п.;
- минимизация числа элементов системы, наиболее подверженных повреждению вследствие нахождения в зоне производства работ;
- минимизация применения способов измерения и получения информации, для выполнения которых требуется вмешательство человека;
- применение дополнительных требований к программному обеспечению (резервное копирование баз данных, автоматическое восстановление системы после сбоя и т.п.);
- применение реализованной с помощью аппаратно-программных средств диагностики работы оборудования и выдачи

предупреждающих сигналов диспетчеру в случаях обнаружения неполадок в системе.

Система сбора, обработки, хранения и использования результатов измерений должна удовлетворять ряду требований. Так, информационная модель системы мониторинга должна соответствовать структурной схеме, показанной на рисунке 2. Результаты работы системы мониторинга должны основываться на интеллектуальном анализе данных, последовательность действий которого показаны на рисунке 3.

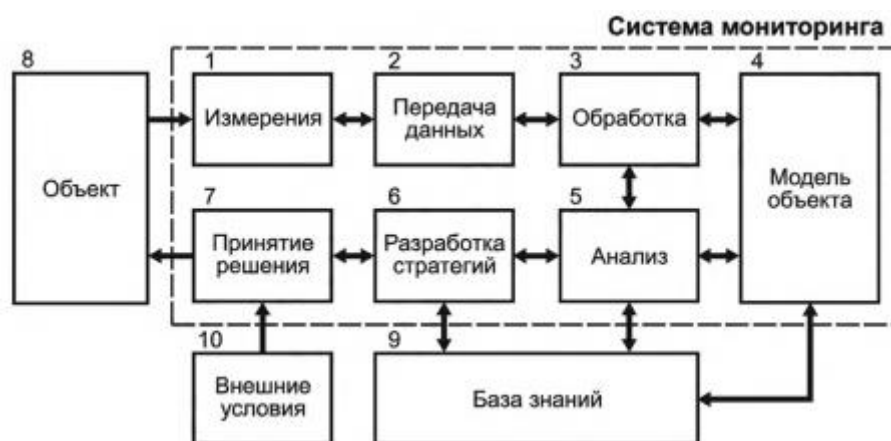


Рисунок 6.2 - Модель процесса мониторинга



Рисунок 6.3 - Процесс интеллектуального анализа и обработки данных

Расшифровка операций, выполняемых в процессе анализа и обработки (см. рис.6.3) данных, следующая:

1) отбор данных — формирование подмножеств данных для дальнейшего анализа;

2) очистка данных — приведение выборки данных к единому формату (область совместимости), удаление из выборки

повторяющихся данных (устранение дублирования), удаление из выборки заведомо недостоверных данных (устранение противоречий);

3) обогащение данных — добавление к записям выборки дополнительной информации, необходимой для анализа;

4) кодирование данных — преобразование данных выборки к более удобному для анализа виду;

5) извлечение знаний — сопоставление двух или более атрибутов данных выборки для выявления закономерностей (ассоциация), использование одного или нескольких атрибутов данных выборки в качестве основы для определения кластеров сходных результатов (кластеризация), определение тенденций (прогнозирование

6) сообщение — представление результатов интеллектуального анализа данных в удобной для понимания форме (визуализация, описание результатов, оценка последствий принимаемых решений на основе дополнительных внешних условий и т.п.).

Основой процесса мониторинга должны являться 1) модель объекта заданного уровня сложности и 2) данные измерений, получаемые в процессе мониторинга. В качестве данных для обработки и анализа должны быть использованы следующие информационные множества:

- модели состояния объекта;
- измеряемые физические величины;
- результаты измерений;
- события от источников данных;
- идентификаторы технических средств;
- модели получения и хранения данных;
- модели (алгоритмы) преобразования и обработки информации;
- параметры моделей (алгоритмов) преобразования и обработки информации;
- критерии оценки данных (распознавания состояния объекта);
- массивы данных (статические и динамические);
- форматы представления данных;
- форматы передачи данных (коммуникационные форматы);
- конфигурационные данные статического и динамического характера;
- документы.

Результат комплексной обработки данных, реализованный с помощью программного обеспечения системы мониторинга, должен быть представлен в виде:

- систематизированной и удобной для восприятия ответственным должностным лицом информации по отдельным измеряемым параметрам или их совокупности (таблицы, графики, диаграммы и т.д.);

- визуальной и звуковой информации, характеризующей техническое состояние объекта мониторинга, поступающей ответственному должностному лицу или соответствующим службам (строительным, эксплуатационным, диспетчерским и т.п.) в виде сигналов, сообщений, уведомлений и т.п.;

- сигналов управления (сформированных и переданных в автоматическом режиме) для оборудования или внешних автоматизированных систем для реагирования на нештатные или аварийные ситуации;

- отчета установленного образца, сформированного по запросу ответственного должностного лица;

- научно-технического отчета, сформированного на основе всестороннего анализа результатов мониторинга.

В соответствии с принятым порядком сбора данных измерений следует устанавливать (рассчитывать) периодичность сбора данных (снятия показаний с датчиков). При этом допускается назначение различной периодичности для разных параметров, а также изменение периодичности в процессе эксплуатации системы мониторинга в зависимости от заранее заданных условий (например, увеличение скорости опроса после аварий, опасных природных явлений, в период проведения ремонтных работ и т.п.).

Для хранения всех полученных в процессе мониторинга данных должны быть предусмотрены цифровые носители. Информация, полученная в результате сбора и обработки данных, после систематизации и помещается в общую базу данных.

Возможная блок-схема мероприятий по организации системы мониторинга при эксплуатации мостового сооружения показана на рисунке 6.4. Учитывая сложность взаимосвязей мероприятий на разных стадиях жизненного цикла объекта, функциональные связи между различными мероприятиями должны быть установлены на начальной стадии проектирования. Результаты процесса проектирования системы мониторинга должны быть интегрированы в единый проект эксплуатации мостового сооружения. При проектировании контрольных систем мониторинга необходимо разрабатывать указания по организации процесса мониторинга. Такой документ должен содержать определения понятий нештатной и аварийной ситуаций, а также регламентировать порядок действий ответственных лиц и служб в случаях возникновения таких ситуаций.

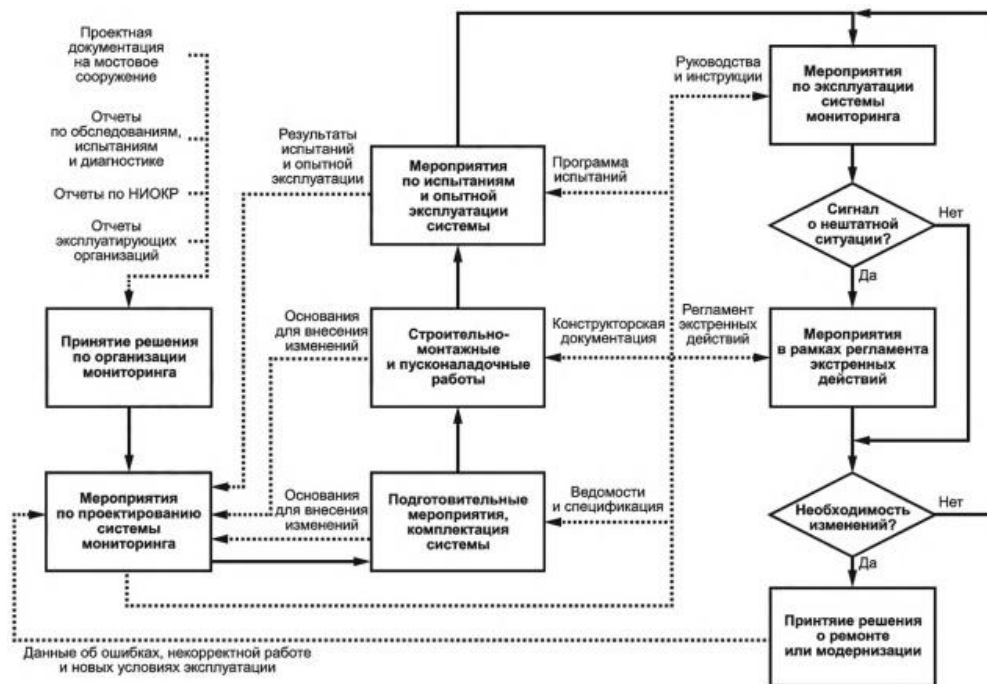


Рисунок 6.4 - Блок-схема мероприятий по организации системы мониторинга при эксплуатации мостового сооружения

6.4. Контролируемые параметры, средства измерения и аппаратура мониторинга

Перечень контролируемых параметров (перечень измеряемых физических величин), диапазоны измерения, интервалы между измерениями значений величин и требования к показателям точности формируются на основе выполнения следующих действий:

- анализ условий строительства (результаты геологических изысканий, способы монтажа и т.д.);
- анализ проектной документации и результатов поверочного расчета (статическая схема, «опасные зоны, сечения, точки», применяемые материалы и технические решения и т.д.);
- анализ аварийных и нештатных ситуаций, произошедших при строительстве сооружения (повреждения конструкций, изменения в проектной документации и т.д.);
- анализ аварийных и нештатных ситуаций, произошедших при эксплуатации сооружения (повреждения конструкций в результате дорожно-транспортных происшествий, резкое снижение уровня какого-либо потребительского свойства — грузоподъемности, долговечности и т.д.);

- анализ текущего состояния сооружения (стадия жизненного цикла, степень аварийности отдельных конструкций и сооружения в целом, результаты обследований и испытаний и т.д.);

- анализ внешних воздействий на сооружение (интенсивность движения, климатические условия и т.д.);

- моделирование наиболее вероятных нештатных и аварийных ситуаций конечно-элементными методами с использованием программ типа Софистик, АНСИС и других с выявлением опасных зон, сечений, точек (проезд тяжелого и крупногабаритного транспортного средства, повреждение в результате некачественного выполнения строительных работ и т.д.);

- составление полного перечня измеряемых параметров с учетом результатов анализа по предыдущим пунктам и существующих методик оценки значений каждого параметра при обработке результатов, а также с учетом специальных задач мониторинга;

- оптимизация состава контролируемых (измеряемых) параметров.

При моделировании различных ситуаций для детализации состава контролируемых параметров должны быть учтены:

- факторы, определяющие напряженно-деформированное состояние;

- особенности взаимодействия элементов мостовых конструкций между собой, подферменниками, опорами, фундаментами и грунтовым основанием;

- пространственная работа пролетных конструкций;

- геометрическая и физическая нелинейность;

- пластические и реологические свойства материалов и грунтов;

- возможность образования трещин в опасных зонах;

- возможные отклонения геометрических параметров от их номинальных значений.

При определении контролируемых параметров и диапазона их изменений необходимо учитывать технические характеристики современного оборудования и средств измерений, а также условия монтажа и последующего технического обслуживания аппаратно-программных средств системы мониторинга.

Диапазон каждого выбранного типа средств измерений должен соответствовать предельным допустимым значениям измеряемого параметра конструкции. В случаях, когда предельные допустимые значения параметра неизвестны (или их определение является задачей мониторинга), диапазон необходимо выбирать на основе предварительного расчета или экспертных оценок.

Значения погрешностей выбранных средств измерений должны обеспечивать возможность последующей оценки технического

состояния конструкций, на основе полученных с соответствующей точностью результатов измерений.

Средства измерений, предназначенные для контроля основных измеряемых параметров, подлежат первичной и периодической поверке в соответствии с требованиями органов Госстандарта.

Датчики, приборы и аппаратура, используемы в системах мониторинга мостовых сооружений, приведены в приложениях 8 и 9.

6.5. Пример выполнения мониторинга напряженно-деформированного состояния стальных пролетных конструкций моста на стадии монтажа

Обрушение строящегося моста через р. Западную Двину у деревни Комары в пригороде г. Витебска (Республика Беларусь), которое произошло 27 декабря 2006 года [69], инициировало разработку в республике первой системы мониторинга напряженно-деформированного состояния мостовой конструкции на стадии монтажа. Эта авария и аварийная ситуация в одном из пролетов автодорожного моста в Житковичском районе через р. Припять явились убедительными аргументами для разработки первого нормативного обеспечения по мониторингу мостов (ТКП 633-2019 (33200)).

Обрушение стальных пролетных балок металлического пролетного строения с двумя коробчатыми главными балками произошло в процессе незавершенного монтажа конструкций методом продольной надвигки в результате достижения предельного состояния балок в надпорном сечении. В этом состоянии произошла деформация пролетного строения под собственным весом в 1200 тонн и последующее его обрушение [69]. Вид обрушившихся конструкций показан на рисунке 6.5.



Рисунок 6.5. Вид надвигаемых конструкций после обрушения

В статье [70] описаны стальные пролетные конструкции моста (видимо, восстановленного после крушения). “Пролетное строение состоит из 2-х главных балок коробчатого сечения, объединенных между собой поперечными связями и железобетонной плитой проезжей части. Коробки главных балок в поперечном сечении имеют трапециевидную форму: внутренняя стенка коробки вертикальная, внешняя – наклонная. Расстояние между осями коробок - 7,3 м. Стыки блоков металлоконструкций выполнены на высокопрочных болтах и сварке.”

Надвижка металлоконструкций моста осуществлялась согласно проекта надвижки, разработанного ЗАО Институт “Гипростроймост” (г.Санкт-Петербург). Работы по надвижке выполнялись мостостроительным управлением № 2 РУП “Мостострой” [70].

Для захвата опор и дальнейшей надвижки использовались аванбек длиной 52,5 м и приемно-поворотное устройство. Аванбек пристыковывался к коробкам главных балок. Монтажный стык выполнялся на накладках, прикрепленными высокопрочными болтами М22. Приемно-поворотное устройство встречало аванбек и использовалось для его установки на опору №3.

После устранения последствий аварии и в процессе подготовки к повторному монтажу было принято решение о проведении мониторинга напряженно-деформированного состояния пролетных конструкций в процессе надвижки. В процессе мониторинга выполнялись следующие задачи [70]:

- определение планово-высотного положения пролетного строения на разных этапах производства работ;
- определение планово-высотного положения накаточного пути;
- определение высотного положения консоли аванбека и стыка блоков пролетного строения с аванбеком, контроль их вертикальных перемещений при надвижке;
- выявление внешних проявлений деформаций («хлопунов»);
- контроль «ухода» пролетного строения при надвижке, контроль отлипания металлоконструкций в местах опираний на «скользуну» и перекаточные устройства;
- измерение напряжений в металлоконструкциях при надвижке.

Наиболее сложной и ответственной задачей являлось обеспечение постоянного контроля напряжений в материале контрольных сечений в процессе надвижки. Традиционные методы тензометрирования в этом случае были неприемлемы из-за большой длины надвигаемых конструкций, разброса контрольных сечений по длине балки, изменения положения контрольных сечений при надвижке и др.

С учетом указанного была разработана методика непрерывного контроля с отображением данных об изменении напряжений в контрольных точкахдвигаемых конструкций. Оттарированные датчики индивидуального изготовления крепились контактной сваркой внутри коробок балок на верхние и нижние пояса балок у вертикальной и наклонной стенок (рис. 6.6). Для устранения температурных погрешностей при измерении напряжений устанавливались компенсационные датчики.



Рисунок 6.6 – Вид установки тензодатчиков на конструкции моста

Всего было установлено 42 комплекта датчиков и электронных блоков преобразования информации. Все электронные блоки соединялись последовательно-параллельной связью с персональным компьютером и через адаптеры беспроводной связи были связаны с главным пультом отображения информации.

Данные о напряжениях в элементах металлоконструкций отображались в реальном времени. При превышении фактических значений напряжений над расчетными текущая информация выделялась красным цветом.

В наиболее нагруженных в процессе монтажа сечениях устанавливали механические индикаторы типа ИГМ на базе 500 мм. Снятие показаний индикаторов производили с использованием видеокамер и специально разработанной электронной схемы управления передачей информации на головной компьютер, включающей 8 видеокамер. Информация с видеокамер считывалась по команде головного компьютера и сохранялась в базе данных.

Архитектура построения системы автоматического контроля изменения напряжений в контрольных сечениях приведена на рисунке 6.7.

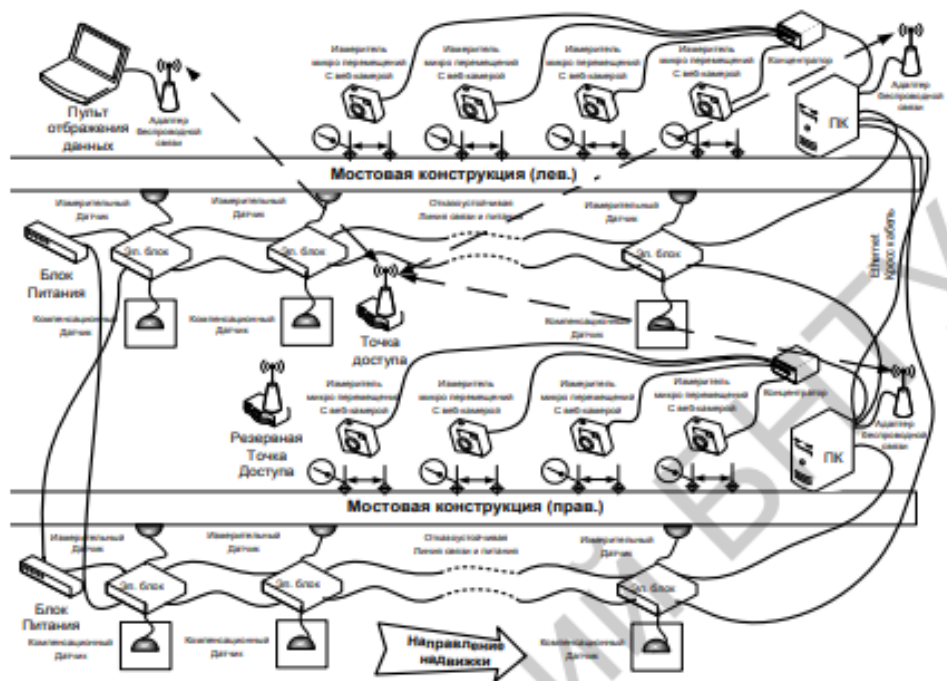


Рисунок 6.7 – Архитектура построения системы автоматического контроля динамики изменения напряжений в пролетной мостовой конструкции во время надвижки

Анализ результатов измерений показал, что на напряженное состояние точек сечений существенное влияние оказывают изменение скорости и направления ветра, изменение силы трения на перекаточных устройствах, моменты включения гидродомкратов толкающего устройства, положение солнца и разность температур верхового и низового блоков.

Величина остаточных сварочных напряжений в металле конструкций, измеренных с помощью переносных датчиков напряжений, изготовленных ООО «Сенсотроника», в среднем составляла 90 кгс/см^2 , максимальные зарегистрированные напряжения - 140 кгс/см^2 .

В процессе надвижки величины напряжений не превышали расчетных сопротивлений стали. При вылете консоли аванбека за ось опоры № 3 на длину 27,05 м датчики зарегистрировали резкий, но не превышающий установленных значений, скачок напряжений в контрольном сечении блока БК11. При этом визуальным контролем было выявлено смещение элемента связи между верховой и низовой коробками блоков БК11. Причиной такого смещения элемента связи явилась разница температур верхового и низового блоков в сочетании с запаздыванием включения в работу одного из домкратов толкающего устройства.

Таким образом, принятая система непрерывного контроля напряженно-деформированного состояния способствовала успешному осуществлению надвижки пролетного строения длиной 126 м без применения временных опор.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящем пособии рассмотрены средства технической диагностики и обследований зарубежного и отечественного производства, даны их основные технические характеристики и изложены основы проектирования систем мониторинга мостовых сооружений.

Из рассмотренного материала следуют принципы построения служб мониторинга, диагностики и обследований мостовых сооружений, функциональные, технические и др. ограничения к средствам диагностики и передвижным лабораториям. Значительное внимание уделено новым методам исследования сооружений с использованием тепловых и георадарных технологий. Рекомендуемый цикл лабораторных работ, составленный с участием авторов, приведен в учебно-методическом пособии [71].

1. Структура технических средств, службы диагностики и обследований мостовых сооружений определяется технико-эксплуатационными особенностями обслуживаемых мостовых сооружений, принципиальными основами национальной системы управления мостами, данными и уровнем обобщения опыта и исследований проблем эксплуатации мостов в республике, подготовленностью кадров и с учетом мировых тенденций развития систем управления мостами.

2. Техническое обеспечение служб мониторинга, диагностики и исследований мостов целесообразно строить с учетом мирового опыта: сочетание и объединение возможностей производства и науки о мостовых сооружениях, использование сложившейся специализации и материального обеспечения организаций и лабораторий Республики Беларусь.

3. Диагностические мостовые лаборатории должны иметь в составе как основное оборудование, приборы в составе многоканальных измерительных комплексов для регистрации, хранения, обработки и документирования данных испытаний, так и вспомогательное оборудование, обеспечивающее мобильность, способность выполнять все виды подготовительных, исследовательских и расчетно-аналитических работ.

4. В качестве аналогов для построения национальных диагностических лабораторий могут быть приняты схемы и структура приборного обеспечения лабораторий, рассмотренных в разделе 3.

5. Перспективными для применения в транспортном строительстве являются комплексные методы неразрушающего контроля и диагностики с использованием традиционных методов неразрушающего контроля (ультразвуковых, магнитных и др.) и компьютерных георадарных и термографических технологий. При их применении особое

внимание следует уделять качественной проработке программы исследований и методик интерпретаций измерений.

6. Для адаптации отдельных приборов и наработки методик и нормативных документов по их применению, целесообразно предусмотреть соответствующий цикл опытно-исследовательских работ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СТБ 2158-2011. Строительство. Устройство мостов и труб. Номенклатура контролируемых показателей качества. Контроль качества работ.
2. СН 1.04.01-2020. Строительные нормы Республики Беларусь. Техническое состояние зданий и сооружений.
3. ТКП 45-3.03-60-2009 (02250) «Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний».
4. Методы контроля бетона в конструкциях. Часть 4 Определение скорости распространения ультразвукового импульса: СТБ EN 12504-4-2014 – Введ. 01.01.2015. Госстандарт, Минск, 2014. – 15 с.
5. Оценка прочности на сжатие конструкций и элементов сборного бетона в реальных условиях: СТБ EN 13791-2012. – Минск: Госстандарт - Введ. 10.02.2012. Госстандарт, Минск, 2012. – 18 с.
6. ГОСТ 18105-2018. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности.
7. ГОСТ 22362-77. Конструкции железобетонные. Методы измерения силы натяжения арматуры.
8. ГОСТ 22690-2015. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля.
9. ГОСТ 22904-93. Конструкции железобетонные. Магнитный метод определения толщины защитного слоя бетона и расположения арматуры.
10. ГОСТ 24452-80. Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона.
11. ГОСТ 28433.0-85. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений. Общие положения.
12. СТБ EN 970-2003. Контроль неразрушающий сварных соединений. Визуальный метод.
13. СТБ 1168-99. Бетоны. Метод контроля коррозионного состояния стальной арматуры в бетоне и защитных свойств бетона.
14. СТБ 1308-2002. Строительство. Методики испытаний продукции. Порядок разработки и введения в обращение.
15. СТБ ИСО/МЭК 17025-2001. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
16. РД 0219.1.20-2001. Руководство по операционному контролю качества работ при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог и искусственных сооружений.
17. СТБ 2331-2015/ОР. Здания и сооружения. Классификация. Основные положения.

18. ТКП 633-2019 (33200). Мосты и трубы. Мониторинг напряженно-деформированного состояния конструкций. – Минск: БелдорНИИ, 2019. - 17 с.

19. Кириллов В.С. Эксплуатация и реконструкция мостов и труб на автомобильных дорогах. - М.: Транспорт, 1971. -260 с.

20. Справочное пособие дорожному (мостовому) мастеру по содержанию мостовых сооружений на автомобильных дорогах.-М.: Росавтодор.-1999.- 243с.

21. Содержание и реконструкция мостов/ В.О.Осипов, Ю.Г.Козьмин, В.С.Анциперовский, А.А.Кирста. Под ред. В.О.Осипова. Учебник для вузов железнодорожного транспорта. - М.:Транспорт,1986.-327с.

22. Государственная программа «Дороги Беларуси» на 2021–2025 годы: утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 9 апреля 2021 г. № 212.

23. Леонович, И. И. Проблемы эксплуатации железобетонных мостов на сети автомобильных дорог Беларуси / И. И. Леонович, Г. П. Пастушков // Вестник БГПА. – 2002. – № 1. – С. 11–15.

24. Аварии транспортных сооружений и их предупреждение / И. И. Овчинников [и др.]. – Чебоксары: ИД «Среда», 2020. – 216 с.

25. Дмитриев, Ф. Д. Крушения инженерных сооружений. Историко-технические очерки / Ф. Д. Дмитриев. – М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1953. – 188 с.

26. Мойсейчик, Е.А. Уроки эксплуатации и обрушений мостовых несущих конструкций автодорожных мостов/Е.А.Мойсейчик// Автомобильные дороги и мосты. -2022г.- №1(29). - С.6 – 13.

27. Scheer, Joachim. Failed bridges: case studies, causes and consequences / Joachim Scheer. – Berlin: Ernst & Sohn, 2010. – 321 p.

28. 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). DOI: 10.15862/01TS114.

29. Концепция улучшения состояния мостовых сооружений на федеральной сети автомобильных дорог России (на период 2002-2010 гг.) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.internet-law.ru/stroyka/text/11428/> (дата обращения: 01.01.2023).

30. Урманов, И. Система управления мостами. Программа совершенствования И. Урманов, Л. Горобец, И. Матвеев, В. Шестериков// Автомобильные дороги. - 2004. - №4.- С.18-21.

31. Прокофьев, А. Диагностика: Объективность, качество, контроль // Автомобильные дороги, 2004, №2. - С. 20 - 21.

32. Кулижников, А. Георадарный контроль/ А. Кулижников, А. Белозеров. // Автомобильные дороги, 2004, №7. - С.16 - 18.
33. Семейкин, Н. Дорожный рентген/ Н. Семейкин, В. Помозов // Автомобильные дороги, 2005, №3, с.22-23.
34. Джемисон, Дж. Э. Физика и техника инфракрасного излучения/ Дж.Э.Джемисон, Р.Х. Мак-Фри, Дж.Н. Пласс. - М.: Советское радио, 1965.- 642 с.
35. Госсорг, Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение: Пер. с франц. - М.: Мир, 1988. - 416с.
36. Экспериментальная механика: В2-х кн.: Кн.2. Пер.с англ./ Под ред. А.Кобаяси. - М.: Мир, 1990. - 552 с.
37. Вавилов, В. П. Тепловизоры и их применения / В.П. Вавилов, А.Г. Климов А. Г. - М.: Интел универсал, 2002. - 87 с.
38. Справочник по общестроительным работам. Инженерные изыскания в строительстве. - М.: Стройиздат. - 1975. -480 с.
39. Трофименков, Ю.Г. Полевые методы исследования строительных свойств грунтов/ Ю.Г. Трофименков, Л.Н. Воробков. - 3-е изд.- М.: Стройиздат,1981. – 215 с.
40. Лещинский, М.Ю. Испытание бетона. Справочное пособие. -М.: Стройиздат,1980. – 360 с.
41. Испытательная техника: Справочник. В 2-х кн./ Под ред. В.В. Клюева.-М.:Машиностроение,1982. - Кн.1.1982. – 528 с.
42. Испытательная техника: Справочник. В 2-х кн./ Под ред. В.В.Клюева.-М.: Машиностроение,1982-Кн.2.1982.-560с.
43. Неразрушающие испытания. Справочник. В 2-х кн./ Пер. с англ./ Под ред. Р.Мак-Мастера.-М.-Л.:Энергия,1965-Кн.1.1965.- 504 с.
44. Неразрушающие испытания. Справочник. В 2-х кн./ Пер. с англ./ Под ред. Р.Мак-Мастера.-М.-Л.:Энергия,1965-Кн.2.1965.- 492 с.
45. Максимов, Л.С. Измерение вибрации сооружений. Справочное пособие/ Л.С. Максимов, И.С. Шейнин. – Л.: Стройиздат,1974. - 255 с.
46. Иванов, Ф.М. Защита железобетонных транспортных сооружений от коррозии. - М.: Стройиздат, 1968. - 110 с.
47. Плудек, В. Защита от коррозии на стадии проектирования/Пер. с англ. проф. А.В. Шрейдера. - М.: Мир, 1980. - 440 с.
48. Волков, Б.Г. Справочник по защите подземных металлических сооружений от коррозии/Б.Г. Волков, Н.И. Тесов, В.В. Шуванов. - Л.: Недра,1975. – 224 с.
49. Руководство по применению фотограмметрических методов для составления обмерных чертежей инженерных сооружений/ ПНИИС.- М.: Стройиздат, 1984. - 312 с.
50. Брик, А.Л. Эксплуатация искусственных сооружений на железных дорогах/А.Л. Брик, В.Г. Давыдов, В.Н. Соловьев. - М.:Транспорт,1990.-232с.

51. Владов, М.Л. Введение в георадиолокацию. Учебное пособие// М.Л.Владов, А.В. Старовойтов – М.: Издательство МГУ, 2004. – 153 с.
52. Жилин, С.Н. Современные автоматизированные технические средства диагностики автомобильных дорог/С.Н. Жилин, В.И. Ермолаев. - М.: Информавтодор/ 2002. – 60 с.
53. Кулижников, А.М. Опыт применения георадарных технологий в дорожном хозяйстве/ А.М. Кулижников, Н.А. Лушников, А.А. Белозеров. – М.: Информавтодор, 2004. – 73 с.
54. СТБ EN 13187-2016. Тепловая защита зданий. Определение теплотехнических неоднородностей ограждающих конструкций. Метод тепловизионного контроля. - Минск: Стройтехнорм, 2016. – 13 с.
55. Мойсейчик, Е. А. Тепловой контроль материалов, стальных конструкций и машин: монография / Е. А. Мойсейчик; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. нац. техн. ун-т. - Минск: БНТУ, 2022. - 219 с.
56. ГОСТ Р 53698 - 2009 Контроль неразрушающий. Методы тепловые. Термины и определения. - Стандартиформ, 2010. – 8 с.
57. ГОСТ Р 56511 - 2015. Контроль неразрушающий. Методы теплового вида. Общие требования. – М.: Стандартиформ, 2018. – 8 с.
58. СТБ ИСО 9001-2001. Системы менеджмента качества. Требования. – Минск: БелГИСС, 2001. – 23 с.
59. ТКП 633-2019 (33200). Мосты и трубы. Мониторинг напряженно-деформированного состояния конструкций. – Минск: БелдорНИИ, 2019. - 23 с.
60. СН 3-2-2020. Высотные здания. – Минск: МАиС, 2020. – 114 с.
61. СН 3.03.01 – 2019. Мосты и трубы. – Минск: Стройтехнорм, 2020. – 280 с.
62. СП 35.13330.2011. Свод правил. Мосты и трубы. – М.: Минрегион РФ, 2010. – 340 с.
63. СП 274.1325800.2016. Мосты. Мониторинг технического состояния. – М.: Минстрой России, 2016. – 45 с.
64. ГОСТ Р 59943- 2021. Дороги автомобильные общего пользования. Системы мониторинга мостовых сооружений. Правила проектирования. – М.: Российский институт стандартизации, 2022. – 19 с.
65. ОДМ 218.4.002-2008. Руководство по проведению мониторинга состояния эксплуатируемых мостовых сооружений. – М.: Росавтодор, 2008. – 45 с.
66. 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).

67. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Нигаматова О.И., Михалдыкин Е.С. Прочностной мониторинг мостовых сооружений и особенности его применения. Часть 2. Непрерывный мониторинг состояния мостовых сооружений // Транспортные сооружения, Том 1, №2 (2014), <http://t-s.today/PDF/01TS214.pdf> (доступ свободный).

68. Abdelhady Omar, Osama Moselhi. Condition Monitoring of Reinforced Concrete Bridge Decks: Current Practices and Future Perspectives. May 2022. DOI:10.33552/CTCSE.2022.08.000695. https://www.researchgate.net/publication/360951837_Condition_Monitoring_of_Reinforced_Concrete_Bridge_Decks_Current_Practices_and_Future_Perspectives (доступ свободный).

69. Овчинников, И.И. Аварии транспортных сооружений и их предупреждение / И. И. Овчинников, Ш. Н. Валиев, И. Г. Овчинников, И. С. Шатилов. – Чебоксары: ИД «Среда», 2020 – 216 с.

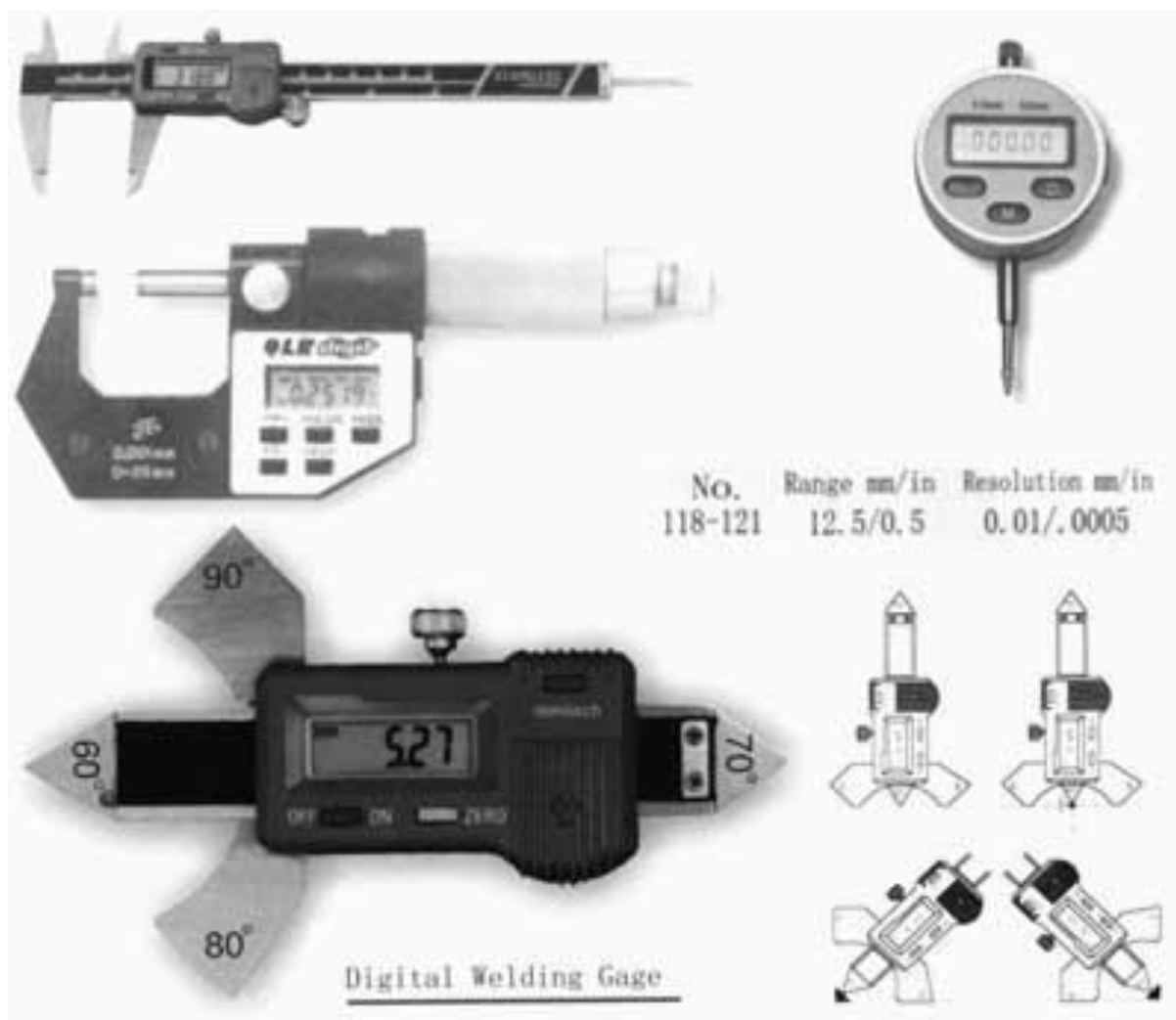
70. Вайтович, О.М. Контроль напряженно-деформированного состояния металлоконструкций пролетного строения моста через р. Западная Двина на обходе г. Витебска/ О. М. Вайтович, Д. А. Тромпель// https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/34190/Kontrol_napryazhenno-deformirovannogo_sostoyaniya_metallokonstrukcij.pdf?sequence=1&isAllowed=y&ysclid=lctha628d2889447258 (доступ свободный).

71. Мойсейчик, Е.А. Приборы для неразрушающего контроля, диагностики и обследований мостовых сооружений: учебно-методическое пособие для студентов специальностей 1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены» по дисциплине «Обследование и испытание сооружений»/ Е.А. Мойсейчик, Е.К. Мойсейчик, В.Г. Пастушков. – Минск: БНТУ, 2008. -154с.

Приложение 1

ЦИФРОВЫЕ ШТАНГЕНЦИРКУЛИ, МИКРОМЕТРЫ, ИНДИКАТОРЫ

Предложено около 2000 разновидностей различных цифровых приборов для измерения линейных размеров.



ЛАЗЕРНЫЕ РУЛЕТКИ СЕРИИ DISTO. ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ CYRA TECHNOLOGIES

Лазерные рулетки серии DISTO основаны на передовой технологии бесконтактного измерения расстояний до любых поверхностей в пределах до 200 м, с точностью от 1,5 мм до 5 мм. Рулетки имеют встроенную память на 20 — 1000 измерений (вычислений), а также встроенные тригонометрические функции, позволяющие определять площади, объемы, расстояния до недоступных объектов, высоту зданий и т.п. Лазерные рулетки можно подключать к компьютеру и, используя специальную программу, выполнять поэтажную съемку внутренних помещений здания с любой конфигурацией комнат и постоянным контролем правильности измерений.

Лазерная рулетка DISTO позволяет одному человеку без ассистента измерять расстояния, площади, объемы, высоту здания, глубину объема. Измерение в режиме сканирования позволяет определять минимальное или максимальное расстояние, дистанцию до углов или поверхностей сплошной формы. Общий вид, основные возможности и параметры часто применяемых типов этих рулеток следующие.

Leica DISTO little - самая малогабаритная, легкая (315 г) и эффективная базовая модель лазерных рулеток для измерения расстояний от 20 см до 200 м, с точностью ± 3 мм, вычисления площадей и объемов. Комплект из двух стандартных батареек обеспечивает выполнение 10000 измерений. Большой экран с подсветкой для работы в темноте, встроенный уровень, регулировка времени начала измерения. Простота в работе: каждая функция имеет свою собственную клавишу.



Leica DISTO pro4a - самая высокоточная профессиональная лазерная рулетка для измерения расстояний от 30 см до 100 м, с точностью $\pm 1,5$ мм. Память на 800 измеренных величин. Интерфейс **RS-232** для подключения DISTO pro к компьютеру. Специализированное программное обеспечение



Leica DISTO classic - стандартная модель лазерных рулеток для измерения расстояний от 20 см до 200 м, с точностью ± 3 мм, вычисления площадей, объемов, высот недоступных зданий. Комплект из двух стандартных батареек обеспечивает выполнение 10000 измерений. Встроенный уровень и те-

лескопический видоискатель лазерного луча с увеличением 2х для работы при ярком освещении. Большой экран с подсветкой для работы в темноте. Память на 15 последних измерений и 10 констант. Измерение минимального и максимального расстояния в режиме сканирования. Встроенные тригонометрические функции вычисления.



Leica DISTO pro4 - профессиональная лазерная рулетка для измерения расстояний от 30 см до 100 м, с точностью ± 3 мм. Память на 800 измеренных величин. Интерфейс **RS-232** для подключения DISTO pro к компьютеру. Специальное программное обеспечение.

Трехмерное лазерное сканирование и 3D измерение крупногабаритных объектов с точностью ± 6 мм с помощью безотражательного лазерного дальномера.

Концерн **Leica Geosystems** совместно с фирмой **Cyra Technologies** разработал принципиально новый измерительный прибор **Cyrah 2500**, который измеряет с точностью ± 6 мм трехмерные координаты крупногабаритных объектов любой формы с помощью безотражательного лазерного дальномера. Трехмерное лазерное сканирование осуществляется в задаваемом диапазоне углов по вертикали с разверткой по горизонтали. Формируется плотный трехмерный массив точек. При съемке с расстояния 50 м плотность расположения в пространстве измеряемых точек составляет 0,25 мм. Для каждой точки регистрируются значения координат точки в трехмерном пространстве, а также информация о цвете. Затем в системе **AutoCAD** или **MicroStation** строится детальный чертеж отснятого объекта.

Трехмерный лазерный сканер применяется для съемки и 3D измерения: 1)зданий и строений; 2)сложных объектов с большим количеством коммуникационных труб на нефтеперерабатывающих предприятиях; 3) нефти и газопроводов; 4)автомобильных и железнодорожных мостов и дорог; 5)мест складирования калийных солей; 6)открытых и закрытых горных разработок в горной промышленности; 7)металлургических заводов и прокатных станков; 8)мест крупных автомобильных и железнодорожных катастроф; 9)мест диверсионных актов.

Преимущества:

- моментальная съемка;
- получение готового материала в полевых условиях;
- сокращение временных затрат в несколько раз (в зависимости от вида работ выигрыш во времени может достигать до десяти раз);

-небывалая полнота материала по снимаемому объекту (плотность расположения точек друг относительно друга 0,25 мм при съемке с расстояния до 50 м);

-моментальное определение "мертвых" зон и их устранение;

-пространственное моделирование объекта без необходимости применения сложного и дорогостоящего фотограмметрического оборудования;

-дистанционное измерение объекта - без необходимости устанавливать на каждой точке отражатель; -

-высокая точность измерений (± 6 мм);

-полевой контроль измерений непосредственно в момент измерений.

ТОЛЩИНОМЕРЫ

На территории стран СНГ применяются различные толщиномеры: А1207(толщиномер карандаш для измерения толщин, в основном, металлов, для стали - 0,8-30мм); А1208(для измерения толщин, в основном, металлов, для стали - 0,7-500мм); Булат-1(см.ниже),26MG, 25DL-HP и др.приборы фирмы “Panametrics”, фирмы Time Group Inc.(см.ниже), Sonagage II(0,01мм) и др.фирм(Electrofizik, Erihsen, Elcometer, Namiccon).

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТОЛЩИНОМЕР БУЛАТ 1S



Ультразвуковой толщиномер Булат 1S - модель ультразвукового толщиномера с увеличенными, по сравнению с **Булат 1M**, функциональными возможностями, расширенной номенклатурой датчиков, улучшенной методикой контроля изделий с шероховатой поверхностью.

Автоматическая регулировка усиления.
стандартных датчика по выбору.

Ультразвуковой толщиномер Булат 1S предназначен для измерения толщины изделий из металлических и неметаллических материалов (листов, емкостей, труб, трубопроводов; мостовых, корпусных, транспорт-

ных и других конструкций; в т.ч. сильно корродированных, изъеденных, с накипью и т.д.) в процессе их эксплуатации или после изготовления.

*Технические характеристики толщиномера
Булат 1S*

Диапазон контролируемых толщин Т	от 0,4 до 200 мм
Скорость распространения ультразвука	1000 - 9999 м/с
Основная погрешность измерения	не более $\pm(0,005T+0,02)$ мм
Температурный диапазон	от -10 до +40 ⁰ С (от -30 до +50 ⁰ С - по заказу)
Габариты	150x80x30 мм

Особенности ультразвукового толщиномера Булат 1S следующие.

Отсутствуют органы регулировки и настройки, имеется большое число износостойких преобразователей различного назначения, компенсация нелинейности в области малых толщин, задаваемые дискретность и скорость контроля.

В **толщиномере Булат 1S** также предусмотрена автоматическая регулировка усиления и возможность работы с датчиками **ТМК** для измерения толщины металлов под защитными покрытиями.

Комплект поставки Булат 1S.

- Измерительный блок с датчиками для **Булат 1S**
- Два аккумулятора НИКА с зарядным устройством;
- Кабель связи **ультразвукового толщиномера** с компьютером;
- Дискета с программой передачи и обработки данных;
- Образцы толщины;
- Паспорт для **толщиномера Булат 1S**;
- Методика поверки;
- Сертификат Госстандарт;

Преобразователи для толщинометрии:

ТМКП112-10-6-NF1-04.

Комбинированный преобразователь к толщиномеру **Булат 1S** для измерения толщины металлических неферромагнитных изделий под защитным

покрытием без подготовки поверхности. Диапазон измерения толщин 0,5 - 10 мм при толщине покрытия до 0,4 мм.

ТМКП112-5-10-NF1-01.

Комбинированный преобразователь к толщиномеру **Булат 1S** для измерения толщины металлических неферромагнитных изделий под защитным покрытием без подготовки поверхности. Диапазон измерения толщин 1,5 - 70 мм при толщине покрытия до 0,6 мм.

ТМКП112-5-10-F2-01.

Комбинированный преобразователь к толщиномеру **Булат 1S** для измерения толщины металлических ферромагнитных изделий под защитным покрытием без подготовки поверхности. Диапазон измерения толщин 1,5 - 75 мм при толщине покрытия до 0,5 мм.

ТМКП112-10-6-F2-01.

Комбинированный преобразователь к толщиномеру **Булат 1S** для измерения толщины металлических ферромагнитных изделий под защитным покрытием без подготовки поверхности. Диапазон измерения толщин 0,8 - 10 мм при толщине покрытия до 0,5 мм.

ТМКП112-10-6-NF2-01.

Комбинированный преобразователь к толщиномеру **Булат 1S** для измерения толщины металлических неферромагнитных изделий под защитным покрытием без подготовки поверхности. Диапазон измерения толщин 1,5 - 75 мм при толщине покрытия до 1 мм.

ТМКП112-5-10-Be-01.

Комбинированный преобразователь к толщиномеру **Булат 1S** для измерения толщины металлических ферромагнитных изделий под защитным покрытием без подготовки поверхности. Диапазон измерения толщин 1,5 - 75 мм при толщине покрытия до 0,7 мм.

П112-10-6/2-А-01.

Раздельно-совмещенный преобразователь с призмами из полиимида для толщинометрии изделий. Три исполнения по диапазону измерения по металлу: серия 01 - от 0,8 до 10 мм; серия 02 - от 0,6 до 20 мм; серия 04 - от 0,4 до 10 мм.

П112-10-4/2-А-04.

Малогабаритный раздельно-совмещенный преобразователь с призмами из полиимида для толщинометрии изделий. Диапазон измерения от 0,5 до 10 мм.

П112-10-2x8-А.

Малогабаритный раздельно-совмещенный преобразователь с призмами из полиимида для толщинометрии изделий. Диапазон измерения от 0,6 до 10 мм.

П112-10-4x4-Б.

Раздельно-совмещенный преобразователь с призмами из кварца для

толщинометрии изделий. Два исполнения по диапазону измерения по металлу: 01 - от 0,8 до 50 мм; 02 - от 0,5 до 50 мм.

П112-5-10/2-А.

Раздельно-совмещенный преобразователь с призмами из полиимида для толщинометрии изделий. Два исполнения по диапазону измерения по металлу: 01 - от 1,5 до 75 мм; 02 - от 1,0 до 100 мм.

П112-5-12/2-Б.

Раздельно-совмещенный преобразователь с призмами из кварца для толщинометрии изделий. Два исполнения по диапазону измерения по металлу: 01 - от 1,5 до 200 мм; 02 - от 1,0 до 300 мм.

П112-5-6/2-А-01.

Раздельно-совмещенный преобразователь с призмами из полиимида для толщинометрии изделий. Два исполнения по диапазону измерения по металлу: 01 - от 1,2 до 30 мм; 02 - от 0,8 до 30 мм.

П112-5-4x4-Б.

Раздельно-совмещенный преобразователь с призмами из кварца для толщинометрии изделий. Два исполнения по диапазону измерения по металлу: 01 - от 1,2 до 40 мм; 02 - от 0,8 до 50 мм.

П112-5-4x4-А-01.

Раздельно-совмещенный преобразователь с призмами из полиимида для толщинометрии изделий. Диапазон измерения от 1,0 до 40 мм.

П112-2,5-10/2-А-01.

Раздельно-совмещенный преобразователь с призмами из полиимида для толщинометрии изделий. Диапазон измерения от 2 до 75 мм.

П112-2,5-12/2-Б-01.

Раздельно-совмещенный преобразователь с призмами из кварца для толщинометрии. Диапазон измерения от 2,0 до 200 мм.

П112-2,5-12/2-А-02.

Раздельно-совмещенный преобразователь с призмами из полиимида для толщинометрии изделий. Диапазон измерения от 3,0 до 200 мм.

П112-5-12/2-Т-01.

Раздельно-совмещенный высокотемпературный преобразователь с призмами из кварца для толщинометрии. Диапазон измерения от 1,0 до 100 мм.

П112-2,5-12/2-Т-01.

Раздельно-совмещенный высокотемпературный преобразователь с призмами из кварца для толщинометрии. Диапазон измерения от 1,5 до 100 мм.

П112-5-10/2-А (подводный 1). Подводное исполнение миниатюрного преобразователя с магнитами для более точного позиционирования под водой.

П112-5-10/2-А (подводный 2).

Подводное исполнение стандартного преобразователя с индикатором наличия акустического контакта. Возможна работа в водолазном костюме.

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ТОЛЩИНОМЕРЫ ФИРМЫ TIME GROUP INC.

Модель ТТ 100.



Портативный цифровой ультразвуковой толщиномер с микропроцессорным управлением предназначен для измерения толщины различных материалов как металлических, так и неметаллов.

ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ

- Автоматическая установка нуля.
- Автоматическая компенсация нелинейности и компьютерная корректировка погрешностей датчика во всем диапазоне измерений.
- Контроль скорости звука.
- Быстрый пересчет данных в единицы различных систем измерений.
- Индикация состояния ультразвукового контакта.
- Запоминает пять скоростей звука.
- Автоматическое выключение.
- Мембранная клавиатура.
- Индикация разряда батареек.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

- Жидкокристаллический дисплей (4 цифры)
- Период отображения значений: 0.5 сек.
- Частота измерений: 5 МГц
- Диапазон измерения: от 1.0 до 225.0 мм
- Погрешность измерения: $\pm(1\%+0.1)$ мм
- Минимальный размер контролируемого профиля: 20 x 3 мм (для стали)
- Диапазон регулирования скоростей звука: 1000~9999 м/с
- Рабочая температура: от -5°C до $+50^{\circ}\text{C}$; Температура объекта контроля: $-10 - +60^{\circ}\text{C}$

- Электропитание: 2 батарейки типа "AA"; Рабочий ток: <20 мА (3В)
- Продолжительность работы на одном комплекте батареек: 250 часов.
- Размер прибора: 126 X 68 X 23 мм; Масса: 0.17 кг.

МОДИФИКАЦИИ

- ТТ110 - аналогичен ТТ100, но только для стали;
- ТТ120 - аналогичен ТТ110, но температура объекта контроля от 0 до 300°C и диапазон измерения от 4 до 80 мм;
- ТТ130 - аналогичен ТТ100, но показания дисплея изменяются с шагом 0,01 мм.
- ТТ300 - с возможностью передачи данных в компьютер.

ДЕТЕКТОРЫ АРМАТУРЫ И ИЗМЕРИТЕЛИ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА ТИПА «ELCOMETER»

Возможность обнаружения стальной арматуры и профилей очень важна в строительстве и обслуживании сооружений.



Детекторы арматуры

Разработаны специально для определения расположения и ориентации арматурных прутков и других подповерхностных металлических конструкций.

Измерители защитного слоя бетона

Разработаны специально для определения глубины защитного слоя бетона в определённой точке над арматурой и другими подповерхностными металлическими конструкциями. Дополнительные функции измерителей защитного слоя бетона **Elcometer** включают расположение арматуры, ориентацию и определения диаметра прутков.

ИЗМЕРИТЕЛЬ ТОЛЩИНЫ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА ELCOMETE P350

Elcometer P350 разработан в сотрудничестве с предприятиями строительной промышленности для быстрого определения расположения и диаметра арматуры в бетоне и точного измерения защитного слоя бетона и позволяет измерять толщину защитного слоя бетона с высокой точностью. Возможности прибора следующие:

- точно определяет положение арматуры в бетоне - один из немногих приборов, позволяющий различать арматуру с шагом 150 мм при толщине защитного слоя бетона более 100 мм;
- точно измеряет защитный слой бетона;
- позволяет работать рядом с близкорасположенными металлическими объектами без интерференции;
- позволяет определять расположение и измерять сварную арматурную сетку;
- легок в использовании и всегда точен - три базовых управляющих кнопки;
- точное измерение защитного слоя бетона и расчет диаметра арматуры, измеряет толщину защитного слоя бетона до арматуры неизвестного диаметра, дает точные показания по защитному слою и расчет диаметра арматуры;
- управление одной рукой - угол обзора дисплея и панели управления, а также наплечный ремень позволяет использовать Elcometer P350 в самых тяжелых условиях;
- надежен - разработан для долгой, беспроблемной работы;
- прибор для профессионалов - максимальная глубина защитного слоя и разрешение прецизионное, точно направленное поле Elcometer P350 позволяет сохранять высокую точность даже на больших глубинах;
- точное, быстрое и легкое определение направления арматуры - просто поверните поисковую головку для определения направления стержня;
- возможность определения последующих слоев арматуры и пучков арматуры при подключении Каротажного Зонда Elcometer прибор может распознавать арматуру и пучки арматуры слой за слоем до глубины 405 мм;
- Расширяемость за счет ряда опций. Точность измерения между 6 мм и 30 мм составляет 1 мм - в два раза точнее, чем требуется по стандарту BS1881:204. Возможность обследования особенно скученных областей и областей около углов. Возможность обследования заостренных поверхностей, так как опциональная миниатюрная поисковая головка помещается между пиками. Точное измерение областей с очень маленьким защитным слоем бетона.

ИЗМЕРИТЕЛЬ ГЛУБИНЫ ЗАЛЕГАНИЯ АРМАТУРЫ В БЕТОНЕ ФИРМЫ ELCOMETER.



С опциональной большой поисковой головкой Elcometer 350 может измерять глубину защитного слоя бетона до 200 мм.

Отличительные особенности:

- Elcometer 220 Covermeter точно определяет местоположение и ориентацию стержней арматуры и измеряет толщину покрывающего их бетона. Elcometer 220 разработан для того, чтобы выдерживать тяжелые рабочие условия, которые бывают на площадке. Он снабжен прочным водостойким корпусом из акрилонитрилбутадиенстирола и питается от блока аккумуляторных батарей. Этот простой в работе и удобный для пользователя прибор при обнаружении арматуры подает как визуальную, так и звуковую сигнализацию. Используется в соответствии с британскими стандартами.

Технические характеристики прибора Elcometer 220

Местоположение стальной арматуры позволяет определять и портативная система SONYSCOPE(фирма ANDEC Mfg. Ltd.). Эта система используется для выявления дефектов в бетоне (трещины, раковины, несплошности, пористость, расслоение и др.) с определением координат их расположения.

Приложение 5

УЛЬТРАЗУКОВЫЕ ПРИБОРЫ ПРОЧНОСТИ

Для определения прочности бетона по скорости звука предложено ряд приборов, например, ультразвуковые приборы SONYMETER (фирма ANDEC Mfg. Ltd.), позволяющие определять физические характеристики бетона при толщине объектов контроля до 60м.

<p>Диапазон: измерений глубины: Диаметр арматуры: Местоположе- ние/ориентация арматуры: Точность: для глубины до 60 мм: при выявлении параллельной арма- туры с промежутками <100мм: при выявлении арматуры неизвест- ного диаметра:</p> <p>Время установления показаний: Разрешающая способность:</p> <p>Габариты: прибор (IP65): Преобразователь (IP66): Сумка: Длина кабеля преобразователя: Вес: Полный (с сумкой): Прибор: Преобразователь (с кабелем): Зарядное устройство: Аккумуляторные батареи (не заме- няются пользователем): Номинальное напряжение: Длительность работы батареи: Время зарядки: Диапазон рабочих температур: Перечень поставки:</p>	<p>от 4 мм до 60 мм от 5 мм до 40 мм</p> <p>от 2 мм до 80 мм</p> <p>± 2 мм или 5%</p> <p>± 4 мм</p> <p>± 5 мм</p> <p>90 секунд 1 мм</p> <p>250 x 120 x 50 мм 150 x 83 x 40 мм 270 x 245 x 80 мм 1,5 м</p> <p>2,45 кг 788 гр. 628 гр. 234 гр.</p> <p>8,4 В (пост.) 10 часов 6 часов от 5 до 40°C</p> <p>200 Covermeter с преобразовате- лем, съемный кабель, защитная сумка, ремни, зарядное устройство и инструкция по эксплуатации.</p>
--	--

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТЕСТЕР УК1401М



Предназначен для определения прочности бетона по скорости звука. Оценка прочности основана на корреляции скорости распространения ультразвуковых волн в материале с его физическим состоянием. Основная сфера применения прибора - наблюдение за набором прочности при термовлажностной обработке и контроль прочности, несущей способности бетонных столбов и опор, поиск приповерхностных дефектов бетонных сооружений, оценка пористости и трещиноватости горных пород.

Функциональные возможности:

- Сухой акустический контакт.
- Автоматический пересчет времени в скорость и индикация времени или скорости (по выбору).
- Измерение глубины трещины.
- Моноблочное исполнение карманных размеров.
- Хранение результатов измерений.
- Инфракрасный порт для обмена данными с внешним компьютером.

Стандартный комплект: тестер, калибровочный образец, 3 батарейки типа АА, ИК-адаптер для связи с ПК, программа переноса данных, инструкция, сумка.

Технические характеристики:

- Диапазон измерения времени на базе 150мм, мкс- от 15 до 100;
- Диапазон измерения скорости ультразвука, мкс – от 1500 до 9990;
- Диапазон измерения глубины трещин, мм – от 10 до 50мм.
- Количество запоминаемых результатов – 4000.

ПРИМЕРЫ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИБОРОМ CANIN



Измерение с помощью стержневого электрода по стандарту ASTM C876. Измерение можно проводить с помощью кнопок индикатора (вручную) или в автоматическом режиме.



Стержневой электрод на раздвигаются на 1,5 м скопической штан-положении. ге.

Роликовый электрод для проведения измерений в любом положении.

Система работы на горизонтальных поверхностях с использованием от 1 до 8 роликовых электродов.



Система для измерений на потолочных и вертикальных поверхностях с использованием от 1 до 8 стержневых электродов.



Роликовый электрод оснащен системой непрерывного увлажнения сканируемой поверхности на длину до 200 м, а также устройством регистрации расстояния и направления движения.



Система измерения на потолочных поверхностях с четырьмя роликовыми электродами. Ролики оснащены амортизаторами на случай изменения профиля сканируемой поверхности.

МОСТОВАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ОТ INFRASTRUCTURE TECHNOLOGY INSTITUTE



Мостовая лаборатория созданная в американском институте Infrastructure Technology Institute в 1993 году представляет собой 7 метровый фургон. В ней достаточно места для автономной работы и проживания двух человек. Лаборатория позволяет проводить мониторинг состояния арматуры и бетона, геотехнические эксперименты и ультразвуковое обследование конструкций. Применялась в штатах Калифорния и Огайо.



СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЗАО «ИНСТИТУТ ГИПРОСТРОЙМОСТ - СПБ»

Эти системы базируются на принципе иерархической трехуровневой структуры. Они реализуются в трех вариантах: мобильном, портативном, стационарном и предназначены для контроля напряженно-деформированного состояния, ускорения и вибрации, линейных и угловых перемещений, раскрытия трещин и их развития, осадок, давлений на грунт, смещений, температуры и относительной влажности воздуха, скорости и направления ветра, атмосферного давления. Система может контролировать целостность проводов и кабелей, тросов и канатов (фиксация обрыва конструктивного элемента и отдельных жил, зависимости рабочих характеристик от внешних условий, прочностных характеристики элементов. Для передачи данных используются различные способы, опτικο-волоконные сети).

Для мостов, путепроводов, железнодорожных переездов могут решаться дополнительные задачи (контроль целостности ограждений, контроль падений предметов, контроль аварийных и предаварийных состояний при столкновениях с конструкциями, контроль незанятости переезда автотранспортом, другими предметами и т.д., влияющими на движение поездов).

Для мостовых сооружений проведение мониторинга может быть запроецировано для любой стадии жизненного цикла сооружения.


Документация разрабатываемой системы мониторинга может включать проект системы мониторинга; данные комплексного обследования конструкций; математические модели по расчетным данным и по данным, полученным с помощью системы мониторинга; их сравнение, оценку состояния объекта мониторинга экспертно-расчетным методом; хранение информации; ее вывод и анализ за любой промежуток времени работы системы; визуализацию полученной информации в виде таблиц, графиков и диаграмм; автоматическую выработку рекомендаций; самодиагностику системы мониторинга.

Обработка информации осуществляется прикладным программным обеспечением, использующим для анализа сложной конструкции метод конечных элементов.

В системе мониторинга используются сенсоры, преобразователи, блоки хранения и анализа информации сертифицированные по установленным стандартам. Система полностью автономна за счет применения беспроводной передачи информации от сенсоров и аккумуляторного питания.

Для непрерывного мониторинга мостовых сооружений может применяться портативная система, позволяющая собирать синхронизированные данные одновременно с 20 каналов за 2-двухнедельный период времени непрерывного наблюдения. Такая система мониторинга может использоваться многократно. В ее состав включены сенсоры, преобразователи, блок хранения информации, контейнер для транспортирования системы. Получаемы с сенсоров данные записываются на USB-носитель, адаптированный к прикладным программным обеспечениям. Портативная система спроектирована для сбора информации, аналитических расчетов в полевых условиях с автономным электропитанием. Данные по отдельным компонентам портативной системы приведены в таблице.

Таблица П8.1 – Описание составляющих портативной системы мониторинга мостовых сооружений

Название прибора	Схема, вид	Характеристики
1	2	3
Мобильный регистратор: -диапазон частот -объем памяти -диапазон рабочих температур -точность часов -материал корпуса -требования к ПО -размеры, см -масса, кг		1 – 100 Гц 4 ГБ, USB 2.0 накоп. От – 50°C до +70 °C +/- 2 сек в день Алюминий Универсальное поставщи- ка 6,3 x 11,07 x 9,1 0,68
Аналого-цифровой Т-модуль преобразователь - IP класс -размеры -масса		68 10 см (длина) 0,12 кг
Датчики Р.100-009 -стандартный пакет -длина -диапазон -чувствительность -порог чувствительности -температурный диапазон -размеры Масса		4 датчика 76,2 мм +/-500 $\mu\text{s/m}$ 15mV/V 311 $\mu\text{m/m}$ от -30 до +75 °C 8,9x2,54 см 0,16 кг

Продолжение таблицы П8.1		
1	2	3
<p>Датчики ускорений Р.100-010</p> <p>-стандартный пакет -диапазон входа [G] - чувствительность [$\mu\text{s}/\text{m}$] -ширины полосы [Hz] -диапазон температур -ударная нагрузка [G] -размеры, см -масса, кг</p>		<p>3 датчика 4 500+/-25 DC-10 от-40 до +85°C 2000 1,98x4,45x2,72 0,046</p>
<p>Датчики Р.100-011</p> <p>- диапазон скорости, м/сек -диапазон направлений - точность скорости -точность направления, м/сек -время ответа, сек -размеры, см -масса, кг</p>		<p>0 – 60 0 – 360 2% от 0-35м/сек 5% от 35-60 3° 0,25 13,9x12,7 0,048</p>
<p>Датчики температуры и влажности воздуха Р.100-012</p> <p>-точность -рабочие температуры -точность направления, м/сек -время ответа, сек -размеры, см -масса, кг</p>		<p>0-98%: +/-3% +20°C: +6°C -10°C +/-60°C 5% от 35-60 3° 0,25 7,1x1,2 0,04</p>
<p>Датчики температуры материала Р.100-013</p> <p>-точность, °C -разрешение, °C -нормативная частота, Гц -температурный диапазон, °C -размеры, см -масса, кг</p>		<p>0,2 0,1 0,02 -45+/-80 2,6 x 1,6 0,05</p>

Окончание таблицы П8.1		
1	2	3
<p>Датчики сдвига и ускорения Р.100-016</p> <p>-диапазон измерений -напряжение, V -ширина полосы, Гц -температурный диапазон, °С -размеры, см -масса, кг</p>		<p>гор.-360°;верт.- 180°+/-4°</p> <p>6 75</p> <p>-40+/-85 10,21x5,74x3,15 0,23</p>
<p>Датчики смещения Р.100-017</p> <p>-диапазон измерений, мм -напряжение, V -температурный диапазон, °С -размеры, см -масса, кг</p>		<p>0-1000 5</p> <p>-50 +/-70 104x5 2,5</p>