ОДМ 218.2.044-2014

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
РОСАВТОДОР

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРИБОРНЫХ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
(РОСАВТОДОР)

МОСКВА 2014

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Московский государственный университет путей сообщения» при участии ЗАО «СибНИТ».

2 ВНЕСЕН Управлением эксплуатации автомобильных дорог Федерального дорожного агентства.

3 ИЗДАН на основании распоряжения Федерального дорожного агентства от 29.07.2014 № 1443-р

4 ИМЕЕТ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР.

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ.

СОДЕРЖАНИЕ

1	Область применения	1
2	Нормативные ссылки	1
3	Термины и определения	9
4	Обозначения и сокращения	12
5	Общие положения	12
6	Рекомендации по выполнению инструментальных измерений геометрических параметров	16
6.1	Основные цели и задачи, решаемые выполнением инструментальных измерений	16
6.2	Методы и средства выполнения инструментальных измерений	17
6.3	Объем выполнения инструментальных измерений	21
7	Рекомендации по применению методов контроля свойств материалов	21
7.1	Основные цели и задачи, решаемые при исследовании и контроле свойств материалов	21
7.2	Контроль прочности бетона на этапах изготовления конструкций. Испытание на сжатие по контрольным образцам	22
7.3	Определение прочности бетона в конструкции	23
	7.3.1 Определение прочности бетона по образцам, отобранным из конструкции	24
	7.3.2 Определение прочности бетона методами неразрушающего контроля	24
	7.3.2.1 Механические методы	24
	7.3.2.2 Акустические методы	26
	7.3.3 Оценка класса бетона по прочности на сжатие по измеренной прочности	27
7.4	Определение марки бетона по морозостойкости	30

7.5	Определение показателей качества бетона	31
	7.5.1 Определение плотности, влажности, водопоглощения, пористости, водонепроницаемости бетона объемно-весовыми испытаниями образцов	31
	7.5.2 Определение призменной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона бетона	32
	7.5.3 Определение деформаций усадки и ползучести бетона .	32
	7.5.4 Испытания бетона на выносливость	32
	7.5.5 Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) бетона при статическом нагружении ..	33
	7.5.6 Испытания на коррозионную стойкость бетонов	33
7.6	Исследование пассивирующих свойств защитного слоя бетона в конструкциях	33
	7.6.1 Определение толщины защитного слоя бетона, расположения и диаметра арматуры	33
	7.6.2 Определение глубины карбонизации бетона	34
	7.6.2.1 Общие сведения о карбонизации бетона	34
	7.6.2.2 Индикаторный метод определения pH	35
	7.6.3 Определение содержания хлоридов в бетоне	36
	7.6.3.1 Общие данные	36
	7.6.3.2 Качественные методы	36
	7.6.3.3 Количественные методы	37
	7.6.4 Определение влажности бетона в конструкции	37
7.7	Исследование свойств металлов и сварных соединений	38
	7.7.1 Определение марки стали и класса арматуры	38
	7.7.2 Оценка прочности стали в конструкции по измерению твердости стали	39
	7.7.3 Определение характеристик металла по образцам	40

7.7.3.1 Общие правила отбора проб 40

7.7.3.2 Определение механических свойств металлов. Методы испытаний металлов на растяжение 40

7.7.3.3 Определение ударной вязкости 41

7.7.3.4 Определение склонности стали к механическому старению 41

7.7.3.5 Определение механических свойств металлов на изгиб 41

7.7.4 Определение качества сварных швов и сварочных материалов, показателей свариваемости металлов и сплавов. Механические испытания сварных соединений 42

7.7.5 Определение химического состава стали 43

7.8 Определение характеристик материалов каменных конструкций 44

7.9 Определение характеристик материалов деревянных конструкций 44

8 Применение методов дефектоскопии для выявления дефектов и определения их параметров 45

8.1 Основные задачи, решаемые методами дефектоскопии. Выбор методов дефектоскопии 45

8.2 Определение геометрических параметров поверхностных дефектов 45

8.3 Выявление мест активной коррозии арматуры в конструкциях 46

8.4 Выявление мест обрыва проволоки в стальных канатах 48

8.5 Выявление мест обрыва или потери сечения предварительно-напряженной арматуры в конструкциях 49

8.6 Применение магнитопорошкового метода для выявления поверхностных и подповерхностных локальных дефектов металлоконструкций 50

8.7 Применение ультразвуковой дефектоскопии для выявления дефектов 50

8.8 Обнаружение локальных коррозионных ослаблений металлопроката в условиях одностороннего доступа 51

8.8.1 Ультразвуковая толщинометрия 51

8.8.2 Метод магнитного сканирования плоских стальных листов 51

8.9 Применение металлографических методов для оценки качества металла и сварных швов 52

8.10 Применение методов акустической эмиссии 53

8.11 Применение пирометрии при определении температуры конструкции 53

8.12 Контроль толщины высушенного защитного покрытия 54

8.12.1 Метод магнитной индукции и пондеромоторный метод 54

8.12.2 Механические методы 55

8.12.3 Метод вихревых токов 56

8.13 Контроль адгезии покрытий 56

9 Рекомендации по применению методов контроля напряженно-деформированного состояния, определения прочностных и динамических характеристик конструкций 57

9.1 Основные задачи исследований напряженно-деформированного состояния, прочностных и динамических характеристик конструкций. Выбор методов контроля 57

9.2 Определение местных линейных деформаций и перемещений. Тензометрия 58

9.3 Выявление дефектов в конструкциях измерением местных деформаций. Тензодиагностика 61

9.4 Определение остаточных напряжений методами частичной разгрузки 61

9.5 Определение остаточных и действующих напряжений методом рентгеновской дифрактометрии (тензометрии) 61

9.6 Оценка динамических характеристик конструкций. Выявление дефектности методами фиксации и анализа

собственных частот 62

9.6.1 Активные методы определения собственных частот. Вибродиагностика 63

9.6.2 Метод малых воздействий 63

9.6.3 Метод стоячих волн 65

9.7 Применение наземного лазерного сканирования при мониторинге длительных деформаций конструкций в процессе эксплуатации и строительства 66

10 Техника безопасности при проведении приборных и инструментальных измерений 67

Приложение А Инструментальные измерения, выполняемые при оценке технического состояния мостовых сооружений .. 68

Приложение Б Приборные измерения, выполняемые при оценке технического состояния мостовых сооружений 116

Приложение В Рекомендации по оценке технического состояния конструкций мостовых сооружений на автомобильных дорогах методом стоячих волн 127

Библиография 149

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

Рекомендации по выполнению приборных и инструментальных измерений при оценке технического состояния мостовых сооружений на автомобильных дорогах

1 Область применения

Настоящий отраслевой дорожный методический документ (далее – методический документ) является актом рекомендательного характера в дорожном хозяйстве, содержащим технические рекомендации по выполнению инструментального и приборного обследования при оценке технического состояния мостовых сооружений на автомобильных дорогах.

Настоящий методический документ применяется при обследовании и испытаниях любых типов мостовых сооружений на федеральных автомобильных дорогах на различных этапах жизненного цикла – вновь построенных, эксплуатируемых, после выполнения ремонта, капитального ремонта и реконструкции.

Рекомендации не затрагивают геофизические методы исследования подземной фундаментной части опор.

Рекомендации адресованы структурным подразделениям Росавтодора, федеральным управлениям автомобильных дорог, управлениям автомобильных магистралей, межрегиональным дирекциям по строительству автомобильных дорог федерального значения, территориальным органам управления дорожным хозяйством субъектов Российской Федерации при организации и приемке обследовательских работ в соответствии с правилами применения документов технического регулирования в сфере дорожного хозяйства [1].

Рекомендации, помимо основного назначения, могут быть использованы при реализации отдельных видов работ строительного контроля.

2 Нормативные ссылки

В настоящем методическом документе использованы нормативные ссылки на следующие документы:

Гражданский кодекс Российской Федерации (ГК РФ)

Федеральный закон от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации»

Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»

Федеральный закон от 26 июня 2008 г. №102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»

Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. N 184-ФЗ «О техническом регулировании»

Федеральный закон от 10 декабря 1995 г. №196-ФЗ «О безопасности дорожного движения»

Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»

ГОСТ 7.54-88 Представление численных данных о свойствах веществ и материалов в научно-технических документах. Общие требования

ГОСТ 8.009-84 Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений

ГОСТ 8.050-73 Государственная система обеспечения единства измерений. Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений

ГОСТ 8.051-81 Государственная система обеспечения единства измерений. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм

ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения

ГОСТ 8.283-78. Государственная система обеспечения единства измерений. Дефектоскопы электромагнитные. Методы и средства поверки.

ГОСТ Р 8.753-2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Стандартные образцы материалов (веществ). Основные положения

ГОСТ 8.326-89 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическая аттестация средств измерений

ГОСТ 8.549-86 Государственная система обеспечения единства измерений. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм с неуказанными допусками

ГОСТ Р 8.563-2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений

ГОСТ 12.0.004-90 Организация обучения безопасности труда. Общие положения

ГОСТ 166-89 Штангенциркули. Технические условия

ГОСТ 427-75 Линейки измерительные металлические. Технические условия

ГОСТ 1497-84 Металлы. Методы испытаний на растяжение

ГОСТ 2999-75 Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу

ГОСТ 3242-79 Соединения сварные. Методы контроля качества

ГОСТ 4919.1-77 Реактивы и особо чистые вещества. Методы приготовления растворов индикаторов

ГОСТ 5382-91 Цементы и материалы цементного производства. Методы химического анализа

ГОСТ 5802-86 Растворы строительные. Методы испытаний

ГОСТ 5639-82 Стали и сплавы Методы выявления и определения величины зерна

ГОСТ 6996-66 Сварные соединения. Методы определения механических свойств

ГОСТ 7268-82 Сталь. Метод определения склонности к механическому старению по испытанию на ударный изгиб

ГОСТ 7473-2010 Межгосударственный стандарт. Смеси бетонные. Технические условия

ГОСТ 7502-98 Рулетки измерительные металлические. Технические условия

ГОСТ 7564-97 Прокат. Общие правила отбора проб, заготовок и образцов для механических и технологических испытаний

ГОСТ 7565-81 Чугун, сталь и сплавы. Метод отбора проб для определения химического состава

ГОСТ 8462-85 Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе

ГОСТ 9012-59 Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю

ГОСТ 9013-59 Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу

ГОСТ 9450-76 Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников

ГОСТ 9454-78 Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах

ГОСТ 10060-2012 Бетоны. Методы определения морозостойкости

ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.

ГОСТ 10181-2000 Смеси бетонные. Методы испытаний

ГОСТ 12004-81 Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение

ГОСТ 12346-78 Стали легированные и высоколегированные. Методы определения кремния

ГОСТ 12347-77 Стали легированные и высоколегированные. Методы определения фосфора

ГОСТ 12348-78 Стали легированные и высоколегированные. Методы определения марганца

ГОСТ 12350-78 Стали легированные и высоколегированные. Методы определения хрома

ГОСТ 12351-2003 Стали легированные и высоколегированные. Методы определения ванадия

ГОСТ 12352-81 Стали легированные и высоколегированные. Методы определения никеля

ГОСТ 12355-78 Стали легированные и высоколегированные. Методы определения меди

ГОСТ 12356-81 Стали легированные и высоколегированные. Методы определения титана

ГОСТ 12357-84 Стали легированные и высоколегированные. Методы определения алюминия

ГОСТ 12358-2002 Стали легированные и высоколегированные. Методы определения мышьяка

ГОСТ 12359-81 Стали углеродистые, легированные и высоколегированные. Методы определения азота

ГОСТ 12361-2002 Стали легированные и высоколегированные. Методы определения ниобия

ГОСТ 12364-84 Стали легированные и высоколегированные. Методы определения церия

ГОСТ Р ИСО 12716-2009 Контроль неразрушающий. Акустическая эмиссия. Словарь

ГОСТ 12730.0-78 Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости

ГОСТ 12730.1-78 Бетоны. Методы определения плотности

ГОСТ 12730.2-78 Бетоны. Методы определения влажности

ГОСТ 12730.3-78 Бетоны. Методы определения водопоглощения

ГОСТ 12730.4-78 Бетоны. Методы определения показателей пористости

ГОСТ 12730.5-84 Бетоны. Методы определения водонепроницаемости

ГОСТ 14019-2003 Металлы. Методы испытания на изгиб

ГОСТ 14782-86 - Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые

ГОСТ 15140-78 Материалы лакокрасочные. Методы определения адгезии

ГОСТ 15467-79 (СТ СЭВ 3519-81) Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения

ГОСТ 16483.2-70 Древесина. Метод определения условного предела прочности при местном смятии поперек волокон

ГОСТ 16483.3-84 Древесина. Метод определения предела прочности при статическом изгибе

ГОСТ 16483.5-73 Древесина. Методы определения предела прочности при скалывании вдоль волокон

ГОСТ 16483.7-71 Древесина. Методы определения влажности

ГОСТ 16483.9-73 Древесина. Метод определения модуля упругости при статическом изгибе

ГОСТ 16483.10-73 Древесина. Методы определения предела прочности при сжатии вдоль волокон.

ГОСТ 16483.11-72 Древесина. Метод определения условного предела прочности при сжатии поперек волокон

ГОСТ 16483.12-72 Древесина. Методы определения предела прочности при скалывании поперек волокон

ГОСТ 16504-81 Межгосударственный стандарт. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения

ГОСТ 16588-91 Пилопродукция и деревянные детали. Методы определения влажности

ГОСТ 17623-87 Бетоны. Радиоизотопный метод определения средней плотности

ГОСТ 17624-2012 Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности

ГОСТ 17625-83 Конструкции и изделия железобетонные. Радиационный метод определения толщины защитного слоя бетона, размеров и расположения арматуры

ГОСТ 17745-90 Стали и сплавы. Методы определения газов

ГОСТ 18105-2010 Межгосударственный стандарт. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности

ГОСТ 18353-79 Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов

ГОСТ 18661-73 Сталь. Измерение твердости методом ударного отпечатка

ГОСТ 18835-73 Металлы. Метод измерения пластической твердости

ГОСТ 18895-97 Сталь. Метод фотоэлектрического спектрального анализа

ГОСТ 20420-75 Тензорезисторы. Термины и определения

ГОСТ 20911-89 Межгосударственный стандарт. Техническая диагностика. Термины и определения

ГОСТ 21616-91 Тензорезисторы. Общие технические условия

ГОСТ 21105-87* Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод

ГОСТ 21718-84 Материалы строительные. Диэлькометрический метод измерения влажности

ГОСТ 21778-81 Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Основные положения

ГОСТ 21780-2006 Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Расчет точности

ГОСТ 22536.0-87 Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Общие требования к методам анализа

ГОСТ 22536.1 -88 Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения общего углерода и графита

ГОСТ 22536.2 -87 Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения серы

ГОСТ 22536.3 -88 Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения фосфора

ГОСТ 22536.4 -88 Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения кремния

ГОСТ 22536.5 -87 Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения марганца

ГОСТ 22536.6 -88 Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения мышьяка

ГОСТ 22536.7 -88 Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения хрома

ГОСТ 22536.8 -87 Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения меди

ГОСТ 22536.9 -88 Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения никеля

ГОСТ 22536.10 -88 Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения алюминия

ГОСТ 22690-88 Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля

ГОСТ 22761-77 Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Бринеллю переносными твердомерами статического действия

ГОСТ 22762-77 Металлы и сплавы. Метод измерения твердости на пределе текучести вдавливанием шара

ГОСТ 22904-93 Конструкции железобетонные. Магнитный метод определения толщины защитного слоя бетона и расположения арматуры

ГОСТ 22975-78 Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Роквеллу при малых нагрузках (по Супер-Роквеллу)

ГОСТ 23615-79 Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Статистический анализ точности

ГОСТ 23616-79* Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Контроль точности

ГОСТ 24289-80. Контроль неразрушающий вихретоковый. Термины и определения

ГОСТ 24450-80 Контроль неразрушающий магнитный. Термины и определения

ГОСТ 24452-80 Бетоны. Методы определения призменной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона

ГОСТ 24544-81 Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести

ГОСТ 24545-81 Бетоны. Методы испытаний на выносливость

ГОСТ 24846-2012 Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений

ГОСТ 25313-82 Контроль неразрушающий радиоволновой. Термины и определения

ГОСТ 25794.1-83 Реактивы. Методы приготовления титрованных растворов для кислотно-основного титрования

ГОСТ 25866-83 Государственный стандарт Союза ССР. Эксплуатация техники. Термины и определения

ГОСТ 26134-84 Бетоны. Ультразвуковой метод определения морозостойкости

ГОСТ 26433.0-85 Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений. Общие положения

ГОСТ 26433.2-94 Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений параметров зданий и сооружений

ГОСТ 26775-97 Габариты подмостовые судоходных пролетов мостов на внутренних водных путях. Нормы и технические требования

ГОСТ Р 27.002-2009 Национальный стандарт Российской Федерации. Надежность в технике. Термины и определения

ГОСТ 27677-88 Защита от коррозии в строительстве. Бетоны. Общие требования к проведению испытаний

ГОСТ 27809-95 Чугун и сталь. Методы спектрографического анализа

ГОСТ 28570-90 Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкций

ГОСТ 28702-90 Контроль неразрушающий. Толщиномеры ультразвуковые. Общие технические требования

ГОСТ 29167-91 Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении

ГОСТ 31244-2004 Контроль неразрушающий. Оценка физико-механических характеристик материала элементов технических систем акустическим методом. Общие требования

ГОСТ Р 50597-93 Автомобильные дороги и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения

ГОСТ 31993-2013 Национальный стандарт Российской Федерации. Материалы лакокрасочные. Определение толщины покрытия

ГОСТ Р 52289-2004 Национальный стандарт Российской Федерации. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств

ГОСТ Р 52290-2004 Национальный стандарт Российской Федерации. Технические средства организации дорожного движения. Знаки дорожные. Общие технические требования

ГОСТ Р 52330-2005 Национальный стандарт Российской Федерации. Контроль неразрушающий. Контроль напряженно-деформированного состояния объектов промышленности и транспорта. Общие требования

ГОСТ Р 52398-2005 Национальный стандарт Российской Федерации. Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования

ГОСТ Р 52399-2005 Национальный стандарт Российской Федерации. Геометрические элементы автомобильных дорог

ГОСТ Р 52577-2006 Национальный стандарт Российской Федерации. Дороги автомобильные общего пользования. Методы определения параметров геометрических элементов автомобильных дорог

ГОСТ Р 52607-2006 Национальный стандарт Российской Федерации. Технические средства организации дорожного движения. Ограждения дорожные удерживающие боковые для автомобилей. Общие технические требования

ГОСТ Р 52727-2007: Техническая диагностика. Акустико-эмиссионная диагностика. Общие требования

ГОСТ Р 52728-2007 Национальный стандарт Российской Федерации. Метод натурной тензотермометрии. Общие требования

ГОСТ Р 52748-2007 Национальный стандарт Российской Федерации. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения

ГОСТ Р 53204-2008 Национальный стандарт Российской Федерации. Контроль неразрушающий. Акустический метод контроля переменных механических напряжений. Общие требования

ГОСТ Р 53700-2009 Национальный стандарт Российской Федерации. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Часть 3. Оборудование

ГОСТ Р 53965-2010 Национальный стандарт Российской Федерации. Контроль неразрушающий. Определение механических напряжений. Общие требования к классификации методов

ГОСТ Р 54257-2010 Национальный стандарт Российской Федерации. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования

ГОСТ Р 54859-2011 Национальный стандарт Российской Федерации. Здания и сооружения. Определение параметров основного тона собственных колебаний

ГОСТ Р ИСО 24497-1-2009 Национальный стандарт Российской Федерации. Контроль неразрушающий. Метод магнитной памяти металла. Часть 1. Термины и определения

ГОСТ Р ИСО 24497-2-2009 Национальный стандарт Российской Федерации. Контроль неразрушающий. Метод магнитной памяти металла. Часть 2. Общие требования

ГОСТ Р ИСО 24497-3-2009 Национальный стандарт Российской Федерации. Контроль неразрушающий. Метод магнитной памяти металла. Часть 3. Контроль сварных соединений

ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 Государственный стандарт Российской Федерации. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения

ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002 Государственный стандарт Российской Федерации. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений

ГОСТ Р ИСО 5725-3-2002 Государственный стандарт Российской Федерации. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов

измерений. Часть 3. Промежуточные показатели прецизионности стандартного метода измерений

ГОСТ Р ИСО 5725-4-2002 Государственный стандарт Российской Федерации. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 4. Основные методы определения правильности стандартного метода измерений

ГОСТ Р ИСО 5725-5-2002 Государственный стандарт Российской Федерации. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 5. Альтернативные методы определения прецизионности стандартного метода измерений

ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002 Государственный стандарт Российской Федерации. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 6. Использование значений точности на практике

СП 35.13330.2011 Мосты и трубы (актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84*)

СП 45.13330.2012 Земляные сооружения, основания и фундаменты (актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87)

СП 46.13330.2012 Мосты и трубы (актуализированная редакция СНиП 3.06.04-91)

СП 48.13330.2011 Организация строительства (актуализированная редакция СНиП 12-01-2004)

СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции (актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87)

СП 79.13330.2012 Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний (актуализированная редакция СНиП 3.06.07-86)

СП 126.13330.2012 Геодезические работы в строительстве (актуализированная редакция СНиП 3.01.03-84)

3 Термины и определения

В настоящем методическом документе применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **вид дефекта**: Классификационная группа, сформированная по общности одного или нескольких признаков (причин появления, механизма образования, внешних проявлений и других признаков, кроме классификации по возможным последствиям и качественной оценки предполагаемого ущерба от данного дефекта).

3.2 **визуальный контроль:** Органолептический контроль, осуществляемый органами зрения,

Примечание – Как правило, визуальный контроль проводят с применением специальных средств визуального контроля

3.3 **водородный показатель:** Мера активности ионов водорода в растворе, и количественно выражающая его кислотность. Вычисляется как отрицательный (взятый с обратным знаком) десятичный логарифм активности водородных ионов, выраженной в молях на один литр.

3.4 **диагностика мостовых сооружений:** Особый тип обследования искусственных сооружений, выполняемый по установленному алгоритму технического диагностирования, включающему процедуру получения на натурных объектах данных о местоположении, особенностях конструкции, технических параметрах и дефектах сооружения, оценку технического состояния и составление технического паспорта, а также внесение при необходимости этих данных в автоматизированную информационную систему по искусственным сооружениям (АИС)

3.5 **измерительный контроль:** Контроль, осуществляемый с применением средств измерений

3.6 **исправное состояние**: Состояние, при котором объект соответствует всем требованиям нормативной и (или) конструкторской (проектной) документации.

3.7 **карбонизация бетона:** Процесс взаимодействия цементного камня с двуокисью углерода, приводящий к изменению структуры самого цементного камня и к снижению щелочности жидкой фазы бетона (уменьшению показателя pH раствора в порах бетона).

3.8 **конструкция:** Часть мостового сооружения, состоящая из конструктивно объединенных элементов, выполняющая определенные функции (несущие, ограждающие, защитные и (или) другие).

Примечания

1 В мостовом сооружении конструкции делят на основные, обеспечивающие основные функциональные свойства мостового сооружения, и неосновные (вспомогательные), обеспечивающие, например, защиту и безопасность только в экстремальных ситуациях, удобство содержания в период эксплуатации и другие вспомогательные функциональные свойства.

2 Из множества основных конструкций выделяют несущие конструкции, основной функцией которых является восприятие усилий от постоянных и временных нагрузок.

3.9 **мостовое сооружение**: Искусственное сооружение, состоящее из одного или нескольких пролетных строений, опор и других конструкций, предназначенное для пропуска через искусственные и естественные препятствия транспортных средств, пешеходов, коммуникаций различного назначения.

Примечание – К искусственным препятствиям относятся искусственные водоемы, водные каналы, автомобильные и железные дороги, другие инженерные сооружения, а также территории предприятий, городские территории, через которые проходит автомобильная дорога.

3.10 **методы тензометрии:** методы измерения деформаций твёрдых тел с помощью специальных измерительных устройств - тензометров, дающих возможность получить результаты измерения прямым или косвенным путём.

3.11 **обследование мостового сооружения:** Контроль технического состояния, осуществляемый согласно нормативным требованиям с целью выявления технического состояния, разработки рекомендаций по устранению и предупреждению возникновения дефектов, по дальнейшей эксплуатации, ремонту, капитальному ремонту, реконструкции мостового сооружения или в других целях.

3.12 **органолептический контроль:** Контроль, при котором первичная информация воспринимается органами чувств

3.13 **погрешность измерения:** отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины

3.14 **прямое измерение:** Измерение, при котором искомое значение величины получают непосредственно от средства измерений

3.15 **систематическая погрешность:** составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины.

Примечание – к основным причинам возникновения систематических погрешностей относятся погрешности инструмента или метода измерений, индивидуальные особенности экспериментатора.

3.16 **случайная погрешность:** составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины.

3.17 **специализированный периодический (сезонный) осмотр:** Обследование, выполняемое специализированной организацией в рамках периодического осмотра (как правило - весеннего, осеннего) согласно действующим отраслевым документам с целью обновления базы данных автоматизированной информационной системы по искусственным сооружениям (АС) актуальной информацией по параметрам дефектности, планирования ремонтных работ и обоснования текущих оценок технического состояния сооружений.

3.18 **средство измерений:** Техническое средство, предназначенное для измерений.

3.19 **стационарный, эргодический процесс:** процесс, законы распределения вероятностей которого и соответствующие числовые характеристики не зависят от выбора начала отсчета времени, а любая вероятностная характеристика процесса, полученная на ансамбле реализаций в какой-либо момент времени t, равна (с вероятностью, сколь угодно близкой к единице) аналогичной характеристике, полученной на одной единственной реализации процесса путем усреднения по времени за достаточно большой промежуток времени.

3.20 **тензометрия:** экспериментальный способ измерения напряжённого состояния конструкций, основанный на измерении местных деформаций.

3.21 **технический объект (объект)**: Любая функциональная единица определенного целевого назначения (система, подсистема, элемент, устройство), которую можно рассматривать в отдельности в периоды проектирования, строительства, эксплуатации, изучения, исследования и испытаний.

Примечание – Объектами могут быть мостовые сооружения, группы конструкций, конструкции, а также их элементы.

3.22 **техническое состояние мостового сооружения**: Совокупность подверженных изменению в процессе эксплуатации свойств мостового сооружения, характеризуемая в определенный момент времени показателями,

параметрами, установленными в нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации на объект.

Примечание – Состояние мостового сооружения характеризуется тем, что описывает переменные свойства объекта.

3.23 **точность измерений:** качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины

3.24 **элемент:** Составная часть сложного технического объекта, рассматриваемая при проведении анализа как единое целое, не подлежащее дальнейшему разукрупнению, имеющая самостоятельные характеристики, используемые при расчетах, и выполняющая определенную частную функцию в интересах сложного объекта, который по отношению к элементу представляет собой систему.

Примечание – Элементами мостового сооружения могут быть балка, плита, диафрагма, ригель и т.д.

Остальные термины с соответствующими определениями приняты в соответствии с ГОСТ Р ИСО 12716-2009, ГОСТ 15467-79, ГОСТ 16504-81, ГОСТ 20420-75, ГОСТ 20911-89, ГОСТ 24289-80, ГОСТ 24450-80, ГОСТ 25313-82, ГОСТ 25866-83, ГОСТ Р 27.002-2009, ГОСТ ИСО 24497-1-2009, Градостроительным кодексом Российской Федерации от 29 декабря 2004 № 190-ФЗ, Техническим регламентом о безопасности зданий и сооружений от 30 декабря 2009 №384-ФЗ, Федеральным законом «О безопасности дорожного движения» 10 декабря 1995 №196-ФЗ, Федеральным законом «О техническом регулировании» от 27 декабря 2002 г. N 184-ФЗ, Федеральным законом «Об обеспечении единства измерений» от 26 июня 2008 №102-ФЗ.

4 Обозначения и сокращения

В настоящем методическом документе применены следующие обозначения и сокращения:

АИС: автоматизированная информационная система по мостовым сооружениям

БСГ: бетонная смесь готовая.

и др.: и другие.

КЭ–модель: расчетная конечно-элементная модель конструкции.

мл: миллилитр.

pH: водородный показатель.

5 Общие положения

Приборные и инструментальные измерения при обследовании мостовых сооружений применяются в дополнение к органолептическому контролю.

Все методы приборных и инструментальных измерений, применяемые при обследовании и осуществлении строительного контроля мостовых сооружений на автомобильных дорогах, рассматриваются в настоящем документе четырьмя основными группами:

а) Методы контроля геометрических параметров (линейные размеры, угловые размеры, измерения формы, расстояния, положение в пространстве, углы наклона).
б) Методы контроля свойств материалов.
в) Методы контроля, применяемые для выявления дефектов и определения их параметров (методы дефектоскопии).
г) Методы контроля напряженно-деформированного состояния, определения прочностных и динамических характеристик конструкций.

При обследовании мостовых сооружений обычно применяют выборочный измерительный контроль. Полноту этого контроля, методы и средства технического диагностирования выбирают из условия обеспечения достоверности полученных результатов диагностирования (контроля технического состояния) действительному техническому состоянию объекта. Объем приборных и инструментальных измерений выбирают из условий необходимости и достаточности полученных данных для достижения положительного результата - объективной оценки технического состояния. Объем и методы измерений определяют в технических заданиях и, в необходимых случаях, детально прорабатывают в программах на проведение обследования и испытаний конкретных объектов.

Различают разрушающие и неразрушающие методы контроля. Более предпочтительными при обследовании при прочих равных обстоятельствах являются неразрушающие методы контроля.

При обследовании и испытаниях мостовых сооружений кроме прямых методов контроля (визуального и измерительного методов) используются следующие восемь видов методов неразрушающего контроля из девяти видов, предусмотренных ГОСТ 18353-79 в зависимости от общности физических явлений, положенных в их основу:

- Магнитный неразрушающий контроль - вид неразрушающего контроля, основанный на анализе взаимодействия магнитного поля с контролируемым объектом.
- Электрический неразрушающий контроль - вид неразрушающего контроля, основанный на регистрации параметров электрического поля, взаимодействующего с контролируемым объектом или возникающего в контролируемом объекте в результате внешнего воздействия.
- Вихретоковый неразрушающий контроль - вид неразрушающего контроля, основанный на анализе взаимодействия электромагнитного поля вихретокового преобразователя с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых в контролируемом объекте.
- Радиоволновой неразрушающий контроль - вид неразрушающего контроля, основанный на регистрации изменений параметров электромагнитных волн радиодиапазона, взаимодействующих с контролируемым объектом.

- Оптический неразрушающий контроль - вид неразрушающего контроля, основанный на регистрации параметров оптического излучения, взаимодействующего с контролируемым объектом.
- Акустический неразрушающий контроль - вид неразрушающего контроля, основанный на регистрации параметров упругих волн, возбуждаемых и (или) возникающих в контролируемом объекте. При использовании упругих волн ультразвукового диапазона частот (выше 20 кГц) обычно применяют термин "ультразвуковой" вместо термина "акустический" (ГОСТ 24507-80).
- Неразрушающий контроль проникающими веществами (или "капиллярный", а при выявлении сквозных дефектов - "течеискание") - вид неразрушающего контроля, основанный на проникновении веществ в полости дефектов контролируемого объекта.
- Радиационный неразрушающий контроль, основанный на регистрации и анализе проникающего ионизирующего излучения после взаимодействия с контролируемым объектом.

Все методы неразрушающего контроля являются косвенными методами. Они основываются на наблюдении, регистрации и анализе результатов взаимодействия физических полей (излучений) или веществ с объектом контроля.

При использовании косвенных методов для перехода к интересующему параметру используют различные аналитические, эмпирические зависимости, зависимости, полученные статистическими способами или экспериментально. Это требует, как правило, привлечения высококвалифицированного, специально обученного персонала.

Разрушающие методы контроля сопровождаются полным или частичным разрушением конструкции, элемента, детали или защитного покрытия. Такие методы контроля достаточно дороги и трудоемки, поэтому применяются при обследовании, в основном, для выборочного контроля и при прочих равных условиях являются менее предпочтительными по сравнению с неразрушающими методами контроля.

Из разрушающих методов можно выделить частично-разрушающие методы контроля. Частично-разрушающие методы контроля подразумевают образование повреждений в исследуемом элементе или детали, которые могут быть устранены после выполнения измерений. К таким повреждениям относят высверливание отверстий, выбуривание кернов, вырезку образцов материала для лабораторных исследований, вскрытие либо образование локальных сколов защитного слоя бетона, вскрытие шурфов, образование надрезов в покрытии, удаление или локальный отрыв покрытия от основания и др.

Частично разрушающие методы, как правило, являются более трудоемкими по сравнению с аналогичными неразрушающими методами, и их применение оправдано в случаях, когда неразрушающими методами

невозможно установить с достаточной точностью интересующий количественный параметр.

В необходимых случаях производят вскрытия и прямыми измерениями устанавливают факт наличия и интересующие параметры скрытого дефекта.

Правовые основы обеспечения единства измерений в Российской Федерации для получения объективных, достоверных и сопоставимых результатов измерений и защиты от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений установлены законом №102-ФЗ от 26 июня 2008. Согласно указанному закону государственное регулирование в области обеспечения единства измерений осуществляется в следующих формах:

1) утверждение типа стандартных образцов или типа средств измерений;
2) поверка средств измерений;
3) метрологическая экспертиза;
4) государственный метрологический надзор;
5) аттестация методик (методов) измерений;
6) аккредитация юридических лиц и индивидуальных предпринимателей на выполнение работ и (или) оказание услуг в области обеспечения единства измерений.

Нормируемые метрологические характеристики средств измерений установлены ГОСТ 8.009-84.

Методы и средства измерений выбирают в соответствии с действующими документами по выбору методов и средств измерений данного вида, а при отсутствии таких документов - в соответствии с общими рекомендациями [23].

В общем случае при выборе наиболее рациональных методов приборных и инструментальных измерений из всего многообразия существующих методов следует учитывать ряд наиболее важных факторов и обстоятельств:

- Особенности решаемой задачи.
- Особенности объекта исследования.
- Технические особенности метода и средств измерений.
- Техническая возможность применения метода в данных конкретных условиях.
- Последствия применения метода (неразрушающие методы, частично-разрушающие методы, разрушающие методы).
- Прямой или косвенный метод измерения.
- Производительность метода.
- Точность измерения.
- Чувствительность метода.
- Разрешающая способность метода.

- Степень разработки метода - наличие соответствующих стандартов, методик, рекомендаций по применению для данных конкретных условий применения.
- Стоимость метода, экономическая оценка целесообразности применения с учетом устройства временных подмостей и других факторов.
- Безопасность применения метода.
- Доступность метода. Наличие необходимых приборов и инструментов.
- Технические характеристики применяемых приборов и инструментов.
- Характеристики внешних условий проведения измерений и режимов работы объектов измерений (далее - внешних условий), способных влиять на точность измерений.

Независимо от применяемого метода – прямой он или косвенный согласно ГОСТ 7.54-88 в отчетах приводят численные данные, непосредственно полученные при измерениях.

Количество данных, полученных в выборках в результате измерений должно быть достаточным для их независимой статистической обработки и оценки достоверности.

При оценке достоверности численных данных выделяют случайную и систематическую погрешности и представляют в соответствии с ГОСТ 8.207-76.

6 Рекомендации по выполнению инструментальных измерений геометрических параметров

6.1. Основные цели и задачи, решаемые выполнением инструментальных измерений

Инструментальные измерения при обследовании мостовых сооружений выполняют для получения следующих данных.

- Определение адреса и границ сооружения, зон обслуживания сооружения.
- Определение габаритов, проверка их соответствия проекту и нормативным требованиям.
- Определение основных геометрических размеров конструкций, элементов, деталей элементов, сечений элементов (обмерные работы), проверка их соответствия проекту, нормативным требованиям, идентификация конструкций проекту по геометрическим размерам.
- Определение высотных отметок и планового положения характерных точек конструкций.
- Проверка соответствия уклонов нормативным и проектным значениям, оценка условий водоотвода.

- Определение условий движения транспортных средств и пешеходов по сооружению и под ним, оценка их соответствия установленным требованиям, определение безопасной скорости движения.
- Определение параметров степени развития дефектов, оценка степени их опасности, причин образования, разработка способов устранения и определение объемов необходимых ремонтных работ по устранению дефектов.
- Определение видов и объемов работ нормативного содержания.
- Выявление качества монтажных работ (на вновь построенных или отремонтированных сооружениях).
- Закрепление в пространстве положения точек элементов сооружения для фиксации при последующих обследованиях изменений, произошедших в процессе эксплуатации сооружения.
- Проверка соответствия принятой расчетной схемы реальной работе конструкции,
- Проверка соответствия фактических перемещений, прогибов, деформаций проекту и нормативным требованиям.

Перечень измерений, выполняемых при обследовании, с указанием целей их выполнения представлен в табличной форме в приложении А.

6.2 Методы и средства выполнения инструментальных измерений

Детальное инструментальное обследование в зависимости от поставленных задач, наличия и полноты проектно-технической документации, характера и степени развития дефектов может быть сплошным (полным) или выборочным.

Выборочное инструментальное обследование проводят при отсутствии необходимости обследования инструментального всех конструкций, в потенциально опасных местах, а также где из-за недоступности конструкций невозможно проведение сплошного инструментального обследования.

Инструментальные и приборные измерения выполняют с соблюдением №102-ФЗ и требований государственной системы обеспечения единства измерений, государственных стандартов и сводов правил ГОСТ 8.050-73, ГОСТ 8.051-81, ГОСТ 8.207-76, ГОСТ 8.549-86, ГОСТ Р 8.563-96, ГОСТ 26433.0-85, ГОСТ 26433.2-94 и СП 126.13330.2011.

Обмерные работы выполняют с соблюдением требований ГОСТ 26433.2-94. При этом применяют нивелиры в соответствии с ГОСТ 10528, рулетки измерительные металлические в соответствии с ГОСТ 7502-98 с ценой деления 1 мм, линейки измерительные металлические в соответствии с ГОСТ 427-75 с ценой деления 1 мм, лазерные дальномеры, штангенциркули в соответствии с ГОСТ 166-89.

При выборе методов и средств измерений следует учитывать все факторы, влияющие на возможность и рациональность их применения. При определении пространственного расположения конструкций, элементов, деталей элементов

(поверхностей граней, точек), их взаимного расположения, а так же при определении их геометрических размеров необходимо в первую очередь учитывать диапазон возможных значений измеряемой величины, требуемую точность выполнения измерений (ГОСТ 8.050-73, ГОСТ 8.051-81, ГОСТ 8.549-86, ГОСТ 26433.2-94) и доступность объекта измерения.

В соответствии с законодательством Российской Федерации применяемые средства измерений проходят метрологическую поверку или аттестацию, выполняемую организациями, аккредитованными в области обеспечения единства измерений, в соответствии со Статьей 18 Федерального закона от 26.06.2008 N 102-ФЗ.

Испытания средств измерений выполняют в соответствии с положениями системы государственных испытаний средств измерений по ГОСТ 8.383-80. Государственные испытания средств измерений, подлежащих серийному производству или ввозу из-за границы партиями, проводят по ГОСТ 8.001-80. Метрологическую аттестацию средств измерений единичного производства или ввозимых из-за границы единичными экземплярами проводят по ГОСТ 8.326-89.

Поверку средств измерений проводят до начала выполнения работ.

Приборы, подлежащие калибровке, до начала выполнения измерений калибруют.

Контроль точности и статистический анализ точности геометрических параметров выполняют в соответствии с ГОСТ 23615-79 и ГОСТ 23616-79*.

Основные характеристики точности и основные положения по назначению, технологическому обеспечению, контролю и оценке точности геометрических параметров, обеспечивающие соблюдение функциональных требований к сооружениям и их отдельным элементам, установлены ГОСТ 21778-81.

Точность выполнения измерений при фиксации контролируемых параметров в общем случае должна удовлетворять требованиям ГОСТ 24846-81, ГОСТ 26433.0-85, ГОСТ 26433.2-94 и положениям СП 35.13330.2011, СП 46.13330.2012, СП 126.13330.2011, СНиП 2.05.03-84* [25], СНиП 3.02.01-87 [26], СНиП 3.01.03-84 [30], ОДМ 218.4.001-2008 [5]. Достаточные значения точности инструментальных измерений, выполняемых при оценке технического состояния мостовых сооружений, приведены в приложении А.

В необходимых случаях оценивают погрешность измерений. Погрешность измерения выражают либо в единицах измеряемой величины (абсолютная погрешность), либо в долях или процентах от значения измеряемой величины (относительная погрешность).

Погрешности, в зависимости от характера проявления, делят на систематические и случайные.

Случайные погрешности не могут быть исключены из результата измерения. Однако их влияние может быть минимизировано при обработке результатов измерений. Значения случайных погрешностей зависят от точности прибора и опытности экспериментатора. Значения случайных погрешностей

заранее установить нельзя, но можно определить вероятность их появления. Для этого надо знать закон распределения случайных погрешностей.

Числовые характеристики погрешностей измерений выражают средним арифметическим значением и среднеквадратическим отклонением случайных погрешностей.

Среднее арифметическое значение результатов ряда измерений определяют из уравнения

$$\overline{x} = (\sum_{i=1}^{\kappa} x_i n_{i\kappa}) / N \qquad (6.1)$$

Где x_i — осредненное значение в i-й группе измерений;

n_{ik} — число появлений выполненных измерений в данном интервале группирования;

N — общее число выполненных измерений в ряду;

k — число интервалов группирования.

Среднюю квадратическую погрешность ряда измерений определяют из уравнения

$$\sigma = \sqrt{[\sum_{i=1}^{k} (x_i - \overline{x})^2 n_{ik}] / N} \qquad (6.2)$$

Предельная погрешность измерений составляет

$\Delta \lim = \pm 3\sigma$

Погрешности более $\pm 3\sigma$ в статистических расчетах не учитывают, такие погрешности, как правило, считают грубыми ошибками измерений.

Погрешность измерений - один из важнейших факторов, влияющих на выбор средств измерений.

Выбор средств измерений зависит, также, от вида контроля, метрологических факторов, достаточной точности измерений, конструктивных факторов (габариты, форма т. д.), доступности и экономических факторов (стоимость средств измерений, от времени на процесс измерения, от требуемой квалификация специалистов и др.).

Средства измерений, рекомендуемые для выполнения инструментальных измерений при обследовании и оценке технического состояния мостовых сооружений, нормативные и методические документы по выполнению измерений приведены в приложении А.

При осуществлении строительного контроля руководствуются следующими, наиболее важными документами, регулирующими вопросы осуществления строительного контроля: Гражданский кодекс Российской Федерации; № 190-ФЗ; №184-ФЗ; № 116-ФЗ; № 384-ФЗ, СП 48.13330.2011, а также [3, 10-30].

При создании геодезической разбивочной основы, при выполнении строительно-монтажных работ, при выполнении исполнительной геодезической съемки контролируют точность и величины допустимых средних квадратических погрешностей в соответствии с [30].

Выполненные работы контролируют при помощи геодезических приборов на этапах:

а) до начала работ по сооружению мостового сооружения;

б) после разбивки опор (до возведения фундамента опор);

в) после возведения фундаментов (до начала работ по возведению тела опор);

г) в процессе возведения тела опор;

д) после возведения опор и разбивки осей подферменных площадок;

е) после установки пролетного строения на опорные части.

В необходимых случаях выполняют геодезические измерения деформаций оснований, конструкций и их частей (вертикальные перемещения - осадки, просадки, прогибы; горизонтальные перемещения - сдвиги; крен).

Вертикальные перемещения измеряют методом нивелирования: геометрическим; тригонометрическим; гидростатическим по ГОСТ 24846-81. Кроме того, измерения могут быть выполнены методом фотограмметрии или комбинацией указанных методов. Выбор метода производится по классу точности измерений согласно ГОСТ 24846-81.

Горизонтальные перемещения измеряют методами: створных наблюдений, отдельных направлений, триангуляции, фотограмметрии по ГОСТ 24846-81. Допускается также комбинация этих методов. Выбор методов производится по классу точности измерений согласно ГОСТ 24846-81.

Крен фундамента сооружения измеряют методами координат, вертикального проектирования, механическим методом, или комбинацией этих методов.

При производстве работ по разработке котлованов и устройству фундаментов на естественных основаниях допустимые отклонения, объемы и методы контроля – в соответствии с СП 46.13330.2012 и СНиП .06.04-91 [26].

Контроль качества и приемки земляных работ, выполненных при разработке выемок, возведении насыпей, вертикальной планировке, обратной засыпке выполняют в соответствии с требованиями СП 45.13330.2012 и СНиП 3.02.01-87 [25].

При устройстве свайных фундаментов, шпунтовых ограждений инструментальными измерениями контролируют положение в плане забивных, набивных и буронабивных свай, отметки голов свай, вертикальность осей забивных свай, свай-стоек, положение шпунта в плане отметки верха шпунта, размеры скважин и уширений буронабивных свай, глубину скважин, смещение осей оголовка относительно осей сваи и др. с соблюдением требований к точности по СП 45.13330.2012 и СНиП 3.02.01-87 [25].

Контроль длины свай можно осуществлять импульсным методом при помощи приборов, основанных на измерении времени между интервалами возбуждения продольной волны в свае и прихода отраженной волны.

Контрольные инструментальные измерения при выполнении опалубочных работ и устройстве арматурных конструкций выполняют согласно СП 70.13330.2012 и СНиП 3.03.01-87 [28]. Точность изготовления и установки

опалубки, отклонение в расстоянии между отдельно установленными рабочими стержнями, отклонение в расстоянии между рядами арматуры, суммарная длина сварных швов арматуры, отклонение от проектной толщины защитного слоя бетона и линейных размеров поперечного сечения конструкции должны соответствовать требованиям, приведенным в СП 70.13330.2012.

Измерительный контроль монтажа несущих и ограждающих конструкций выполняют с учетом требований СП 70.13330.2012 и СНиП 3.03.01-87 [28] к точности монтажа и допускаемым отклонениям от проектных значений после инструментальной проверки соответствия проекту планового и высотного положения фундаментов.

После монтажа элементов осуществляют инструментальный контроль смонтированных конструкций.

На всех этапах выполнения строительных работ для контроля размеров и взаимного расположения элементов конструкций могут быть применены методы наземного трехмерного лазерного сканирования, позволяющие получать в режиме реального времени трехмерные модели объектов. Для контроля перемещения частей сооружения могут быть применены также средства космической навигации ГЛОНАСС/ GPS.

Подробные рекомендации по проведению контроля качества строительно-монтажных работ при сооружении мостовых сооружений в рамках осуществления строительного контроля изложены в [17].

6.3 Объем выполнения инструментальных измерений

При обследовании мостовых сооружений наиболее часто применяют не сплошной, а выборочный контроль геометрических параметров. Объем выполняемых измерений назначают в технических заданиях.

Необходимые виды инструментальных измерений, количество створов, поперечников, мест, по которым проводят измерения, намечают в программе обследований и уточняют на месте с учетом задач, поставленных в техническом задании, конструктивных особенностей сооружения, наличия и результатов проведенных ранее инструментальных измерений, обеспечения требуемой точности получаемых результатов, достоверности полученных результатов и других обстоятельств.

При наличии на конструкциях марок, створов, других контрольных точек, закрепленных при проведении предыдущих измерений, рекомендуется включать их в программу обследований для возможности отслеживания изменений контрольных параметров во времени.

Некоторые рекомендации по объему выполнения инструментальных измерений при обследовании и оценке технического состояния мостовых сооружений приведены в приложении А.

7 Рекомендации по применению методов контроля свойств материалов

7.1 Основные задачи, решаемые при исследовании и контроле свойств материалов

Основными задачами применения методов контроля свойств материалов и их взаимодействия при обследовании и осуществлении строительного контроля мостовых сооружений являются:

- Оценка соответствия характеристик материалов проекту и нормативным требованиям.
- Получение характеристик материалов, необходимых для оценки грузоподъемности несущих конструкций и оценки долговечности.
- Выявление и оценка степени снижения проектных и нормативных свойств материалов в процессе эксплуатации.

Рекомендуемые методы контроля свойств материалов и их взаимодействия при обследовании и осуществлении строительного контроля мостовых сооружений на автомобильных дорогах приведены в приложении Б в таблице Б.1.

7.2 Контроль прочности бетона на этапах изготовления конструкций. Испытание на сжатие по контрольным образцам

Контроль и оценку прочности бетона на предприятиях и в организациях, производящих готовую бетонную смесь (БСГ), сборные, сборно-монолитные и монолитные бетонные и железобетонные конструкции проводят статистическими методами с учетом характеристик однородности бетона по прочности по ГОСТ 18105-2010. Согласно ГОСТ 18105-2010 контролю подлежат все виды нормируемой прочности:

- прочность в проектном возрасте - для сборных, сборно-монолитных и монолитных конструкций.

- отпускная и передаточная прочность бетона - для сборных конструкций;

- прочность в промежуточном возрасте для монолитных конструкций (при снятии несущей опалубки; нагружении конструкций до достижения ими проектной прочности и т. д.);

Прочность бетона определяют испытаниями образцов бетона по ГОСТ 10180-90 или неразрушающими методами по ГОСТ 22690-88, ГОСТ 17624-87.

В ГОСТ 18105-2010 предусмотрено проведение контроля прочности бетона по каждому виду нормируемой прочности по одной из следующих схем:

- схема А - определение характеристик однородности бетона по прочности, когда используют не менее 30 единичных результатов определения прочности, полученных при контроле прочности бетона предыдущих партий БСГ или сборных конструкций в анализируемом периоде;

- схема Б - определение характеристик однородности бетона по прочности, когда используют не менее 15 единичных результатов определения прочности

бетона в контролируемой партии БСГ или сборных конструкций и предыдущих проконтролированных партиях в анализируемом периоде;

- схема В - определение характеристик однородности бетона по прочности, когда используют результаты неразрушающего контроля прочности бетона одной текущей контролируемой партии конструкций, при этом число единичных значений прочности бетона должно соответствовать требованиям п.5.8 ГОСТ 18105-2010;

- схема Г – при проведении неразрушающего контроля прочности бетона без построения градуировочных зависимостей, но с использованием универсальных зависимостей путем их привязки к прочности бетона контролируемой партии конструкций.

Контроль прочности бетона проводят для БСГ - по схемам А, Б, Г; для сборных конструкций - по схемам А, Б, В, Г; для монолитных конструкций - по схемам В, Г

Контроль прочности бетона косвенными неразрушающими методами проводят с обязательным использованием градуировочных зависимостей, предварительно установленных в соответствии с требованиями ГОСТ 22690-88 и ГОСТ 17624-87.

ГОСТ 10180-90 устанавливает порядок подготовки и проведения испытаний образцов бетона кубической или цилиндрической формы с регламентированными размерами и допусками на их изготовление. Порядок отбора проб бетона для изготовления образцов, способ и режим твердения образцов бетона принимают по ГОСТ 18105-2010.

Порядок подготовки и проведения испытаний образцов определен ГОСТ 10180-90. Определение прочности бетона по контрольным образцам состоит в измерении минимальных усилий, разрушающих контрольные образцы бетона при их статическом нагружении с постоянной скоростью роста нагрузки и последующем вычислении напряжений при этих усилиях в предположении упругой работы материала.

В качестве характеристик однородности бетона по прочности, используемых для определения требуемой прочности бетона или фактического класса бетона, вычисляют коэффициенты вариации прочности бетона: средний, скользящий или текущий.

При контроле прочности бетона монолитных конструкций в проектном возрасте неразрушающими методами проводят сплошной неразрушающий контроль прочности бетона всех конструкций контролируемой партии. При этом число контролируемых участков согласно требованиям п.5.8 ГОСТ 18105-2010 должно быть не менее:

- трех на каждую захватку - для плоских конструкций (плиты, подпорные стены и др.;

- одного на 4 м длины (или трех на захватку) - для каждой линейной горизонтальной конструкции (балка, ригель);

- шести на каждую конструкцию - для линейных вертикальных конструкций (стойка, колонна, пилон).

Общее число участков измерений для расчета характеристик однородности прочности бетона партии конструкций должно быть не менее 20.

Число измерений, проводимых на каждом контролируемом участке, принимают по ГОСТ 17624 или ГОСТ 22690.

При проведении обследования и экспертной оценке качества линейных вертикальных конструкций число контролируемых участков должно быть не менее четырех.

7.3 Измерение прочности бетона в конструкции

Измерение прочности бетона в конструкции выполняют методами механических испытаний по образцам, отобранным из конструкций, а также механическими и ультразвуковыми методами неразрушающего контроля.

7.3.1 Определение прочности бетона по образцам, отобранным из конструкций

Определение прочности бетона по образцам, отобранным из конструкций, выполняют по ГОСТ 28570-90.

Стандарт устанавливает методы определения прочности бетона в сборных и монолитных бетонных и железобетонных конструкциях, отбора проб из конструкций, изготовления из этих проб контрольных образцов и определения предела прочности бетонов на сжатие, осевое растяжение, растяжение при раскалывании и растяжение при изгибе при разрушающих кратковременных статических испытаниях образцов.

Пробы бетона для изготовления образцов отбирают путем выпиливания или выбуривания из конструкций или ее частей. Форма и номинальные размеры образцов в зависимости от вида испытаний бетона должны соответствовать ГОСТ 10180-90.

Испытание образцов на сжатие и все виды растяжения, а также выбор схемы испытания и нагружения выполняют по ГОСТ 10180-90.

Прочность бетона определяют измерением минимальных усилий, разрушающих образцы бетона при их статическом нагружении с постоянной скоростью роста нагрузки, и последующем вычислении напряжений при этих усилиях в предположении упругой работы материала.

7.3.2 Определение прочности бетона методами неразрушающего контроля

Общие правила определения прочности бетона методами неразрушающего контроля установлены ГОСТ 18105-2010.

Для определения прочности бетона на сжатие в конструкциях используют механические методы неразрушающего контроля по ГОСТ 22690-88 и ультразвуковой метод неразрушающего контроля по ГОСТ 17624-87.

7.3.2.1 Механические методы

Механические методы неразрушающего контроля применяют для определения прочности бетона всех видов нормируемой прочности, контролируемых по ГОСТ 18105-2010, а также для определения прочности бетона при обследовании.

Испытания проводят при положительной температуре бетона. Согласно ГОСТ 22690-88 допускается при обследовании конструкций определять прочность при отрицательной температуре, но не ниже минус 10 °С при условии, что к моменту замораживания конструкция находилась не менее одной недели при положительной температуре и относительной влажности воздуха не более 75 %.

Механическими методами неразрушающего контроля прочность бетона определяют по предварительно установленным градуировочным зависимостям между прочностью бетонных образцов по ГОСТ 10180-90 и косвенным характеристикам прочности.

В зависимости от применяемого метода косвенными характеристиками прочности являются:

- значение отскока бойка от поверхности бетона (или прижатого к ней ударника) – метод упругого отскока;
- параметр ударного импульса (энергия удара) - метод ударного импульса;
- размеры отпечатка на бетоне (диаметр, глубина и т. п.) или соотношение диаметров отпечатков на бетоне и стандартном образце при ударе индентора или вдавливании индентора в поверхность бетона – метод пластической деформации;
- значение напряжения, необходимого для местного разрушения бетона при отрыве приклеенного к нему металлического диска, равного усилию отрыва, деленному на площадь проекции поверхности отрыва бетона на плоскость диска – метод отрыва;
- значение усилия необходимого для скалывания участка бетона на ребре конструкции – метод скалывания ребра;
- значение усилия местного разрушения бетона при вырыве из него анкерного устройства – метод отрыва со скалыванием.

Метод упругого отскока заключается в измерении величины обратного отскока ударника при соударении с поверхностью бетона. Типичным представителем приборов для испытаний по этому методу является склерометр Шмидта и его многочисленные аналоги. Метод упругого отскока основан на измерении поверхностной твердости бетона.

Метод ударного импульса заключается в регистрации энергии удара, возникающей в момент соударения бойка с поверхностью бетона.

Метод пластической деформации основан на измерении размеров отпечатка, который остался на поверхности бетона после соударения с ней стального шарика. Метод устаревший, но до сих пор его используют из-за

дешевизны оборудования. Наиболее широко для таких испытаний используют молоток Кашкарова.

При обследовании конструкций допускается применять методы упругого отскока, ударного импульса или пластической деформации, используя градуировочную зависимость, установленную для бетона, отличающегося от испытываемого (по составу, возрасту, условиям твердения, влажности), с уточнением ее в соответствии с методикой, согласно приложению 9 ГОСТ 22690-88.

При отсутствии возможности установления градуировочных зависимостей в соответствии с требованиями пп. 3.2 - 3.12 ГОСТ 22690-88 применяют метод отрыва со скалыванием или метод скалывания ребра, используя градуировочные зависимости, приведенные в приложениях 5 и 6 ГОСТ 22690-88.

При проведении обследований для определения прочности бетона в труднодоступных зонах конструкций или в конструкциях, находящихся при отрицательной температуре, допускается испытание методами упругого отскока, ударного импульса и пластических деформаций бетона в пробах, отобранных от конструкции в соответствии с приложением 10 ГОСТ 22690-88.

Число и расположение контролируемых участков при испытании конструкций выбирают с учетом ГОСТ 18105-2010.

При испытании методом упругого отскока, пластической деформации и ударного импульса расстояние от мест проведения испытания до арматуры выбирают не менее 50 мм.

7.3.2.2 Акустические методы

Ультразвуковой метод основан на связи между скоростью распространения ультразвуковых колебаний в бетоне и его прочностью. Ультразвуковые измерения в бетоне проводят в соответствии с ГОСТ 17624-87 способами сквозного прозвучивания, когда датчики располагают на противоположных гранях тестируемого образца, или поверхностного прозвучивания, когда датчики расположены на одной грани.

ГОСТ 17624-87 распространяется на бетоны сборных и монолитных бетонных и железобетонных конструкций для определения прочности бетона классов В7,5-В35 (марок М100-М400) на сжатие.

Согласно ГОСТ 17624-87 прочность бетона монолитных конструкций определяют способом сквозного прозвучивания, поскольку этот способ позволяет, в отличие от всех остальных методов неразрушающего контроля прочности, контролировать прочность не только в приповерхностных слоях бетона, но и прочность массива бетонной конструкции.

Ультразвуковые измерения проводят аттестованными в установленном порядке приборами, предназначенными для измерения времени распространения ультразвука в бетоне.

Прочность бетона в конструкциях определяют по экспериментально установленным градуировочным зависимостям "скорость распространения

ультразвука - прочность бетона" на участках конструкций, не имеющих видимых повреждений (отслоения защитного слоя, трещин, каверн и др.).

Сборные линейные конструкции (балки, ригели, колонны и др.) исследуют, как правило, способом сквозного прозвучивания в поперечном направлении. Элементы, конструктивные особенности которых затрудняют осуществление сквозного прозвучивания, а также плоские конструкции (плиты, ребристые балки, многопустотные плиты и др.) испытывают способом поверхностного прозвучивания. При этом, согласно ГОСТ 17624-87, база прозвучивания при измерениях на конструкциях должна быть такой же, как на образцах при установлении градуировочной зависимости. Возраст бетона контролируемых конструкций не должен отличаться от возраста бетона образцов, испытанных для установления градуировочной зависимости, более чем на 50 % - при контроле нормируемой прочности бетона, и 25 % - при определении прочности бетона в процессе твердения.

Ультразвуковые испытания проводят при положительной температуре бетона. Согласно ГОСТ 17624-87 допускается проведение ультразвуковых испытаний конструкций при отрицательной температуре бетона не ниже минус 10 °С при условии, что в процессе их хранения относительная влажность воздуха не превышала 70 %.

Число и расположение контролируемых участков на конструкции должно соответствовать требованиям п.5.8 ГОСТ 18105-2010.

Рекомендуемая методика экспертного контроля прочности бетона ультразвуковыми методами в строящихся и эксплуатируемых конструкциях и сооружениях приведена в ГОСТ 17624-87.

7.3.3 Оценка класса бетона по прочности на сжатие по измеренной прочности

До 1986 года при проектировании бетонных, железобетонных мостовых конструкций в качестве прочностной характеристики использовалось понятие «марка бетона». Марка бетона эквивалентна фактической (средней) прочности бетона в единицах измерения кг/см^2. Начиная с 1986 года используют не марку бетона, а класс бетона по прочности при сжатии или растяжении, соответствующий значениям гарантированной прочности бетона. Класс бетона по прочности на сжатие «В» определяется значением (гарантированным с обеспеченностью 0,95) прочности на сжатие, контролируемой на кубах 150х150х150 мм в установленные сроки.

Проектный класс бетона «В» это прочность бетона, назначаемая в проекте.

Получить среднюю прочность бетона (марку) для каждого класса можно по формуле:

$$R = B / (0.0980665*(1-t*V_н)) \quad (7.1)$$

где:

R – средняя прочность бетона (марка бетона) кг/см^2;

B - класс бетона МПа;

0,0980665 – переходной коэффициент от кг/см^2 к МПа;

t = 1,64 коэффициент Стьюдента для обеспеченности 0,95;

$V_н$ – нормативный коэффициент вариации прочности бетона.

Нормативное значение коэффициента вариации прочности бетона для тяжелых бетонов установлено $V_н = 0,135$.

Соотношение между классами бетона и средней прочностью бетона при нормативном значении коэффициента вариации прочности бетона для тяжелых бетонов приведено в таблице 7.1.

Таблица 7.1 - Соотношение между классами бетона и средней прочностью бетона

Класс бетона по прочности (В) по СП 35.13330.2011	Средняя прочность бетона данного класса R, МПа	Ближайшая марка бетона по прочности М, кгс/см^2
В10	12,85	М150
В12,5	16,10	М150
В15	19,27	М200
В20	25,70	М250
В22,5	28,90	М300
В25	32,40	М350
В30	38,54	М400
В35	44,96	М450
В40	51,39	М550
В45	57,82	М600
В50	64,24	М600
В55	70,66	М700

Задача оценки класса бетона по полученному значению фактической прочности бетона в партии R_m является более сложной, поскольку полученные в результате контроля фактические значения коэффициента вариации прочности бетона $V_ф$ могут отличаться от установленного нормативного значения. Кроме этого, в решении задачи необходимо учитывать число полученных в результате измерений единичных значений прочности бетона и параметры градуировочных зависимостей используемых приборов в конкретных условиях проведения испытаний.

Фактическую прочность бетона в партии R_m рассчитывают по формуле:

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^{n} R_i}{n} \qquad (7.2)$$

где: R_i – единичное значение прочности бетона, мПа;

n - общее число единичных значений прочности бетона в партии.

За единичное значение прочности бетона при неразрушающем контроле согласно ГОСТ 18105-2010 принимают:

- при контроле сборных конструкций - среднюю прочность бетона конструкции, вычисленную как среднеарифметическое значение прочности бетона контролируемых участков конструкции;

- при контроле других видов конструкций - среднюю прочность бетона конструкции или контролируемого участка или зоны конструкции, или части монолитной и сборно-монолитной конструкции.

Число измерений, проводимых на каждом контролируемом участке для получения единичного значения прочности бетона, принимают по ГОСТ 17624-87 или ГОСТ 22690-88.

Общее число участков измерений при расчете характеристик однородности прочности бетона партии конструкций согласно ГОСТ 18105-2010 выбирают не менее двадцати. При проведении обследований и экспертной оценке качества линейных вертикальных конструкций число контролируемых участков должно быть не менее четырех.

При контроле прочности бетона неразрушающими методами, если в качестве единичного значения принимают прочность участка, зоны или отдельной конструкции, среднеквадратическое отклонение S_m прочности бетона в партии рассчитывают по формуле

$$S_m = \left(S_{н.м} + \frac{S_т}{\sqrt{n-1}} \right) \frac{1}{0{,}7r + 0{,}3} \qquad (7.3)$$

где $S_{Н.М}$ - среднеквадратическое отклонение прочности бетона в контролируемой партии по результатам ее определения неразрушающими методами, МПа,

n - число единичных значений прочности бетона в партии;

$S_Т$ - рассчитанное среднеквадратическое отклонение используемой градуировочной зависимости МПа;

$S_Т$ определяют по формуле

$$S_Т = \sqrt{S^2_{Т.Н.М} + S^2_{Т.Р.М}} \qquad (7.4)$$

где $S_{Т.Н.М}$ - среднеквадратическое отклонение построенной градуировочной зависимости, МПа;

$S_{Т.Р.М}$ - среднеквадратическое отклонение разрушающих или прямых неразрушающих методов, использованных при построении градуировочной зависимости, МПа;

$S_{Т.Р.М}$ принимают равным для метода отрыва со скалыванием - 0,04 средней прочности бетона участков, использованных при построении градуировочной зависимости при анкерном устройстве с глубиной заделки 48 мм; 0,05 средней прочности - при глубине 35 мм; 0,06 средней прочности - при глубине 30 мм; 0,07 средней прочности - при глубине 20 мм; для разрушающих методов - 0,02 средней прочности испытанных образцов.

r – коэффициен т корреляции градуировочной зависимости;

Значение r определяют при построении градуировочной зависимости по формуле.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n} (R_{iH} - \overline{R}_{iH}) \cdot (R_{iф} - \overline{R}_{iф})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (R_{iH} - \overline{R}_{iH})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (R_{iф} - \overline{R}_{iф})^2}}$$

(7.5)

где $R_{iФ}$ и $R_{iН}$ - значения прочности бетона участков (или серий образцов), определяемой разрушающими и неразрушающими методами при установлении градуировочной зависимости.

Значение r должно быть не менее 0.7.

Фактический класс бетона по прочности монолитных конструкций $B_ф$ при контроле по схеме В рассчитывают по формуле

$$B_Ф = \frac{R_m}{K_T} \quad (7.6)$$

где: R_m - средняя фактическая прочность бетона партии (группы) конструкций по данным испытаний, МПа;

$K_т$ - коэффициент требуемой прочности, зависящий от вида бетона и коэффициента вариации прочности бетона, принимаемый по ГОСТ 18105-2010 в зависимости от схемы контроля.

Фактический класс бетона по прочности отдельных вертикальных монолитных конструкций при контроле по схеме В рассчитывают по формуле:

$$B_Ф = R_m - t_\beta \frac{S_T}{\sqrt{n}} \quad (7.7)$$

где: t_β – коэффициент для расчета $B_ф$, принимаемый по таблице 5 ГОСТ 18105-2010 в зависимости от числа единичных измерений;

S_T - рассчитанное среднеквадратическое отклонение используемой градуировочной зависимости, МПа;

n - число единичных значений прочности бетона в партии.

Фактический класс бетона по прочности монолитных конструкций при контроле по схеме Г принимают равным 80% средней прочности бетона конструкций R_m, но не более минимального частного значения прочности бетона отдельной конструкции или участка конструкции, входящих в контролируемую партию:

$$B_ф = 0{,}8\ R_m \quad (7.8)$$

7.4 Определение марки бетона по морозостойкости

Под понятием морозостойкость бетона понимают его способность в водонасыщенном или насыщенном раствором соли состоянии выдерживать многократное замораживание и оттаивание без внешних признаков разрушения (трещин, сколов, шелушения ребер образцов), снижения прочности, изменения массы и других технических характеристик.

Определение морозостойкости при изготовлении бетона и при контроле его качества в конструкциях выполняют согласно ГОСТ 10060-2012, который устанавливает два базовых метода при многократном замораживании и оттаивании и два ускоренных метода при многократном замораживании и оттаивании.

Отбор проб из конструкции и изготовление образцов производят по ГОСТ 28570-90. Пробы бетонной смеси для изготовления образцов отбирают по ГОСТ 10181-2000.

Количество изготовляемых образцов бетона принимают по ГОСТ 10060-2012 не менее 6 штук контрольных и 12 штук основных, размер образцов 100х100х100 мм или 150х150х150 мм.

Изготовление и испытания образцов проводят на сжатие сериями по ГОСТ 10180-90.

Согласно ГОСТ 10060-95, при расхождении результатов определения морозостойкости по базовому и ускоренным методам испытания в качестве окончательных принимают результаты, полученные по базовым методам.

Морозостойкость бетона характеризуют соответствующей маркой по морозостойкости F, в зависимости от числа циклов испытания, при котором образцы отвечают указанным в ГОСТ 10060-2012 критериям.

Для определения морозостойкости образцов бетона, изготовленных в лаборатории, или отобранных из конструкций можно применять метод определения морозостойкости по изменению динамического модуля упругости или скорости ультразвука, или деформаций по ГОСТ 10060-2012.

При испытании с применением нескольких способов контроля состояния образцов (скорости ультразвука, динамического модуля упругости, деформаций образцов) марку бетона по морозостойкости устанавливают по каждому среднему значению показателя, после чего принимают минимальную марку из установленных.

7.5 Определение показателей качества бетона

На практике, показатели качества бетона мостовых сооружений, установленные в стандартах или технических условиях на бетон конкретных конструкций, определяют методами, предусмотренными ГОСТ 26633-91.

7.5.1 Определение плотности, влажности, водопоглощения, пористости, водонепроницаемости бетона объемно-весовыми испытаниями образцов

Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, показателей пористости и водонепроницаемости путем объемно-весовых испытаний образцов установлены ГОСТ 12730.0-78. Частные требования к методам определения указанных параметров бетона установлены следующими стандартами:

- плотность - по ГОСТ 12730.1-78
- влажность - по ГОСТ 12730.2-84
- водопоглощение - по ГОСТ 12730.3-78
- показатели пористости - по ГОСТ 12730.4-78;
- водонепроницаемость - по ГОСТ 12730.5-84.

Образцы могут либо изготавливаться при бетонировании, либо быть отобраны из конструкции.

Водопоглощение бетона в конструкции при решении научно-исследовательских задач можно приблизительно оценить при помощи контрольной трубки Карстена.

7.5.2 Определение призменной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона бетона

Призменную прочность, модуль упругости и коэффициент Пуассона бетона определяют по ГОСТ 24452-80 на образцах-призмах квадратного сечения или цилиндрах круглого сечения с отношением высоты к ширине (диаметру), равным 4. Образцы могут изготавливаться при бетонировании, либо быть отобраны из конструкции.

Испытания проводят на испытательных прессах (машинах).

7.5.3 Определение деформаций усадки и ползучести бетона

Определение деформаций усадки и ползучести выполняют по ГОСТ 24544-81. Деформации усадки измеряются в направлении продольной оси незагруженного образца. Деформации ползучести измеряются в направлении продольной оси образца, загруженного постоянной по величине осевой сжимающей нагрузкой.

Предусмотренные ГОСТ 24544-81 испытания проводят только на образцах, специально изготовленных из бетонной смеси. Образцы, отобранные (изъятые) из элементов конструкций, при испытаниях бетона на усадку и ползучесть не применяют.

Комплект образцов для испытаний включает 9 призм и 3 куба с размером ребер у куба, соответствующим рабочему сечению призм. 3 призменных образца используют для определения призменной прочности, 3 образца - для определения деформации усадки и 3 образца - для определения деформаций ползучести.

При определении деформаций усадки продолжительность испытания принимают не менее 120 суток, однако, если три последовательных измерения показывают приращение деформаций, не превышающее погрешность измерительных приборов, то испытания могут быть прекращены до этого срока, о чем делается соответствующая запись в журнале испытаний.

Загружение образцов и измерение деформаций ползучести осуществляют, как правило, при достижении бетоном проектной прочности на сжатие.

Продолжительность испытания при определении деформаций ползучести - не менее 180 суток, а деформаций ползучести при нагреве и температурной усадке - не менее 60 суток.

7.5.4 Испытания бетона на выносливость

Испытания бетона на выносливость выполняют по ГОСТ 24545-81 путем нагружения образцов стандартных размеров многократно повторяющейся осевой сжимающей нагрузкой, составляющей различные доли от разрушающей нагрузки. Результатом испытаний является либо число циклов до разрушения

образца, либо достижение бетоном заданного числа циклов многократного приложения нагрузки (база испытаний) на определенном уровне нагружения. При изучении бетонов результаты испытаний используют для построения линии регрессии выносливости, по которой оценивают бетон.

Предусмотренные ГОСТ 24545-81 испытания проводят только на образцах-призмах, специально изготовленных из бетонной смеси. Образцы, отобранные (изъятые) из элементов конструкций, при испытании бетона на выносливость не применяют.

Испытания производят на испытательных машинах и установках, имеющих счетчик числа циклов нагружения.

7.5.5 Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) бетона при статическом нагружении

Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) бетона выполняют по ГОСТ 29167-91 путем испытания образцов с начальным надрезом при статическом кратковременном нагружении. Определяемые по данному стандарту характеристики трещиностойкости (наряду с другими характеристиками механических свойств) используют для сравнения различных вариантов состава, технологических процессов изготовления и контроля качества бетонов, сопоставления бетонов при обосновании их выбора для конструкций, расчетов конструкций с учетом их дефектности и условий эксплуатации, анализа причин разрушений конструкций.

7.5.6 Испытания на коррозионную стойкость бетонов

Коррозионную стойкость бетона определяют по ГОСТ 27677-88.

Сущность метода испытаний на коррозионную стойкость бетона заключается в сравнении значений показателей, характеризующих коррозионную стойкость испытываемых образцов, помещенных в жидкую агрессивную среду, со значениями показателей образцов, помещенных в неагрессивную среду (сравнение параллельных образцов) или в сравнении с показателями эталонных образцов известной коррозионной стойкости, помещенных в такую же агрессивную среду.

В качестве неагрессивной среды принимают питьевую воду.

Необходимое количество образцов для оценки показателей каждого состава бетонных образцов, состава среды и срока испытаний должно быть не менее трех.

Продолжительность испытаний выбирают равной 1, 3, 6, 12 мес.

7.6 Исследование пассивирующих свойств защитного слоя бетона в конструкциях

7.6.1 Определение толщины защитного слоя бетона

Информация о толщине защитного слоя бетона и расположении арматуры требуется для различных целей. Толщину защитного слоя бетона учитывают

при оценке его пассивирующих свойств по отношению к арматуре. Знать расположение арматуры и глубину её залегания в бетоне часто необходимо при исследовании активной коррозии арматуры, при выполнении вскрытий арматуры, при исследовании прочности бетона механическими методами неразрушающего контроля, при расчетах грузоподъемности несущих конструкций и др.

Положение и диаметр арматуры, расположенной с достаточно большим шагом и неглубоко от поверхности бетона, а также толщину защитного слоя бетона в железобетонных конструкциях мостовых сооружений можно определить магнитным методом по ГОСТ 22904-93.

Магнитный метод основан на взаимодействии генерируемого специальным прибором магнитного или электромагнитного поля со стальной арматурой в железобетонной конструкции. Такие приборы различных производителей в настоящее время доступны в широком ассортименте.

Толщину защитного слоя бетона и расположение стальной арматуры в конструкции определяют на основе экспериментально установленной зависимости между показаниями прибора и указанными контролируемыми параметрами конструкции. При несоответствии технических характеристик прибора параметрам армирования контролируемой конструкции необходимо установить индивидуальную градуировочную зависимость по ГОСТ 22904-93.

Следует иметь в виду, что более точно можно получить значение толщины защитного слоя бетона данным методом, в случае если известен диаметр арматуры.

Если не известна величина защитного слоя, то определить диаметр арматуры магнитным методом с удовлетворительной точностью проблематично.

При сложных схемах армирования и глубоко расположенной арматуре для определения толщины защитного слоя, размеров и расположения арматуры используют метод радиационной дефектоскопии по ГОСТ 17625-83 с помощью бетатронов.

Исследовать армирование конструкций возможно так же при помощи ультразвуковых дефектоскопов.

7.6.2 Определение глубины карбонизации бетона

7.6.2.1 Общие сведения о карбонизации бетона

Карбонизация бетона является одним из основных факторов, приводящих к возникновению коррозии арматуры и последующему снижению несущей способности конструкций.

Находящиеся в атмосфере кислотообразующие газы, в первую очередь двуокись углерода (CO_2), проникая в поры бетона, стремятся в присутствии влаги нейтрализовать высокощелочную среду, тем самым ослабляется его защитное действие по отношению к арматуре. Этот процесс, называемый карбонизацией бетона – представляет собой сложную реакцию превращения

гидроксида кальция в карбонат кальция, которую в упрощенном виде можно записать:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 + H_2O = CaCO_3 + 2H_2O \quad (7.8)$$

Процесс карбонизации состоит из целого ряда промежуточных этапов, начинаясь с поверхности бетонной конструкции с момента ее изготовления и затухая по мере проникновения углекислого газа внутрь бетона через открытые поры.

В процессе реакций значение показателя pH поровой жидкости бетона снижается от начальной величины 12,5 до уровня ниже 9. При ограниченном доступе воздуха железо не пассивируется в щелочных растворах, имеющих pH ниже 11,3-11,8. Карбонизация бетона полностью завершается при значениях pH около 9. При таких значениях pH происходит депассивация арматурной стали (разрушение защитной пленки), в результате чего возникает опасность коррозии арматуры.

Исследование глубины карбонизации бетона сводится к определению значения pH поровой жидкости на различной глубине.

Щелочность бетона определяют по значению pH поровой жидкости в соответствии с ГОСТ 5382 или с помощью индикаторов.

7.6.2.2 Индикаторный метод определения pH

На практике для оценки концентрации водородных ионов широко используются кислотно-основные индикаторы - органические вещества - красители , цвет которых зависит от pH среды. Индикаторы способны существовать в двух по-разному окрашенных формах - либо в кислотной, либо в основной. Изменение цвета каждого индикатора происходит в своём интервале кислотности, обычно составляющем 1–2 единицы. К наиболее известным индикаторам принадлежат лакмус , фенолфталеин , метиловый оранжевый (метилоранж) и другие. Методы приготовления растворов индикаторов установлены ГОСТ 4919.1-77.

Простым и эффективным способом оценки глубины карбонизации бетона является использование фенолфталеина $C_{20}H_{14}O_4$ (индикатора). Используется 1 % - ный спиртовой раствор по ГОСТ 4919.1-77. Для приготовления спиртового раствора индикатора 1 грамм препарата растворяют в 80 мл этилового спирта и доводят объем раствора водой до 100 мл.

Индикатор либо наносят на свежий скол (спил) бетона, произведенный на исследуемой конструкции, либо на пробы порошка бетона, высверленного с различной глубины из нескольких отверстий. В интервале pH от 8.2 до 10 происходит изменение окраски индикатора от бесцветной к красно-фиолетовой. Считается, что если в бетоне вокруг арматуры значение pH поровой жидкости уменьшается до 10, бетон теряет способность надежно защищать арматуру от коррозии и в присутствии кислорода (окислитель) и влаги воздуха (электролит) может начаться коррозия арматуры.

Следует иметь в виду, что применение в качестве индикатора спиртового раствора фенолфталеина не позволяет построить эпюру изменения водородного

показателя pH по мере удаления от поверхности конструкции. Для этих целей можно применить наборы из нескольких индикаторов, позволяющих расширить рабочий интервал измерения pH. Входящие в набор индикаторы последовательно меняют цвет с красного через жёлтый , зелёный , синий до фиолетового при переходе из кислой области в щелочную в интервале изменения pH от 13 до 5.

7.6.3 Определение содержания хлоридов в бетоне

7.6.3.1 Общие данные

Повышенное содержание хлоридов в бетоне мостовых конструкций инициирует развитие интенсивной коррозии в арматуре.

Определение содержания хлоридов в бетоне необходимо для прогнозирования долговечности мостовых сооружений, оценки ремонтопригодности отдельных элементов, определения оптимальной стратегии ремонта железобетонных конструкций.

Возможны следующие основные причины повышенного содержания хлоридов в бетоне мостовых конструкций:

- использование хлоридсодержащих антиморозных добавок при изготовлении конструкций;
- попадание воды, содержащей антигололедные добавки на основе хлоридов, на элементы конструкций;
- накопление хлоридов из-за воздействия аэрозоля морской воды на морских побережьях или аэрозолей химических, металлургических производств.

В первом случае хлориды распределены по всему объему конструкции равномерно. В остальных случаях у поверхности содержание хлоридов больше.

Хлориды содержатся в бетоне в химически связанном и свободном виде. Химически связанные хлориды практически полностью растворяются в азотной кислоте, свободные хлориды в воде. Установлено, что развитие коррозии инициирует свободный хлорид (водорастворимый). В настоящее время принято, что пороговым уровнем начала развития коррозии в обычной арматуре является содержание хлорида в бетоне в объеме 0.5% от массы цемента на глубине залегания арматуры, а в преднапряженной арматуре 0.2% от массы цемента.

В практике работ по обследованию используются как качественные, так и количественные методы определения содержания хлоридов.

7.6.3.2 Качественные методы

Качественные методы позволяют определить превышение порогового уровня содержания хлоридов. Существует метод качественного анализа, позволяющий определить зоны с повышенным содержанием хлоридов непосредственно на конструкции. Для этого выполняется нанесение индикаторного состава на свежий скол бетона в исследуемой зоне. Изменение окраски позволяет определить зоны с повышенным содержанием хлоридов.

Используют также качественные методы для анализа содержания хлоридов в водной вытяжке из исследуемого бетона. В ряде случаев возможно использование совокупности качественных анализов для получения количественных результатов.

7.6.3.3 Количественные методы

Количественные методы позволяют определить количественное содержание хлоридов в водной вытяжке из бетона. Количественные методы позволяют определить не только наличие или превышение определенного уровня содержания, но и с достаточной для практических целей точностью исследовать распределение содержания хлоридов по глубине сечения.

В практике исследования мостовых железобетонных конструкций, в основном используют электрохимические методы, которые основаны на применении ионоселективных электродов, в частности, хлоридселективных электродов.

Наибольшее распространение получил метод прямой потенциометрии, основанный на сравнении электрического потенциала в исследуемом растворе с калибровочной кривой, полученной на растворах, содержащих хлорид-ионы в заранее известной концентрации. Этот метод применяют в соответствии с утвержденной методикой ОДМ «Методика определения хлоридов в железобетонных конструкциях мостовых сооружений» [9].

Пробы бетона отбираются из исследуемой конструкции в виде бетонного порошка, выбуриваемого перфоратором. Отбор проб выполняется из различных зон, в том числе с различных по глубине участков в каждой зоне.

Приготовление растворов проб, калибровочных растворов, порядок выполнения измерений, обработки и представления результатов выполняют в соответствии с [9].

7.6.4 Определение влажности бетона в конструкции

Измерение влажности бетона в необходимых случаях может потребоваться для превентивного контроля нарушений гидроизоляции, активности капиллярных процессов и т.п.

Влажность бетона в конструкции определяют неразрушающим диэлькометрическим методом по ГОСТ 21718-84.

Диэлькометрический метод измерения влажности основан на корреляционной зависимости диэлектрической проницаемости материала от содержания в нем влаги при положительных температурах. Для измерения влажности строительных материалов или изделий диэлькометрическим методом применяют электронный влагомер ВСКМ-12 или другие диэлькометрические влагомеры, отвечающие требованиям ГОСТ 21718-84.

Для проведения измерений влажности бетона на его поверхности выбирают чистые ровные участки размерами 300 х 300 мм, на которых не должно быть местных наплывов, вмятин и раковин глубиной более 3 мм и диаметром более 5 мм. Число участков устанавливают из расчета один участок

на 1,5 м2 поверхности бетона. Температура поверхности бетона во время измерений должна быть не более 40 °С.

Измерения влагомером производят в соответствии с инструкцией по его эксплуатации. Устанавливая датчик влагомера поверхностного типа на контролируемый участок бетона, производят не менее пяти измерений влагомером. По результатам всех измерений вычисляют среднее арифметическое значение показаний влагомера. По градуировочной характеристике для данного материала определяют среднее значение его влажности, соответствующее значению показаний влагомера.

7.7 Исследование свойств металлов и сварных соединений

7.7.1 Определение марки стали и класса арматуры

Нормативные значения предела текучести или временного сопротивления стали обычно назначают в соответствии с марками стали обследуемых конструкций в соответствии с нормами, действующими в период выплавки исследуемой стали.

Марку стали элементов металлоконструкций и их соединений следует определять по рабочим чертежам, при этом проектная марка стали уточняется по заводским сертификатам, прилагаемым к исполнительной строительной документации или к паспортам металлоконструкций. При отсутствии необходимых документов, марку стали можно установить на основании химического или спектрального анализа путем сопоставления с нормами действующих стандартов.

Если марку арматурной стали определяют на основании химического или спектрального анализа, то нормативные и расчетные сопротивления арматуры назначают в соответствии с нормами, действовавшими на момент постройки или изготовления конструкций.

При отсутствии рабочих чертежей и сертификатов на материалы элементов металлоконструкций и их соединений, а также при обнаружении в конструкциях повреждений, вызванных низким качеством стали (расслоение, хрупкие трещины и т.п.) прочностные и деформативные характеристики стали устанавливают лабораторными испытаниями образцов, изготовленных из проб, отобранных из обследуемых конструкций. Оценить прочность стали обследуемых конструкций можно также измерением её твердости.

Если определение класса арматуры проводится по проектным данным без отбора и испытания образцов арматуры, то нормативные и расчетные сопротивления арматуры конструкций определяют согласно действовавшим в период изготовления конструкции нормативным документам.

Если нормативные и расчетные сопротивления арматурной стали принимают по результатам испытаний, то расчетные сопротивления стали не должны превышать значений, установленных стандартами, действовавшими в период выплавки исследуемой стали.

При отсутствии проектных данных и невозможности отбора и испытания образцов нормативные и расчетные сопротивления арматуры для проведения поверочных расчетов допускается принимать исходя из класса арматуры, который определяют визуально в зависимости от профиля арматуры:

- гладкая арматура - класс AI;
- арматура периодического профиля «винтом» - класс AII;
- арматура периодического профиля «лодочкой» - класс AIII.

7.7.2 Оценка прочности стали в конструкции по измерению твердости стали

Для оценки прочности стали в конструкции можно использовать связь между прочностью металла и его твердостью.

Существует несколько методов измерения твердости.

- Метод Бринелля (ГОСТ 9012-59);
- Метод Роквелла (ГОСТ 9013-59);
- Метод Супер-Роквелла (ГОСТ 22975-78);
- Метод Виккерса (ГОСТ 2999-75);
- Метод микротвердости (ГОСТ 9450-76);
- Метод ударного отпечатка (ГОСТ 18661-73);
- Метод упругого отскока бойка (динамический метод);
- Контактно-импедансный метод (ультразвуковой метод).

Твердость можно измерять вдавливанием твердосплавного наконечника (далее индентора), ударом или же по отскоку наконечника – шарика. В зависимости от скорости приложения нагрузки на индентор твердость различают статическую (нагрузка прикладывается плавно) и динамическую (нагрузка прикладывается ударом).

Для измерения твердости в лабораторных условиях предназначены стационарные твердомеры, которые являются более точными приборами.

При измерениях твердости стали в полевых условиях используют переносные твердомеры статического действия (ГОСТ 22761-77), переносные твердомерами ударного действия (динамические твердомеры), твердомеры, реализующие ультразвуковой метод (ультразвуковые твердомеры), а также комбинированные твердомеры.

Следует иметь в виду, что точность измерений и выбор твердомера напрямую зависит от шероховатости поверхности объекта контроля, от его габаритов и массы.

Для измерения шероховатости поверхности используют такие измерительные приборы как измеритель шероховатости, профилометр, профилограф или образцы шероховатости поверхности. Проверку показаний твердомеров, а также их первичную и периодическую поверку проводят на эталонах.

Определить предел текучести стали без отбора образцов через твердость по Бринеллю можно, руководствуясь требованиями ГОСТ 22761-77, ГОСТ 22762-77 и ГОСТ 18835-73.

7.7.3 Определение характеристик металла по образцам

7.7.3.1 Общие правила отбора проб

Отбор проб для исследований стали осуществляют, в основном из нерабочих или малонагруженных зон несущих конструкций.

Отбор проб, заготовок и образцов для механических и технологических испытаний на растяжение, ударный изгиб, осадку, изгиб в холодном состоянии от сортового, фасонного, листового и широкополосного проката выполняют по ГОСТ 7564-97. В данном стандарте установлены требования по отбору и подготовке проб и заготовок, места отбора и ориентация образцов для механических испытаний.

Пробы для определения химического состава стали отбирают с соблюдением требований ГОСТ 7565-81.

Отбор проб осуществляют механическими способами или газовыми резаками.

При отборе проб должна быть обеспечена прочность данного элемента конструкции, в необходимых случаях ослабленные места должны быть усилены или использованы страхующие приспособления.

Места отбора проб и образцов, а также необходимость усиления мест вырезки образцов определяет организация, проводящая обследования конструкций.

7.7.3.2 Определение механических свойств металлов. Методы испытаний металлов на растяжение

Методы испытаний на растяжение установлены ГОСТ 1497-84, при этом рекомендуется построение диаграммы работы стали.

Стандартом предусмотрены методы статических испытаний на растяжение черных и цветных металлов и изделий из них номинальным диаметром или наименьшим размером в поперечном сечении 3,0 мм и более для определения при температуре (20^{+15}_{-10})°С характеристик следующих механических свойств:

- предела пропорциональности;
- модуля упругости;
- предела текучести физического;
- предела текучести условного;
- временного сопротивления;
- относительного равномерного удлинения;
- относительного удлинения после разрыва; относительного сужения поперечного сечения после разрыва.

ГОСТ 1497-84 устанавливает методы изготовления образцов, порядок и требования к подготовке и проведению испытаний и к обработке результатов, примеры определения вычисляемых характеристик.

Следует иметь в виду, что ГОСТ 1497-84 не распространяется на испытания проволоки и труб.

Прочность арматуры устанавливают по результатам испытаний образцов, вырезанных из вскрытых участков железобетонных конструкций. Методы испытаний арматуры на растяжение установлены ГОСТ 12004-81.

7.7.3.3 Определение ударной вязкости

Характеристика ударной вязкости указывает на склонность стали к хрупкому разрушению.

Методы испытаний металлов на ударный изгиб установлены ГОСТ 9454-78. Испытания следует проводить для температур, соответствующих группе конструкций и климатическому району.

Метод основан на разрушении стандартного образца с концентратором посередине одним ударом маятникового копра. В результате испытания определяют полную работу, затраченную при ударе (работу удара), и (или) ударную вязкость.

Под ударной вязкостью понимают работу удара, отнесенную к начальной площади поперечного сечения образца в месте концентратора.

Стандарт распространяется на черные и цветные металлы и сплавы и устанавливает метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах от минус 100 до плюс 1200 °С.

Стандарт устанавливает методы отбора проб, методы изготовления образцов, порядок и требования к аппаратуре, к подготовке и проведению испытаний и к обработке результатов, устанавливает область применения образцов.

7.7.3.4 Определение склонности стали к механическому старению

Характеристика склонности стали к механическому старению показывает увеличение склонности стали к хрупкому разрушению после воздействия механических напряжений.

Определение склонности стали к механическому старению установлены ГОСТ 7268-82.

Стандартом предусмотрен метод определения склонности к механическому старению по испытанию на ударный изгиб листового и полосового проката номинальной толщиной не менее 5 мм, а также фасонного и сортового проката.

Метод состоит в определении работы удара или ударной вязкости стали, подвергнутой холодной пластической деформации и искусственному старению, или в сравнении этих величин с работой удара или ударной вязкостью стали в исходном состоянии с определением показателя склонности к старению

7.7.3.5 Определение механических свойств металлов на изгиб

Методы испытания металлов на изгиб установлены ГОСТ 14019-80. Стандарт устанавливает методы испытаний металлов на изгиб при температуре (20^{+15}_{-10})°С.

Испытание состоит в изгибе образца вокруг оправки под действием статического усилия и служит для определения способности металла выдерживать заданную пластическую деформацию, характеризуемую углом изгиба, или для оценки предельной пластичности металла, характеризуемой углом изгиба до появления первой трещины.

Стандарт устанавливает методы отбора, изготовления образцов, требования к аппаратуре, к подготовке и проведению испытаний и к обработке результатов.

7.7.4 Определение качества сварных швов и сварочных материалов, показателей свариваемости металлов и сплавов. Механические испытания сварных соединений

При оценке качества стали сварных соединений, по мере необходимости, определяют механические свойства металла шва испытанием на растяжение цилиндрических образцов из сварного шва, ударную вязкость металла шва и околошовной зоны при одной из отрицательных температур: минус 20°С или минус 40°С; прочность и пластичность стыковых сварных соединений - испытанием на растяжение и изгиб в холодном состоянии плоских образцов сварных соединений, твердость металла шва и околошовной зоны.

Методы контроля качества сварных соединений установлены ГОСТ 3242-79. Механические испытания могут проводиться с целью определения качества сварного шва и сварочных материалов, показателей свариваемости металлов и сплавов, пригодности способов и режимов сварки.

Основными методами определения характеристик механических свойств сварного соединения в целом и его отдельных участков, а также наплавленного металла являются:

- испытание металла различных участков сварного соединения и наплавленного металла на статическое растяжение;
- испытание металла различных участков сварного соединения и наплавленного металла на ударный изгиб (на надрезанных образцах);
- испытание сварного соединения на статическое растяжение;
- испытание металла различных участков сварного соединения на стойкость против механического старения;
- испытание сварного соединения и наплавленного металла на (технологическая проба с наплавленным валиком) статический изгиб (загиб);
- измерение твердости различных участков сварного соединения и наплавленного металла.

Эти методы могут применяться как на контрольных образцах, так и на отрезках, вырезанных из самого соединения. В результате разрушающих методов контроля проверяют правильность подобранных материалов, выбранных режимов и технологий.

Методы определения механических свойств сварного соединения в целом и его отдельных участков установлены ГОСТ 6996-66.

Стандарт устанавливает методы определения механических свойств сварного соединения в целом и его отдельных участков, а также наплавленного металла при всех видах сварки металлов и их сплавов.

Стандарт устанавливает методы определения механических свойств при следующих видах испытаний:

а) испытания металла различных участков сварного соединения и наплавленного металла на статическое (кратковременное) растяжение;

б) испытания металла различных участков сварного соединения и наплавленного металла на ударный изгиб (на надрезанных образцах);

в) испытания металла различных участков сварного соединения на стойкость против механического старения;

г) измерения твердости металла различных участков сварного соединения и наплавленного металла;

д) испытания сварного соединения на статическое растяжение;

е) испытания сварного соединения на статический изгиб (загиб);

ж) испытания сварного соединения на ударный разрыв.

Контрольные образцы для механических испытаний сваривают из того же металла, тем же методом и с участием того же сварщика, что и конструкцию. В исключительных случаях контрольные образцы вырезают непосредственно из контролируемого объекта.

Статическим растяжением испытывают прочность сварных соединений, предел текучести, относительное удлинение и относительное сужение. Статический изгиб проводят для определения пластичности соединения по величине угла изгиба до образования первой трещины в растянутой зоне. Испытания на статический изгиб проводят на образцах с продольными и поперечными швами со снятым усилением шва заподлицо с основным металлом.

Ударный изгиб - испытание, определяющее ударную вязкость сварного соединения.

По результатам определения твердости можно судить о прочностных характеристиках, структурных изменениях металла и об устойчивости сварных швов против хрупкого разрушения.

При испытании сварных соединений на изгиб, отбор заготовок для изготовления образцов производят в соответствии с ГОСТ 7564-73, ГОСТ 6996-66, а испытание образцов на статический изгиб - по ГОСТ 14019-80.

7.7.5 Определение химического состава стали

Пробы для определения химического состава стали отбирают с соблюдением требований ГОСТ 7565-81. Отбор проб осуществляют механическими способами или газовыми резаками.

Общие требования к методам анализа химического состава углеродистых сталей и чугуна изложены в ГОСТ 22536.0 -87. Определение химического состава углеродистых сталей и чугуна выполняют с учетом ГОСТ 22536.1 -88, ГОСТ 22536.2 -87, ГОСТ 22536.3 -88, ГОСТ 22536.4 -88, ГОСТ 22536.5-87,

ГОСТ 22536.6-88, ГОСТ 22536.7-88, ГОСТ 22536.8-87, ГОСТ 22536.9-88, ГОСТ 22536.10-88, ГОСТ 22536.11-87.

Допускается определение химического состава стали методом фотоэлектрического спектрального анализа по ГОСТ 18895-97 и методом спектрографического анализа по ГОСТ 27809. В этом случае для анализа используют образцы с механически обработанной (шлифованной) поверхностью.

Методы определения газов в сталях и сплавах изложены в ГОСТ 17745-90.

Методы определения содержания легирующих добавок в легированных сталях изложены в ГОСТ 12346-78, ГОСТ 12347-77, ГОСТ 12348-78, ГОСТ 12350-78, ГОСТ 12351-81, ГОСТ 12352-81, ГОСТ 12355-78, ГОСТ 12356-81, ГОСТ 12357-84, ГОСТ 12358-82, ГОСТ 12359-81, ГОСТ 12361-82, ГОСТ 12364-84.

7.8 Определение характеристик материалов каменных конструкций

Физико-механические свойства каменных материалов (прочность, плотность, влажность и т.п.) конструкций определяют испытанием образцов и проб, взятых непосредственно из тела обследуемой конструкции или близлежащих участков, если имеются доказательства идентичности применяемых на этих участках материалов.

Отбор камней и раствора производят из ненесущих или слабонагруженных элементов.

Для оценки прочности раствора из кладки отбирают пластинки раствора из горизонтальных швов. Для определения прочности природных камней неправильной формы (бута) из фрагментов камней выпиливают кубики с размером ребер 40—200 мм или высверливают цилиндры (керны) диаметром 40—150 мм и длиной, превышающей диаметр на 10—20 мм.

Предел прочности при сжатии камня определяют в соответствии с требованиями ГОСТ 8462-85.

Прочность раствора кладки при сжатии, взятого из швов наиболее характерных участков конструкции, определяют в соответствии с требованиями ГОСТ 5802-86.

7.9 Определение характеристик материалов деревянных конструкций

Для определения физико-механических характеристик древесины из ненагруженных или слабонагруженных частей деревянных конструкций, имеющих повреждения и дефекты, высверливают керны или выпиливают бруски длиной 150 - 350 мм.

Предел прочности древесины при сжатии вдоль волокон определяют по ГОСТ 16483.10-73, а при сжатии поперек волокон - по ГОСТ 16483.11-72.

Предел прочности древесины при статическом изгибе определяют по ГОСТ 16483.3-84, а модуль упругости при статическом изгибе по ГОСТ 16483.9-73.

Предел прочности древесины при местном смятии поперек волокон определяют по ГОСТ 16483-84.

Предел прочности древесины при скалывании вдоль волокон определяют по ГОСТ 16483.5-73, а при скалывании поперек волокон — по ГОСТ 16483.12-72.

Влажность древесины определяют по ГОСТ 16483.7-81 и ГОСТ 16588-91.

8 Применение методов дефектоскопии для выявления дефектов и определения их параметров

8.1 Основные задачи, решаемые методами дефектоскопии и выбор методов дефектоскопии

Основными задачами применения методов дефектоскопии в мостовых сооружениях являются:

- выявление скрытых дефектов;
- определение количества скрытых дефектов;
- определение различных параметров скрытых дефектов, например геометрических размеров, области распространения и прочих, необходимых для оценки их опасности, степени влияния на различные характеристики, напряженно-деформированное состояние, прочностные и динамические характеристики конструкций.

Единого метода неразрушающего контроля, с помощью которого можно было бы обнаружить самые разнообразные по характеру дефекты, не существует. Применением отдельно взятого метода решают определенный, ограниченный круг задач технического контроля. Учитывая погрешности методов, для получения приемлемого результата даже одной конкретной задачи дефектоскопии может потребоваться применение не одного, а сразу нескольких методов неразрушающего контроля.

При выборе наиболее подходящего метода (методов) дефектоскопического контроля исходят из реальных особенностей метода, его физических основ, степени проработки, области применения, разрешающей способности, его чувствительности к выявляемым дефектам, технических характеристик аппаратуры и пр.

При выборе методов неразрушающего контроля для оценки состояния материала ответственных высоконагруженных элементов технических систем, подвергаемых интенсивным термосиловым воздействиям следует учитывать ГОСТ Р 51751-2001.

Рекомендуемые для выявления дефектов в мостовых сооружениях и определения их параметров методы приведены в приложении Б в таблице Б.2.

8.2 Визуальный и измерительный контроль поверхностных дефектов

Выявление поверхностных дефектов материалов и дефектов в конструкциях, а также определение параметров дефектов, которые требуют выполнения только прямых методов измерений, например таких, как: длина трещин, ширина раскрытия трещин, площадь и глубина разрушения бетона, площадь и глубина коррозии и др. осуществляют применением визуального и измерительного контроля.

При визуальном контроле в необходимых случаях применяют различные средства контроля, в том числе лупы, микроскопы, бинокли, эндоскопы, видеоэндоскопы и прочие оптические приборы и инструменты. Такой контроль называют визуально-оптическим. Визуально-оптический контроль наиболее доступный и простой метод обнаружения поверхностных дефектов.

Прямые линейные измерения параметров дефектов выполняют, используя различные инструменты – линейки, рулетки, штангенциркули, микрометры, микроскопы Бринеля, радиусные шаблоны, измерительные щупы, угольники, угломеры, глубиномеры, толщиномеры и др.

Визуально-измерительным методом устанавливают следующие основные параметры дефектов:

- длину трещин;
- ширину раскрытия;
- шаг трещин;
- размеры сколов бетона;
- глубину сколов бетона;
- величину защитного слоя бетона для вскрытой арматуры;
- уменьшение диаметра вскрытой арматуры в местах коррозии;
- параметры коррозионного ослабления сечений металлических элементов;
- величину смещений в опорных частях;
- эксцентриситет опирания конструкций;
- величину температурных зазоров;
- параметры местных деформаций элементов;
- радиус скругления кромок элементов.

Прямые измерения параметров дефектов выполняют с учетом ГОСТ 8.050-73, ГОСТ 8.051-81, ГОСТ 8.549-86, ОДМ 218.4.001-2008 [5].

Точность определения параметров дефектов - согласно приложению А и утвержденных каталогов дефектов.

8.3 Выявление мест активной коррозии арматуры в конструкциях

Выявление мест активной коррозии арматуры в конструкциях выполняют методом измерения потенциалов относительно стандартного электрода сравнения (метод потенциалов полуэлемента). Метод потенциалов полуэлемента основан на корреляции измеренного электрохимического потенциала и наблюдаемой скоростью коррозии металла в железобетоне. Его

сущность состоит в измерении электрического потенциала, возникающего между арматурной сталью и стандартным электродом сравнения, который устанавливается на интересующие участки поверхности железобетонной конструкции. Рекомендации по применению метода изложены в ОДМ 218.3.001-2010 [8].

По результатам диагностики железобетонной конструкции методом потенциалов полуэлемента дают вероятностную оценку наличия или отсутствия процесса коррозии в арматуре в местах измерений.

Для измерений обычно используют медно-сульфатный электрод сравнения, укрепленный на ручке, обеспечивающей электрическую изоляцию электрода от рук и вольтметр (мультиметр), позволяющий проводить измерения напряжения постоянного тока в диапазоне от -1.0В до +1.0В с внутренним сопротивлением не менее 10 МОм. Можно использовать специализированные приборы, и комплекты оборудования, предназначенные для исследований методом потенциалов полуэлемента. Зарубежными компаниями серийно выпускается более десятка специализированных приборов с различными функциональными возможностями.

При использовании электрода сравнения отличного от медно-сульфатного производят пересчет исходных данных в эквиваленте медно-сульфатного электрода.

В ОДМ 218.3.001-2010 [8] предусмотрено три метода измерения потенциалов.

Метод 1 - измерение потенциала с использованием одного электрода сравнения. Данный метод является основным методом измерения потенциалов полуэлемента в железобетонных конструкциях.

Метод 2 - измерение потенциала с использованием двух электродов сравнения. Данный метод используют в случаях, когда отсутствует возможность подключения к арматуре или требуется получить только величину градиента потенциала в одной точке относительно потенциала в другой точке измерения. Метод может применяться в том числе, для конструкций пролетных строений, в которых имеются электрически не связанные арматурные каркасы.

Метод 3 - измерение потенциала с предварительной поляризацией. Данный метод рекомендуется использовать на отдельных участках конструкции для уточнения наличия или отсутствия процессов коррозии арматуры, в случаях, когда методом 1 не удается с высокой степенью вероятности это установить, например, в зонах неопределенного состояния арматуры.

«Метод 3» является более трудоемким, по сравнению с «методом 1».

Вероятностную оценку коррозии арматуры дают согласно общим критериям, приведенным в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Общие критерии для оценки вероятности коррозии арматуры для медно-сульфатного электрода по методу 1

Характеристика состояния арматуры	Пассивное состояние арматуры с вероятностью 90%	Неопределенное состояние арматуры	Коррозия арматуры с вероятностью 90%
Величина потенциала на поверхности относительно стандартного медно-сульфатного электрода сравнения	P > -200 мВ	-200мВ > P > -350мВ	P < -350 мВ

8.4 Выявление мест обрыва проволоки в стальных канатах

Для дефектоскопии стальных канатов используют магнитный метод [19].

Для контроля применяют магнитные дефектоскопы. Конструктивно, как правило, дефектоскоп состоит из магнитной головки и электронного блока. При контроле неподвижных канатов (вант) магнитная головка перемещается по контролируемому канату вместе с электронным блоком.

Типичный современный дефектоскоп стальных канатов, который может быть применён для контроля вант, обладает следующими основными техническими характеристиками:

- основная погрешность измерения потери сечения, не более ±1 %;
- порог чувствительности к обрывам проволок дефектоскопа с МГ для контроля стальных прядевых, спиральных канатов или канатов закрытой конструкции, не более 1%;
- порог чувствительности к обрывам стрендов - 1 стренд;
- скорость контроля (0-2,0) м/с.

Для определения положения дефектоскопа на контролируемом канате дефектоскоп снабжают устройством считывания расстояний (счетчиком расстояния). Информация со счётчика расстояния позволяет однозначно привязывать обнаруженные дефекты к конкретному участку каната.

В некоторых случаях магнитную головку перемещают при помощи грузового каната вручную.

При контроле вант мостовых сооружений, исходя из соображений безопасности, скорость движения дефектоскопа по контролируемой ванте не превышает 0,5 м/с.

Паспортная точность измерения потери сечения обеспечивается при правильной настройке прибора по каналу потери сечения.

Применение данного магнитного метода контроля стальных вант мостовых сооружений позволяет получать объективную информацию о техническом состоянии ванты, а именно: величине потери сечения, количестве оборванных проволок и их расположение по длине ванты, и зоны коррозионного поражения ванты. Магнитный метод контроля вант позволяет обнаруживать и измерять величину не только наружных, но и внутренних дефектов, не обнаруживаемых визуально. При этом контролируются не только внешние, но и внутренние дефекты. Организация хранения получаемой при контроле информации в составе специализированной базы данных позволяет сопоставлять результаты текущих измерений с предыдущими с возможностью прогнозирования процесса на перспективу.

Магнитный метод не позволяет контролировать техническое состояние анкеров вант, и имеет пониженную точность измерения и чувствительность к дефектам вант вблизи анкеров и других мостовых конструкций, изготовленных из ферромагнитной стали, из-за их влияния на магнитное поле магнитной головки.

8.5 Выявление мест обрыва или потери сечения предварительно-напряженной арматуры в конструкциях

Выявление мест обрыва или потери сечения арматуры в результате коррозии является одной из важных задач обследования мостовых конструкций из железобетона. Серийных приборов, позволяющих решить эту задачу, в настоящее время не не существует.

Для выявления мест обрыва или потери сечения арматуры в предварительно-напряженных конструкциях можно применить магнитный метод контроля предварительно напряженной арматуры в бетоне.

Суть магнитного метода контроля состоит в следующем. Имеется система намагничивания, содержащая источник магнитного поля в виде постоянных магнитов или электромагнитов. С помощью системы намагничивания участок арматуры в зоне контроля намагничивается до состояния магнитного насыщения или близкого к нему. При этом магнитный поток в межполюсном пространстве распределяется между арматурой и немагнитным пространством (бетоном и воздухом), причем большая часть потока проходит по арматуре. В процессе контроля система намагничивания перемещается по поверхности бетона вдоль арматурных пучков. При отсутствии дефектов в арматуре, распределение магнитного поля в зоне контроля в процессе движения не изменяется. В случае попадания в зону контроля участка, содержащего обрывы или коррозионное уменьшение сечения арматуры, распределение магнитного поля изменяется, и часть магнитного потока из объекта контроля рассеивается над дефектной зоной. Эти потоки рассеяния фиксируются чувствительными элементами, установленными в межполюсном пространстве магнитной системы и преобразующими измеряемый параметр в электрический сигнал. В качестве измеряемого параметра может выступать одна из пространственных компонент вектора напряженности магнитного поля, ее производная величина,

либо несколько параметров одновременно (в зависимости от типа применяемых чувствительных элементов и способа их включения).

Для реализации магнитного метода может быть использован магнитный дефектоскоп, способный обнаруживать потерю сечения арматуры, наличие и дислокацию локальных дефектов, а также, измерять величину потери сечения в процентном соотношении от истинного значения площади рабочего армирования.

При существующем уровне имеющейся технологии метод не позволяет оценивать состояние арматуры при глубине её расположения от поверхности более 200мм.

8.6 Применение магнитопорошкового метода для выявления поверхностных и подповерхностных локальных дефектов металлоконструкций

Выявить поверхностные, а также расположенные на глубине до 2 мм от поверхности подповерхностные дефекты позволяет магнитопорошковый метод, основанный на регистрации магнитных полей рассеяния над дефектами с использованием в качестве индикатора ферромагнитного порошка или магнитной суспензии. Этот метод контроля идеален для выявления даже незначительного размера трещин, надрывов и других мелких дефектов.

Дефектоскопию с применением магнитопорошкового метода неразрушающего контроля выполняют по ГОСТ 21105-87*.

Основные требования к применяемому оборудованию для намагничивания, размагничивания, освещения, измерения и осмотра объекта контроля при проведении магнитопорошкового контроля установлены ГОСТ Р 53700-2009.

8.7 Применение ультразвуковой дефектоскопии для выявления дефектов

Сущность метода ультразвуковой дефектоскопии заключается в анализе ультразвуковых колебаний (их амплитуд, времени прихода, формы и других характеристик), отраженных от внутренних несплошностей (дефектов) при помощи специальных ультразвуковых дефектоскопов.

Методами ультразвуковой дефектоскопии осуществляют поиск дефектов в различных материалах. Наиболее широко ультразвуковую дефектоскопию применяют для контроля сварных соединений. При выполнении неразрушающего контроля сварных соединений, следует руководствоваться ГОСТ 14782-86, в котором установлены методы ультразвукового контроля стыковых, угловых, нахлесточных и тавровых соединений, выполненных дуговой, электрошлаковой, газовой, газопрессовой, электронно-лучевой и стыковой сваркой оплавлением в сварных конструкциях из металлов и сплавов для выявления трещин, непроваров, пор, неметаллических и металлических включений.

Поиск дефектов в конструкциях из бетона и железобетона при помощи ультразвуковых дефектоскопов является очень сложной задачей. Такие исследования выполняют редко и в обоснованных случаях.

8.8 Обнаружение локальных коррозионных ослаблений металлопроката в условиях одностороннего доступа

8.8.1 Ультразвуковая толщинометрия

Метод ультразвуковой толщинометрии применяют в случаях, когда измерить толщину элемента обычным измерительным инструментом невозможно или затруднительно.

Метод основан на измерении времени прохождения ультразвукового импульса в материале объекта исследования.

Измерения проводят при помощи ультразвуковых толщиномеров. Общие технические требования к ультразвуковым толщиномерам изложены в ГОСТ 28702-90.

Данный метод достаточно широко используют при обследовании металлических конструкций мостовых сооружений при измерениях толщины элементов с выявлением локальных коррозионных ослаблений при одностороннем доступе, например в понтонах наплавных мостов, в замкнутых элементах, при измерении толщины листов коробчатых балок, горизонтального листа ортотропной плиты пролетных строений и пр.

Недостатком метода является его низкая производительность.

8.8.2 Метод магнитного сканирования плоских стальных листов

Данный магнитный метод может использоваться при контроле плоских стальных листовых элементов.

Метод основан на обнаружении магнитного потока рассеяния, возникающего из-за дефектов основного металла или сварного шва (эффект Холла).

Если магнитная система сканера дефектоскопа установлена на стальной лист с малым зазором, то большая часть её магнитного потока пронизывает стальной лист. Мощная магнитная система способна довести находящийся под ней участок листа металла до магнитного насыщения.

В точках коррозии и зонах с уменьшенной толщиной стенки магнитный поток вытесняется из металла, что фиксируется магниточувствительными датчиками (преобразователями). Таким образом, сканер дефектоскопа может обнаруживать эти дефекты.

Для проведения контроля применяют магнитные дефектоскопы.

Преимуществами данного метода является возможность проведения сплошного (100%) контроля металла большой площади, его высокая производительность, например, 0.15 кв.м/с (ширина области контроля за один проезд – 0.15 м, скорость контроля до 1 м/с).

Специальная подготовка контролируемой поверхности металла не требуется. На металле может присутствовать немагнитное покрытие толщиной до 6мм, которое удалять при испытаниях не требуется. Высота неровности контролируемой поверхности – до 4 мм.

Сканер магнитного дефектоскопа обнаруживает изменение толщины листа металла и когда Сканер находится в пределах большой области коррозии, то система может обнаружить уменьшение толщины листа. Сканер также может обнаружить границы такой зоны коррозии.

По результатам анализа выявляют и отмечают области для ультразвукового обследования (акустическая дефектоскопия). Для повышения достоверности и уточнения остаточной толщины и размеров обнаруженных дефектов после магнитного сканирования применяют ультразвуковой дефектоскоп или толщиномер. Последующая ультразвуковая толщинометрия (с применением акустического толщиномера) позволяет точно определить границы этой зоны и измерить остаточную толщину металла. Для этого применяют ультразвуковой дефектоскоп (акустический дефектоскоп) или толщиномер (акустический толщиномер) для измерения толщины металла (см. п.8.9.1).

Надо иметь в виду, что объем дефекта влияет на амплитуду сигнала магнитного дефектоскопа, поэтому вероятность обнаружения изолированных узких, хоть и глубоких точечных дефектов невелика. Также обнаружение небольших дефектов блюдцеобразной формы может быть затруднено из-за их нерезких границ.

Для настройки магнитного дефектоскопа применяют стандартные образцы предприятия (СОП), ГОСТ 8.315-97*, которые по толщине и материалу подобны контролируемому объекту.

К недостаткам данного метода относится:

- при толщине контролируемого листа больше 16-20 мм эффективность магнитных методов снижается, и требуются специальные меры для повышения чувствительности;
- невозможность контролировать труднодоступные зоны и участки, имеющие препятствия при сканировании поверхности металла;
- ферромагнитные частицы на сканируемой поверхности могут создавать помехи при контроле;
- неровности поверхности металла могут создавать помехи при контроле;
- значительная масса магнитных сканеров;
- для создания компьютерной карты дефектов объекта необходимо проводить разметку проездов магнитного сканера.

8.9 Применение металлографических методов для оценки качества металла и сварных швов

Металлографические исследования применяют при оценке качества сварного соединения по микроструктуре сварного шва и зоны термовлияния, качества основного металла, установления структуры металла, выявления микродефектов.

Для ответственных элементов, выполненных из кипящей стали толщиной свыше 12 мм и эксплуатирующихся при отрицательных температурах, рекомендуется определять микроструктуру с определением размера зерна по ГОСТ 5639-82.

Микроструктурным анализом можно обнаружить окислы на границах зерен, пережог металла, частицы неметаллических включений, величину зерен металла и другие изменения в его структуре, вызванные термической обработкой.

Микроструктурный анализ проводят различными методами, предусмотренными ГОСТ 5639-82.

При необходимости выполняют химический и спектральный анализ сварных соединений.

8.10 Применение методов акустической эмиссии

Метод акустической эмиссии позволяет получать в реальном времени информацию о состоянии контролируемого объекта путем регистрации и анализа акустического излучения, сопровождающего процессы перестройки структуры твердого тела, трения поверхностей и др.

Метод акустической эмиссии позволяет обнаруживать как поверхностные, так и внутренние дефекты в материале объекта, например трещины.

Метод обеспечивает обнаружение и регистрацию развивающихся или склонных к развитию дефектов, что позволяет классифицировать дефекты не по размерам, а по степени их опасности.

Акустико-эмиссионное диагностирование выполняют в процессе нагружения объекта до определенного заранее выбранного значения и в процессе выдержки нагрузки на заданных уровнях. При испытании толстостенных конструкций рекомендуется проводить регистрацию акустической эмиссии как на подъемах, так и на сбросах нагрузки для обнаружения эффекта раскрытия и закрытия трещин.

При применении метода акустической эмиссии следует соблюдать требования ГОСТ Р 52727-2007.

8.11 Применение пирометрии при определении температуры конструкции

Тепловые методы неразрушающего контроля широко применяют при обследовании и строительном контроле мостовых сооружений, как сопутствующие измерения при выполнении других видов контроля. Например, для определения температуры конструкций, при измерениях положения

опорных частей, зазоров в деформационных швах, исследованиях напряженно-деформированного состояния пролетных строений сложных систем и пр.

При выполнении линейных и угловых измерений должны соблюдаться требования ГОСТ 8.050-73 к нормальным условиям выполнения этих измерений, и в частности пределы допускаемого отклонения температуры объекта измерения.

При этом может применяться, как тепловой контактный метод, основанный на регистрации температуры при непосредственном контакте чувствительного элемента с поверхностью объекта контроля, так и метод собственного излучения, основанный на регистрации параметров собственного излучения контролируемого объекта на расстоянии. В последнем случае используют пирометры - приборы для бесконтактного измерения температуры исследуемой конструкции.

Принцип действия пирометров основан на измерении мощности теплового излучения объекта измерения преимущественно в диапазонах инфракрасного излучения. При обследовании мостовых конструкций применяют низкотемпературные пирометры. Самыми важными характеристиками пирометра, определяющими точность измерения температуры, являются оптическое разрешение (иногда оптическое разрешение называют показателем визирования) и настройка степени черноты объекта.

Показатель визирования рассчитывается как отношение диаметра пятна (круга) на поверхности, излучение с которого регистрируется пирометром к расстоянию до объекта. Чтобы правильно выбрать прибор, необходимо знать сферу его применения. Если необходимо проводить измерения температуры с небольшого расстояния, то лучше выбрать термометр с небольшим разрешением, например, 4:1. Если температуру необходимо измерять с расстояния в несколько метров, то рекомендуется выбирать пирометр с большим разрешением, чтобы в поле зрения не попали посторонние предметы. У многих пирометров есть лазерный целеуказатель для точного наведения на объект.

Степень черноты (или коэффициент излучения) характеризует свойства поверхности объекта, температуру которого измеряет пирометр. Этот показатель определяется как отношение энергии, излучаемой данной поверхностью при определенной температуре к энергии излучения абсолютно черного тела при той же температуре. Он может принимать значения от 0,1 до значений, близких к единице. Неправильный выбор коэффициента излучения - основной источник погрешности для всех пирометрических методов измерения температуры. На коэффициент излучения сильно влияет окисленность поверхности металлов.

8.12 Контроль толщины высушенного защитного покрытия

8.12.1 Метод магнитной индукции и пондеромоторный метод

Для измерения толщины высушенного (готового) покрытия на магнитных основаниях, в основном, применяют магнитные методы - пондеромоторный метод, основанный на зависимости величины магнитного притяжения от толщины покрытия и регистрирующий силу отрыва (притяжения) постоянного магнита от контролируемого объекта, а также метод магнитной индукции, основанный на измерении сопротивления магнитного потока, проходящего через покрытие и основание (основной металл).

Магнитные методы применимы для неразрушающих измерений толщины только немагнитных покрытий (включая стекловидные и фарфоровые эмалевые покрытия) на магнитных основных металлах.

Требования к определению толщины органических покрытий магнитными методами установлены ГОСТ Р 51694-2000. Стандарт не распространяется на металлические покрытия.

Для измерения толщины покрытий металлоконструкций мостовых сооружений, в основном, применяются толщиномеры электромагнитного типа, основанные на методе магнитной индукции.

Перед началом работы следует проверять калибровку прибора, используя калибровочные эталоны известной и однородной толщины и металлическое магнитное основание.

Согласно ОДМ 218.4.002-2009 [4] толщина покрытия на элементе мостового сооружения определяется как средняя арифметическая величина из числа измерений, принятого для данной конструкции. Число точек для выполнения измерений определяют в разных местах в зависимости от длины и площади элемента следующим образом: при площади 10 $м^2$ в 5 точках; при площади 20 $м^2$ в 10 точках; при площади от 30 до 100 $м^2$ в 15 точках; при площади 200 $м^2$ в 20 точках; при площади 600 $м^2$ в 40 точках; при площади2000 $м^2$ в 70 точках; при площади 10000 $м^2$ и более - в 100 точках; при длине элемента до 5 м - в 5 точках; при длине элемента свыше 5 м - в 11 точках.

Толщину покрытия в каждой точке определяют на основании 5 контрольных измерений, выполненных в радиусе 5 мм, при этом максимальное и минимальное значение не учитывают. Толщину покрытия в каждой точке определяют как среднюю арифметическую величину из трех оставшихся измерений.

8.12.2 Механические методы

Определение толщины покрытий приборами, использующими механический контакт, выполняют по ГОСТ Р 51694-2000 микрометрическим методом и методом с применением многооборотного индикатора. Стандарт не распространяется на металлические покрытия.

Метод пригоден для плоских окрашенных поверхностей, покрытие с которых может быть удалено растворителем или механическим способом.

Суть методов состоит в определении толщин элемента (основания), полученных в фиксированных точках поверхности прямыми измерениями с

покрытием, и без него. Вычисляют толщину покрытия в каждой точке измерения путем вычитания показаний, полученных после удаления покрытия, из показаний, полученных до него. Толщину элемента можно измерить до окраски, чтобы потом не нарушать целостности покрытия.

Количество точек измерения и их расположение по поверхности выбирают таким, чтобы получить достоверные данные, характеризующие толщину покрытия на всей окрашенной площади.

Учитывая низкую производительность метода и его разрушающий характер, данный метод при обследовании покрытий на металлических конструкциях мостовых сооружений применяют редко.

8.12.3 Метод вихревых токов

При помощи метода вихревых токов определяют толщину непроводящих высушенных покрытий на немагнитных металлических основаниях.

Измерения проводят вихретоковыми приборами по ГОСТ Р 51694-2000, в котором установлены методы измерения толщины органических покрытий, нанесенных на окрашиваемую поверхность. Стандарт не распространяется на металлические покрытия.

Вихретоковые приборы работают по принципу образования в системе датчик-прибор высокочастотного электромагнитного поля, вызывая вихревые токи в проводнике, на котором расположен датчик. Амплитуда и фаза этих токов являются функцией толщины непроводящего покрытия, находящегося между проводником и датчиком.

В процессе работы калибровку прибора необходимо проверять через короткие интервалы времени. Калибровочные эталоны известной и однородной толщины применяют в виде фольги или как окрашенные эталоны с указанными на них значениями толщины, поверенными в соответствии с действующими государственными эталонами.

При обследовании мостовых сооружений данный метод применяется редко.

8.13 Контроль адгезии покрытий

Адгезию покрытий определяют методами, предусмотренными ГОСТ 15140-78. Стандарт распространяется на лакокрасочные материалы и устанавливает следующие методы определения адгезии лакокрасочных покрытий к металлическим поверхностям: 1 - метод отслаивания; 2 - метод решетчатых надрезов; 3 - метод решетчатых надрезов с обратным ударом; 4 - метод параллельных надрезов.

Метод решетчатых надрезов является основным методом определения адгезии лакокрасочных материалов к металлическим поверхностям при обследовании мостовых сооружений и строительном контроле.

Сущность метода заключается в нанесении на готовое лакокрасочное покрытие решетчатых надрезов и визуальной оценке состояния покрытия по четырехбальной системе.

На каждом исследуемом участке поверхности, на расстоянии не менее 10 мм от края делают режущим инструментом по линейке или шаблону или с помощью устройства АД-3 не менее шести параллельных надрезов до металла длиной не менее 20 мм на расстоянии 1, 2 или 3 мм друг от друга, в зависимости от толщины покрытия согласно ГОСТ 15140-78. Толщину покрытия в месте измерения адгезии обычно определяют магнитными методами по ГОСТ Р 51694-2000.

Используется режущий инструмент: лезвие бритвенное в держателе любого типа; одно- или многолезвиевый нож с углом заточки режущей части 20 - 30° и кромкой лезвия толщиной 0,05 - 0,10 мм.

Контроль прорезания покрытия до металла осуществляют при помощи лупы.

Адгезию оценивают сравнением описания поверхности лакокрасочного покрытия после нанесения надрезов в виде решетки с фактической, используя при необходимости лупу.

Иногда адгезию выражают по шестибальной шкале, предусмотренной ИСО 2409-72. Перевод четырехбальной шкалы в шестибальную осуществляют по ГОСТ 15140-78.

9 Рекомендации по применению методов контроля напряженно-деформированного состояния, определения прочностных и динамических характеристик конструкции

9.1 Основные задачи исследований напряженно-деформированного состояния, прочностных и динамических характеристик конструкций. Выбор методов контроля

Исследования напряженно-деформированного состояния, прочностных и динамических характеристик конструкций мостовых сооружений проводят:

- В целях выявления фактической работы конструкций для уточнения расчетных моделей при определении грузоподъемности.
- При сдаче мостового сооружения в эксплуатацию после строительства, реконструкции, капитального ремонта в целях выявления соответствия фактической работы конструкции расчетным проектным предпосылкам и для выявления скрытых дефектов.
- Для подтверждения соответствия фактических жесткостных и динамических параметров конструкции нормативным-требованиям.
- Для выяснения уровня предварительного напряжения в арматуре преднапряженных железобетонных конструкций.
- При мониторинге состояния конструкций на этапе строительства. При сдаче мостового сооружения в эксплуатацию после строительства, реконструкции, капитального ремонта в целях

подтверждения соответствия реальной работы конструкции проектным предпосылкам.

- При мониторинге состояния конструкций в период эксплуатации.

Фиксацию параметров напряженно-деформированного состояния элементов несущих конструкций мостовых сооружений осуществляют в зависимости от задач исследования:

- при воздействии только постоянных нагрузок;
- при малых воздействиях - сбрасывание груза, прыжок человека или группы людей;
- при воздействии постоянных и временных эксплуатационных нагрузок,
- под испытательными нагрузками, близкими по своему воздействию нормативным нагрузкам, но не превышающими их.

Методы, рекомендуемые для контроля напряженно-деформированного состояния, прочностных и динамических характеристик конструкций мостовых сооружений на автомобильных дорогах приведены в приложении Б, в таблице Б.3.

9.2 Определение местных линейных деформаций и перемещений. Тензометрия

Основным и наиболее распространенным способом мониторинга напряженно-деформированного состояния конструкции является измерение местных линейных деформаций и перемещений в фибровых зонах наиболее нагруженных элементов («критических точках»).

Общие прогибы и линейные перемещения конструкций при испытаниях могут быть измерены с использованием различного типа прогибомеров и клинометров (конструкции Н.Н. Аистова, Н.Н. Максимова и др.), а также геодезических инструментов. Для длительного наблюдения за деформационными перемещениями элементов конструкции применяются измерители линейных деформаций и геодезические инструменты с закреплением специальных марок на сооружении и реперов на местности.

Для исследования напряженно-деформированного состояния элементов конструкций в натурных условиях, величины раскрытия трещин, местных перемещений и пр. рекомендуется применять механические и электрические тензометры. Механические тензометры (Аистова, Гугенбергера и др.) и де-формометры (например, индикаторы часового типа с удлинителями) применяют при испытании сооружений статическими нагрузками. Для динамических испытаний применяют электрические тензометры, электротензометрические преобразователи и электромеханические прогибомеры.

Принцип работы различных типов датчиков в электрической тензометрии основан на использовании зависимости между величиной деформаций и электрическими величинами: омическим сопротивлением, индуктивностью, емкостью и др. Деформация в датчике-преобразователе вызывает изменение в

одной из электрических величин, которая измеряется с высокой точностью; по изменению электрической величины определяют размеры деформаций. Это позволяет регистрировать и измерять быстро изменяющиеся во времени механические деформации с достаточной точностью тензостанцией.

Тензометры обеспечивают измерение взаимного перемещения двух точек, в частности, линейных деформаций волокон на определенной длине, называемой базой прибора. На базах от 2...5 до 200 мм деформации волокон не превышают $10^{-6}...10^{-3}$ мм. Используя линейный закон Гука ($\sigma = \varepsilon \cdot E$) по измеренным деформациям может быть определено фактическое напряжение в конструкции в месте измерения. Если эти две точки относятся к различным элементам конструкции или на базе измерения сплошность материала нарушена, то измеряются взаимные перемещения, а не деформации.

Тензометры (тензодатчики) бывают одноразового (несъемные) и многоразового применения. Одноразовые тензодатчики перед проведением измерений наклеиваются на конструкцию, и их последующий демонтаж с повторным использованием уже невозможен. Съемные датчики имеют более сложную конструкцию, допускающую их закрепление на конструкции (магнитами, специальным крепежом, наклейкой) с последующим снятием без утраты работоспособности датчик.

В качестве тензометров применяют датчики сопротивления (тензорезисторы различных типов), индукционные, емкостные и струнные датчики.

Распространённая конструкция тензодатчика представляет собой резистор, сопротивление которого изменяется при деформации. Его приклеивают к поверхности исследуемого объекта так, чтобы он деформировался вместе с ней для определения упругих деформаций и последующего вычисления напряжений по известному модулю упругости.

Используются одиночные тензорезисторы или блоки тензорезисторов, соединённые по схеме моста или полумоста.

Применяют часто датчики, в которых проволочная решетка заменена решеткой из тонкой фольги.

Полупроводниковые тензорезисторы применяют наиболее часто, поскольку они обладают рядом преимуществ по сравнению с проволочными и фольговыми тензорезисторами, они имеют небольшие габариты, в 50-60 раз большую чувствительность, высокий уровень выходного сигнала, исключающий иногда применение сложных и дорогих усилителей. Сопротивление и тензочувствительность полупроводниковых тензорезисторов при одних и тех же размерах может изменяться в большом диапазоне в зависимости от технологии изготовления - сопротивление от 100 Ом до 50 кОм, коэффициент тензочувствительности η=100 - 200.

Полупроводниковые тензорезисторы, изготовленные на основе кремния и германия, химически инертны и выдерживают нагрев до 500—540° С. Линейность изменения сопротивления сохраняется при относительных деформациях до ±0,1 %; предельная деформация ±0,4 %. К недостаткам

полупроводниковых тензорезисторов относятся: малая механическая прочность и гибкость, высокий разброс основных характеристик.

Для измерения напряжений тензорезистор располагают по направлению измеряемой деформации и наклеивают на испытуемый элемент специальным клеем, обеспечивающим передачу поверхностных деформаций элемента на тензорезистор.

В индукционных тензометрах используется зависимость сопротивления индукционной катушки, включенной в цепь переменного тока, от магнитного поля. По сравнению с проволочными тензометрами, индукционные тензометры, подобно механическим, проще в установке, не требуют тщательной подготовки поверхности испытываемой детали, устойчивы в отношении влаги и изменения температуры, могут быть многократно использованы и индивидуально протарированы. Однако конструкция и изготовление их значительно сложнее.

Физическая основа работы емкостных датчиков - изменение емкости конденсатора при передаче деформации испытуемой конструкции на подвижную обкладку конденсатора. Преимуществом емкостного датчика является возможность контролировать различные параметры без механического контакта. Недостатком емкостного датчика является то, что его емкость одновременно зависит от многих факторов, например, не только от перемещения тела, но и от температуры, влияющей на линейные размеры обкладок, и влажности, от изменения которой зависит диэлектрическая проницаемость.

Сущность струнных тензометров заключается в том, что частота собственных колебаний их основного элемента — струны зависит от степени ее натяжения. Длина струнных тензометров варьируется в диапазоне 0.2…3 м.

Регистрацию измеренных величин в электротензометрии выполняют тензометрическими станциями.

Механические приборы измерения деформаций, предназначенные для измерения деформаций на больших базах, называют деформометрами. Наиболее распространены деформометры, в которых основным рабочим органом являются индикаторы часового типа, обеспечивающие точность фиксации перемещений на уровне 0.001 мм. Преимуществами деформометров является их исключительная надежность по сравнению с тензометрами, возможность работы при низких отрицательных температурах и возможность измерения деформаций на длинной базе, что в ряде случаев бывает единственным приемлемым вариантом. Ограничениями использования механических деформометров является невозможность их применения на малой базе, «ручная» фиксация измеренных величин, невозможность контролировать непрерывный процесс с достаточной частотой и в автоматизированном режиме. Наряду с традиционными стрелочными индикаторами часового типа широкое распространение получают индикаторы с цифровым электронным табло и внешним портом, обеспечивающим передачу показаний (проводную или беспроводную) с достаточно высокой частотой на

прибор автоматической регистрации. Использование таких электронных индикаторов существенно расширяет область применения механических деформометров.

9.3 Выявление дефектов в конструкциях измерением местных деформаций. Тензодиагностика

Обнаружить различные дефекты в конструкциях возможно методами тензодиагностики. Суть тензодиагностики состоит в сравнении фактического уровня напряжений от испытательной нагрузки в конкретной точке сооружения с расчетным значением или эталонным для исправных элементов. Фактический уровень напряжений от временной нагрузки в конкретной точке сооружения получают через измеренные местные линейные деформации в этой точке тензометрическими методами.

Применение методики тензодиагностики целесообразно, например, для оценки включения в совместную работу с главными металлическими балками железобетонной плиты проезжей части в сталежелезобетонных пролетных строениях. В качестве реакции системы принимают деформации верхнего и нижнего поясов металлических балок и вертикальные прогибы пролетных строений.

Оценка технического состояния по деформациям поясов металлических балок позволяет выявлять изменения в работе отдельных поперечных сечений пролетного строения, вызванные нарушением сплошности монолитных стыков плиты. Признаком такого нарушения является увеличение измеряемых деформаций (напряжений) в поясах балок и прогибов по сравнению с расчетными значениями, полученными в предположении исправного состояния пролетного строения для одной и той же нагрузки.

Измерение деформаций (напряжений) проводят как при статическом загружении (специальные испытания) конструкции, так и при динамическом приложении нагрузки.

Выявление скрытых дефектов методом тензодиагностики возможно без остановки движения транспортных средств.

9.4 Определение остаточных напряжений методами частичной разгрузки

В необходимых случаях для оценки напряженного состояния можно применять тензометрические методы частичной разгрузки - тензометрический метод отверстий, метод вырезки продольных штраб в преднапряженном бетоне, метод разрезки отдельных проволок.

Тензометрические методы частичной разгрузки состоят в частичном разрушении материала конструкции (сверлении, выпиливании, обрезки), при котором происходит релаксация существующих остаточных напряжений. Процесс релаксации вызывает деформации материала в области отверстия или вырезки. Значения и направления деформаций позволяют рассчитать величину остаточных напряжений.

9.5 Определение остаточных и действующих напряжений методом рентгеновской дифрактометрии (тензометрии)

Применение рентгеновских лучей для исследования напряженного состояния в металлах и сплавах основано на явлении дифракции рентгеновских лучей при прохождении их через кристаллическую решетку исследуемого материала [20, 21].

Метод основан на определении расстояния между кристаллографическими плоскостями с помощью измерения угла отражения рентгеновского луча. Одна из схем определения остаточных напряжений состоит в следующем: монохроматический рентгеновский луч направляют узким пучком на исследуемую поверхность металла, а отраженные лучи фиксируются на рентгеновской пленке в виде кольцевого затемненного следа.

Рентгеновский метод определения остаточных напряжений позволяет непосредственно измерять деформации кристаллической решетки при воздействии напряжений. Основное преимущество рентгеновского метода состоит в том, что остаточные напряжения определяются без разрушения детали. К недостаткам рентгеновского метода относят следующие: напряжения определяются только в поверхностном слое, точность определения напряжений сравнительно невысока. Однако возможность определения остаточных напряжений без разрушения детали элемента делает метод рентгеновский тензометрии достаточно перспективным.

9.6 Оценка динамических характеристик. Выявление дефектности методами фиксации и анализа собственных частот

Методы собственных частот основаны на измерении собственных частот или спектров колебаний контролируемых объектов. При исследованиях могут анализироваться, также и формы колебаний. Неисправности и дефекты, которые оказывают влияние на указанные параметры, выявляют путем сравнения фактических параметров с расчетными значениями.

Важными расчетными параметрами при анализе изменений напряженно-деформированного состояния конструкций в процессе эксплуатации являются частоты (периоды) и логарифмические декременты затухания собственных колебаний конструкции и формы колебаний конструкции.

Различают методы собственных частот активные (вибродиагностика) и пассивные.

Активные методы собственных частот основаны на анализе и сравнении параметров расчетного и экспериментального отклика сооружения на динамическое воздействие, которое создают искусственно: специальным оборудованием или воздействием испытательной нагрузки.

Оценку фактических динамических характеристик конструкций дают по результатам динамических испытаний мостовых сооружений, которые проводят по заранее разработанным программам с учетом СП 79.13330.2012.

Определение параметров основного тона собственных колебаний (период и логарифмический декремент) выполняют с учетом ГОСТ Р 54859-2011.

Для измерения динамических характеристик используют активные и пассивные методы собственных частот (вибродиагностика, метод малых воздействий, метод стоячих волн), метод тензометрии.

9.6.1 Активные методы определения собственных частот. Вибродиагностика

Методы вибродиагностики основаны на анализе параметров вибрации конструкции, которые создаются при помощи специального оборудования. Вибродиагностику используют для поиска неисправностей, а также оценки технического состояния объекта.

Резонансный метод неразрушающего контроля основан на регистрации параметров резонансных колебаний, возбужденных в контролируемом объекте искусственным приложением к конструкции сооружения импульсной или гармонической, вибрационной нагрузки. Как частный случай, применяется стохастический процесс нагружения, имеющий стабильные статистические характеристики (стационарный, эргодический процесс).

Суть методов вибродиагностики состоит в том, что при возникновении повреждений конструкций, вследствие снижения жесткости отдельных элементов, происходит перераспределение внутренних усилий и основой любого метода вибродиагностики является установление связи между динамическими параметрами сооружения и требуемыми параметрами, например, его грузоподъемностью.

Активную вибродиагностику мостовых сооружений на федеральных автомобильных дорогах проводят с учетом отраслевой дорожной методики [18]. Методика может применяться как для периодической инструментальной диагностики эксплуатируемых автодорожных мостов, так и для приемочных испытаний вновь построенных и реконструируемых мостов.

Исследования проводят по заранее разработанным программам с учетом СП 79.13330.2012.

Свободные колебания конструкций автодорожных мостовых сооружений при динамических испытаниях возбуждают приложением импульсного воздействия, например с использованием искусственной неровности «порожка» при проезде испытательного автомобиля по сооружению.

Свободные колебания конструкций пешеходных мостов при динамических испытаниях возбуждают приложением импульсного воздействия от падения груза или приложением серии импульсных воздействий группой испытателей.

Измерение колебаний конструкций выполняют методами тензодиагностики с использованием тензометров, либо с помощью электронных акселерометров, либо с помощью специальных механических приборов.

9.6.2 Метод малых воздействий

Метод малых воздействий основан на анализе экспериментального динамического отклика сооружения и сравнении его с расчетными параметрами.

Метод может применяться при мониторинге общего состояния конструкций и локализации дефектов.

Сравнение реальной системы собственных колебаний и колебаний, рассчитываемых по конечно - элементной модели объекта (КЭ-модели) позволяет оценить соответствие КЭ-модели и объекта, а также уточнить расчетную КЭ-модель для дальнейших расчетов с учетом дефектности объекта, адаптировать её к реальной работе конструкции.

Для записи колебаний используют чувствительные вибродатчики – акселерометры, что позволяет использовать и метод «малых воздействий», когда конструкция выводится из состояния покоя в результате приложения малого импульсного воздействия (сбрасывание груза массой 80...100 кг с высоты до 0,5 м, прыжок человека или группы людей) в различных точках по длине и ширине пролетного строения. При этом возбуждаются колебания по форме, требующей минимальной энергии в направлении воздействия вынуждающей силы. Например, для неразрезных пролетных строений, в первую очередь будут вызываться низшие формы колебаний, характерные для пролета, в котором осуществляется воздействие на конструкцию. Для возбуждения колебаний пролетных строений также могут быть применены другие виды внешнего воздействия: движение транспорта, ветер, сейсмические толчки и т.п.

Частоты низших форм колебаний незначительно уменьшаются при наличии дефектов в сооружении, и поэтому являются малочувствительной характеристикой для поиска дефектов. Однако практическое использование данного метода целесообразно при использовании технологии создания «цифровых портретов» свободных колебаний в виде амплитудно-частотно-временных зависимостей.

Изменение частот собственных колебаний происходит при различном состоянии одежд ездового полотна, что позволяет оперативно диагностировать изменения состояния и осуществлять автоматизированный мониторинг.

Точность получаемых результатов зависит от двух важнейших факторов – от качества аппаратуры измерения и правильного выбора схемы измерений (положения датчиков на конструкции, продолжительности измерений).

Чем продолжительнее время записи виброграмм, тем выше достоверность получаемых результатов. При измерениях на объектах, подверженных «шумовым» помехам (к таким объектам относятся транспортные сооружения, реагирующие на проезд транспортных средств) требуется предварительная обработка виброграмм (фильтрация, чистка, вырезание импульсных помех и т.д.) для исключения влияния шумов на конечный результат обработки данных.

Особенности и преимущества метода малых воздействий состоят в следующем:

- Метод дает возможность использовать для анализа динамические параметры, являющиеся интегральными характеристиками технического состояния объекта.
- Возможность проведения экспресс диагностики сооружения с выявлением скрытых дефектов без остановки движения транспортных средств.
- Мобильность – быстрая установка оборудования за счет малого веса, габаритов и набора сменных датчиков.
- Гибкость - возможность изменения конфигурации схем измерения за счет включения различных по функциональным возможностям типов датчиков, программной настройки параметров каждого измерительного канала и объединения измерительных блоков в один измерительный комплекс.
- Автономность использования – независимость от внешних источников питания, возможность автономного запуска измерений по программным критериям или сигналам с датчиков.
- Помехозащищенность - за счет расположения цифровых измерительных датчиков и блоков в непосредственной близости от точек измерения. Данные с датчиков поступают в измерительный блок в цифровом формате.

Метод малых воздействий можно применять для оценки динамических характеристик мостовых сооружений. Метод позволяет определить динамические характеристики, соответствующие фактическому техническому состоянию основных несущих конструкций. По изменению динамических характеристик в период эксплуатации можно фиксировать изменение технического состояния конструкций.

Ограничения применения, использования метода малых воздействий:

- Метод практически неприменим для выявления незначительных неисправностей, не оказывающих существенного влияния на жесткость конструкции.
- При выполнении диагностических работ с использованием данного метода необходимо учитывать климатические условия, поскольку существенное влияние на жесткость автодорожного сооружения в целом оказывает замораживание и оттаивание грунта насыпи и основания, изменение модуля упругости асфальтобетонного покрытия при изменении температуры.

9.6.3 Метод стоячих волн

Метод «стоячих волн» основан на восстановлении полей собственных колебаний объекта и анализе выделенных форм собственных колебаний. Его сущность состоит в проведении измерений пассивных колебаний объекта под воздействием микросейсм, вызванных фоновым воздействием внешних факторов, при отсутствии транспортных средств на сооружении, выделении и анализе частот и форм собственных колебаний объекта. Возможно выполнение

измерений и при случайном воздействии возбуждающих сил, например проходящих транспортных средств.

Метод позволяет

- выявлять в мостовых конструкциях дефекты и ослабленные места;
- изучать влияние друг на друга и взаимодействие отдельных конструкций мостовых сооружений;
- уточнять создаваемые или существующие КЭ–модели мостовых сооружений.

Метод стоячих волн позволяет провести исследования в короткие сроки и без перерыва движения выявить различные формы свободных колебаний конструкции во всех плоскостях, в том числе крутильные формы колебаний и определить их частоты и средние амплитуды.

Метод стоячих волн является экспресс-методом, позволяющим получать информацию о колебаниях в неограниченном числе точек конструкции. Такой контроль можно повторять неоднократно в процессе эксплуатации мостового сооружения в рамках мониторинга. По изменению характеристик колебаний в период эксплуатации можно оперативно фиксировать изменение технического состояния конструкций.

Подробное описание метода дано в приложении В.

9.7 Применение наземного лазерного сканирования при мониторинге длительных деформаций конструкций в процессе эксплуатации и строительства

Сущность наземного лазерного сканирования (НЛС) заключается в измерении с высокой скоростью расстояний от сканера до точек лазерных отражений и регистрации соответствующих направлений. Использование НЛС дает возможность решения инженерно-геодезических задач по контролю геометрических параметров сооружения, включая линейные и угловые величины, характеризующие деформационное состояние конструкций (осадки и смещения, отклонения от вертикали, прямолинейность, прогибы и т.д.). При этом за счет высокой степени автоматизации обеспечивается значительное снижение влияния человеческого фактора на результаты измерений.

Метод НЛС применим при изучении и мониторинге деформационного состояния конструкций в процессе строительства и эксплуатации.

Основные технические средства – наземные лазерные сканеры. Средние квадратические погрешности сканеров при определении координат центра марки до 1.5 мм. Для оценки точности измерений можно принимать методику МИ2798-2003 [22] с учетом сопутствующих стандартов ГОСТ 8.207-76, ГОСТ 8.563-96, ГОСТ Р ИСО 5725-2002.

Применение лазерных сканеров позволяет с высокой точностью измерять и контролировать изменение положения конструкций в пространстве как при строительстве мостовых сооружений, так и в период эксплуатации, что дает возможность объективно оценивать деформации конструкций в течение длительного времени.

Особенности и преимущества метода по сравнению с другими:

- Значительное повышение качества геодезических работ за счет реализации принципа непрерывной съемки, высокой скорости и автоматизации измерений.
- Простота применения.
- Высокая достоверность за счет большого объема и полноты получаемой информации.

Ограничения применения, использования метода:

- Отсутствие регламентирующей документации и методических рекомендаций по применению.
- Высокая стоимость оборудования.

10 Техника безопасности при проведении приборных и инструментальных измерений

Перед проведением приборных и инструментальных измерений намечается план безопасного ведения работ, как с временным прекращением эксплуатации, так и без прекращения эксплуатации сооружения. План должен предусматривать мероприятия, исключающие возможность обрушения конструкций, поражения людей током, наезда транспорта и пр.

Для обеспечения непосредственного доступа к конструкциям могут быть использованы имеющиеся на сооружении средства: люльки, смотровые тележки, трапы и т.п. При отсутствии таковых устраивают подмости, леса и площадки, настилы, люльки, приставные лестницы, стремянки.

При производстве полевых работ работники, проводящие измерения, обязаны соблюдать требования СНиП 12-03-2001 [31] и СНиП 12-04-2002 [32] по технике безопасности и безопасности труда в строительстве.

Лица, проводящие натурные инструментальные и приборные измерения, должны в соответствии с ГОСТ 12.0.004-90 пройти вводный (общий) инструктаж в отделе охраны труда предприятия, а также инструктаж непосредственно на объекте.

Лица, проводящие натурные инструментальные и приборные измерения, должны использовать необходимые защитные приспособления и спецодежду:

- защитные каски;
- предохранительные пояса с указанием места закрепления карабина и страховочных канатов (при необходимости);
- спецодежду, которая не должна иметь болтающихся и свисающих частей во избежание зацепления с движущимся автотранспортом и токопроводящими элементами;
- при выполнении работ по вскрытию бетона, отбору проб из конструкций следует применять аппараты и приспособления для защиты глаз и дыхательных путей: маски, очки, респираторы и т.д.

Все работы по приборным и инструментальным измерениям на высоте более трех метров, как правило, проводятся с подмостей. Выполнение этих

работ без подмостей допускается только с обязательным применением предохранительных приспособлений и монтажных поясов.

Перед началом работ необходимо проводить проверку состояния лесов, подмостей, ограждений, люлек, лестниц. В случае обнаружения их неисправности следует принять необходимые меры по ремонту.

Приложение А
Инструментальные измерения, выполняемые при оценке технического состояния мостовых сооружений

Таблица А.1 - Инструментальные измерения, выполняемые при оценке технического состояния мостовых сооружений

Измеряемый параметр и его краткое определение	Цели и задачи измерения параметра	Установленная (достаточная) точность измерения параметра	Пояснение к измеряемому параметру	Рекомендуемые средства измерения	Нормативный и методический документ	Примечание
1	2	3	4	5	6	7
1 Геометрические измерения						
1.1 Определение местоположения сооружения						
Местоположение сооружения, км, м Расстояние от нулевого пикета автодороги до середины длины сооружения. Местоположение сооружения, приписанного к данной дороге, но находящегося над ней, определяется точкой пересечения оси дороги с продольной осью сооружения.	Проверка соответствия адреса сооружения	1.00 м	Значение указывают на этапе создания сооружения как объекта учета одним вещественным числом. Например: 1340.758 (1340+758)	тахеометр, лазерный измеритель расстояний, курвиметр, навигатор, металлическая рулетка		Местоположение подлежит редактированию в случае необходимости внесения уточненного значения по особому распоряжению владельца.

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Расстояние до ближайшего населенного пункта, км Путь, который необходимо преодолеть при движении по дороге (примыкающим дорогам) между сооружением и населенным пунктом.	Уточнение адреса сооружения	Достаточная точность – до километра. Если расстояние менее одного километра – до 0.5 км.	В качестве значения указывают вещественное число.	тахеометр, спидометр автомобиля, курвиметр		Если сооружение расположено в населенном пункте, то расстояние до него указывают равным нулю.
1.2 Определение основных (габаритных) размеров сооружения						
Полная длина мостового сооружения, м Расстояние между наиболее удаленными друг от друга точками конструктивных элементов концевых опор, измеренное по продольной оси.	Используют в расчетах границ сооружения и зоны обслуживания	вдоль оси моста с точностью до 0.01 м	При отсутствии концевых опор за полную длину моста принимают расстояние между наиболее удаленными точками конструктивных элементов крайних пролетных строений. Если мост в плане «косой», расстояние определяют по той продольной оси, которая дает максимальное значение, но не в перекрест для левой и правой стороны моста. Переходные плиты в длину моста не включают.	Тахеометр, лазерный измеритель расстояний, мерные ленты, курвиметр	ОДМ 218.4.001-2008	Изменение длины производится только по согласованию с балансодержателя объекта. Основанием для изменения является существенное отличие фактически измеренного расстояния от его ранее зафиксированного значения (как правило более 0,1 м..

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Габарит по ширине мостового сооружения	Проверка соответствия габарита моста по ширине требованиям ГОСТ Р 52748-2007 и категории дороги по ГОСТ Р 52398	0.01 м	В стандартных случаях записывается формулами, в которые входят число проездов, суммарная ширина полос движения в каждом направлении (включая ширину полос безопасности) и ширина разделительной полосы	Лазерный измеритель расстояний, мерные ленты	ГОСТ Р 52748-2007 СП 35.13330.2011 ОДМ 218.4.001-2008	В нестандартных случаях (не предусмотренных ГОСТ Р 52748-2007) габариты мостов вычисляются по формуле: $Г = П + nb + С + nb + П$, где (n - число полос движения в одном направлении, b – ширина каждой полосы движения, $С$ - ширина разделительной полосы, П – ширина полосы безопасности
Полная ширина мостового сооружения, м Максимальная ширина между крайними габаритными точками конструкций мостового сооружения	Определение границ сооружения, зоны обслуживания, объемов по обследованию, содержанию и проектированию	0.01 м	Принимается максимальным значением из ширины мостового полотна либо пролетного строения.	Лазерный измеритель расстояний, мерные ленты	ОДМ 218.4.001-2008	Максимальная ширина между крайними габаритными точками конструкций мостового сооружения

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
1.3 Контрольные измерения и инструментальные съемки пространственного расположения конструкций, элементов, деталей элементов (поверхностей граней, точек и пр.)						
Измерения расположения конструкций, элементов, деталей элементов в плане и в профиле						
Положение моста в плане (левая кривая, правая, комбинированная, на прямой вставке в составе какой-либо кривой и пр.)	Характеристика сложности сооружения. Определяет, в том числе проектные поперечные уклоны	Устанавливается сам факт расположения	При расположении моста в пределах всей его длины или части длины на кривой, тип кривой (левая, правая, комбинированная) определяют по направлению хода километража. Левая кривая соответствует повороту проезжей части влево, правая – вправо. Комбинированная кривая включает оба поворота.	Теодолит, тахеометр, лазерный измеритель расстояний, мерные ленты	СП 35.13330.2011 СП 126.13330.2011	Данная характеристика должна отражать положение именно искусственного сооружения, а не участка дороги, на котором это сооружение находится
Косина моста, градусы	Характеристика сложности сооружения. Используется в расчетах грузоподъемности	1°	Значением косины является величина «α»=(90°-«угол пересечения»), где «угол пересечения» - угол между продольной осью моста и осью опоры..	Теодолит, тахеометр, лазерный измеритель расстояний, металлическая рулетка, транспортир строительный	ОДМ 218.4.001-2008 СП 126.13330.2011	Косина может быть, как положительная, так и отрицательная. Если угол пересечения равен 90°, то пересечение прямое, а косина соответственно равна «0»

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Положение моста в профиле (На уклоне, на выпуклой или вогнутой вертикальных кривых, на площадке)	Определяет систему водоотвода с проезжей части, Используют при определении минимального расстояния видимости встречного автомобиля и минимального расстояния видимости для остановки перед препятствием, обеспечивающего безопасность движения при данной скорости	1 ‰	Наличие уклона, выпуклой или вогнутой вертикальных кривых определяют по результатам замеров высотных отметок конструкций	Нивелир, тахеометр, лазерный построитель плоскостей	СП 35.13330.2011, СП 79.13330.2012 СП 126.13330.2011	Определяется по результатам обследования или по документации. При среднем значении продольного уклона менее 1 ‰ сооружение считается расположенным на «площадке»
Наличие встречных продольных уклонов проезжей части в пределах длины пролета	Определяет систему водоотвода с проезжей части	-		Нивелир, тахеометр, лазерный построитель плоскостей, визуально	СП 126.13330.2011	Вспомогательный параметр

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Угол перелома продольного профиля проезжей части, промилле	Используют в расчетах безопасной скорости и при определении минимальных расстояний видимости	1 ‰		Нивелир, тахеометр, лазерный построитель плоскостей, визуально	ОДН 218.017-2003 СП 126.13330.2011	При угле перелома более допустимого, что приводит к снижению безопасной скорости, измеренное значение приводят в ведомости дефектов
Величина продольного уклона проезжей части, промилле Осредненное значение, полученное по результатам инструментальной съемки продольных створов по краям и оси ездового полотна.	Определение соответствия проекту и нормам. Определяет систему водоотвода с проезжей части, используется при определении группы дорожных условий. Используют при определении условий дорожного движения и минимальных расстояний видимости	1 ‰	Величину продольного уклона проезжей части определяют на каждом пролетном строении	Нивелир, Тахеометр, лазерный построитель плоскостей	СП 35.13330.2011, СП 79.13330.2012 СП 126.13330.2011	Приводят на продольной графической схеме сооружения. При установлении факта несоответствия измеренное значение приводят в ведомости дефектов

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Величина поперечного уклона проезжей части, промилле Осредненное значение уклонов поперечных створов ездового полотна в пределах одного пролета.	Определение соответствия проекту и нормам. Определяет систему водоотвода с проезжей части пролетного строения	1 ‰	Величину поперечного уклона проезжей части определяют на каждом пролетном строении	Нивелир, тахеометр, лазерный построитель плоскостей	СП 35.13330.2011, СП 79.13330.2012 СП 126.13330.2011	Приводят на поперечной графической схеме сооружения. При установлении факта несоответствия измеренное значение приводят в ведомости дефектов
Величина продольного уклона подходов, промилле .	Определяет систему водоотвода с проезжей части на подходах. Используют при определении условий дорожного движения и минимальных расстояний видимости	10 ‰	Определяют в продольном створе оси проезжей части по точкам, расположенным в поперечных створах, проходящих по крайнему деформационному шву и на расстоянии 25 м от него	Нивелир, тахеометр, лазерный построитель плоскостей	СП 35.13330.2011 СП 126.13330.2011	Приводят на продольной графической схеме сооружения.

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Высотные отметки характерных точек конструкции (ездового полотна, низа конструкций пролетных строений, верха опор, низа фундаментов, уровней земли и воды, и т.д.)	Геодезическое закрепление положения отдельных частей и элементов сооружения для фиксации изменений, возникающих в эксплуатации сооружения Используют при определении толщины одежды мостового полотна, габаритов и пр.	0.01 м			ОДМ 218.4.001-2008 СП 126.13330.2011	Имеющиеся в технической документации и полученные выполненными измерениями высотные отметки приводят на графических схемах сооружения. Информацию об источнике получения отметок приводят в примечаниях на схеме сооружения.

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Группа дорожных условий (определяется минимальными радиусами (R) и максимальными продольными уклонами (I) проезжей части на мостовом сооружении и примыкающих к нему участках подходов протяженностью 100 м)	Используют при назначении нормативного уровня удерживающей способности дорожных ограждений на мостовом сооружении	R – 100 м I – 10 ‰	Группу определяют в соответствии с фактическими условиями движения на участке расположения сооружения по результатам измерений расположения проезжей части на мостовом сооружении и примыкающих к нему участках подходов протяженностью 100 м в плане и в профиле	Нивелир, теодолит, тахеометр	ГОСТ Р 52289-2004, ГОСТ Р 52607-2006 СП 126.13330.2011	
Минимальное расстояние видимости встречного автомобиля, обеспечивающее безопасность движения при данной скорости, м .	Используют в расчетах безопасной скорости	10 м	Расстояние, на котором с высоты 1.2 м можно увидеть предмет, находящийся на высоте 1.2 м над уровнем проезжей части	Нивелир, тахеометр, лазерный построитель плоскостей	ГОСТ Р 52289-2004 СП 126.13330.2011	При недостаточном расстоянии измеренное значение приводят в ведомости дефектов

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Минимальное расстояние видимости для остановки перед препятствием, обеспечивающее безопасность движения при данной скорости, м.	Используют в расчетах безопасной скорости	5 м	Расстояние, которое с высоты 1.2 м обеспечивает видимость любых предметов, высотой не менее 0.2 м находящихся на середине полосы движения	Нивелир, тахеометр, лазерный построитель плоскостей	ГОСТ Р 52289-2004 СП 126.13330.2011	При недостаточном расстоянии измеренное значение приводят в ведомости дефектов
Измерения профиля подмостового пространства						
Профиль поверхности грунта и конусов по оси сооружения	Оценка соответствия проекту	0.1 м		Нивелир, тахеометр, лазерный построитель плоскостей	СП 35.13330.2011 СП 126.13330.2011	Дают на схеме сооружения. При установлении факта несоответствия измеренное значение приводят в ведомости дефектов

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
1.4 Контрольные измерения габаритов						
Подмостовой габарит, м Расстояние по вертикали от нижней точки основной несущей конструкции пролетного строения в главном пролете до уровня воды, до верха покрытия автомобильной дороги, головки рельса на железной дороге или отметки грунта на суходоле.	Определение соответствия условий движения под сооружением установленным требованиям	Для пересечений над автомобильной или железной дорогой 0,01 м. Для прочих препятствий 0.1м.	Определяют натурным измерением для основного пересекаемого препятствия. Главным пролетом считают наибольший пролет над основным препятствием. Для сооружений над водотоком в качестве «нижней точки» принимают отметку низа конструкции в середине пролета. Для пересечений над автомобильной или железной дорогой принимают минимальную величину подмостового габарита с учетом пространственного высотного взаимоположения конструкций пролетного строения и пересекаемого препятствия	Лазерный измеритель расстояний, нивелир, рейка, отвес, рулетка	СП 35.133330.2011 ГОСТ 26775-97	Для мостов над водотоками указывают подмостовой габарит в привязке к проектному УМВ, если такая информация имеется. При отсутствии проектных данных – по уровню воды на дату проведения измерений. Если величина подмостового габарита для водотока была установлена предыдущим обследованием, и с тех пор не произошло техногенных изменений гидрологических условий в зоне искусственного сооружения, корректировку величины подмостового габарита можно не производить.

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
						Подмостовой габарит показывают на схеме сооружения.При установлении факта несоответствия габарита нормативным требованиям измеренное значение приводят в ведомости дефектов
Габарит по высоте на проезжей части (габарит проезда по высоте), м Наименьший вертикальный просвет между покрытием проезда и ограничивающей конструкцией.	Определение соответствия условий движения по сооружению установленным требованиям	0.01 м		Рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний, нивелир, рейка, отвес	ГОСТ Р 52748-2007	Габарит показывают на поперечнике графической схемы сооружения. При установлении факта несоответствия габарита нормативным требованиям измеренное значение приводят в ведомости дефектов

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Ширина проезда, м Расстояние между внутренними габаритными гранями ограждений безопасности, в которое входит и ширина разделительной полосы, не имеющей ограждений.	Определение соответствия условий движения по сооружению установленным требованиям Определение безопасной скорости	0.01 м. указывается в створе с минимальной шириной		Рулетка Металлическая, лазерный измеритель расстояний	ГОСТ Р 52748-2007 ОДН 218.017-2003	Для пролетных строений переменной ширины (например, расположенных на кривых) ширина проезда указывается в створе с минимальной шириной пролетного строения. Показывают на поперечнике графической схемы сооружения. При установлении факта несоответствия габарита нормативным требованиям измеренное значение приводят в ведомости дефектов

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Ширина левой (правой) полосы безопасности, м Расстояние между дорожным ограждением и осью краевой линии разметки	Определение соответствия нормативным требованиям, определение безопасной скорости	0.01 м	Указывают фактическую ширину полосы безопасности в створе фиксации ширины ездового полотна. Если ширина проезда более установленной нормами для данной категории дороги, то ширину полос безопасности следует назначать нормативным размером. Если ширина проезда менее установленной нормами, то ширина проезжей части (полос движения) принимается нормативным значением с соответствующим сужением полос безопасности. Не следует в общем случае назначать ширину полос безопасности исходя из нанесенных на период проведения обследования линий дорожной разметки	Рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний	ГОСТ Р 52748-2007 ГОСТ Р 52748-2007	Для стандартных габаритов, предусмотренных ГОСТ Р 52748-2007, указывается нормативное значение ширины полос безопасности, независимо от фактически нанесенной разметки. При установлении факта несоответствия габарита нормативным требованиям измеренное значение приводят в ведомости дефектов

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Ширина тротуара, м Расстояние в свету в уровне прохода между габаритами ограждающих тротуар конструкций.	Определение соответствия проекту, нормативным требованиям. Определение объемов нормативного содержания	0.01 м	Указывают фактическое минимальное расстояние в свету в уровне прохода между габаритами ограждающих тротуар конструкций.	Рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний	ГОСТ Р 52748-2007, СП 35.133330.2011	Показывают на поперечнике графической схемы сооружения. При установлении факта несоответствия габарита нормативным требованиям измеренное значение приводят в ведомости дефектов
Ширина прохожей части, м (для пешеходных мостов) Расстояние в свету в уровне прохода между габаритами ограждающих пешеходный проход конструкций.	Определение соответствия нормативным требованиям. Определение объемов нормативного содержания	0.01 м	Указывают фактическое минимальное расстояние в свету в уровне прохода между габаритами ограждающих конструкций.	Рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний	СП 35.133330.2011	Для пролетных строений переменной ширины (например, расположенных на кривых) указывается максимальная ширина. При установлении факта несоответствия габарита нормативным требованиям измеренное значение приводят в ведомости дефектов

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Наличие негабаритности Попадание конструкций или габарита приближения автодорожного проезда в габарит приближения рельсового проезда.	Определение соответствия условий движения по сооружению и под ним установленным требованиям	0.01	Для совмещенных в одном уровне а/д и ж/д проездов	Рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний	ГОСТ Р 52748-2007, СП 35.133330.2011, СП 79.13330.2012	Негабаритностью считают попадание конструкций или габарита приближения автодорожного проезда в габарит приближения рельсового проезда. При установлении факта несоответствия нормативным требованиям измеренное значение приводят в ведомости дефектов
Мин. расстояние от края проезжей части до опоры (для препятствия «Автомобильная дорога»), м	Определение соответствия условий движения под сооружением установленным требованиям	0.01 м	Расстояние замеряют между краем покрытия и ближайшим элементом опоры по кратчайшему расстоянию (под прямым углом от оси дороги).	Рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний	ГОСТ Р 52748-2007, СП 35.133330.2011, СП 79.13330.2012	При установлении факта несоответствия нормативным требованиям измеренное значение приводят в ведомости дефектов

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Минимальный подмостовой габарит по высоте (для препятствия «Автомобильная дорога»), м	Определение соответствия условий движения под сооружением установленным требованиям	0.01 м	Определяют в конкретном подпролетном пространстве в пределах ширины проезжей части как наименьший вертикальный размер в свету от низа конструкций до поверхности проезжей части.	Лазерный измеритель расстояний, , нивелир, рейка, отвес, рулетка	ГОСТ Р 52748-2007, СП 35.133330.2011, СП 79.13330.2012	Показывают на поперечнике сооружения При установлении факта несоответствия нормативным требованиям измеренное значение приводят в ведомости дефектов
Минимальное расстояние от оси пути до края опоры (для препятствия «Железная дорога»), м	Определение соответствия условий движения под сооружением установленным требованиям	0.01 м	Расстояние замеряют между осью пути и ближайшим элементом опоры по кратчайшему расстоянию (под прямым углом от оси пути)	Рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний	ГОСТ Р 52748-2007, СП 35.133330.2011, СП 79.13330.2012	При установлении факта несоответствия нормативным требованиям измеренное значение приводят в ведомости дефектов
Минимальный подмостовой габарит по высоте (для препятствия «Железная дорога»), м	Определение соответствия условий движения под сооружением установленным требованиям	0.01 м	Определяют в подпролетном пространстве как наименьший вертикальный размер в свету от низа конструкций до головки рельса.	Лазерный измеритель расстояний, , нивелир, рейка, отвес, рулетка	ГОСТ Р 52748-2007, СП 35.133330.2011, СП 79.13330.2012	Показывают на поперечнике сооружения При установлении факта несоответствия нормативным требованиям измеренное значение приводят в ведомости дефектов

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Отверстие моста, м Свободная ширина зеркала воды под мостом, измеренная по расчетному уровню высоких вод (РУВВ)	Проверка соответствия нормативным требованиям и проекту	1 % от фактического значения	Определяют в подпролетном пространстве	Тахеометр, лазерный измеритель расстояний	ГОСТ Р 52748-2007, СП 79.13330.2012	
1.5 Контрольные измерения геометрических размеров и формы конструкций, элементов, сечений элементов, деталей элементов (поверхностей, граней, сечений, расстояний стыков и прикреплений)						
Определение основных размеров мостового полотна						
Ширина мостового полотна, м Полная ширина между крайними габаритными точками конструктивных элементов мостового полотна (плита проезжей части или консольные свесы тротуарных блоков)	Используют в расчетах объемов нормативного содержания	0.01 м		Рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний, рейки, отвес, уковни		Для пролетных строений переменной ширины (например, расположенных на кривых) указывается максимальная ширина. Показывают на поперечнике графической схемы сооружения. Необходимо обеспечить перпендикулярность створа измерений к продольной оси сооружения

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Толщина одежды ездового полотна, м Суммарное значение толщины всех слоев одежды по площади ездового полотна	Определение соответствия проекту. Используют в расчетах грузоподъемности	0.01 м	Осредненное суммарное значение толщины всех слоев одежды по площади ездового полотна на пролетном строении.	Тахеометр, нивелир, рулетка металлическая	СП 35.133330.2011, ОДН 218.0.032-2003	При установлении факта несоответствия проектным требованиям измеренное значение приводят в ведомости дефектов
Ширина левого (правого) дорожного ограждения на сооружении, м Расстояние по наружным габаритам конструкции ограждения безопасности.	Используют в расчетах энергоемкости ограждений, , в расчетах грузоподъемности при определении возможного размещения временной нагрузки на мостовом полотне	0.01 м	Для барьерных ограждений учитывают габаритные выступы анкерных столиков.	Рулетка металлическая	ГОСТ Р 52289-2004 ОДН 218.017-2003	Для бордюрных ограждений их ширину принимают равной 0. Показывают на поперечнике графической схемы сооружения

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Высота левого (правого) дорожного ограждения на сооружении, м Расстояние от ездового полотна в зоне примыкания к ограждению до верха ограждения.	Определение соответствия нормативным требованиям	0.01 м		Рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний	ГОСТ Р 52289-2004 ОДН 218.017-2003	Измеряют в начале, в конце и в середине длины ограждения в пределах длины сооружения. Принимают минимальное значение При установлении факта несоответствия на любом участке измеренное значение приводят в ведомости дефектов
Сечения деталей дорожного ограждения левого (правого) на сооружении, м	Используют при определении энергоемкости ограждений	0.001 м		Рулетка металлическая, штангенциркуль	ГОСТ Р 52289-2004 ОДН 218.017-2003	

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Шаг стоек мостовых барьерных ограждений, м Средний шаг расположения стоек, необходимый для установления энергоемкости ограждений.	Используют при определении энергоемкости ограждений	0.1 м		Рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний	ГОСТ Р 52289-2004 ОДН 218.017-2003	Измерения выполняют на всех характерных участках
Высота перил, м Расстояние от прохожей части до верха ограждения.	Определение соответствия нормативным требованиям	0.01 м		Рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний	СП 35.133330.2011	При установлении факта несоответствия измеренное значение приводят в ведомости дефектов
Определение основных размеров пролетных строений						
Продольная схема ПС	Используют в расчетах грузоподъемности и для идентификации типового проекта	0.01 м	Для однопролетных разрезных систем указывают значение расчетного пролета. В остальных случаях при записи схемы пролетного строения руководствуются установленными правилами записи схемы моста, при этом указывают расчетные пролеты, а не полные длины.	Тахеометр, лазерный измеритель расстояний, курвиметр	СП 35.133330.2011, ОДН 218.0.032-2003	При наличии исполнительной документации и отсутствии существенных отклонений принимают проектную схему

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Полная длина ПС, м	Оценка соответствия фактических геометрических характеристик сооружения. Используют в расчетах грузоподъемности, для идентификации типового проект и пр.	0.01 м	Определяют по документации и уточняют по результатам инструментальных измерений осредненным значением.	Тахеометр, лазерный измеритель расстояний, курвиметр	СП 126.13330.2011	Для типовых железобетонных пролетных строений при отклонениях средней длины конструкций от проектных значений не более 0.05 м следует указывать проектную длину. Показывают на продольной графической схеме сооружения
Полная ширина ПС, м	Оценка соответствия фактических геометрических характеристик сооружения. Используется при определении объемов ремонтных работ	0.01 м	Для пролетных строений с ездой поверху принимают по фасадным граням конструкций именно пролетного строения (без учета размеров выступающих свесов тротуарных блоков, если они не являются неотъемлемой конструктивной частью пролетного строения). Для пролетных строений с ездой понизу и посередине принимают по осям главных несущих конструкций.	Тахеометр, рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний	СП 126.13330.2011	Для пролетных строений переменной ширины (например, расположенных на кривых) указывается максимальная ширина.

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Высота основных несущих конструкций в пролете, м	Оценка соответствия фактических геометрических характеристик сооружения. Используют в расчетах грузоподъемности и для идентификации типового проекта	0.01 м	Для железобетонных пролетных строений с ездой поверху при наличии накладной железобетонной плиты усиления, высота главных балок (плит) учитывают совместно с осреднённой толщиной плиты усиления. Для металлических пролетных строений с ездой поверху с опертой железобетонной плитой, а также для сталежелезобетонных пролетных строений высоту указывают только для металлической конструкции. Для ферменных пролетных строений высотой является вертикальный размер между осями верхнего и нижнего пояса.	Тахеометр, рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний, нивелир с рейкой	СП 35.133330.2011, ОДН 218.0.032-2003	Определяется в середине расчетного пролета. Если пролетное строение перекрывает несколько пролетов, то высота учитывается для наибольшего пролета. Показывают на продольной графической схеме сооружения
Расчетный пролет пролетного строения, м	Оценка соответствия фактических геометрических характеристик сооружения. Используют в расчетах грузоподъемности	0.01 м	Расстояние между осями опирания пролетного строения на опоры	Тахеометр, лазерный измеритель расстояний	СП 35.133330.2011, ОДН 218.0.032-2003	Указывают для каждого пролета

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Поперечная схема ПС	Оценка соответствия фактических геометрических характеристик сооружения. Используют в расчетах грузоподъемности	0.01 м	Записывают формулой: Ka+S1+S2+.....Sn+Kb где Ka и Kb длины соответственно левой и правой фасадных консолей плиты проезжей части, как расстояние в метрах от оси крайней балки до фасадной грани консольной части плиты. S1+S2+...+Sn - расстояние в метрах между осями ребер соседних балок. В случае, если замеренные расстояния отличаются друг от друга на величину не более 0.1 м, поперечная схема: Ka + n x S + Kb, где n - количество размеров, S - среднее расстояние, м	Тахеометр, рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний	СП 35.133330.2011, ОДН 218.0.032-2003	Для плитных сборных пролетных строений поперечную схему записывают как количество плит (n), умноженных на ширину одной плит. Для плитных монолитных ПС указывают всю ширину плиты. Перед схемой плитной части поперечного сечения ставят знак «П»

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Толщина плиты проезжей части, м	Оценка соответствия фактических геометрических характеристик сооружения. Используют в расчетах грузоподъемности и для идентификации типового проекта	Для железобетона 0.01 м, для металла 0.001 м для деревянных 0.01 м	Для плиты ребристых балок с параллельными гранями плиты, а также для П-образных плитных балок толщина фиксируется на участке между вутами. Для ребристых балок с переменной толщиной плиты по длине вылета консоли указывают толщину на консольном торце плиты. Для сплошных и пустотных плитных балок значение толщины плиты проезжей части принимают равным высоте плиты (высоте основной несущей конструкции). Для железобетонных пролетных строений с ездой поверху при наличии накладной железобетонной плиты усиления, толщина плиты проезжей части указывается совместно с осредненной толщиной плиты усиления. Для металлической ортотропной плиты принимается толщина верхнего листа настила, для деревянных конструкций – толщина рабочего настила.	Для бетона - рулетка металлическая, для металла - штангенциркуль, ультразвуковой толщиномер	СП 35.133330.2011, ОДН 218.0.032-2003	Определяется по результатам инструментальных измерений или по документации

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Толщина ребра главных балок, м	Оценка соответствия фактических геометрических характеристик сооружения. Используют в расчетах грузоподъемности и для идентификации типового проекта	Для железо-бетона 0.01 м, для металла 0.001 м	Для ребристых тавровых балок постоянного по длине поперечного сечения и для П-образных плит указывают размер по нижней грани ребра. Для преднапряженных ребристых балок с переменной по длине толщиной стенки и с уширенным нижним поясом указывают толщину стенки на среднем участке длины балки. Для сплошных и пустотных плит толщина ребра принимают равной ширине плиты.	Для бетона - рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний, для металла - штангенциркуль, ультразвуковой толщиномер	СП 35.133330.2011, ОДН 218.0.032-2003	Определяется по результатам инструментальных измерений или по документации.
Высота поперечных диафрагм, м	Оценка соответствия фактических геометрических характеристик сооружения. Используют для идентификации типового проекта	0.01 м		Тахеометр, рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний		Высота диафрагм железобетонных балок принимается без учета толщины плиты проезжей части.

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Ширина поперечных диафрагм, м	Оценка соответствия фактических геометрических характеристик сооружения. Используют для идентификации типового проекта	0.01 м		Для бетона - рулетка металлическая, для металла - штангенциркуль, ультразвуковой толщиномер		Определяется по результатам инструментальных измерений или по документации.
Определение основных размеров опор						
Глубина заложения фундамента, м Разность осредненных отметок уровня естественного грунта у опоры и подошвы фундамента (низа свай).	Определение соответствия проекту. Используют в расчетах грузоподъемности опор	0.1 м		Проектная и исполнительная документация, результаты специальных исследований	СП 35.133330.2011	Отметку подошвы фундамента (низа свай) принимают по исполнительной документации. При установлении факта несоответствия проекту значение приводят в ведомости дефектов

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Высота тела опоры, м Разность осредненных отметок верха оголовка опоры (для пилонов висячих и вантовых мостов - верхней точки опоры) и уровня естественного грунта у опоры	Оценка соответствия фактических геометрических характеристик сооружения. Используют в расчетах грузоподъемности	0.1 м	За уровень естественного грунта у опоры принимают осредненное значение отметок земли, в месте пересечения плоскости продольной оси моста с поверхностью грунта у опоры.	Тахеометр, лазерный измеритель расстояний, нивелир с рейкой, теодолит		Устанавливается по результатам обследования или по документации. Показывают на графической схеме сооружения высотными отметками
Размер массивной части опоры понизу вдоль моста, м	Оценка соответствия фактических геометрических характеристик сооружения. Используют в расчетах грузоподъемности	0.1 м	Указывают размеры массивной части в уровне обреза фундамента	Тахеометр, рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний		Определяется натурным измерением или по документации. При отсутствии документальных данных и непосредственного доступа к обрезу фундамента размер указывается для сечения в уровне поверхности грунта. Показывают на графической продольной схеме сооружения

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Размер массивной части опоры понизу поперек моста, м	Оценка соответствия фактических геометрических характеристик сооружения. Используют в расчетах грузоподъемности	0.1 м	Указывают размеры массивной части в уровне обреза фундамента	Тахеометр, рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний		Определяется натурным измерением или по документации. При отсутствии документальных данных и непосредственного доступа к обрезу фундамента размер указывается для сечения в уровне поверхности грунта. Показывают на графической поперечной схеме сооружения
Размер стоечного элемента облегченной части тела опоры вдоль моста, м	Оценка соответствия фактических геометрических характеристик сооружения. Используют в расчетах грузоподъемности	0.01 м	Для элементов, имеющих переменный по высоте размер сечения, указывают значение в нижнем сечении. Для круглого сечения указывают значение диаметра.	Тахеометр, рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний		Показывают на графической продольной схеме сооружения

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Размер стоечного элемента облегченной части тела опоры поперёк моста, м	Оценка соответствия фактических геометрических характеристик сооружения. Используют в расчетах грузоподъемности	0.01 м	Для элементов, имеющих переменный по высоте размер, указывают значение в нижнем сечении. Для круглого сечения указывают значение диаметра.	Тахеометр, рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний		Показывают на графической поперечной схеме сооружения

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Размер насадки оголовка опоры вдоль моста, м	Оценка соответствия фактических геометрических характеристик сооружения. Используют в расчетах грузоподъемности	0.01 м		Тахеометр, рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний		Определяется натурным измерением или по документации. Указывается только для оголовков, выполненных цельной насадкой. Оголовком следует считать конструктивную часть опоры, на которую через узлы опирания передается нагрузка от пролетного строения. Оголовками, в частности, являются подферменные плиты массивных опор, насадки (ригели) облегченной части. Подферменники (опорные тумбы) являются конструктивными элементами оголовка. Показывают на графической продольной схеме сооружения

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Размер насадки оголовка опоры поперек моста, м	Оценка соответствия фактических геометрических характеристик сооружения. Используют в расчетах грузоподъемности	0.1 м		Тахеометр, рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний		Определяется натурным измерением или по документации. Указывается только для оголовков, выполненных цельной насадкой. Оголовком следует считать конструктивную часть опоры, на которую через узлы опирания передается нагрузка от пролетного строения. Оголовками, в частности, являются подферменные плиты массивных опор, насадки (ригели) облегченной части. Подферменники (опорные тумбы) являются конструктивными элементами оголовка. Показывают на графической поперечной схеме сооружения

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Длина схода по проекции, м Сумма длин отрезков, проложенных на продольной осевой линии прохожей части схода, и соединяющих крайнюю точку начала схода и точку примыкания схода к конструкциям собственно искусственного сооружения.	Используют в расчетах объемов работ нормативного содержания	0.1 м		Тахеометр, рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний		
Ширина схода, м Среднее расстояние ширины прохода, измеренное между внутренними гранями поручней перильного ограждения.	Используют в расчетах объемов работ нормативного содержания	0.01 м		Рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний		

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Измерения на подходах						
Высота насыпи земполотна в месте сопряжения с ИССО, м Разница отметок бровки насыпи и среднего уровня естественного грунта по оси проезда.	Используют в расчетах объемов работ нормативного содержания. Используют в расчетах концевых опор	0.1 м		Тахеометр, лазерный измеритель расстояний, нивелир с рейкой		
Ширина основной укрепленной поверхности подхода, м Замеряется по границам покрытия конкретного проезда на расстоянии 25 м от сооружения.	Используют в расчетах объемов работ нормативного содержания	0.1 м		Тахеометр, лазерный измеритель расстояний, рулетка		

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Ширина основной укрепленной поверхности проезда (для препятствия «Автомобильная дорога»), м Замеряется по границам покрытия.	Используют в расчетах объемов работ нормативного содержания	0.1 м		Тахеометр, лазерный измеритель расстояний, рулетка		
1.7 Измерения русла водотока						
Ширина зеркала водотока при УМВ, м	Используют при определении объемов работ нормативного содержания	10% от фактической величины.	Измерения проводят в подмостовой зоне	Тахеометр, лазерный измеритель расстояний		Указывается осредненное значение
Наибольшая глубина при УМВ, м	Используется при построении продольной схемы сооружения	10% от фактической величины.	Измерения проводят в подмостовой зоне.	Мерная лента и отвес, эхолот		Указывается максимальное значение значение Показывают на продольной схеме сооружения

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Скорость течения при УМВ, м/с	Выявление опасности размывов	10% от фактической величины.	Измерения проводят в подмостовой зоне.	Мерная лента, секундомер		Скорость течения определяют по плывущим по поверхности воды предметам, в том числе и специально для этого брошенным в воду. Указывается осредненное значение скорости течения у поверхности
1.8 Дополнительные измерения, выполняемые с целью получения исходной информации для определения объемов работ нормативного содержания						
Длина полос безопасности ездового полотна и обочин подходов	Используют в расчетах объемов работ нормативного содержания	1.0 м		Рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний		
Площадь тротуаров	Используют в расчетах объемов работ нормативного содержания	1.0 $м^2$		Измерительное колесо, рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний		
Площадь под ограждениями	Используют в расчетах объемов работ нормативного содержания	1.0 $м^2$		Рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний		

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Длина деформационных швов	Используют в расчетах объемов работ нормативного содержания	1.0 м		Рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний		
Длина водоотводных лотков под деформационными швами	Используют в расчетах объемов работ нормативного содержания	1.0 м		Рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний		
Длина перильных ограждений	Используют в расчетах объемов работ нормативного содержания	1.0 м		Измерительное колесо, рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний		
Длина ограждений безопасности	Используют при определении объемов работ нормативного содержания	1.0 м		Тахеометр, рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний		
Площадь подмостовой зоны	Используют в расчетах объемов работ нормативного содержания	1.0 $м^2$		Тахеометр, лазерный измеритель расстояний		

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Площадь откосов подходов к сооружению	Используют в расчетах объемов работ нормативного содержания	1.0 м^2		Тахеометр, лазерный измеритель расстояний		
Площадь верхних горизонтальных площадок опор	Используют в расчетах объемов работ нормативного содержания	1.0 м^2		Рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний		
Длина водоотводных лотков искусственных сооружений	Используют в расчетах объемов работ нормативного содержания	1.0 м		Тахеометр, лазерный измеритель расстояний		
Площадь лестничных сходов	Используют в расчетах объемов работ нормативного содержания	1.0 м^2		Тахеометр, измерительное колесо, рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний		
Площадь опорных узлов и опорных частей	Используют в расчетах объемов работ нормативного содержания	1.0 м^2		Рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний		

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Площадь поверхностей пролетных строений	Используют в расчетах объемов работ нормативного содержания	1.0 м^2		Рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний		
Площадь парапетных или бордюрных ограждений	Используют в расчетах объемов работ нормативного содержания	1.0 м^2		Тахеометр, измерительное колесо, рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний		
Площадь мостового полотна	Используют в расчетах объемов работ нормативного содержания	1.0 м^2		Тахеометр, измерительное колесо, рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний		
Площадь подходов	Используют в расчетах объемов работ нормативного содержания	1.0 м^2		Тахеометр, лазерный измеритель расстояний		

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Площадь прохожей части пешеходного моста	Используют в расчетах объемов работ нормативного содержания	1.0 м^2		Тахеометр, измерительное колесо, рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний		
Площадь внутренней и внешней поверхности защитных экранов пешеходного моста	Используют в расчетах объемов работ нормативного содержания	1.0 м^2		Измерительное колесо, рулетка металлическая, лазерный измеритель расстояний		
Длина трассы кабельной линии освещения	Используют в расчетах объемов работ нормативного содержания	1.0 м		Тахеометр, лазерный измеритель расстояний		

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
1.9. Измерения параметров дефектов						
Контрольные измерения отклонения расположения конструкций, элементов, деталей элементов от вертикали, горизонтали, линейных, смещений угловых поворотов						
Горизонтальные деформации опоры (сдвиги)	Выявление причин возникновения и степени опасности деформаций для нормальной эксплуатации, мониторинг состояния	0.005 м		Нивелир, тахеометр, лазерный измеритель расстояний	ГОСТ 24846-81	Требуется установка реперных марок. Измеренное значение приводят в ведомости дефектов
Вертикальные деформации опоры (осадки, просадки, подъемы)	Выявление причин возникновения и степени опасности деформаций для нормальной эксплуатации, мониторинг состояния	0.002 м		Теодолит, тахеометр	ГОСТ 24846-81	Требуется установка реперных марок. Измеренное значение приводят в ведомости дефектов
Отклонение опоры от вертикали (крен)	Выявление причин возникновения и степени опасности деформаций для нормальной эксплуатации, мониторинг состояния	0.0001 измеряемой высоты		Теодолит, тахеометр	ГОСТ 24846-81 СП 126.13330.2011	При установлении факта несоответствия измеренное значение приводят в ведомости дефектов

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Наклон катков опорных частей / взаимное смещение опорных плит	Определение соответствия проекту и нормативным требованиям. Выявление причин возникновения и степени опасности деформаций опор для нормальной эксплуатации, мониторинг состояния	Наклон, соответствующий горизонтальному смещению 1 мм		Угломер / отвес и металлическая линейка		При измерениях контролируют температуру конструкций. При установлении факта несоответствия измеренное значение приводят в ведомости дефектов

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Контрольные измерения взаимного расположения конструкций, элементов, деталей элементов (поверхностей граней, точек)						
Величина зазора между торцами смежных пролетных строений или торцом пролетного строения и опорой	Обеспеченность расчетных температурных перемещений пролетных строений. Проверка соответствия проекту и нормативным требованиям. Выявление причин возникновения и степени опасности деформаций опор для нормальной эксплуатации, мониторинг состояния	0.001 м	Измерения проводят по специально закрепленным маркам	Рулетка металлическая		При измерениях контролируют температуру конструкций. При установлении факта несоответствия измеренное значение приводят в ведомости дефектов

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Величина зазора в деформационных швах	Обеспеченность расчетных температурных перемещений пролетных строений. Проверка соответствия проекту и нормативным требованиям. Выявление причин возникновения и степени опасности деформаций опор для нормальной эксплуатации, мониторинг состояния	0.001 м	Измерения проводят по специально закрепленным маркам	Рулетка металлическая, штангенциркуль, нутример		При измерениях контролируют температуру конструкций. При установлении факта несоответствия измеренное значение приводят в ведомости дефектов

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Линейное взаимное положение (смещение) деталей опорных частей	Обеспеченность расчетных температурных перемещений пролетных строений. Проверка соответствия проекту и нормативным требованиям Выявление причин возникновения и степени опасности деформаций опор для нормальной эксплуатации, мониторинг состояния	0.001 м		Линейка металлическая, рулетка металлическая, отвес		При измерениях контролируют температуру конструкций. При установлении факта несоответствия измеренное значение приводят в ведомости дефектов
Эксцентриситет опирания пролетного строения на опорную часть	Проверка соответствия проекту и нормативным требованиям	0.01 м		Линейка металлическая, рулетка		При установлении факта несоответствия измеренное значение приводят в ведомости дефектов
Эксцентриситет опирания опорной части на опору	Проверка соответствия проекту и нормативным требованиям	0.01 м		Линейка металлическая, рулетка		При установлении факта несоответствия измеренное значение приводят в ведомости дефектов

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Измерение формы конструкций и элементов						
Продольный профиль главных балок пролетного строения	Выявление качества монтажных работ. Соответствие проекту Выявление эксплуатационного провисания	0.01 м		Нивелир, тахеометр	СП 126.13330.2011	При установлении факта несоответствия измеренное значение приводят в ведомости дефектов
Величина наибольшего подъема / провисания сечения главной балки в характерных точках	Выявление качества монтажных работ. Используют в расчетах грузоподъемности, проверка соответствия проекту	0.005 м для металлических, 0.01 для ж.б.		Нивелир, тахеометр	СП 126.13330.2011	При установлении факта несоответствия измеренное значение приводят в ведомости дефектов
Прямолинейность элемента - величина наибольшего отклонения от прямой линии	Используют в расчетах грузоподъемности	0.001 м для металлических элементов		Рулетка металлическая, линейка металлическая, лазерный указатель, лазерный измеритель расстояний		При установлении факта несоответствия измеренное значение приводят в ведомости дефектов

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Искривления, погнутости - величина наибольшего отклонения в месте искривления	Используют в расчетах грузоподъемности	0.001 м для металлических элементов		Рулетка металлическая, линейка металлическая, лазерный указатель, лазерный измеритель расстояний		При установлении факта несоответствия измеренное значение приводят в ведомости дефектов
Измерения линейных размеров дефектов						
Длина трещин	Оценка опасности дефекта, мониторинг развития	0.1 м для бетона, 0.01 м для металла		Линейка металлическая, рулетка металлическая	ГОСТ 24846-81	Конец трещины периодически фиксируют поперечными штрихами, нанесенными перманентным маркером, рядом с которыми проставляется дата осмотра. Измеренное значение приводят в ведомости дефектов

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Ширина раскрытия трещин	Оценка опасности дефекта, мониторинг развития	0.1 мм		Микроскоп с масштабным делением, набор щупов	ГОСТ 24846-81	Места измерения ширины раскрытия трещины при необходимости дальнейшего мониторинга отмечают поперечными штрихами перманентным маркером рядом с которыми проставляется дата измерения. Измеренное значение приводят в ведомости дефектов
Глубина трещин	Выяснение причины образования. Оценка опасности дефекта, мониторинг развития	0.005 м		Ультразвуковые приборы поверхностного прозвучивания, иглы, проволочные щупы, рулетка металлическая	ГОСТ 24846-81	Глубину трещины рекомендуется измерять при ширине более 1 мм. Измеренное значение приводят в ведомости дефектов
Величина ослабления сечений листовых металлических элементов и фасонного проката в местах коррозии	Степень ослабления рабочего сечения в расчетах грузоподъемности	0.001 м	Величину ослабления сечений определяют измерениями глубины коррозии и площадью пораженного участка	Штангенциркуль, линейка металлическая, рулетка металлическая	ОДМ 218.4.002-2009	Измерения выполняют в местах наибольшего ослабления. Измеренное значение приводят в ведомости дефектов

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Величина ослабления сечений стержневых элементов в местах коррозии (глубина коррозии, длина пораженного участка, остаточный диаметр стержня)	Степень ослабления рабочего сечения в расчетах грузоподъемности	0.001		Линейка металлическая, рулетка металлическая, ультразвуковой толщиномер, коррозионно-метрические скобы	ОДМ 218.4.002-2009	Измерения выполняются в местах наибольшего ослабления. Измеренное значение приводят в ведомости дефектов
Площадь сколов, разрушений защитного слоя бетона	Определение объемов ремонтных работ , степень ослабления рабочего сечения в расчетах грузоподъемности	0.01 $м^2$		Линейка металлическая, рулетка металлическая	ОДМ 218.4.002-2009	Измеренное значение приводят в ведомости дефектов
Глубина сколов, разрушений защитного слоя бетона		0.01 м		Линейка металлическая, рулетка металлическая	ОДМ 218.4.002-2009	Измеренное значение приводят в ведомости дефектов. Указывают наибольшую глубину
Толщина защитного слоя бетона	Определение соответствия проекту	0.005 м		Магнитные приборы для измерений защитного слоя	ГОСТ 22904-93	При установлении факта несоответствия измеренное значение приводят в ведомости дефектов

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Толщина лакокрасочного покрытия	Определение соответствия проекту	10 мкм	За толщину покрытия в одной точке принимают среднее значение из трех измерений	Магнитный толщиномер, электромагнитный толщиномер, микрометр	ГОСТ Р 51694_2000 ОДМ 218.4.002-2009	При установлении факта несоответствия измеренное значение приводят в ведомости дефектов
Толщина дополнительных слоев одежды ездового полотна, м Разность между фактической суммарной толщиной всех слоев одежды ездового полотна и проектной толщиной	Используют в расчетах грузоподъемности	0.01 м	За фактическую суммарную толщину принимают осредненное суммарное значение толщины всех слоев одежды по площади ездового полотна на пролетном строении.	Тахеометр, нивелир, рулетка металлическая	СП 35.133330.2011, ОДН 218.0.032-2003	Если фактическая суммарная толщина всех слоев одежды превышает проектную не более, чем на 5 см, то такое превышение не рассматривают как дополнительные слои. При установлении факта несоответствия измеренное значение приводят в ведомости дефектов

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Толщина дополнительного слоя покрытия, м Составляющий слой покрытия, уложенный дополнительно сверх первоначальной (проектной) толщины покрытия.	Используют в расчетах грузоподъемности	0.01 м	Указывают разность между усредненной фактической толщиной всех слоев покрытия по площади ездового полотна на пролетном строении и проектной толщиной	Бур, рулетка металлическая	СП 35.133330.2011, ОДН 218.0.032-2003	Если изначально уложенный слой покрытия превышает проектный не более, чем на 3 см, то такое превышение не рассматривают как дополнительный слой. При установлении факта несоответствия измеренное значение приводят в ведомости дефектов
2. Измерения деформаций сооружения и его частей при воздействии нагрузки (испытательной, обращающейся эксплуатационной)						
2.1 Измерение общих перемещений и деформаций сооружения и его частей						
Прогибы сечений конструкции при воздействии испытательной нагрузки	Проверка соответствия принятой расчетной схемы реальной работе конструкции, фактических прогибов проектным	0.001 м или 5% от измеренной величины		Прогибомер, нивелир	СП 79.13330.2012	Прогибы определяют в характерных точках конструкции – в середине пролета главных балок и др.

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
Величины линейных перемещений точек конструкции и взаимных перемещений при воздействии испытательной нагрузки	Проверка соответствия принятой расчетной схемы реальной работе конструкции	0.001 м или 5% от измеренной величины		Мессура часового типа, датчик перемещений	СП 79.13330.2012	
Углы поворота сечений при воздействии испытательной нагрузки	Проверка соответствия принятой расчетной схемы реальной работе конструкции	5% от измеренной величины		Инклинометр, датчик угловых перемещений	СП 79.13330.2012	
Остаточные общие деформации конструкции после снятия испытательной нагрузки	Соответствие нормативным требованиям	0.001 м или 5% от измеренной величины деформаций при воздействии нагрузки		Прогибомер, Нивелир, Мессура часового типа, датчик перемещений, Инклинометр, датчик угловых перемещений	СП 79.13330.2012	
2.2 Измерение местных деформаций частей сооружения						
Изменение раскрытия трещин	Выяснение причины образования и оценка опасности.	0.1 мм		Микроскоп с масштабным делением, мессура часового типа, датчик	СП 79.13330.2012	

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
				перемещений		
Изменение раскрытия зазоров в швах	Соответствие проекту и нормативным требованиям	0.001м		Мессура часового типа, датчик перемещений, Штангенциркуль, рулетка металлическая	СП 79.13330.2012	
Смещения в соединениях	Соответствие проекту и нормативным требованиям	0.01 мм или 5% от измеренной величины		Мессура часового типа, датчик перемещений	СП 79.13330.2012	
Смещения в опорных частях	Обеспеченность расчетных температурных перемещений пролетных строений. Соответствие проекту и нормативным требованиям	0.001 м или 5% от измеренной величины		Мессура часового типа, датчик перемещений, металлическая линейка	СП 79.13330.2012	

Приложение Б
Приборные измерения, выполняемые при оценке технического состояния мостовых сооружений

Таблица Б.1 - Неразрушающие и частично-разрушающие методы, применяемые при исследовании и контроле свойств материалов мостовых сооружений

Задачи исследования	Материал мостового сооружения	Методы исследования	Нормативные и методические документы
1	2	3	4
Контроль прочности бетона при бетонировании	Железобетон и бетон монолитный на стройплощадке или железобетон и бетон сборный на заводе изготовителе	Методы определения прочности бетона по контрольным образцам (отпускная, передаточная прочность, прочность в промежуточном и проектном возрасте) • **испытание на сжатие;** • испытание на растяжение при изгибе; • испытания на растяжение при раскалывании.	ГОСТ 18105-2010, ГОСТ 10180-90 СП 35.13330.2011
Измерение прочности бетона в конструкции	Железобетон и бетон монолитный, сборный	Методы определения прочности бетона по образцам, отобранным из конструкций	ГОСТ 18105-2010, ГОСТ 28570-90
		Механические методы: • **упругого отскока;** • ударного импульса; • пластической деформации; • отрыва; • скалывания ребра; • **отрыва со скалыванием**.	ГОСТ 18105-2010, ГОСТ 22690-88
		Ультразвуковые методы: • **сквозного УЗ прозвучивания;** • поверхностного УЗ прозвучивания.	ГОСТ 31244-2004 ГОСТ Р 53231-2008, ГОСТ 17624-87

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3	4
Определение марки бетона по морозостойкости	Железобетон и бетон монолитный на стройплощадке или железобетон и бетон сборный на заводе изготовителе	Базовые и ускоренные методы определения морозостойкости: • **базовый – первый,** базовый – второй;	СП 35.13330.2011 ГОСТ 10060.0-95
		• **ускоренный при многократном замораживании и оттаивании – второй;**	ГОСТ 10060.1-95
		• **ускоренный при многократном замораживании и оттаивании – третий;**	ГОСТ 10060.2-95
		• **ускоренный при однократном замораживании - четвертый (дилатометрический);**	ГОСТ 10060.3-95
		• **ускоренный при однократном замораживании - пятый (структурно-механический).**	ГОСТ 10060.4-95
Определение плотности, влажности, водопоглощения, пористости, водонепроницаемости при бетонировании	Железобетон и бетон монолитный, сборный	Методы определения характеристик бетона путем испытания образцов	ГОСТ 12730.0-78 ГОСТ 12730.1-78, ГОСТ 12730.2-84, ГОСТ 12730.3-78, ГОСТ 12730.4-78 и ГОСТ 12730.5-84
Исследование пассивирующих свойств защитного слоя бетона в конструкциях. Определение глубины карбонизации бетона	Железобетон монолитный, сборный	Индикаторные методы определения pH: • **с применением спиртового раствора фенолфталеина;** • с применением универсальных индикаторов, представляющих смесь из нескольких индикаторов.	ГОСТ 5850-72 ОДМ 218.4.001-2008 ГОСТ 4919.1-77
		Ионометрический метод определения pH	РД 153-34.2-21.544-2002 [13]
		Аналитический объёмный метод определения pH (кислотно-основное титрование)	ГОСТ 25794.1-83

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3	4
Исследование пассивирующих свойств защитного слоя. Определение толщины защитного слоя бетона.	Железобетон монолитный, сборный	Магнитный метод	ГОСТ 22904-93 СП 35.13330.2011
		Метод прямого измерения после вскрытия защитного слоя	ГОСТ 26433.0-85 ГОСТ 8.207-76 ГОСТ 26433.2-94 СП 35.13330.2011
Исследование пассивирующих свойств бетона в конструкциях. Определение содержания хлоридов в бетоне	Железобетон монолитный, сборный	Качественные методы: • индикаторный метод с нанесением индикаторного состава на свежий скол бетона; • индикаторные методы анализа содержания хлоридов в водной вытяжке из исследуемого бетона	
		Количественные методы: • **электрохимический метод с применением ионоселективных (хлоридселективных) электродов - метод прямой потенциометрии** • электрохимический метод с применением ионоселективных (хлоридселективных) электродов - метод известных добавок	ОДМ «Методика определения хлоридов в железобетонных конструкциях мостовых сооружений» [8]
Определение влажности бетона в конструкции	Железобетон монолитный, сборный	Диэлькометрический метод	ГОСТ 21718-84
Определение адгезии покрытий	Адгезия лакокрасочных покрытий к металлическим поверхностям	Метод отслаивания	ГОСТ 15140-78
		Метод решетчатых надрезов	ГОСТ 15140-78
		Метод решетчатых надрезов с обратным ударом	ГОСТ 15140-78
		Метод параллельных надрезов	ГОСТ 15140-78
Определение механических свойств металлов:	Черные и цветные металлы и изделия из них номинальным	**Методы статических испытаний на растяжение**	ГОСТ 1497-84 ГОСТ 7564-97

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3	4
предела пропорциональности; модуля упругости; предела текучести физического; предела текучести условного; временного сопротивления; относительного равномерного удлинения; относительного удлинения после разрыва; относительного сужения поперечного сечения после разрыва.	диаметром или наименьшим размером в поперечном сечении 3,0 мм и более		
	Сталь арматурная	**Методы статических испытаний на растяжение**	ГОСТ 12004-81 ГОСТ 7564-97
Определение ударной вязкости	Черные и цветные металлы и сплавы	**Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах от минус 100 до плюс 1200 °С**	ГОСТ 9454-78 ГОСТ 7564-97
Определение склонности стали к механическому старению	Листовой и полосовой прокат номинальной толщиной не менее 5 мм, а также фасонный и сортовой прокат	Метод определения склонности к механическому старению по испытанию на ударный изгиб	ГОСТ 7268-82
Определение механических свойств металлов на изгиб	Черные и цветные металлы и изделия из них	Метод испытаний металлов на изгиб при температуре (20^{+15}_{-10})°С	ГОСТ 14019-80
Определение качества сварных швов и сварочных материалов, показателей	Сварные соединения в целом и его отдельные участки, а также наплавленный металл	**Метод испытания металла различных участков сварного соединения и наплавленного металла на статическое (кратковременное) растяжение**	ГОСТ 6996-66 ГОСТ 7564-73
		Метод испытания металла различных участков сварного	ГОСТ 6996-66

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3	4
свариваемости металлов и сплавов	при всех видах сварки металлов и их сплавов	**соединения и наплавленного металла на ударный изгиб (на надрезанных образцах)**	ГОСТ 7564-73
		Метод испытания металла различных участков сварного соединения на стойкость против механического старения	ГОСТ 6996-66 ГОСТ 7564-73
		Метод измерения твердости различных участков сварного соединения и наплавленного металла	ГОСТ 6996-66 ГОСТ 7564-73
		Метод испытания сварного соединения на статическое растяжение	ГОСТ 6996-66 ГОСТ 7564-73
		Метод испытания сварного соединения и наплавленного металла на (технологическая проба с наплавленным валиком) статический изгиб (загиб)	ГОСТ 6996-66 ГОСТ 14019-80 ГОСТ 7564-73
		Метод испытания сварного соединения на ударный разрыв	ГОСТ 6996-66 ГОСТ 7564-73
Определение химического состава стали	Чугун, стали, сплавы и готовый прокат	Методы определения химического состава углеродистых сталей и чугуна	ГОСТ 7565-81 ГОСТ 22536.0 -87 ГОСТ 22536.1 -88, ГОСТ 22536.2 -87, ГОСТ 22536.3 -88, ГОСТ 22536.4 -88, ГОСТ 22536.5-87, ГОСТ 22536.6-88, ГОСТ 22536.7-88, ГОСТ 22536.8-87, ГОСТ 22536.9-88, ГОСТ 22536.10-88, ГОСТ 22536.11-87.
	Легированные стали	Методы определения содержания легирующих добавок в легированных сталях	ГОСТ 12346-78, ГОСТ 12347-77, ГОСТ 12348-78, ГОСТ 12350-78,

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3	4
			ГОСТ 12351-81, ГОСТ 12352-81, ГОСТ 12355-78, ГОСТ 12356-81, ГОСТ 12357-84, ГОСТ 12358-82, ГОСТ 12359-81, ГОСТ 12361-82, ГОСТ 12364-84
	Сталь	**Метод фотоэлектрического спектрального анализа сталей**	ГОСТ 18895-81
	Сталь	Методы определения газов в сталях и сплавах	ГОСТ 17745-90

Примечание: наиболее часто используемые / рекомендуемые методы исследования выделены жирным шрифтом

Таблица Б.2 - Неразрушающие и частично-разрушающие методы дефектоскопии, применяемые для выявления дефектов и определения их параметров при обследовании и осуществлении строительного контроля мостовых сооружений

Задачи исследования	Материал / элемент конструкции мостового сооружения	Методы контроля	Нормативные и методические документы
1	2	3	4
Выявление дефектов материалов и дефектов в конструкциях, выходящих на поверхность, определение параметров дефектов, которые требуют выполнения только прямых линейных измерений. Например: длину трещин, ширину раскрытия трещин, площадь и глубину разрушения бетона, площадь и глубину коррозии и т.п.	Конструкции из любого материала	Визуально-измерительный контроль (контроль органолептический, осуществляемый органами зрения) с применением визуальных оптических приборов и инструментов, или и без них	ГОСТ 8.050-73, ГОСТ 8.051-81, ГОСТ 8.549-86, ОДМ 218.4.001-2008
Выявление мест активной коррозии арматуры в конструкциях (в том числе скрытой коррозии без внешних признаков)	Железобетон монолитный, сборный, в т.ч. преднапряженный	Метод потенциалов полуэлемента: • **Метод 1 - измерение потенциала с использованием одного электрода сравнения;** • Метод 2 - измерение потенциала с использованием двух электродов сравнения; • Метод 3 - измерение потенциала с предварительной поляризацией	ОДМ 218.3.001-2010
		Измерение удельного электрического сопротивления бетона 4-хточечным методом Веннера	Требуется разработка методики

Продолжение таблицы Б.2

1	2	3	4
Выявление мест обрыва или потери сечения арматуры в конструкциях, например, в результате коррозии	Преднапряженный железобетон	Магнитный метод контроля предварительно напряженной арматуры в бетоне (метод, использующий для получения первичной информации метод эффекта Холла, либо индукционный метод)	Требуется разработка методики ГОСТ 8.283-78
Выявление мест обрыва проволоки в стальных канатах	Стальные ванты и канаты в конструкциях	Магнитный метод контроля стальных вант и канатов металлоконструкций мостовых сооружений (метод, использующий для получения первичной информации метод эффекта Холла, либо индукционный метод)	Требуется разработка методики РД 03-348-00 [15] ГОСТ 8.283-78
Выявление поверхностных и подповерхностных дефектов - несплошностей трещин, надрывов и пр., расположенных на глубине до 2 мм от поверхности	Изделия из ферромагнитных материалов. (основной металл, металл околошовной зоны, сварные швы)	Магнитопорошковый метод	ГОСТ 21105-87*, ГОСТ Р 53700-2009
Выявление различных дефектов в конструкциях путем измерения местных деформаций и сравнения уровня напряжений от испытательной нагрузки в конкретной точке сооружения с расчетным	Металлические, железобетонные, сталежелезобетонные несущие конструкции	Тензодиагностика	ГОСТ Р 53965-2010 ГОСТ 21616-91
Поиск внутренних и поверхностных дефектов в материале и оценка их размеров	Сварные соединения стальных конструкций	Акустический контроль. Ультразвуковая дефектоскопия	ГОСТ 14782-86 ГОСТ 23667-85 ГОСТ 23702-90
Выявление локальных коррозионных ослаблений листовых элементов при	Элементы конструкции, из материалов со скоростью распространения	Ультразвуковая толщинометрия (эхо-метод)	ГОСТ 28702-90

Продолжение таблицы Б.2

1	2	3	4
одностороннем доступе	ультразвуковых колебаний в них от 1500 до 12000 м/с. Например: понтоны, замкнутые элементы, коробчатые балки, ортотропные плиты и пр.		
	Стальные листовые элементы конструкции толщиной от 4 до 16 мм, например: понтонов, замкнутые элементы, коробчатые балки, ортотропные плиты и пр.	Магнитный метод контроля стальных листов, использующий для получения первичной информации метод эффекта Холла	Требуется разработка методики ГОСТ 8.283-78
Поиск различных неисправностей в конструкциях с использованием вибродиагностики	Несущие конструкции мостовых сооружений из любых материалов, металлические, железобетонные, сталежелезобетонные, бетонные, деревянные.	**Вибродиагностика, резонансный метод**	ОДМ Методические рекомендации по вибродиагностике автодорожных мостов - Введ. 2001-08-07 [16], ГОСТ Р 54859-2011
		Пассивно-активная вибродиагностика - метод «малых воздействий»	
		Пассивный метод собственных частот. Метод стоячих волн	Требуется разработка методического документа
Исследование микроструктуры сварного шва и зоны термовлияния при оценке качества сварного соединения	Сталь. Сварные швы	Металлографические исследования с применением визуальных оптических приборов и инструментов (линзы, лупы, микроскопы)	
Выявление изменений в структуре металла, вызванных термической обработкой (окислы на	Сталь. Сварные швы	Микроструктурный анализ с использованием специальных микроскопов с увеличением в 50-2000 раз	

Продолжение таблицы Б.2

1	2	3	4
границах зерен, пережог металла, частицы неметаллических включений, величина зерен металла)			
Измерение толщины элементов, недоступных или труднодоступных для измерения механическим измерительным инструментом	Элементы и конструкции толщиной до 1 м из материалов со скоростью распространения ультразвуковых колебаний в них от 1500 до 12000 м/с,	Ультразвуковая толщинометрия (эхо-метод)	ГОСТ 28702-90
Измерение толщины высушенного покрытия	Органические покрытия, нанесенные на окрашиваемую поверхность	Микрометрический метод	ГОСТ Р 51694-2000
		Метод с применением многооборотного индикатора	ГОСТ Р 51694-2000
	Немагнитные покрытия (включая стекловидные и фарфоровые эмалевые покрытия) на магнитных основных металлах	Пондеромоторный метод	ГОСТ Р 51694-2000 ОДМ 218.4.002-2009 [3]
		Метод магнитной индукции	ГОСТ Р 51694-2000 ОДМ 218.4.002-2009 [3]
Определение температуры конструкций	Металлические и железобетонные конструкции при измерениях положения опорных частей, зазоров в деформационных швах, исследованиях напряженно-деформированного состояния пролетных строений сложных систем и пр.	Тепловой контактный метод	ГОСТ 8.050-73 СП 35.13330.2011
		Метод собственного излучения с использованием пирометров – приборов для бесконтактного измерения температуры	ГОСТ 8.050-73 СП 35.13330.2011

Примечание: наиболее часто используемые / рекомендуемые методы исследования выделены жирным шрифтом

Таблица Б.3 - Методы, применяемые для контроля напряженно-деформированного состояния, прочностных и динамических характеристик конструкций мостовых сооружений

Задачи исследования	Материал / элемент конструкции мостового сооружения	Методы исследования	Нормативные и методические документы
1	2	3	4
Определение местных линейных деформаций и перемещений, мониторинг напряженно-деформированного состояния в наиболее нагруженных элементах («критических точках») конструкции	Металл, железобетон / несущие конструкции	Метод «Механической» тензометрии. Применяют датчики сопротивления (тензорезисторы), индукционные, емкостные и струнные датчики.	ГОСТ Р 53965-2010 ГОСТ Р 52330-2005 ГОСТ Р 52728-2007 ГОСТ 21616-91
Определение местных напряжений (истинных напряжений, действующих)	Металл, арматура / несущие конструкции	Метод рентгеновской дифрактометрии (тензометрии). Применяют тензометры рентгеновские с малогабаритным излучателем	РД 34.17.425-86 МР 103-83
		Метод магнитной памяти металла	ГОСТ ИСО 24497-1-2009 ГОСТ ИСО 24497-2-2009 ГОСТ ИСО 24497-3-2009

Продолжение таблицы Б.3

1	2	3	4
Оценка динамических характеристик и технического состояния объекта	Несущие конструкции мостовых сооружений из любых материалов, металлические, железобетонные, сталежелезобетонные, бетонные, деревянные.	Активные методы собственных частот	ОДМ Методические рекомендации по вибродиагностике автодорожных мостов - Введ. 2001-08-07 ГОСТ Р 52330-2005
		Метод «малых воздействий»	ГОСТ Р 54859-2011 ГОСТ Р 52330-2005
		Метод «стоячих волн»	ГОСТ Р 54859-2011
Изучение и мониторинг деформационного состояния конструкций в процессе строительства и эксплуатации	Любые наземные конструкции	Наземное лазерное сканирование	ГОСТ 8.207-76 ГОСТ 8 563-96 ГОСТ Р ИСО 5725-2002 РМГ 22-99 ГСИ
Определение остаточных напряжений	Несущие конструкции мостовых сооружений металлические, железобетонные	Тензометрический метод отверстий	ГОСТ Р 52728-2007 ГОСТ 21616-91
		Метод рентгеновской дифрактометрии (тензометрии) Применяют тензометры рентгеновские с малогабаритным излучателем	РД 34.17.425-86 МР 103-83

Приложение В
Рекомендации по оценке технического состояния конструкций мостовых сооружений на автомобильных дорогах методом стоячих волн.

В.1 Область применения

Рекомендации предназначены для проведения обследования мостовых сооружений методом стоячих волн.

В рекомендациях дан порядок проведения обследования мостовых сооружений, требования к аппаратуре и порядок обработки полученных данных.

Метод стоячих волн может быть применен при специальных и предпроектных обследованиях конструкций мостовых сооружений, при уточнении конечно-элементных моделей (КЭ-моделей) мостовых сооружений, а также, при необходимости, в рамках приёмочных обследований после выполнения ремонта, капитального ремонта и реконструкции мостовых сооружений.

Метод предназначен для применения специализированными организациями, выполняющими работы по обследованиям и мониторингу мостовых сооружений.

В.2 Нормативные ссылки

В настоящих рекомендациях использованы ссылки на следующие стандарты:

- ГОСТ Р 53778-2010 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния».
- ГОСТ 20911-89 «Техническая диагностика. Термины и определения».

В.3 Термины и определения

Акселерометр: датчик для измерения ускорения.

Велосиметр: датчик для измерения скорости.

Дефект: каждое отдельное несоответствие в мостовом сооружении установленным требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Когерентность: корреляция (согласованность) нескольких колебательных или волновых процессов во времени. Колебания когерентны, если разность их фаз постоянна во времени и при сложении колебаний получается колебание той же частоты.

КЭ–модель: вид математической (программной) модели физического объекта.

Микросейсмы: микросейсмические колебания земной поверхности.

Опорная точка: неподвижная точка измерений, с помощью которой разновременные колебания приводятся к единому времени.

Переходная характеристика: выходной сигнал динамической системы

как реакция на входной сигнал.

Собственные колебания: набор характерных для колебательной системы типов гармонических колебаний, каждое из которых характеризуется своей частотой. Произвольное колебание физической системы можно представить в виде суперпозиции собственных колебаний. Вынужденные колебания физической системы имеют резонанс на частотах, которые совпадают с частотами собственных колебаний.

Стоячие волны: это волны, образующиеся при наложении двух бегущих волн, распространяющихся навстречу друг другу с одинаковыми частотами и амплитудами.

Цикл измерений: интервал времени, включающий время измерения и время перестановки датчиков на новое место измерения.

Частота дискретизации: частота взятия отсчетов непрерывного во времени сигнала при его дискретизации аналого-цифровым преобразователем.

В.4 Общие положения

Рекомендации разработаны на основании работ и исследований, проведенных специалистами АСФ ГС СОРАН и ООО «ГЕОТЕХ» по обследованию технического состояния и созданию систем мониторинга конструкций инженерных (в том числе мостовых) сооружений с использованием метода стоячих волн.

Метод стоячих волн основан на восстановлении полей собственных колебаний объекта и анализе выделенных форм собственных колебаний. Его сущность состоит в проведении измерений колебаний объекта под воздействием микросейсм и выделении частот и форм собственных колебаний объекта, которые потом анализируются. Подробное описание метода дано в Разделе В14.

Метод позволяет

- выявлять в мостовых конструкциях дефекты и ослабленные места;
- изучать влияние друг на друга и взаимодействие отдельных блоков (пролетов и опор) мостовых сооружений;
- уточнять создаваемые (или существующие) КЭ–модели мостовых сооружений.

В связи с тем, что метод стоячих волн не дает численных параметров состояния конструкции, а только показывает места вероятных дефектов и аномалий, он не является самодостаточным методом исследования и рекомендуется применять его в комплексе с другими исследованиями при специальных и предпроектных обследованиях сооружений.

При необходимости, в особенности при уточнении КЭ–моделей, такое исследование может выполняться как самостоятельный вид работ.

Результаты диагностики методом стоячих волн, являются важной информацией, которую следует использовать при оценке и прогнозировании технического состояния мостовых сооружений, остаточного срока службы

конструкций и учитывать при разработке проектной документации по ремонту, капитальному ремонту и реконструкции.

Перед сдачей объекта в эксплуатацию после выполнения ремонта, капитального ремонта или реконструкции мостовых сооружений метод стоячих волн может применяться с целью подтверждения достигнутых изменений в состоянии конструкций.

Исследование методом стоячих волн выполняют в следующем порядке:

- определение схемы измерений;
- подготовка к проведению измерений;
- проведение измерений;
- перенос данных измерений на компьютер и их обработка;
- анализ полученных результатов;
- представление результатов исследований, разработка отчетной документации.

В.5 Технические средства

В.5.1 Основными техническими средствами при проведении измерений являются:

- трехкомпонентные акселерометры;
- автономные регистраторы для выбранного типа акселерометров;
- персональный компьютер для хранения и обработки результатов измерений.

GPS-антенны для синхронизации автономных регистраторов.

В.5.2 Трехкомпонентный акселерометр.

Годными к использованию являются любые серийно выпускаемые устройства, характеристики которых не хуже приведенных в Таблице В.1.

Таблица В.1 – Характеристики акселерометра

	Техническая характеристика	Значение
1	2	3
1	Число измерительных осей	3
2	Нормальный диапазон рабочих частот	от 0.1 до 200 Гц
3	Неравномерность АЧХ, относительно значения на частоте 20 Гц, не более - в диапазоне частот от 0.1 до 0.4 Гц - в диапазоне частот от 0.4 до 200 Гц	 - 3 дБ ± 1 дБ
4	Пределы допускаемой основной относительной погрешности коэффициента преобразования - в диапазоне частот от 0.1 до 1 Гц - в диапазоне частот от 1 до 100 Гц -в диапазоне частот от 100 до 200 Гц	 ± 10 % ± 4 % ± 10 %
5	Нормальное значение коэффициента	1 В·сек^{2}·м$^{-1}$

	преобразования	

Продолжение таблицы В.1

1	2	3
6	Максимальное измеряемое гармоническое ускорение (эффективное значение), при коэффициенте нелинейных искажений выходного сигнала не более 1 % и номинальном значении коэффициента преобразования 1 В·сек^2·м$^{-1}$, не менее	5 м·сек$^{-2}$
7	Интегральный шум в диапазоне частот от 0.2 до 200 Гц, не более	$2\cdot10^{-5}$ м·сек$^{-2}$
8	Встроенная система электрической калибровки	Есть
9	Относительный коэффициент поперечного преобразования, не более	5 %
10	Коэффициент нелинейных искажений, не более - при выходном напряжении 1 В на частоте 12 Гц - при максимальном измеряемом виброускорении	 0.05 % 1 %
11	Пределы допускаемой дополнительной погрешности коэффициента преобразования, вызванной изменением температуры окружающей среды, не более	± 0.1 %/°С
12	Коэффициент влияния акустического шума по ГОСТ 30296, не более	$5\cdot10^{-5}$ м·сек$^{-2}$/Па
13	Коэффициент влияния магнитного поля по ГОСТ 30296, не более	$2\cdot10^{-6}$ м·сек$^{-2}$/А·м$^{-1}$

В.5.3 Автономные регистраторы.

Годными к использованию являются любые серийно выпускаемые устройства, характеристики которых не хуже приведенных в Таблице В.2. Эти устройства должны иметь возможность синхронизации по времени (GPS или ГЛОНАСС) и подключения к компьютеру для передачи накопленных данных измерений.

Таблица В.2 – Характеристики автономного регистратора

Количество каналов	3
Разрядность АЦП	24
Частота дискретизации	От 200 до 1000 Гц
Емкость энергонезависимой памяти	не менее 256МБ
Стабильность внутреннего генератора	$1\cdot10^{-8}$
Диапазон рабочих температур	-40 - +60 град С

В.5.4 Персональный компьютер.

В качестве компьютера хранения и обработки данных может использоваться любой компьютер, технические характеристики которого должны удовлетворять требованиям для используемого программного обеспечения.

В.5.5 GPS–антенна.

Необходимо использовать антенну, указанную в документации к автономному регистратору.

В.5.6 Специализированные комплексы.

Вместо комплекта оборудования, состоящего из датчиков и автономных регистраторов, можно использовать специализированные приборы и комплексы оборудования, предназначенные для записи и обработки колебаний.

При использовании, хранении и обслуживании специализированных комплексов следует руководствоваться требованиями, установленными производителем.

При выполнении исследований и обработке результатов измерений следует руководствоваться настоящей методикой.

В.6 Определение схемы измерений

В.6.1 Рекомендуется следующий порядок действий:

- ознакомление с документацией;
- определение конструктивной схемы моста;
- выбор опорных точек и точек измерений;
- выбор параметров измерений.

В.6.2 Ознакомление с документацией.

Ознакомление с имеющимися чертежами и другой документацией на объект, включая результаты предыдущих обследований.

В.6.3 Определение конструктивной схемы моста.

Необходимо выделить все конструктивные блоки моста и определить плоскости измерений.

В.6.4 Выбор опорных точек и точек измерений.

В.6.4.1 Определение количества и местоположения опорных точек.

Количество опорных точек выбирается по количеству блоков моста (минимум одна опорная точка на один блок). Следует помнить о том, что если опорная точка попадет в узел какой-то формы собственных колебаний, то восстановить эту форму с использованием этой опорной точки будет невозможно. Для пролетов длиной более 50 метров рекомендуется (при наличии достаточного количества оборудования) использовать две опорных точки для одного пролета. Расположение опорной точки внутри блока должно быть асимметричным относительно границ блока и всего моста. Также должно быть определено местоположение опорной точки (опорных точек) всего моста. В качестве такой опорной точки (опорных точек) может быть выбрана опорная точка (точки) одного из блоков.

В.6.4.2 Определение количества и местоположения точек измерения.

Количество и местоположение точек измерения определяется следующим образом: исходя из конструктивной схемы блока (и предполагаемых форм колебаний) определяют количество продольных профилей (минимум 5). Количество точек в профиле определяют исходя из конструктива и длины блока – 1 точка на 3-6 метров (чем длиннее пролет, тем больше может быть расстояние между точками). Каждый профиль должен начинаться и заканчиваться на блоках, соседних с исследуемым блоком, или на устоях моста, чтобы можно было оценить работу деформационных швов между блоками.

В.6.5 Выбор параметров измерений.

Основными параметрами измерений являются частота дискретизации и длительность записи в одной точке измерений.

Необходимая частота дискретизации определяется качеством регистрирующей аппаратуры. Для большинства используемых устройств достаточно частоты дискретизации 200Гц. При плохом качестве регистратора может потребоваться увеличение частоты дискретизации вплоть до 2-3 кГц.

Длительность записи для подавляющего большинства мостовых сооружений может быть установлена в размере 10 минут. Такой длительности хватает, чтобы обеспечить и хорошее разрешение (0,01 – 0,005Гц) и хорошее выделение собственных колебаний из шумов объекта. При необходимости время записи может быть увеличено до 20 минут. Дальнейшее увеличение времени записи нецелесообразно, так как резко возрастает время обследования, а качество результатов практически не меняется.

В.7 Подготовка к проведению измерений

В.7.1 Подготовка к проведению измерений состоит из следующих шагов/этапов:

- включение, синхронизация и программирование автономных регистраторов;
- подключение датчиков к автономным регистраторам;
- проведение тестовой записи;
- выбор и установка пар датчик-регистратор для опорных точек всего моста;
- выбор и установка пар датчик-регистратор для опорных точек блока моста.

В.7.2 Включение, синхронизация и программирование автономных регистраторов.

Этот пункт выполняется в соответствии с руководством по использованию конкретных автономных регистраторов. Цикл измерений рекомендуется устанавливать следующим образом: 10 минут – запись, 2 минуты – перестановка пар датчик-регистратор (5 циклов в час).

В.7.3 Подключение датчиков к автономным регистраторам.

На все время работы на одном объекте пары датчик-регистратор должны оставаться неизменными, так как при последующей обработке учитываются конкретные параметры чувствительности датчиков.

В.7.4 Проведение тестовой записи.

Желательно проведение тестовой записи удвоенной длительности по отношению к записи измерительных точек (обычно 20 минут). Это необходимо для более точной калибровки разных пар датчик-регистратор относительно друг друга. Запись проводится с датчиками, которые находятся в одном месте. Датчики должны стоять максимально близко друг к другу и иметь одинаковую ориентацию осей.

В.7.5 Выбор и установка пар датчик-регистратор для опорных точек всего моста.

Для проведения измерений в опорных точках могут выбираться любые пары датчик-регистратор, но желательно выбирать самые надежные. Это связано с тем, что если неправильно работает перемещаемая пара датчик-регистратор, то необходимо будет повторить измерения только в тех точках, которые были измерены этой парой. Если проблема в паре, находящейся в опорной точке, то придется повторять измерения во всех точках моста. На все время работы на одном объекте пары датчик-регистратор, закрепленные за определенными опорными точками, должны оставаться неизменными. Аналогично для опорных точек блоков. Пары датчик-регистратор, устанавливаются в выбранные места и не меняют своего положения во время всех циклов измерений. Ось X датчиков должна быть направлена вдоль пролетного строения, ось Y – перпендикулярно оси X, а ось Z – вертикально вверх.

В.7.6 Выбор и установка пар датчик-регистратор для опорных точек блока моста.

Если мост состоит из одного блока (пролета), то опорная точка блока совпадает с опорной точкой всего моста.

Если количество блоков моста невелико (от 2 до 4), то желательно использовать опорную точку всего моста как опорную точку одного из блоков, а для остальных блоков также поставить опорные точки неизменно на все время работы на объекте.

В общем случае на этом этапе выбирается пара (пары) датчик-регистратор для опорной точки блока и устанавливается на место опорной точки первого блока. Ось X датчиков должна быть направлена вдоль пролетного строения, ось Y – перпендикулярно оси X, а ось Z – вертикально вверх. Точно также устанавливаются датчики в точках измерений.

В.8 Выполнение измерений

В.8.1 Расстановка оставшихся пар датчик-регистратор в места расположения первой группы точек измерения блока.

В.8.2 Запись в соответствии с программой регистратора.

В.8.3 Если остались точки на блоке, требующие проведения измерений – перенос пар датчик-регистратор на следующие позиции и возврат к п.В8.2.

В.8.4 Если остались необследованные блоки, то перенос пары датчик-регистратор с опорной точки обследованного блока на позицию опорной точки следующего блока и возврат к п. В8.1.

В.8.5 Считывание информации со всех автономных регистраторов в компьютер для хранения и дальнейшей обработки.

В.9 Журнал измерений

В процессе проведения измерений ведется Журнал измерений, в котором отражается следующая информация:

- место, время начала и длительность тестовой записи;
- время начала и конца записей на объекте;
- какие пары датчик-регистратор были выбраны для опорных точек всего моста и отдельного блока (отдельных блоков);
- в каком месте, и в какое время, работала каждая пара датчик-регистратор.

В.10 Перенос данных измерений на компьютер и их обработка

Данные с каждого автономного регистратора считываются в компьютер, руководствуясь правилами, установленными производителем.

Объем данных проведенных измерений микросейсмических колебаний (записей сейсмограмм) настолько велик, что их обработка возможна только с применением компьютерных программ. Обработка полученных данных разделена на 2 этапа – первичная обработка и основная обработка.

В.10.1 Первичная обработка необходима для подготовки данных к дальнейшей обработке по методу стоячих волн и включает в себя:

- оценку качества записанных сигналов;
- фильтрацию исходных данных;
- паспортизацию данных.

В10.1.1 Оценка качества записанных сигналов

Регистрация микросейсмических колебаний обычно производится на использующемся (частично использующемся) объекте. Перемещение транспортных средств и людей могут приводить к формированию посторонних шумов. Перед основной обработкой необходима оценка качества записанных сигналов. Примеры записанных сигналов (и соответствующих им спектров) пригодных к дальнейшей обработке и требующих дополнительных фильтраций приведены на рисунках В.1 – В.4.

В.10.1.2 Фильтрация исходных данных

В результате оценки качества исходных данных, выбирают сигналы, годные к дальнейшей обработке только после процедур фильтрации.

Фильтрация исходных данных с целью улучшения их качества включает с себя следующие процедуры:

- использование полосового фильтра 0.5 - 50 Гц;
- зануление или удаление участков сигналов с импульсными помехами;

- обрезание сигнала по определенному амплитудному уровню.

Примеры результатов применения процедур дополнительной фильтрации приведены на рисунках В.5, В.6.

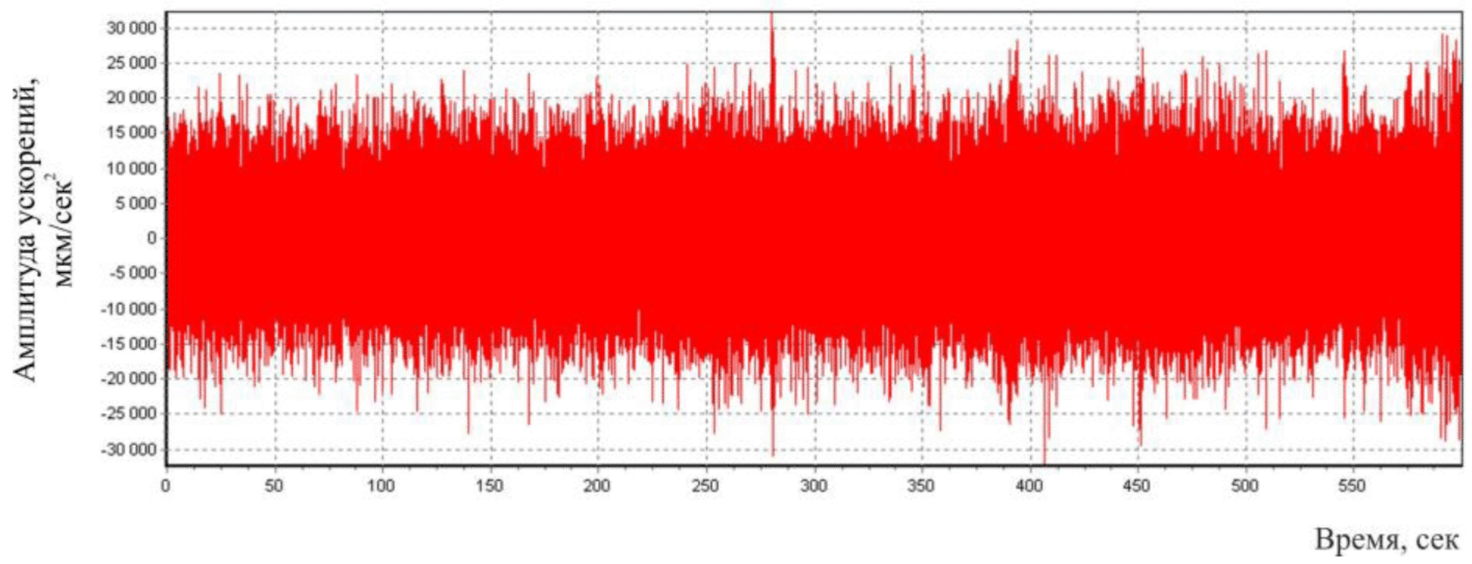


Рисунок В.1 – Пример сигнала, пригодного к дальнейшей обработке

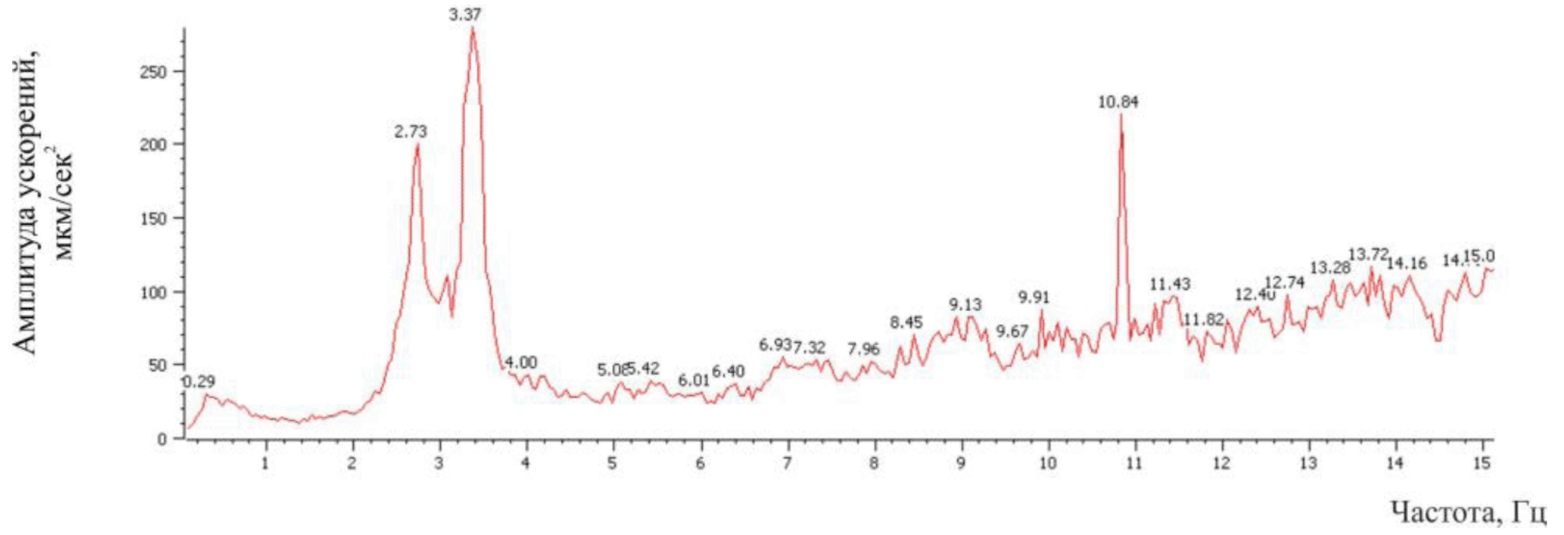


Рисунок В.2 – Спектр сигнала, приведённого на рисунке В.1

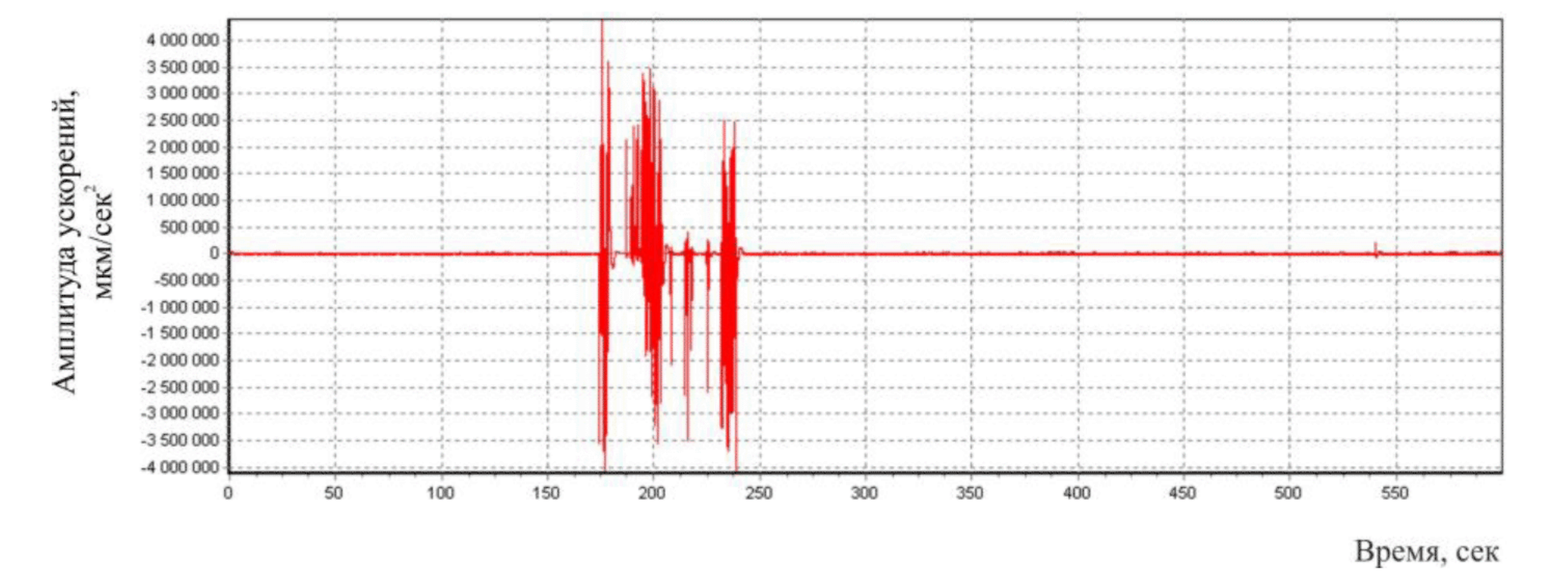


Рисунок В.3 – Пример сигнала, требующего подготовки перед дальнейшей обработкой

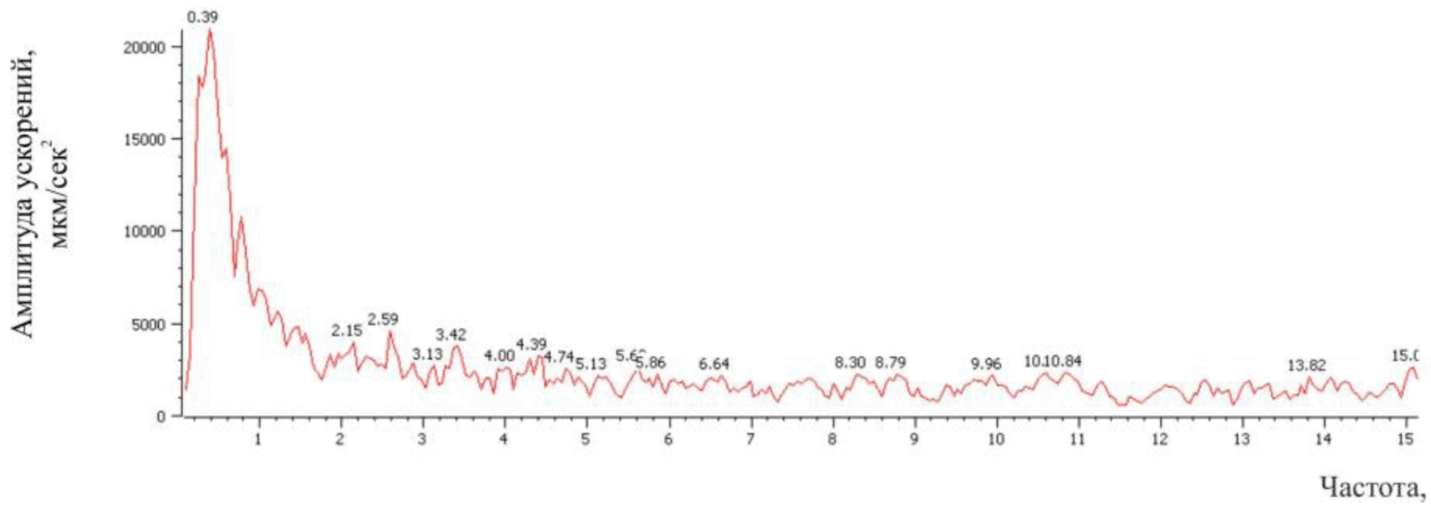


Рисунок В.4 – Спектр сигнала, приведённого на рисунке В.3

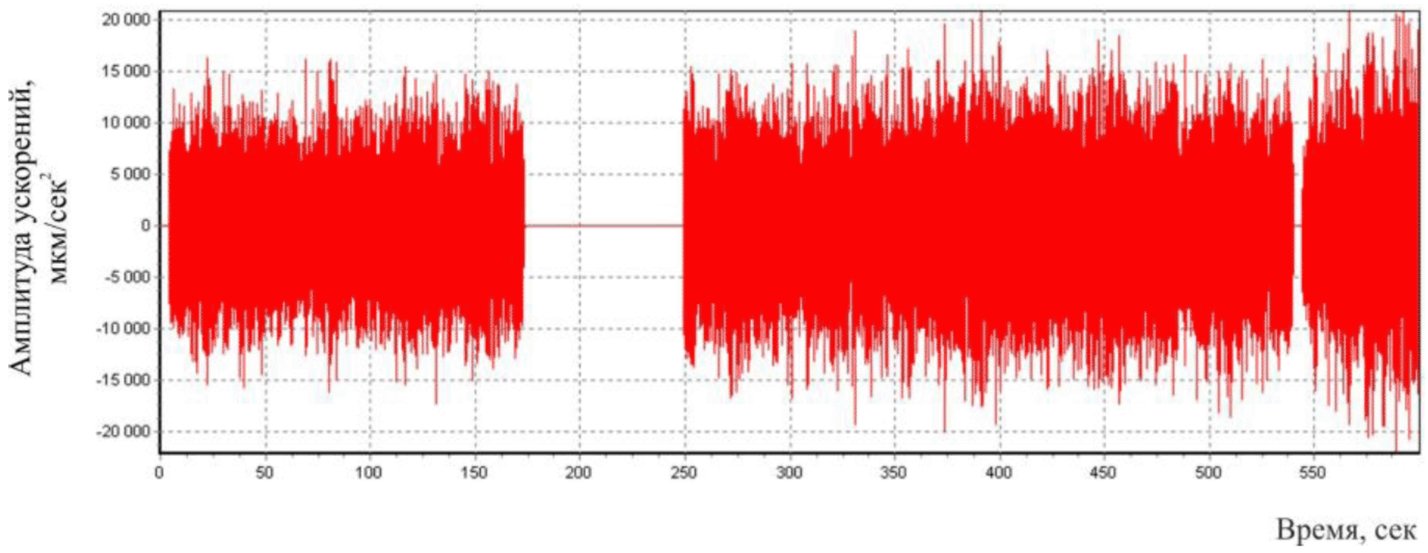


Рисунок В.5 – Сигнал, приведенный на рисунке В.3, после фильтрации

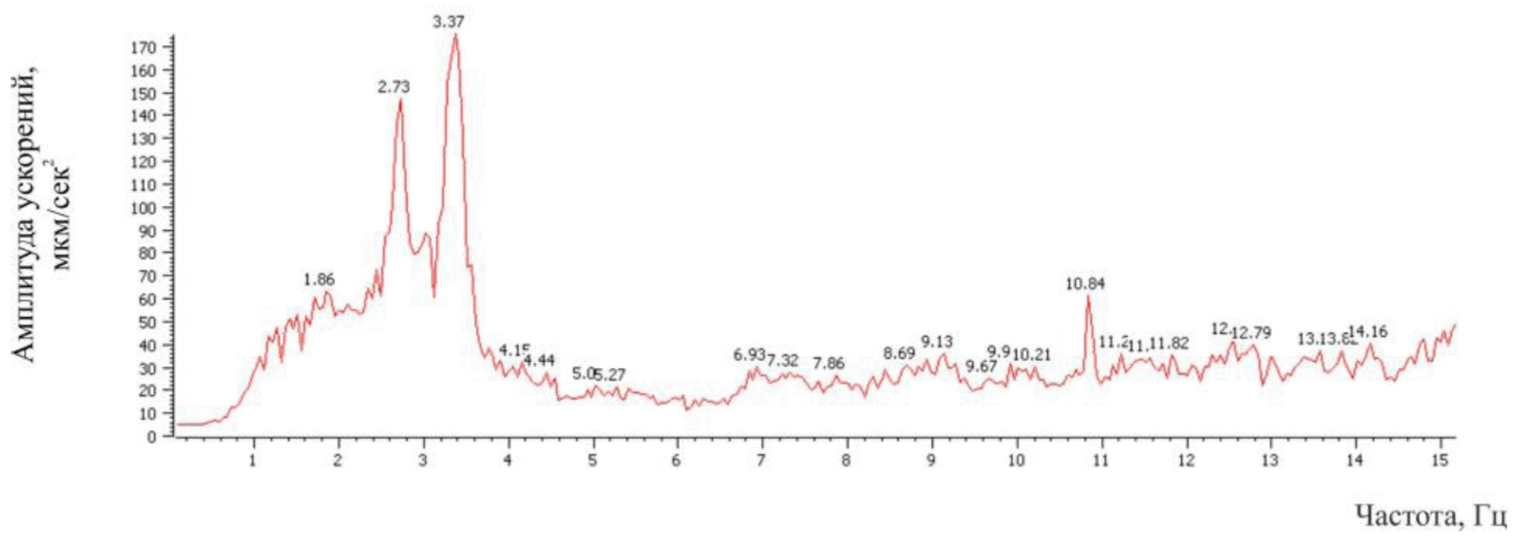


Рисунок В.6 – Спектр сигнала, приведенного на рисунке В.5

В.10.1.3 Паспортизация данных

В результате предыдущих процедур первичной обработки получают массив данных, годных к дальнейшей обработке. Однако записи с автономных регистраторов имеют привязку только по точному времени. Их положение в пространстве (привязка к объекту) в конкретные моменты времени записано только в Журнале измерений.

Паспортизация данных представляет собой процедуру, при которой каждой записи сейсмических колебаний ставится в соответствии точка в условной системе координат, связанной с объектом. Таким образом, на выходе данной операции получается массив данных с привязкой к конкретным точкам на изучаемых конструкциях.

После проведения этого этапа первичной обработки можно переходить к основной обработке данных по методу стоячих волн.

В.10.2 Основная обработка позволяет получить карты амплитуд и фаз собственных колебаний конструкций моста и включает в себя:

- расчет переходных характеристик;
- восстановление поля стоячих волн;
- расчет спектров когерентности;
- выбор частот собственных колебаний;
- построение карт амплитуд и фаз для выбранных частот.

В.10.2.1 Расчет переходной характеристики

В соответствии с методом стоячих волн переходная характеристика является функцией связи точек измерения на исследуемом объекте с опорной точкой.

В специализированном программном комплексе должна быть реализована формула (B2) (см. Раздел B14), которая для каждой пары точек (i-тая точка на объекте и опорная) рассчитывает переходную характеристику.

B.10.2.2 Восстановление поля стоячих волн

Используя полученные переходные характеристики для каждой точки и спектр колебаний опорной точки формируется поле стоячих волн, которое в дальнейшем анализируется.

B.10.2.3 Расчет спектров когерентности

Далее по формуле (B3) (см. Раздел B14), для каждой пары точек (i-тая точка на объекте и опорная) рассчитывается спектр когерентности.

B.10.2.4 Расчет амплитудных и фазовых карт

Частоты, характеризующиеся высокими значениями когерентности (0.95 - 0.99) являются собственными для изучаемого объекта.

Для каждой такой частоты строятся карты распределения амплитуд и фаз колебаний изучаемых несущих конструкций.

Данные карты отображают колебания несущих конструкций на собственных частотах и являются результирующими.

B.10.3 Все эти операции проводят в специализированных программных комплексах по соответствующим инструкциям для пользователя программного комплекса.

B.11 Анализ полученных результатов

Совместный анализ полученных карт амплитуд и фаз всех выделенных форм собственных колебаний мостового сооружения позволяет выявить ослабленные места и скрытые дефекты конструкций, а так же получить информацию о взаимодействии блоков моста между собой. Эти результаты также могут использоваться для уточнения КЭ–моделей объекта.

Примеры карт и выводов представлены в Разделе B15.

B.12 Представление результатов

B.12.1 Результаты диагностики методом стоячих волн оформляют в виде отдельного раздела в составе отчета об обследовании, либо в виде отдельного заключения о результатах обследования, если диагностика выполнялась, как самостоятельный вид работ.

B.12.2 Результаты представляют в виде пояснительного текста, в котором указывают название объекта исследования, дату измерений, погодные условия, температуру, перечень используемого оборудования, схему измерений с указанием опорных точек и точек измерений, таблицы выделенных собственных частот и построенные карты (амплитуд и фаз) для каждой частоты.

В раздел отчета или в заключение включают: протокол измерений, пояснительный текст, выводы по результатам диагностики. В зависимости

целей, задач и объема измерений, в отчет при необходимости включают обобщенные спектры, карты когерентности и другие иллюстрирующие материалы. Примеры оформления результатов – схема измерений, таблица частот, карты амплитуд и фаз приведены в Разделе В16.

В.13 Ограничения использования метода

В.13.1 Наличие деревянных конструкций.

Нет никакого опыта использования метода стоячих волн на деревянных конструкциях.

В.14 Описание метода стоячих волн

В инженерной сейсмологии для оценки реакции сооружений на сейсмические волны широко применяются модели линейных систем с одной или несколькими степенями свободы. При этом каждой степени свободы в модели линейной системы соответствует своя резонансная частота и затухание. Жесткие инженерные сооружения, как правило, имеют одну доминирующую над другими частоту собственных колебаний и обычно сооружение описывают двумя цифрами: частотой собственных колебаний и затуханием. Именно эти параметры используются для грубой оценки реакции сооружений на сейсмические волны и их сейсмостойкости.

Совершенно ясно, что описание инженерного сооружения двумя или даже несколькими цифрами далеко не полно характеризует его сейсмостойкость.

Для детального сейсмического обследования сооружения требуются детальные наблюдения в его объеме. Идеальным случаем будет являться установка по всем этажам трехкомпонентных сейсмоприемников с шагом в первые единицы метров и запись сейсмических событий такой сетью наблюдений. При наличии таких материалов можно ставить задачи перед обработкой по всестороннему детальному изучению особенностей поведения сооружений при сейсмических воздействиях и выявлению ослабленных элементов конструкций с целью выдачи рекомендаций по их усилению. Провести такого типа наблюдения весьма затруднительно. Требуется калиброванная аппаратура, имеющая несколько сотен сейсмических каналов. Создание такой аппаратуры нереально из-за высокой стоимости.

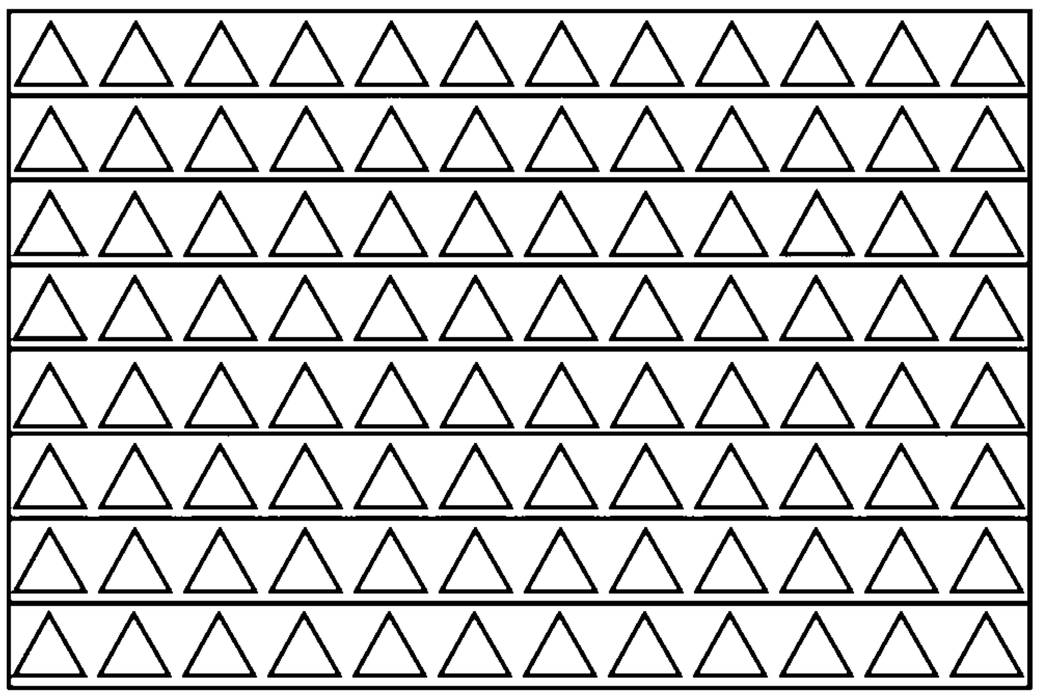
В качестве источников колебаний, действующих в любой заданный момент, нами рассматривались микросейсмы, которые всегда присутствуют и сейсмические колебания в сооружении являются реакцией на эти воздействия.

Как отмечалось многими исследователями, колебания инженерных сооружений достаточно хорошо описываются моделью линейной системы. Это выражается в наличии на частотной характеристике исследуемого объекта резонансов (частот собственных колебаний). Именно на этих частотах происходит усиление приходящих колебаний от низа к верху и

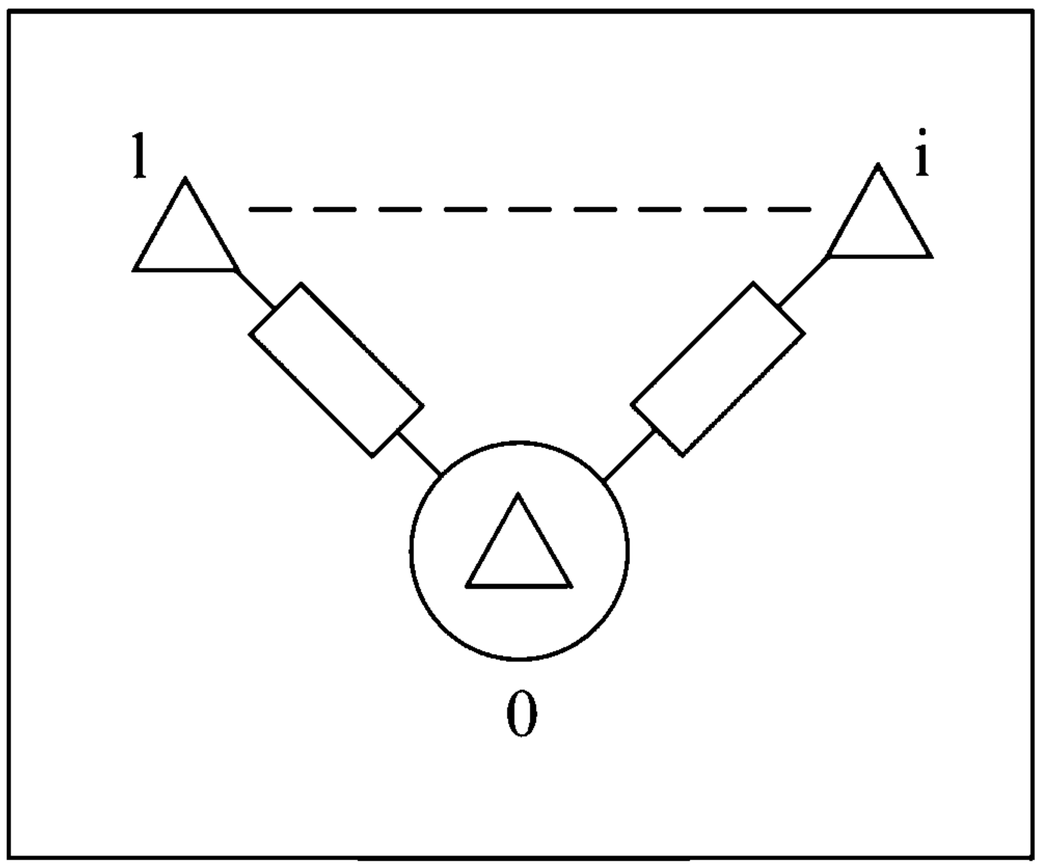
внешние сейсмические воздействия, имеющие в себе эти частоты наиболее опасны для таких сооружений.

Под воздействием микросейсм любое инженерное сооружение постоянно находится в колебательном процессе. Для детального обследования сооружения с использованием микросейсм идеально реализовать плотную систему одновременной регистрации колебаний (рис. В.7, а), но это не представляется возможным. Рассмотрим иную систему наблюдений и ее возможности. Одновременная регистрация колебаний сооружения под воздействием микросейсм ведется в опорной точке и i-той точке (группе точек), затем i-тая точка (группа точек) меняет свое положение и вновь проводится регистрация сейсмических колебаний одновременно с опорной точкой (рис. В.7, б). Такими наблюдениями можно детально покрыть исследуемый объект с малоканальной аппаратурой. Задача состоит в том, как преобразовать разновременные наблюдения в разных точках сооружения в одновременную запись стоячих волн на всей системе наблюдения.

а)



б)



в)

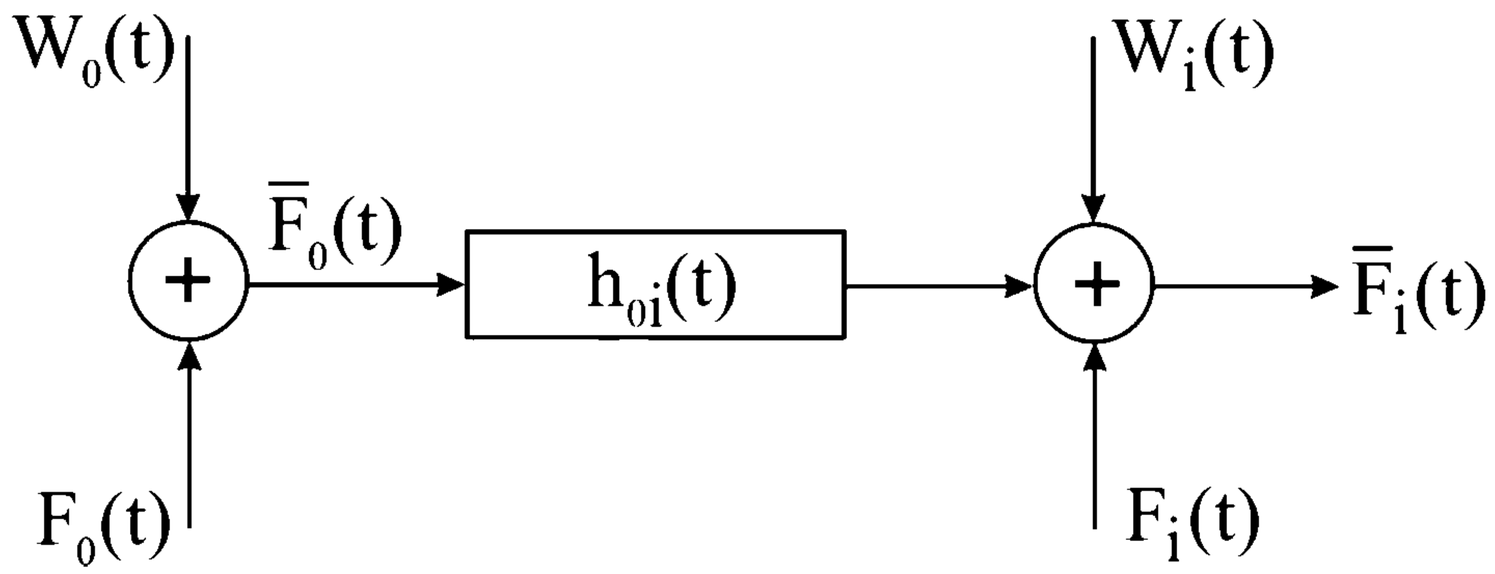


Рисунок В.7 – Системы наблюдений

а) необходимая полная система наблюдений

б) система одновременной регистрации в опорной точке 0 и некотором количестве i-тых точек

в) модель линейной связи волновых полей в двух точках объекта

В основу алгоритма получения из разновременных наблюдений в сооружении с одной опорной точкой данных одновременной регистрации одного и того же колебательного процесса в разных точках, заложим следующие предположения о модели процесса колебаний в инженерном сооружении:

При воздействии микросейсмических колебаний на инженерное сооружение отличия формирующихся в нем стоячих волн, зарегистрированных в двух произвольных точках, описываются линейной системой, характеристика которой не зависит от времени.

При воздействии микросейсмических колебаний на сооружение отличия бегущих волн, зарегистрированных в двух произвольных точках, не могут быть описаны линейной системой, характеристика которой не зависит от времени.

Линейные связи в изменениях стоячих волн, зарегистрированных в двух точках, существуют для каждой пары одноименных компонент регистрируемых колебаний.

Эти предположения позволяют составить модель связи колебаний, регистрируемых в двух разных точках инженерного сооружения (рис. В.7,в). Модели регистрируемых колебаний в опорной точке и i-той согласно рисунка В.7, в, можно записать в следующем виде:

$$\overline{F_0}(t) = F_0(t) + W_0(t), \quad \overline{F_i}(t) = F_0(t) * h_{0i}(t) + W_i(t), \qquad \text{(В1)}$$

где $h_{0i}(t)$ -импульсная характеристика линейной системы, описывающей связь между колебаниями точек 0 и i на обследуемом объекте, $W(t)$ - колебания в точках 0 и i не имеющие линейной связи друг с другом. В таком представлении колебания разных точек объекта имеют две составляющие первую, связанную с общим процессом реакции объекта на сейсмические воздействия и имеющую линейные связи с колебаниями от точки к точке, вторую - колебания в точках не имеющие линейной связи с общими колебаниями. Ко второй составляющей относятся сейсмические колебания от локальных источников внутри сооружения и нелинейные эффекты распространения колебаний.

Для выбранной модели процесса колебаний с независимыми компонентами в сооружении появляется возможность получить одновременные записи стоячих волн из разновременных, последовательных наблюдений с опорной точкой. Процедура обработки в таком случае сводится к следующим операциям.

Нахождение частотных характеристик линейных систем $h_{0i}(\omega)$ (спектральный эквивалент $h_{0i}(t)$), микросейсмических колебаний в этих точках, описывающих изменение колебаний от опорной точки 0 к i-й по данным одновременной регистрации.

Запись или формирование независимой реализации процесса колебаний опорной точки при сейсмическом воздействии на исследуемый объект.

Пересчет стоячих волн из опорной точки с использованием $h_{0i}(\omega)$ (назовем их переходными характеристиками) во все точки обследуемого объекта.

Ключевым вопросом рассматриваемой схемы обработки является задача определения $h_{0i}(\omega)$ с необходимой точностью по материалам разновременной регистрации микросейсмических колебаний с опорной точкой. В соответствии с выбранной моделью, имея трехкомпонентные записи, можно вести обработку по каждой компоненте независимо друг от друга. Рассматривая модель сигналов, регистрируемых в двух точках сооружения на одинаковых компонентах (рис. В.7), можно видеть, что задача определения $h_{0i}(\omega)$ сводится к определению характеристики линейной системы по сигналам на ее входе и выходе, зарегистрированных на фоне шумов. Будем искать характеристику $h_{0i}(\omega)$ в виде оптимального фильтра Винера, преобразующего сигнал $\overline{F_0}(t) = F_0(t) + W_0(t)$ в запись стоячей волны в точке i.

Формула для расчета фильтра Винера, обеспечивающего пересчет колебаний из опорной точки в i-ю с учетом разбиения исходной записи на непересекающиеся блоки, имеет вид:

$$h_{0i}{}'(\omega) = \frac{\sum_{j=1}^{n} \overline{F_i}(\omega)\overline{F_0}^{*}(\omega)}{\sum_{j=1}^{n} \left|\overline{F_0}(\omega)\right|^2}. \qquad \text{(B2)}$$

Данная формула позволяет вести расчет характеристики фильтра с погрешностью, которая зависит от параметров зарегистрированной реализации естественных колебаний обследуемого объекта. Такими параметрами являются: шаг дискретизации регистрируемых колебаний по времени - Δt, длина единичного блока, на которые разбита запись естественных колебаний, - T, количество блоков в записи - n. Выбор первых двух параметров не вызывает затруднений. Шаг дискретизации увязывается с частотным диапазоном, в котором изучается реакция объекта на сейсмическое воздействие. Длина единичного блока связана с необходимым разрешением спектрального анализа - $\Delta f = 1/T$. Для обследования объектов, имеющих целый ряд степеней свободы при описании линейной моделью и, соответственно, целый ряд резонансных областей в частотной характеристике, требуется разрешение, увязанное с шириной этих резонансных областей и расстояниями по частоте между ними. Сложнее вопрос о количестве блоков. Расчет по формуле (В2), лишь некоторая оценка характеристики фильтра, погрешность которой зависит от количества блоков n и соотношения энергии шумов и полезных

сигналов в модели (В1), т. е. фактически от того, в какой степени изменение колебаний от точки к точке описывается линейной системой.

Для оценки количества блоков, необходимых для обеспечения заданной погрешности фильтра, прежде всего, требуется изучение работоспособности выбранной модели изменений колебаний в объекте от точки к точке. Для изучения этого вопроса применим спектр когерентности $\gamma(\omega)$. Расчет $\gamma(\omega)$, как и характеристики фильтра, требует усреднения. Разделим реализацию одновременно записанных шумов в двух точках сооружения на блоки, о необходимой длине которых говорилось выше, и осуществим усреднение по ним. Формула для расчета спектра когерентности примет вид:

$$\gamma^2(\omega) = \frac{\left|\sum_{j=1}^{n} \overline{F_i}(\omega)\overline{F_0}^*(\omega)\right|^2}{\sum_{j=1}^{n}\left|\overline{F}_0(\omega)\right|^2 \sum_{j=1}^{n}\left|\overline{F_i}(\omega)\right|^2}. \qquad \text{(В3)}$$

Полученное выражение является приближенной оценкой спектра когерентности, погрешность которой зависит от числа блоков n. Относительная погрешность расчета спектра когерентности рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon\left[\gamma^2(\omega)\right] = \frac{\sqrt{2}\left[1-\gamma^2(\omega)\right]}{\left|\gamma(\omega)\right|\sqrt{n}}. \qquad \text{(В4)}$$

В соответствии с (В4), чем выше значение $\gamma^2(\omega)$, тем меньше погрешность. Увеличение n всегда обеспечивает уменьшение погрешности оценки спектра когерентности, а это означает, что при любом значении $\gamma(\omega)$, увеличивая число блоков или общую длину записи в двух точках, можно достичь заданной погрешности оценки значения спектра когерентности по формуле (В4).

Высокие значения спектров когерентности на частотах нормальных мод инженерных сооружений дают основание применять модель (В1) и использовать формулу (В2) для построения фильтров, пересчитывающих стоячие волны из опорной точки в i-е, для получения картины одновременных записей стоячих волн во всех точках.

Приближенное выражение для расчета ошибки амплитудной характеристики имеет вид

$$\varepsilon\left[\left|h_{0i}{}'(\omega)\right|\right] = \frac{\left[1-\gamma_{0i}^2(\omega)\right]^{1/2}}{\left|\gamma_{0i}(\omega)\right|\sqrt{2n}}. \qquad \text{(В5)}$$

В соответствии с (В5) с увеличением числа блоков для вычислений характеристики фильтра, пересчитывающего колебания из опорной точки обследуемого объекта в i-ю, можно добиться любой заданной погрешности построения фильтра. При малом количестве блоков, даже небольшое

увеличение их числа, обеспечивает существенное уменьшение погрешности. При больших величинах n уменьшение погрешности с увеличением числа блоков замедляется. Высокая точность пересчета колебаний быстро достигается при больших значениях $\gamma(\omega)$. Для случаев с малыми значениями когерентности требуется большое число блоков в одновременной записи.

Количество блоков определяет длину реализации, записанную в каждой точке обследуемого объекта, и существенно влияет на производительность работ. Оптимальная производительность достигается последовательной регистрацией колебаний в точках объекта при длине реализации 5-20 минут и существенно снижается при длинах реализаций, измеряемых часами. При высокой когерентности колебаний 0.8-0.99, наблюдаемой на инженерных сооружениях на частотах нормальных мод, удается достигнуть погрешности порядка 5% и менее для пересчета стоячих волн и производительности обследования сооружений - за несколько дней. Низкие значения спектра когерентности вне частот нормальных мод приводят к сильной регуляризации фильтра Винера. Фильтр запирается на этих частотах и обеспечивает подавление бегущих волн в пересчитанных записях.

В.15 Примеры карт амплитуд и фаз с соответствующими выводами

Пример 1. В одном случае (верхняя часть рисунка В.8) деформационный шов в рабочем состоянии – амплитуды продольных колебаний резко падают при переходе через него. В другом – (нижняя часть рисунка В.8) деформационный шов не работает, видим единое продольное колебание без резкого падения амплитуды.

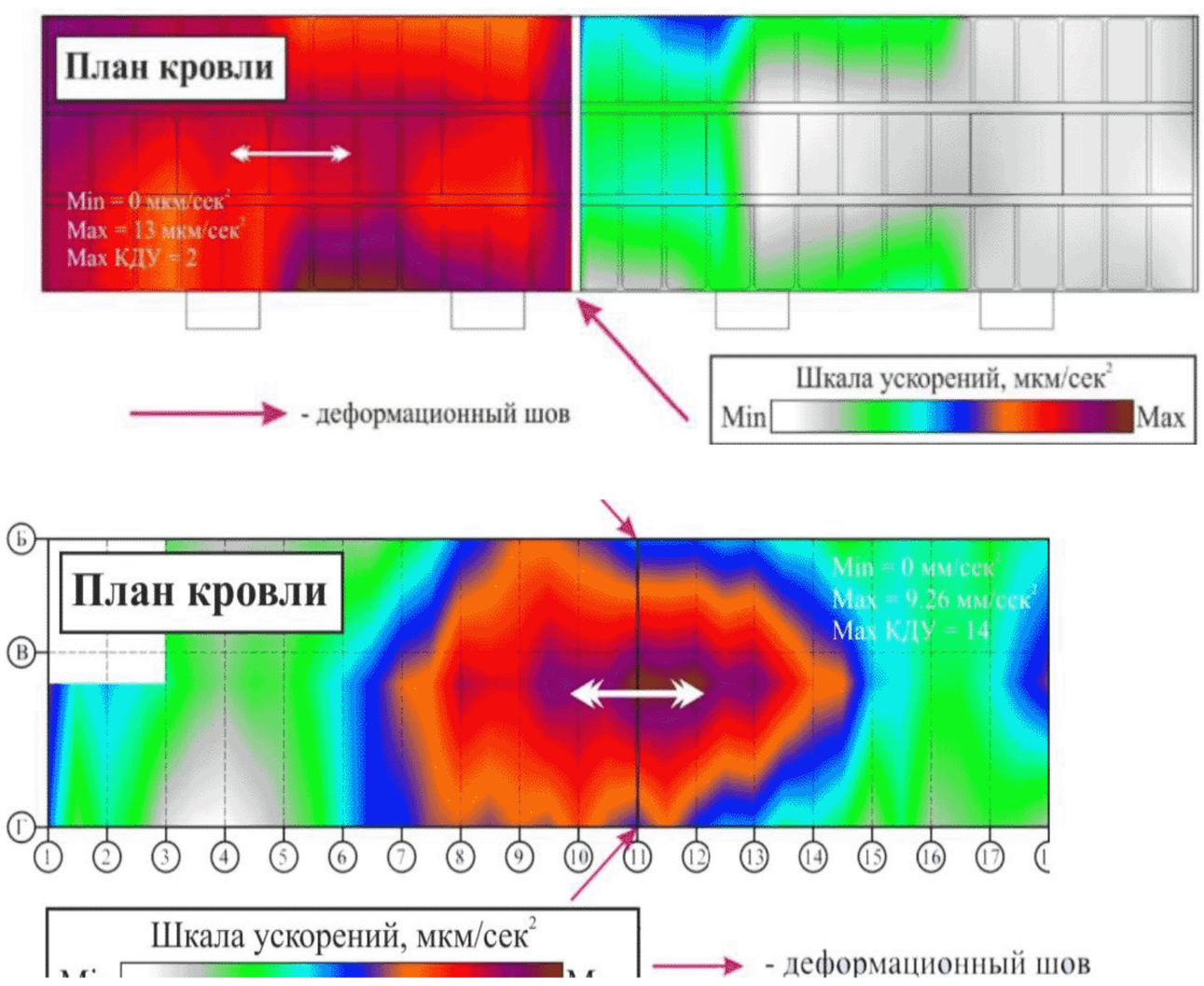


Рисунок В.8 – Продольные колебания и деформационный шов

Пример 2. Смещение максимума на карте амплитуд и резкое падение когерентности на карте когерентности (Рисунок В.9) говорят о наличии границы (штриховая линия) смены свойств блока моста. Можно предположить, что это граница коррозии преднапряженной арматуры.

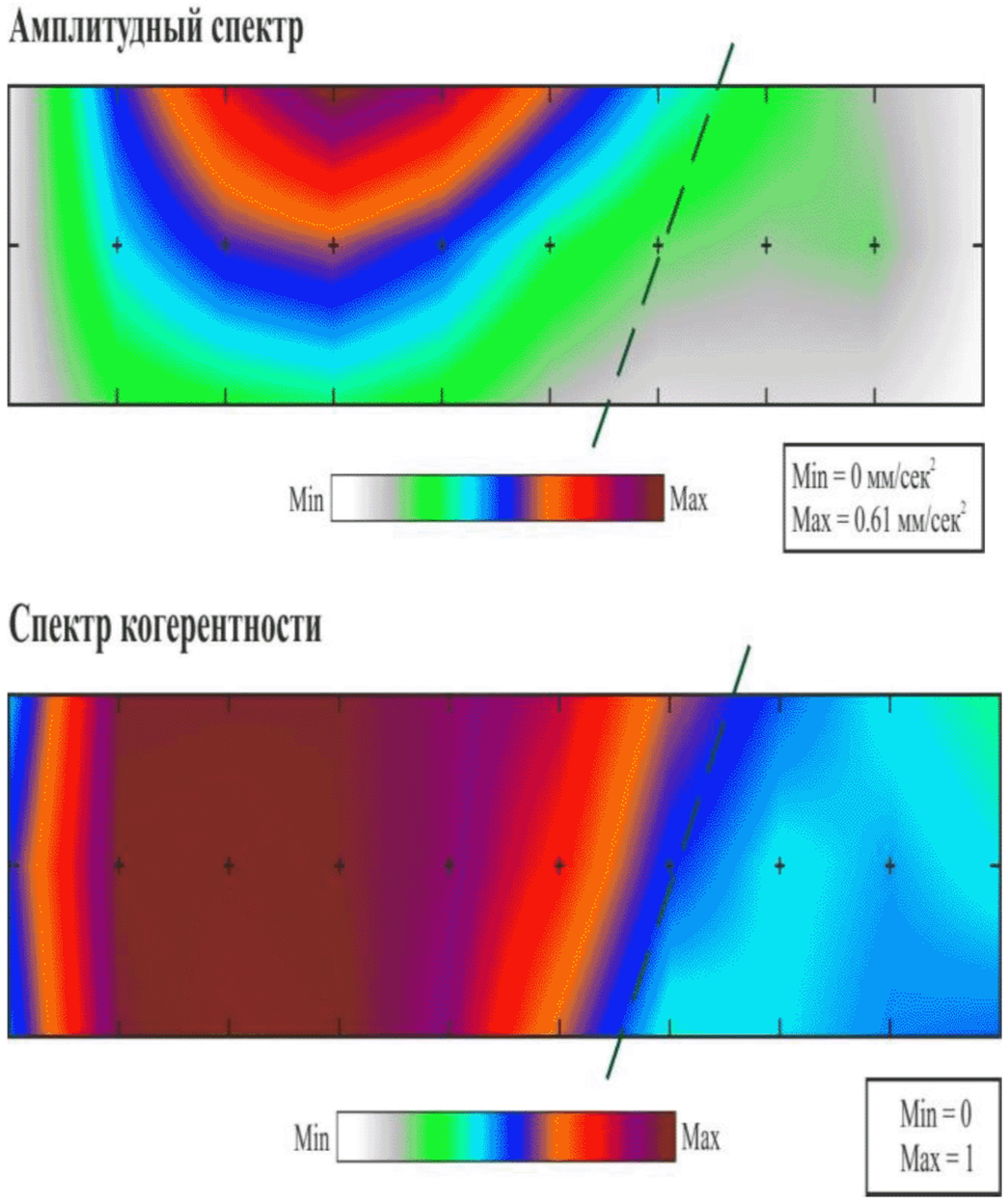


Рисунок В.9 – Нарушение однородности блока моста

В.16 Примеры оформления материалов

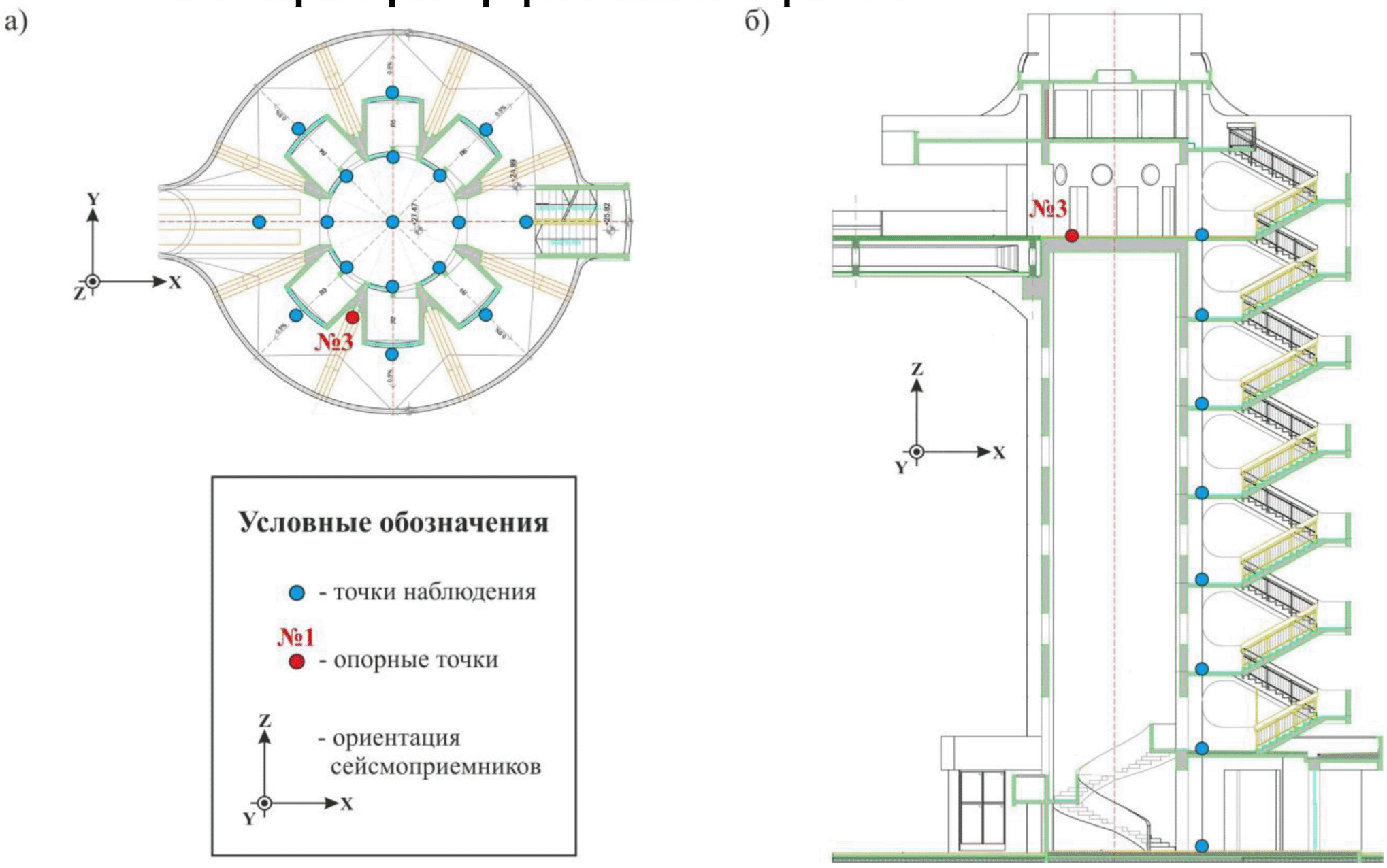


Рисунок В.10 – Схема наблюдений для регистрации микросейсмических колебаний ствола лифтовой шахты (а) и лифтовой шахты (б)

Таблица В.3 – Пример таблицы выделенных собственных частот объекта

П /п	Значение частоты, Гц		Пешеходный переход		Блок 3	Блок 4
			Блок 1	Блок 2		
1	1.514	X	◐	◐	●	○
		Y	●	●	●	●
		Z	◐	◐	●	○
2	1.953	X	○	○	○	○
		Y	●	●	●	●
		Z	○	○	●	◐
3	2.051	X	●	●	●	●
		Y	○	○	○	○
		Z	◐	●	●	●
4	3.662	X	○	○	●	○
		Y	●	●	●	●
		Z	◐	◐	○	○
5	4.932	X	◐	●	●	●
		Y	○	○	○	○
		Z	◐	●	◐	◐
6	5.518	X	◐	◐	○	○
		Y	○	○	○	○
		Z	●	●	◐	○
7	6.592	X	●	○	○	○
		Y	○	○	○	○
		Z	●	◐	○	○
8	6.738	X	◐	◐	●	○
		Y	●	●	●	●
		Z	◐	◐	○	○

Условные обозначения

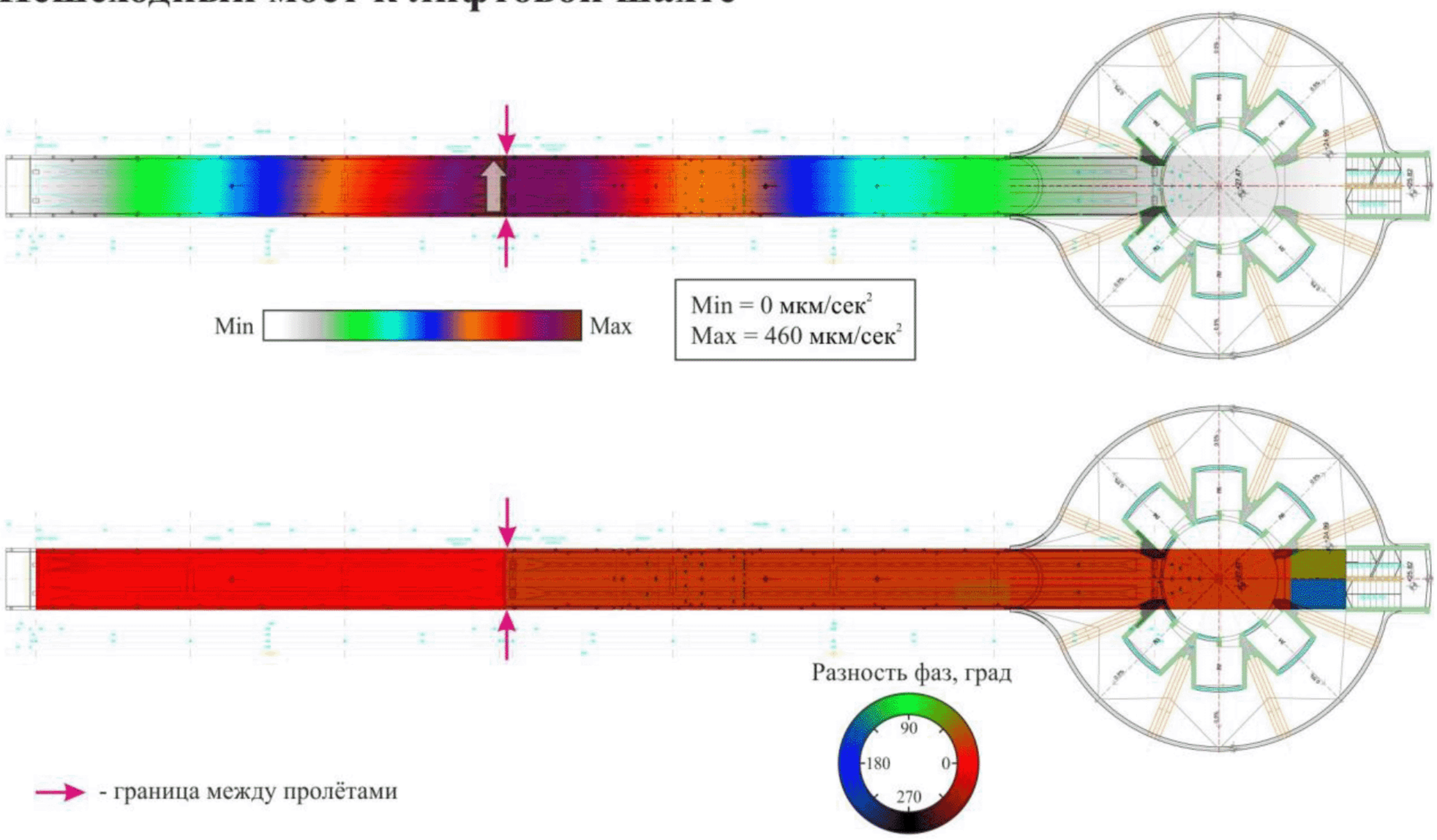
● - основная компонента

● - вторичная деформация

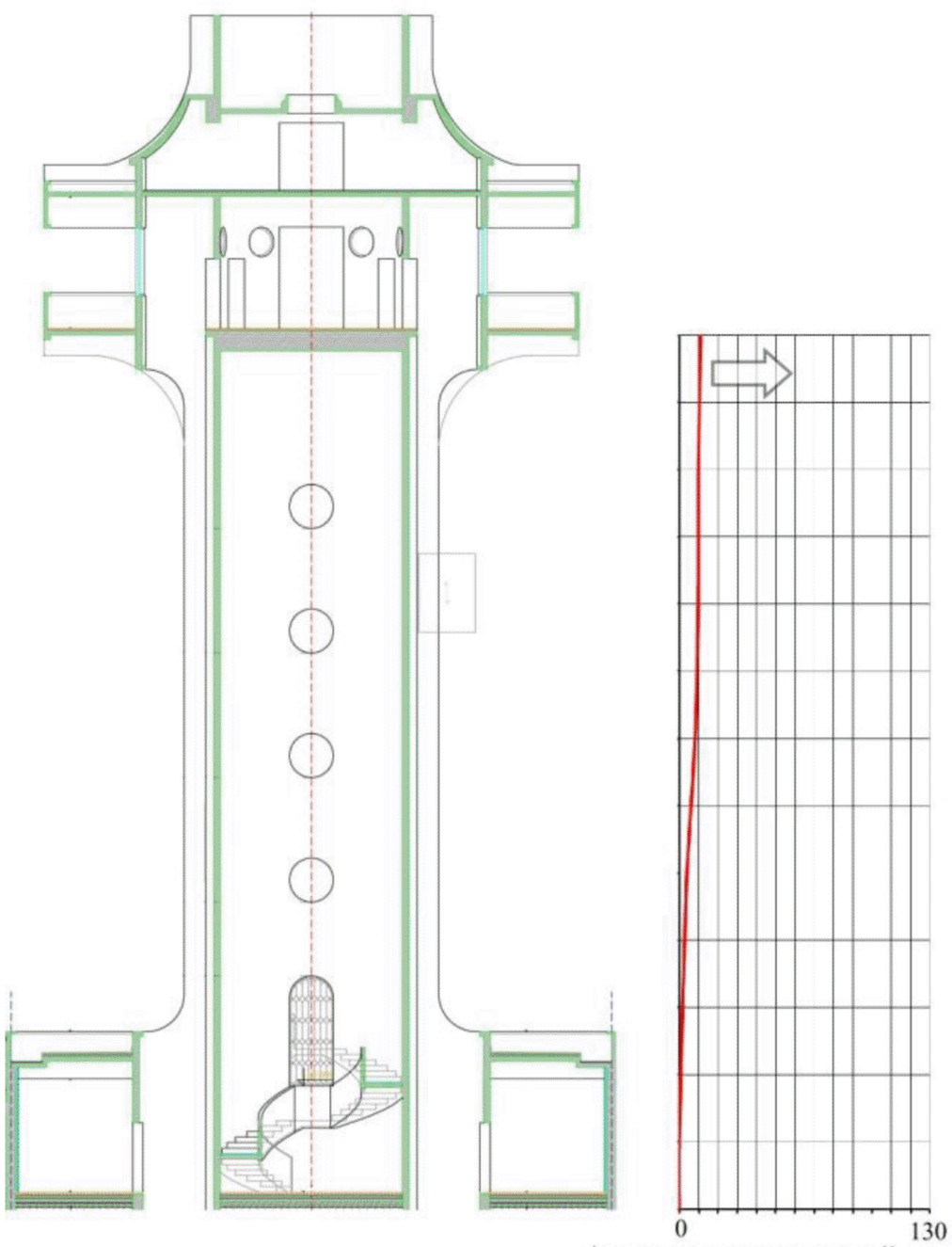
◐ - прослеживается

○ - не выделяется

Пешеходный мост к лифтовой шахте



Разрез по лифтовой шахте



План на отм. +27.47м

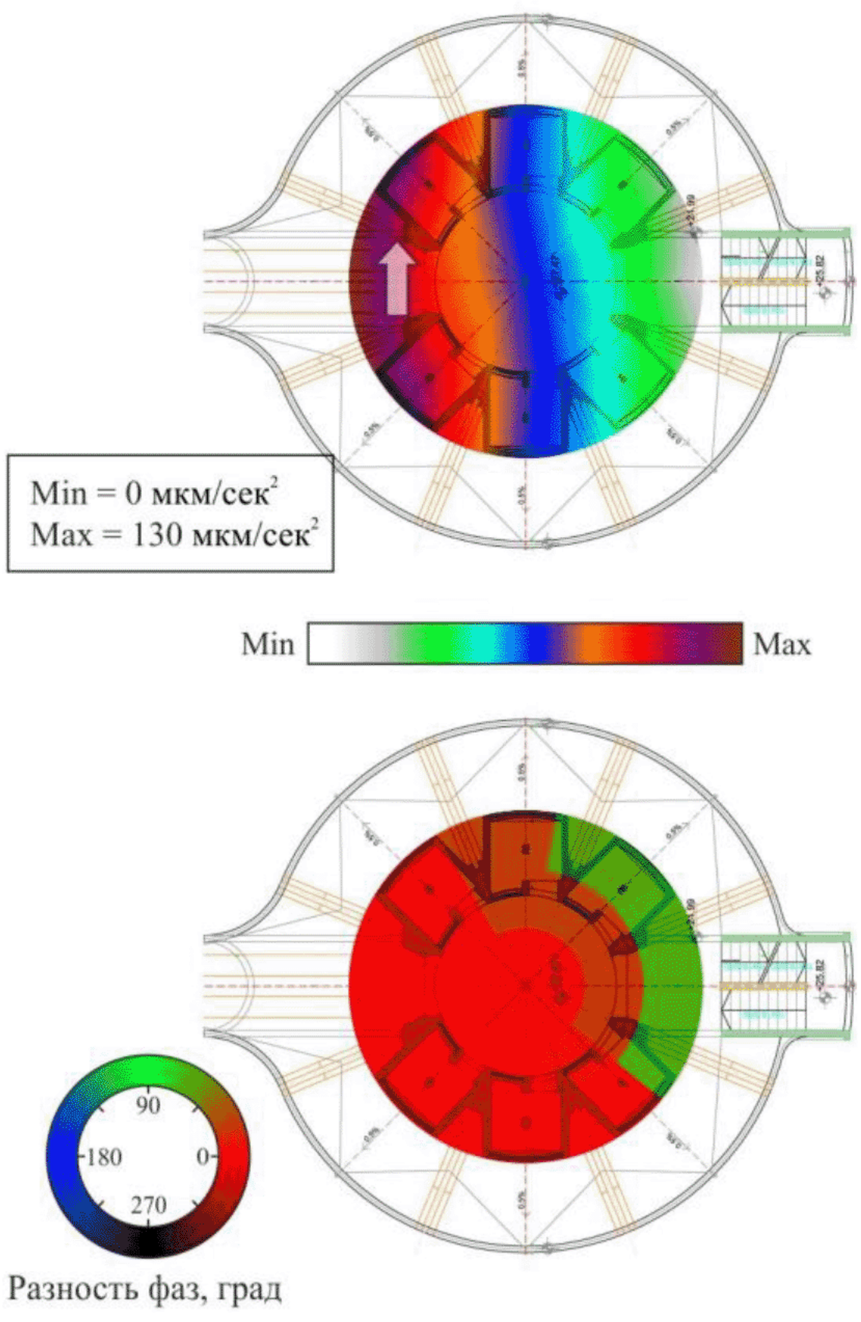


Рисунок В.11 – Пример карт амплитуд и фаз поперечного колебания

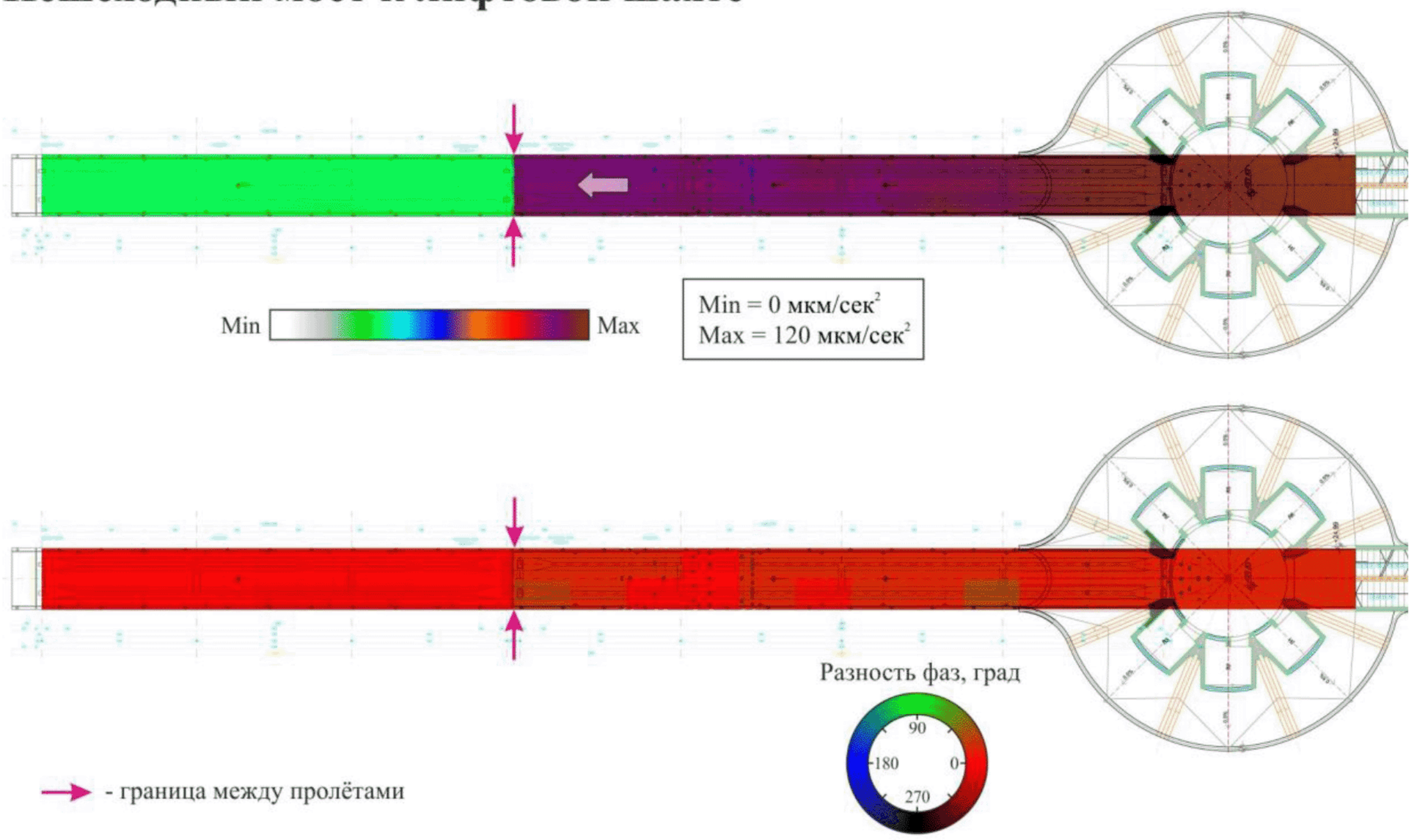


Рисунок В.12 – Пример карт амплитуд и фаз продольного колебания

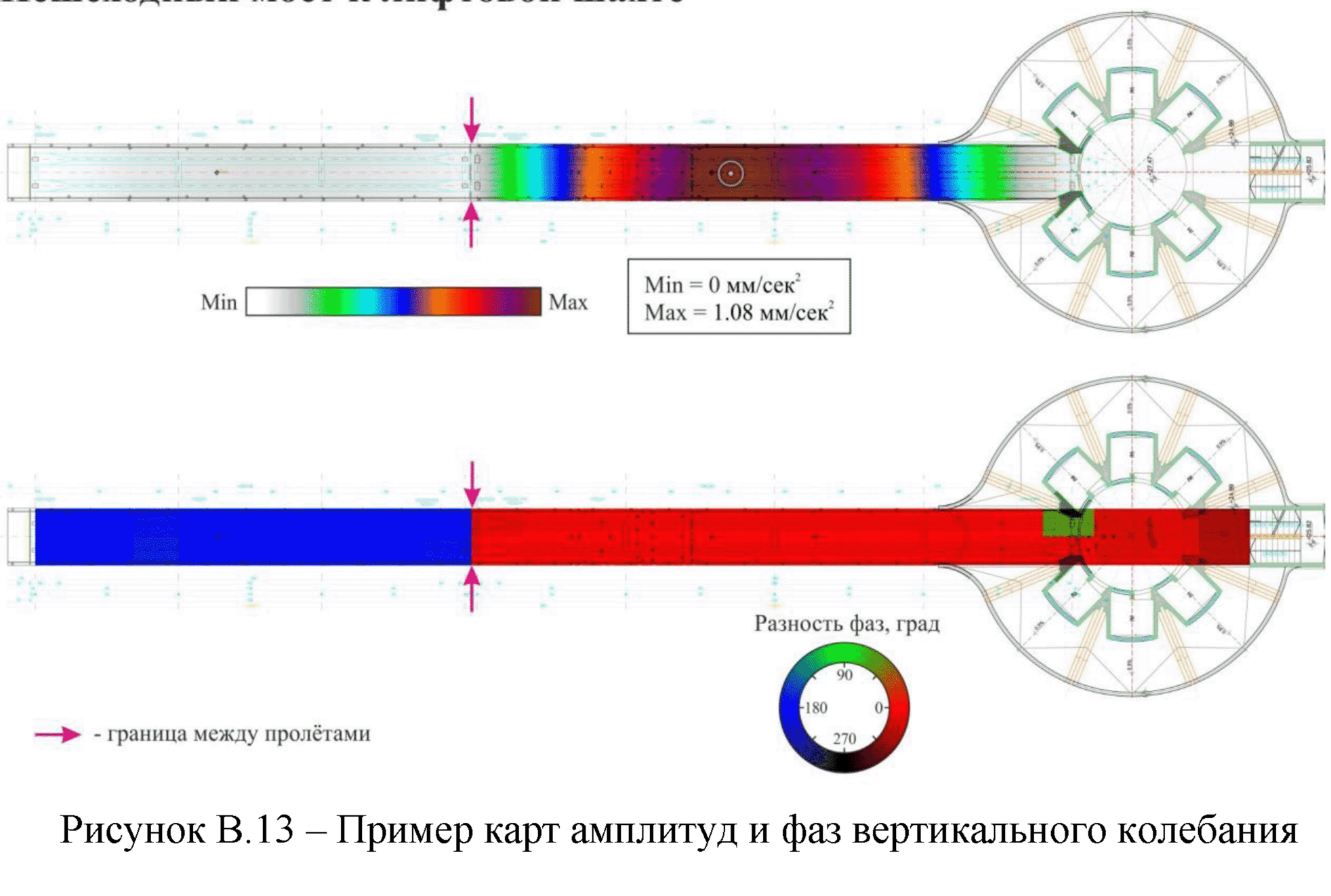


Рисунок В.13 – Пример карт амплитуд и фаз вертикального колебания

Библиография

[1]	ОДМ 218.1.001-2010	Рекомендации по разработке и применению документов технического регулирования в сфере в дорожного хозяйства
[2]	ОДМ 218.3.014-2011	Методика оценки технического состояния мостовых сооружений на автомобильных дорогах
[3]	ОДМ 218.7.001-2009	Рекомендации по осуществлению строительного контроля на федеральных автомобильных дорогах
[4]	ОДМ 218.4.002-2009	Рекомендации по защите от коррозии конструкций эксплуатируемых на автомобильных дорогах Российской Федерации мостовых сооружений, ограждений и дорожных знаков
[5]	ОДМ 218.4.001-2008	Методические рекомендации по организации обследования и испытания мостовых сооружений на автомобильных дорогах
[6]	ОДН 218.017-2003	Руководство по оценке транспортно-эксплуатационного состояния мостовых конструкций
[7]	ОДМ 218.4.002-2008	Руководство по проведению мониторинга состояния эксплуатируемых мостовых сооружений
[8]	ОДМ 218.3.001-2010	Рекомендации по диагностике активной коррозии арматуры в железобетонных конструкциях мостовых сооружений на автомобильных дорогах методом потенциалов полуэлемента
[9]	ОДМ	Методика определения содержания хлоридов в железобетонных конструкциях мостовых сооружений, 2002
[10]	Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 26.12.2006 г. № 1128	Об утверждении и введении в действие требований к составу и порядку ведения исполнительной документации при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства и требований, предъявляемых к актам освидетельствования работ, конструкций, участков сетей инженерно-технического обеспечения

[11]	Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 12.01.2007 г. № 7	Об утверждении и введении в действие порядка ведения общего и (или) специального журнала учета выполнения работ при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства
[12]	Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 29.01.2007 г. № 37	О порядке подготовки и аттестации работников организаций, поднадзорных Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору
[13]	Приказ Министерства регионального развития РФ от 9 декабря 2008 г. № 274	Об утверждении перечня видов работ по инженерным изысканиям, по подготовке проектной документации, по строительству, реконструкции, капитальному ремонту объектов капитального строительства, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства
[14]	Приказ Министерства регионального развития РФ от 21 октября 2009 г. № 480	О внесении изменений в приказ Министерства регионального развития Российской Федерации от 9 декабря 2008 г. № 274 "Об утверждении Перечня видов работ по инженерным изысканиям, по подготовке проектной документации, по строительству, реконструкции, капитальному ремонту объектов капитального строительства, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства
[15]	СНиП 1.06.05-85	Положение об авторском надзоре проектных организаций за строительством сооружений
[16]	МДС 12-9.2001	Положение о заказчике при строительстве объектов для государственных нужд на территории Российской Федерации
[17]	Справочное пособие. Гипростроймост, 2011	Контроль качества на строительстве мостов
[18]	ОДМ	Методические рекомендации по вибродиагностике автодорожных мостов. Введ. 2001-08-07. / Росавтодор

[19]	РД 03-348-00	Методические указания по магнитной дефектоскопии стальных канатов
[20]	РД 34.17.425-86	Методические указания по рентгенографическому определению макронапряжений в металле циркуляционных трубопроводов и корпусного оборудования электростанций
[21]	МР 103-83	Методические рекомендации. Расчеты и испытания на прочность. Экспериментальные методы определения напряженно-деформированного состояния элементов машин и конструкций. Определение макронапряжений рентгеновским методом.
[22]	МИ2798-2003	Методика поверки электронного тахеометра
[23]	МИ 1967-89	ГСИ. Выбор методов и средств измерений при разработке методик выполнения измерений. Общие положения
[24]	СНиП 2.05.03-84*	Мосты и трубы
[25]	СНиП 3.02.01-87	Земляные сооружения, основания и фундаменты
[26]	СНиП .06.04-91	Мосты и трубы
[27]	СНиП 12-01-2004	Организация строительства
[28]	СНиП 3.03.01-87	Несущие и ограждающие конструкции
[29]	СНиП 3.06.07-86	Мосты и трубы. Правила обследования и испытаний
[30]	СНиП 3.01.03-84	Геодезические работы в строительстве
[31]	СНиП 12-03-2001	Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования
[32]	СНиП 12-04-2001	Безопасность труда в строительстве. Часть 2. Строительное производство

ОКС

Ключевые слова: мостовое сооружение, обследование, методы неразрушающего контроля, дефект, инструментальный контроль.

Руководитель организации-разработчика

МГУПС (МИИТ)

Проректор по научной работе _____В.М. Круглов