

**Министерство строительства
и жилищно-коммунального хозяйства
Российской Федерации**

**Федеральное автономное учреждение
«Федеральный центр нормирования, стандартизации
и технической оценки соответствия в строительстве»**

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА
ОБСЛЕДУЕМЫХ МОСТОВЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ**

Москва 2019

Содержание

1 Область применения.....	1
2 Нормативные ссылки.....	1
3 Термины, определения, обозначения и сокращения	2
3.1 Термины и определения.....	2
3.2 Обозначения.....	5
3.3 Сокращения	8
4 Общие положения.....	8
5 Обследовательские схемы по определению прочности бетона.....	10
5.1 Методика выбора обследовательской схемы определения прочности бетона.....	10
5.2 Рекомендации по объединению обследуемых конструкций в группы.....	12
5.3 Рекомендации по расположению и количеству участков измерений.....	13
6 Расчет прочности бетона мостовых железобетонных конструкций...	17
6.1 Формулы расчета прочности бетона обследовательских схем....	17
6.2 Обследовательская схема О1.	20
6.3 Обследовательская схема О2.	23
6.4 Обследовательская схема О3	24
Приложение А Методы неразрушающего контроля прочности бетона	27
Приложение Б Назначение обследовательской схемы определения прочности бетона	29
Приложение В Пример применения обследовательской схемы по определению прочности бетона	32

Приложение Г Комментарии к положениям настоящего методического пособия.....	41
Библиография.....	45

Введение

Методическое пособие «Методика определения прочности бетона обследуемых мостовых железобетонных конструкций» разработано в развитие положений пункта 7.4 СП 79.13330.2012 в целях уточнения и реализации требований по определению прочности бетона при обследованиях железобетонных конструкций мостов в соответствии с ГОСТ 22690, а также в отдельных случаях, когда невозможен полный прямой доступ к эксплуатируемым конструкциям мостов, необходимый в соответствии с действующими стандартами.

Настоящее методическое пособие предназначено для специалистов и руководителей обследовательских, проектно-изыскательских организаций, учреждений и служб заказчика (инвестора), а также других заинтересованных организаций в целях обеспечения их техническими материалами, которые позволяют применить технологию определения прочности бетона мостовых железобетонных конструкций в полевых условиях в условиях отсутствия полного прямого доступа.

В настоящем методическом пособии представлены три обследовательские схемы.

Две схемы содержат рекомендации по применению требований ГОСТ 22690 и ГОСТ 18105 (отдельных положений), которые разработаны для обследования мостовых конструкций.

Третья схема ориентирована на случаи, когда полный прямой доступ к обследуемым мостовым конструкциям невозможен, при этом тип обследований [1] допускает применение такой схемы для определения прочности бетона без дальнейшего использования значений прочности в расчетах.

Оценка прочности бетона по приближенной схеме с применением косвенных неразрушающих методов контроля предусмотрена ГОСТ 22690 и может быть использована для всех прошедших выходной контроль железобетон-

ных конструкций с запасом определяемых значений, поскольку бетон в процессе эксплуатации конструкций набирает дополнительную прочность, равную не менее чем 20 % первоначальной прочности по СП 35.13330.2011 (таблица 7.8).

При разработке настоящего методического пособия были учтены данные отраслевых нормативных документов и исследовательских работ в этой области [1]–[13].

Настоящее методическое пособие разработано авторским коллективом: ООО «НИИ МИГС» (д-р техн. наук *А.И. Васильев*, канд. техн. наук *А.С. Бейвель*, канд. техн. наук *Б.И. Кришман*, *А.П. Григориадис*, *А.А. Лебедев*).

При разработке настоящего методического пособия были учтены предложения ООО НИЦ «Мосты» (канд. техн. наук *Э.А. Балючик*, *Г.В. Ермольчук*).

1 Область применения

Методическое пособие рекомендуется использовать для определения прочности бетона при обследованиях железобетонных конструкций мостов, а также других искусственных сооружений транспортного назначения, в которых по условиям их расположения невозможно выполнить измерения в соответствии с требованиями ГОСТ 22690 и ГОСТ 18105 (например, над реками, ущельями, постройками, а также над железнодорожными путями и автомобильными дорогами, когда по условиям движения устройство подмостей для проведения измерений невозможно).

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие документы:

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

ГОСТ 17624–2012 Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности

ГОСТ 18105–2018 Бетоны. Правила контроля и оценки прочности

ГОСТ 22690–2015 Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля

ГОСТ 26633–2015 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия

ГОСТ 28570–2019 Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкций

СП 35.13330.2011 «СНиП 2.05.03-84* Мосты и трубы» (с изменениями № 1, № 2)

СП 46.13330.2012 «СНиП 3.06.04-91 Мосты и трубы» (с изменениями № 1, № 3, № 4)

СП 79.13330.2012 «СНиП 3.06.07-86 Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний» (с изменениями № 1, № 2, № 3, № 4)

Примечание – При пользовании настоящим методическим пособием целесообразно проверить действие ссылочных документов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего методического пособия в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Сведения о действии сводов правил целесообразно проверить в Федеральном информационном фонде стандартов.

3 Термины, определения, обозначения и сокращения

3.1 Термины и определения

В настоящем методическом пособии применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 градуировочная зависимость: Графическая или аналитическая зависимость между косвенной характеристикой прочности и прочностью бетона, определенной разрушающим или прямым неразрушающим методом.

Примечание – См. также 3.1.15 и 3.1.19.

3.1.2 группа элементов: Несколько элементов одного функционального назначения или класса по прочности на сжатие, в которых проводят определение прочности бетона по схеме ОЗ.

3.1.3 единичное значение прочности: Средняя прочность бетона на участке измерения.

3.1.4 единичное измерение: Одно измерение прочности бетона (например, один удар склерометром), произведенное на участке измерения.

3.1.5 класс бетона по прочности на сжатие (класс бетона): Кубиковая прочность бетона на сжатие, выраженная в мегапаскалях, со статистической обеспеченностью 0,95.

3.1.6 конструкция: Совокупность элементов, объединенных в единую конструкцию по проектной прочности, функциональному и (или) конструктивному признаку для выполнения проектного назначения эксплуатируемого моста, например «пролетное строение» моста (независимо от числа элементов и пролетов), «опора» моста (независимо от числа опор и (или) стоек в каждой опоре), «фундамент» (независимо от количества фундаментов), «тело трубы» (независимо от количества звеньев трубы), «подпорная стенка» и др.

3.1.7 коэффициент совпадения: Коэффициент, рассчитываемый как отношение прочности бетона, определенной прямым неразрушающим методом, к прочности бетона, определенной косвенным методом по универсальной градуировочной зависимости прибора.

3.1.8 неразрушающие методы: Методы измерения прочности бетона путем локального воздействия (в т. ч. механического) на бетон конструкции, без ее существенного повреждения:

- прямые методы (в т. ч. отрыв со скалыванием и скалывание ребра), применяемые для определения фактического класса бетона как самостоятельно, так и совместно с косвенными методами для построения частных градуировочных зависимостей или определения коэффициентов совпадения;

- косвенные методы (в т. ч. упругого отскока и ультразвуковой), применяемые совместно с прямыми методами в случае определения фактического класса бетона или самостоятельно для приближенной оценки фактической прочности бетона.

3.1.9

обследование: Исследование технического состояния конструкций, включающее ознакомление с технической документацией, осмотр сооружения, инструментальные измерения, выполняемые с целью оценки уровня потребительских свойств сооружения и выработки рекомендаций по эксплуатации.

[СП 79.13330.2012, пункт 3.10]

3.1.10 обследовательская схема: Совокупность и последовательность основных операций по определению прочности бетона, принимаемая в зависимости от нормируемого типа обследования мостового сооружения.

3.1.11 остаточное среднеквадратическое отклонение: Среднеквадратическое отклонение универсальной (3.1.15) или частной (3.1.19) градуировочной зависимости, характеризующее погрешность при ее построении.

3.1.12 полный прямой доступ: Полевые условия проведения измерений прочности бетона эксплуатируемых мостовых конструкций на всей их поверхности в соответствии с объемами и методами измерений ГОСТ 18105 без использования специальных вспомогательных сооружений и устройств для мостов и автомобильной техники.

3.1.13 проектный класс бетона: Класс бетона по прочности, установленный проектом или нормативными документами и технической документацией.

3.1.14 разрушающие методы определения прочности бетона: Методы определения прочности бетона по контрольным образцам, изготовленным из бетонной смеси по ГОСТ 10180 или отобранным из конструкций по ГОСТ 28570.

3.1.15 универсальная градуировочная зависимость: Градуировочная зависимость прибора, установленная вне обследуемого объекта, в т. ч. путем испытания на сжатие контрольных образцов кубов в лабораторных условиях.

3.1.16 участок измерений: Участок конструкции или элемента, на котором проводят единичные измерения прочности бетона.

3.1.17 **фактическая прочность бетона:** Средняя прочность бетона, определенная в результате измерений.

3.1.18 **фактический класс бетона:** Класс бетона, рассчитанный по результатам измерений фактической прочности бетона на момент обследования конструкции.

3.1.19 **частная градуировочная зависимость:** Градуировочная зависимость прибора, устанавливаемая на обследуемом объекте для данного бетона.

3.1.20 **элемент:** Конструктивный элемент в составе конструкции, изготовленный из бетона одного класса по прочности на сжатие и не подлежащий дальнейшему разукрупнению, например балка, плита, стойка опоры, рама, тело массивной опоры, ростверк, свая, звено водопропускной трубы и т. п.

3.2 Обозначения

В настоящем методическом пособии применены следующие обозначения, используемые при расчетах прочности бетона по обследовательским схемам:

B_p	– проектный класс бетона по прочности на сжатие, МПа;
B_f	– фактический класс бетона по прочности на сжатие, МПа;
i	– участок измерений, шт.;
j	– единичные измерения на участке измерений, шт.;
K_{ci}	– частный коэффициент совпадения на участке измерения i на стадии обследования, вычисляемый по формулам (Ж.2), (Ж.3) приложения Ж ГОСТ 22690–2015 для схемы О2, доли ед.;
K_c	– общий коэффициент совпадения, вычисляемый по всем участкам измерений i на стадии обследования (Ж.1 приложения Ж ГОСТ 22690–2015) для схемы О2, доли ед.;
K_{cni}	– частный коэффициент совпадения для используемого прибора и универсальной градуировочной зависимости на участке

измерения i , принимаемый по результатам предыдущих обследований железобетонных конструкций мостов за последние 12 мес для схемы О1, доли ед.;

$K_{сп}$ – общий коэффициент совпадения для используемого прибора и универсальной градуировочной зависимости, вычисляемый по ранее известным значениям $K_{спi}$ предыдущих обследований железобетонных конструкций мостов за последние 12 мес для схемы О1, доли ед.;

N – количество элементов в составе группы элементов для схемы О3, шт.;

n – количество участков измерений (количество единичных значений прочности бетона), шт.;

$R_{гр}$ – средняя прочность бетона (схема О3). Используется при построении частной градуировочной зависимости и определяется как средняя по участкам измерений методом отрыва со скалыванием или путем испытаний на сжатие контрольных образцов, МПа;

R_i – средняя прочность бетона на i -м участке (единичное значение) одиночного элемента или конструкции, определенная по результатам измерений косвенным методом, МПа;

R_{ik} – средняя прочность бетона i -го элемента в группе из N элементов, определенная по результатам измерений косвенным методом для схемы О3, МПа;

R_m – средняя прочность бетона элемента или конструкции, определенная косвенным методом по всем участкам измерений i , МПа;

R_{mk} – средняя прочность бетона группы элементов для схемы О3, МПа;

$R_{\text{осн}}, R_{\text{косв}}$	– значение прочности бетона, измеренное соответственно прямым и косвенным методами, МПа;
r	– коэффициент корреляции градуировочной зависимости, доли ед. (Е.3 приложения Е ГОСТ 22690–2015);
S_m	– среднеквадратическое отклонение прочности бетона в элементе или в конструкции, характеризующее разброс значений прочности бетона, МПа;
$S_{\text{кс}}$	– среднеквадратическое отклонение общего коэффициента совпадения прочности бетона $K_{\text{сп}}$, характеризующее разброс значений частных коэффициентов совпадения $K_{\text{сп}i}$ по участкам измерений i , полученных по результатам обследований железобетонных конструкций мостов за последние 12 мес (схема О1);
$S_{\text{кп}}$	– среднеквадратическое отклонение коэффициента совпадения (схема О2);
$S_{\text{т.н.м}}$	– остаточное среднеквадратическое отклонение градуировочной зависимости, характеризующее погрешность при ее построении, МПа (Е.2 приложения Е ГОСТ 22690–2015);
$S_{\text{т.р.м}}$	– среднеквадратическое отклонение, характеризующее погрешность прямого метода, использованного при построении градуировочной зависимости (соответствует S_4 пункта 5.3 ГОСТ 18105–2018), МПа;
V_m	– коэффициент вариации прочности бетона элемента или конструкции, или группы элементов, %;
$V_{\text{кс}}$	– коэффициент вариации общего коэффициента совпадения $K_{\text{сп}}$ для схемы О1, %;
$V_{\text{тmax}}$	– максимально допустимый коэффициент вариации единичных значений прочности бетона;

- W_m – размах (разность между наибольшим и наименьшим значениями) значений прочности бетона R_i или частных коэффициентов совпадений $K_{спi}$ для схем О1, О2, МПа;
- α – коэффициент расчета S_m при $n = 2 \div 8$.

3.3 Сокращения

В настоящем методическом пособии применены следующие сокращения:

- УЗМ – ультразвуковой метод определения прочности бетона;
- УПО – метод упругого отскока определения прочности бетона;
- ОТС – метод отрыва со скалыванием определения прочности бетона.

4 Общие положения

4.1 Определение прочности бетона при обследованиях мостовых железобетонных конструкций следует проводить с использованием неразрушающих методов контроля (приложение А), основных положений ГОСТ 22690 при учете отдельных указаний ГОСТ 18105 и в соответствии с обследовательскими схемами, обозначаемыми литерой «О» (далее – схемы).

4.2 В схемах «О» приведены рекомендации:

- по выбору рационального состава и объема измерительных работ для различных типов обследований мостовых сооружений;
- объединению элементов моста в единые конструкции с назначением оптимального количества и мест расположения участков измерений на конкретных типах конструкций;
- требованиям к местоположению и состоянию участков измерений;
- рациональной области применения косвенного и прямого неразрушающих методов контроля прочности бетона, выбору оборудования и требования к технологии проведения измерений;
- алгоритмам расчета прочности бетона для выбранной схемы.

Примечание – Комментарии к 4.2 и другим отдельным положениям настоящего методического пособия приведены в приложении Г.

4.3 В настоящем методическом пособии предполагается повышать статус схем от О1 к О3 и далее к испытаниям на сжатие образцов, отобранных из бетона по ГОСТ 28570, если получаемый при испытаниях уровень прочности бетона на предыдущем этапе окажется ниже проектного.

4.4 Определение прочности бетона по схемам О2, О3, а также с использованием разрушающего метода, связанного с изъятием образцов из конструкции по ГОСТ 28570, необходимо проводить по отдельной смете, учитывающей возможное применение автомобильной техники и фактическую трудоемкость работ в соответствии с рекомендациями [1].

4.5 При назначении заказчиком схем О2, О3 рекомендуется учитывать отложенные затраты эксплуатирующей сооружение организации на восстановление поврежденного отрывами защитного слоя бетона, что потребует выполнения ремонтных работ в теплое время года и кратковременного закрытия движения над ремонтируемыми зонами конструкций.

4.6 В техническом задании на проведение обследований железобетонных конструкций мостового сооружения рекомендуется указывать тип схемы.

4.7 В отчетных материалах по определению прочности бетона по схеме О1 должна быть приведена ссылка на документ, подтверждающий значение общего коэффициента совпадения $K_{сп}$ за период, предшествующий данным обследованиям.

5 Обследовательские схемы по определению прочности бетона

5.1 Методика выбора обследовательской схемы определения прочности бетона

5.1.1 Номер схемы «О» назначают в соответствии с девятью типами обследований мостов [1, таблица 4.1] в зависимости от степени доступности конструкций, от необходимой точности определения прочности бетона, целей и трудозатрат на проведение обследовательских работ, а также от характера и полноты требуемой заказчиком отчетной информации (приложение Б).

5.1.2 Схема О1 применяется для конструкций, полный прямой доступ к которым отсутствует. Схема предназначена для получения информации о соответствии фактической прочности бетона $V_{ф}$ проектной прочности бетона $V_{пр}$ обследуемой конструкции по результатам испытаний прочности бетона на участках измерений с применением только косвенных методов неразрушающего контроля.

5.1.3 Полученные по схеме О1 значения прочности бетона не предусматривают их дальнейшего использования в расчетах фактической несущей способности сооружения, а также в проектах ремонта и реконструкции мостов.

5.1.4 Последовательность работ по проведению измерений по схеме О1 состоит в следующем:

- проводят разметку участков измерений на элементах обследуемых конструкций;
- проводят измерения прочности бетона на участках измерений косвенным методом с учетом отбраковки единичных измерений.

5.1.5 Схема О2 предназначена для определения фактического класса бетона $V_{ф}$ с привязкой значений прочности бетона, полученных косвенным методом, к значениям прочности бетона, полученным прямым методом контроля прочности, путем использования коэффициентов совпадения K_c .

5.1.6 Определенный по данной схеме О2 фактический класс бетона может быть использован для расчетов проектировании усиления, ремонта и реконструкции железобетонных конструкций мостов.

5.1.7 Последовательность работ по проведению измерений по схеме О2 состоит в следующем:

- проводят разметку участков измерений на элементах в составе конструкций «пролетное строение», «опора» и др.;

- проводят измерения прочности бетона на намеченных участках измерений косвенным и прямым методами контроля с отбраковкой единичных измерений прочности бетона.

5.1.8 Схема О3 предназначена для определения фактического класса бетона B_{ϕ} элемента или конструкции с использованием коэффициента вариации V_m и построенной частной градуировочной зависимости для данного бетона. Универсальная градуировочная зависимость прибора по этой схеме не используется.

5.1.9 Схема О3 соответствует основным расчетным положениям схемы «В» ГОСТ 18105 и рекомендуется для определения фактического класса бетона, используемого в проектах, а также в случаях возникновения нештатных или спорных ситуаций в процессе строительства или эксплуатации сооружения, когда требуется получить максимально точные сведения о прочности бетона данного конструктивного элемента.

5.1.10 Последовательность работ по проведению измерений по схеме О3 состоит в следующем:

- проводят измерение прочности бетона косвенными методами (например, УЗМ или УПО) не менее чем на 20 назначенных участках измерений в данной группе элементов;

- проводят измерение прочности бетона прямыми и косвенными методами (например, ОТС) не менее чем на 12 выделенных участках в данной группе элементов.

5.2 Рекомендации по объединению обследуемых конструкций в группы

5.2.1 Схемами О1, О2 предусматривается объединение входящих в состав конструкции моста отдельных элементов по проектной прочности бетона и функциональному назначению элементов в единые конструкции, например всех балок в конструкцию – «пролетное строение», всех опор – в единую конструкцию «опора», всех фундаментов – в единую конструкцию «фундамент» и др., рассматриваемые как одиночные в данном сооружении с последующим определением в них прочности бетона.

5.2.2 Для схемы О3 объединение следует проводить с соблюдением следующих условий:

- отдельные железобетонные элементы (например, балки или плиты), входящие в состав пролетного строения, опор моста (например, стойки или ригели) объединяются в группы элементов;

- в состав группы элементов включаются конструкции, изготовленные из бетона одного класса по прочности на сжатие и отформованные по одной технологии. Для вновь изготовленных элементов, не введенных в эксплуатацию, продолжительность периода изготовления элементов, включаемых в одну группу, должна быть не более одной недели;

- коробчатое пролетное строение моста рассматривается как группа элементов, где в качестве одного элемента принимается одна балка в одном пролете.

5.2.3 При измерениях прочности бетона железобетонных конструктивных элементов моста косвенными методами допускается использовать одну градуировочную зависимость.

5.3 Рекомендации по расположению и количеству участков измерений

Общие требования к участкам измерений

5.3.1 Расположение участков измерений на обследуемых мостовых железобетонных конструкциях рекомендуется назначать с учетом доступности мест измерений и минимального уровня напряженно-деформированного состояния бетона на участке проведения измерений.

5.3.2 Для пролетных строений участки измерений рекомендуется располагать на разных балках в зоне опирания балок на устои на расстоянии не менее 50 см от оси опирания. Допускается в случаях затрудненного доступа к средним балкам пролетного строения на устоях назначать участки измерений на стенках и плитах крайних балок вблизи зон опирания.

5.3.3 Размеры участков измерений рекомендуется принимать около 10×10 см для всех методов определения прочности бетона, за исключением отрыва со скалыванием. Для отрыва со скалыванием рекомендуемый минимальный линейный размер участка измерений назначается равным $5h + 30$ см (h – глубина заделки анкера).

5.3.4 При проведении измерений прочности бетона следует выполнять основные требования ГОСТ 22690, ГОСТ 17624, представленные в таблице 5.1.

5.3.5 В процессе проведения измерений следует проводить отбраковку результатов единичных измерений при отклонении отдельных значений от среднего значения на участке измерения i , превышающих:

- ± 10 % для всех методов испытаний, за исключением УЗМ;
- ± 2 % для УЗМ;
- для метода ОТС единичные измерения дополнительно отбраковываются, если наибольший и наименьший размеры вырванной части поверхности бетона, считая от анкерного устройства до границ разрушения, отличаются более чем в два раза (измерения проводят линейкой), а также, если глубина воронки вырыва анкера отличается (за счет проскальзывания анкера) от глубины

заделки анкерного устройства более чем на 5 % (допускается фиксировать по показаниям индикатора прибора).

5.3.6 Бетон на участке измерений должен быть без трещин, отслоений, обнажения крупного заполнителя, пыли, цементного молока и видимых следов влаги. В необходимых случаях следует проводить зачистку поверхности мест измерений наждачным камнем.

5.3.7 Для метода УЗМ в зоне контакта ультразвуковых преобразователей с поверхностью бетона не должно быть раковин и воздушных пор глубиной более 3 мм и диаметром более 6 мм, а также выступов более 0,5 мм (ГОСТ 17624).

5.3.8 Прочность бетона элемента или конструкции определяется по данным измерений прочности бетона на участках измерений, назначаемых в соответствии с рекомендациями настоящего методического пособия.

Таблица 5.1 – Требования к участкам и количеству измерений по ГОСТ 22690, ГОСТ 17624

Наименование метода (пункт 4.3 ГОСТ 22690–2015, приложение А настоящего методического пособия)	Расчетное поле после отбраковки минимальное число измерений на участке, шт.	Минимальное расстояние между местами измерений на участке, мм	Минимальное расстояние от края конструкции до места измерения, мм	Минимальная толщина конструкции в месте измерений, мм
Упругий отскок	9*	30	50	100
Ударный импульс	10*	15	50	50
Пластическая деформация	5	30	50	70

Окончание таблицы 5.1

Наименование метода (пункт 4.3 ГОСТ 22690–2015, приложение А настоящего методического пособия)	Расчетное после отбраковки минимальное число измерений на участке, шт.	Минимальное расстояние между местами измерений на участке, мм	Минимальное расстояние от края конструкции до места измерения, мм	Минимальная толщина конструкции в месте измерений, мм
Скалывание ребра	2	200	–	170
Отрыв	1	2 диаметра диска	50	50
Отрыв со скалыванием при рабочей глубине заделки анкера h				
$h \geq 40$ мм	1	$5h$	150	$2h$
$h < 40$ мм	2**			
Ультразвуковой метод***				
Поверхностное, сквозное прозвучивание	2	–	30	–
<p>* При количестве участков измерений на конструкции более шести для схемы О1 допускается получать пять расчетных измерений на участке.</p> <p>** Допускается проводить одно измерение при согласовании с проектной организацией и заказчиком работ.</p> <p>*** Прозвучивание осуществляется в направлении, перпендикулярном направлению рабочей арматуры.</p>				

5.3.9 Температура бетона конструкций при испытаниях прочности бетона для всех методов измерений должна быть не ниже минус 10 °С.

Требования к участкам измерений для обследовательских схем

5.3.10 Для схем О1, О2 количество участков измерений n должно быть не менее:

- трех участков на конструкции типов «пролетное строение» и «опора» при общей длине пролетного строения до 75 м и количестве опор до 5 шт.;

- шести участков на конструкции типов «пролетное строение» и «опора» при общей длине пролетного строения более 75 м и количестве опор более 5 шт.;

- трех участков в каждом пролете одной железобетонной коробчатой балки или плиты в каждом пролете сталежелезобетонного пролетного строения, а также шести участков для конструкции типа «опора» таких мостов;

- одного участка на 20 м² площади плоских конструкций типов «подпорная стенка», «фундаментная плита» и др. при общем расчетном количестве участков измерений на конструкцию не менее трех;

- одного участка на 4 пог. м длины протяженных конструкций типов «водопропускная труба», «оголовок бойверка» и др. при общем расчетном количестве участков измерений на конструкцию не менее трех.

5.3.11 Для схемы О2 в части проведения измерений прочности бетона прямым неразрушающим методом выполняют следующие указания:

- количество участков измерений прямым разрушающим методом должно быть не менее трех на каждую обследуемую конструкцию типов «пролетное строение», «опора» и др.;

- для конструкции сооружения, в которой проведены измерения прочности бетона прямым методом, допускается не проводить определение прочности бетона косвенным методом, если по условиям проведения обследований не требуется определять прочность бетона других конструкций сооружения с использованием коэффициента совпадения K_c . В этом случае фактическая средняя прочность бетона R_ϕ такой конструкции рассчитывается как средняя по результатам измерений прямым методом.

5.3.12 Для схемы О3 количество участков измерений и их расположение назначаются в соответствии со следующими требованиями:

- для определения прочности бетона группы элементов в составе «пролетного строения» или «опоры» назначается не менее 10 % или не менее 12 единиц из общего количества элементов в данной группе;

- при меньшем, чем 12, количестве элементов в группе, в т. ч. для одного элемента, определение прочности бетона проводят на фактическом количестве элементов;

- общее количество участков измерений i на всех назначенных для измерения прочности элементах, а также в случае испытания одного элемента должно быть не менее 20 участков;

- на всей длине каждого из назначенных для измерения прочности горизонтальных линейных элементов (например, балок) проводят разметку участков измерений, которые должны располагаться на расстояниях не менее одного участка на 4,0 пог. м по длине элемента, но не менее трех на один элемент;

- на всей длине каждого из назначенных для измерения прочности вертикальных линейных элементов (например, стойки опор) проводят разметку не менее чем шести участков измерений;

- на всей площади каждого из назначенных для измерения прочности плоских элементов (например, шкафных стенках устоев, монолитных плитах проезжей части) участки измерений должны располагаться на расстояниях не менее одного участка на 20 м^2 поверхности плоского элемента.

6 Расчет прочности бетона мостовых железобетонных конструкций

6.1 Формулы расчета прочности бетона обследовательских схем

6.1.1 Среднюю прочность бетона R_m , R_{mk} определяют по формулам:

- для одиночного элемента или конструкции как среднее значение прочности по участкам измерений n :

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}; \quad (1)$$

- для группы элементов как среднее значение прочности по N элементам:

$$R_{mk} = \frac{\sum_{i=1}^N R_{ik}}{N}. \quad (2)$$

6.1.2 Общий коэффициент совпадения K_c для схемы О2 для бетона элемента или конструкции вычисляют по всем участкам измерений n по формуле

$$K_c = \frac{\sum_{i=1}^n K_{ci}}{n}.$$

(3)

6.1.3 Общий коэффициент совпадения $K_{сп}$ применяемого прибора и универсальной градуировочной зависимости для схемы О1 вычисляют по ранее известным значениям частных коэффициентов совпадения K_{ci} за последние 12 мес обследований железобетонных мостов по формуле

$$K_{сп} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{спi}}{n}.$$

(4)

6.1.4 Частные коэффициенты совпадения K_{ci} и (или) $K_{спi}$ на i -м участке для j измерений вычисляют по формуле

$$K_{ci} = \frac{1}{j} \sum_{j=1}^j \frac{R_{оснj}}{R_{косвj}}.$$

(5)

Значения частных коэффициентов совпадения должны соответствовать требованиям:

- каждый частный коэффициент совпадения K_{ci} и (или) $K_{спi}$ на i -м участке измерения должен удовлетворять неравенству:

$$0,7 \leq K_{ci} (K_{спi}) \leq 1,3;$$

(6)

- каждый частный коэффициента совпадения K_{ci} и (или) $K_{спi}$ на i -м участке измерения не должен отличаться от значения общего коэффициента совпадения K_c и (или) $K_{сп}$ более чем на $\pm 15\%$:

$$0,85 K_c \leq K_{ci} (K_{спi}) \leq 1,15 K_c.$$

(7)

6.1.5 Коэффициент вариации прочности бетона V_m рассчитывают по формуле

$$V_m = \frac{S_m}{R_m}. \quad (8)$$

6.1.6 Коэффициент вариации общего коэффициента совпадения $V_{\text{кc}}$ за предшествующие данным обследованиям 12 мес рассчитывают по формуле

$$V_{\text{кc}} = \frac{S_{\text{кc}}}{K_{\text{сн}}}. \quad (9)$$

6.1.7 Среднеквадратическое отклонение прочности бетона S_m в элементе или конструкции рассчитывают по формуле

$$S_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - R_m)^2}{n-1}}. \quad (10)$$

6.1.8 Среднеквадратическое отклонение коэффициента совпадения $S_{\text{кп}}$ при количестве значений частных коэффициентов совпадения $K_{\text{сн}i} > 10$ за предшествующие данным обследованиям 12 мес рассчитывают по формуле

$$S_{\text{кп}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_{\text{сн}i} - K_{\text{сн}})^2}{n-1}}. \quad (11)$$

6.1.9 Для схемы ОЗ среднеквадратическое отклонение прочности бетона S_m в конструкции определяют по формуле

$$S_m = \left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - R_m)^2}{n-1} + \frac{\sqrt{S_{\text{Т.Н.М}}^2 + S_{\text{Т.Р.М}}^2}}{\sqrt{n-1}}} \right) \cdot \frac{1}{0,7r + 0,3}. \quad (12)$$

При этом построенная для данного объекта частная градуировочная зависимость прибора должна удовлетворять условиям $S_{\text{Т.Н.М}} \cdot R_{\text{гр}} < 0,15$ и $r > 0,7$ (Е.5 приложения Е ГОСТ 22690–2015), где значение $S_{\text{Т.Р.М}}$ в долях от средней прочности бетона участков $R_{\text{гр}}$, использованных при построении градуировочной зависимости, принимают равным:

- для метода отрыва со скалыванием – по таблице 6.1;

- для разрушающих методов – $S_{Т.Р.М} = 0,02R_{гр}$ средней прочности испытанных образцов.

Т а б л и ц а 6.1 – Значение $S_{Т.Р.М}$ для метода отрыва со скалыванием

Глубина заделки анкера, мм	48	35	30	20
Среднеквадратическое отклонение $S_{Т.Р.М}$, характеризующее погрешность метода ОТС, использованного при построении градуировочной зависимости, МПа	$0,04R_{гр}$	$0,05R_{гр}$	$0,06R_{гр}$	$0,07R_{гр}$

6.1.10 Фактический класс бетона $B_{ф}$ конструкции, определяемый в результате обследований, рассчитывают по формуле

$$B_{ф} = R_m (1 - 1,64V_m) \quad (13)$$

6.2 Обследовательская схема О1

6.2.1 Определение фактической прочности бетона $R_{ф}$ по схеме О1 проводят с использованием реализующего косвенный метод контроля прибора и результатов определения прочности бетона таким прибором за последние 12 мес по данным предыдущих обследований.

6.2.2 Для оценки пригодности применяемого прибора и его универсальной градуировочной зависимости по схеме О1 необходимо рассчитать коэффициент вариации $V_{кв}$ общего коэффициента совпадения $K_{сп}$, полученного по результатам предыдущих за последние 12 мес обследований железобетонных конструкций мостов.

6.2.3 Коэффициент вариации $V_{кв}$ вычисляют по значениям частных коэффициентов совпадения $K_{спi}$ с использованием формул (4), (9), (11) при количестве участков измерений $n > 10$, на которых производилось определение $K_{спi}$ за предшествующие обследованиям 12 мес.

6.2.4 При количестве участков измерений $n \leq 10$, на которых производилось определение $K_{спi}$, за предшествующие обследованиям 12 мес коэффициент вариации $V_{кс}$ допускается вычислять по формуле

$$V_{кс} = \frac{W_m}{\alpha \cdot K_{сн}} \cdot 100. \quad (14)$$

где коэффициент α – принимают по таблице 6.2;

- общий коэффициент совпадения $K_{сп}$ – за предшествующие 12 мес рассчитывают по формуле (4) с соблюдением требований к значениям частных коэффициентов $K_{спi}$ по 6.1.4.

6.2.5 Значение $V_{кс}$ должно быть меньше максимально допустимого значения V_{rmax} , указанного в таблице 6.2, и удовлетворять условию

$$V_{кс} < V_{rmax}. \quad (15)$$

Таблица 6.2 – Максимально допустимые значения коэффициента вариации V_{rmax}

Кол-во участков n	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30
Коэффициент α	1,69	2,06	2,33	2,50	3,0	3,47	3,98	4,36	–	
Максимально допустимый коэффициент вариации* $V_{rmax}, \%$	4,0	5,0	6,0	6,5	7,0	7,5	7,8	8,0	10,0	12,0
* Промежуточные значения V_{rmax} для количества участков $n > 10$ принимают по интерполяции.										

6.2.6 В случае если значение коэффициента вариации $V_{кс}$ превышает максимально допустимые значения V_{rmax} , т. е. $V_{кс} > V_{rmax}$, необходимо провести отбраковку отдельных значений K_{ci} и (или) увеличить количество измерений, в

т. ч. за счет проведения испытаний прочности на бетонных образцах в лабораторных условиях с последующим пересчетом значения общего коэффициента совпадения $K_{сп}$ по формуле (4).

Как крайнюю меру следует провести внеплановую поверку применяемого прибора.

6.2.7 Фактическую среднюю прочность бетона обследуемой конструкции R_m , определяемую по всем участкам измерений косвенными методами, рассчитывают по формуле

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \cdot K_{сп}. \quad (16)$$

6.2.8 Ориентировочное значение класса бетона по прочности B_ϕ обследуемой железобетонной конструкции определяют по формуле (17) и сравнивают (см. формулу (18)) с проектным значением класса бетона:

$$B_\phi = 0,8R_m, \quad (17)$$

$$B_p \leq B_\phi. \quad (18)$$

На основании анализа неравенства (18) делают вывод о сохранении уровня проектной прочности бетона обследуемой мостовой железобетонной конструкции.

6.2.9 Допускается проводить оценку класса бетона B_ϕ косвенным методом с применением универсальной градуировочной зависимости прибора и ее характеристик по формулам (1), (8), (12), (13) с использованием значений прочности бетона R_m, R_i , умноженных на общий коэффициент совпадения $K_{сп}$, на не менее чем 10 участках измерений с учетом требований 6.2.2–6.2.7.

6.2.10 В случае использования универсальной градуировочной зависимости прибора, установленной на предприятии-изготовителе, при приближенном определении класса бетона B_ϕ допускается вычислять среднеквадратическое от-

клонение S_m по единичным значениям прочности бетона, полученным на не менее чем 10 участках измерений и умноженным на общий коэффициент совпадения $K_{сп}$, по формуле

$$S_m = \left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - R_m)^2}{n-1}} + \frac{0,15 \cdot R_m}{\sqrt{n-1}} \right) \cdot 1,27. \quad (19)$$

6.2.11 Пример определения прочности бетона железобетонного пролетного строения моста по схеме О1 приведен в приложении В.

6.3 Обследовательская схема О2

6.3.1 Определение класса бетона по прочности по схеме О2 следует проводить с использованием коэффициентов совпадений прочности бетона K_c и единичных значений прочности R_i , полученных косвенным методом.

6.3.2 В расчете класса бетона по схеме О2 следует принимать только те единичные значения прочности бетона R_i , которые обеспечивают значение коэффициента вариации V_m единичных значений не выше максимально допустимого уровня $V_{m\max}$, приведенного в таблице 6.2, т. е. $V_m \leq V_{m\max}$.

В необходимых случаях следует провести отбраковку и (или) увеличить количество участков измерений или, в крайнем случае, провести внеплановую поверку применяемого прибора.

6.3.3 Коэффициент вариации V_m единичных значений R_i по участкам измерений n рассчитывают по следующим формулам:

- $n \leq 10$ с учетом коэффициента α (таблица 6.2) – по формуле

$$V_m = \frac{W_m}{\alpha \cdot R_m} \cdot 100; \quad (20)$$

- $n > 10$ – по формуле (8).

6.3.4 На участках, где проведены измерения прочности бетона прямым и косвенным методами, проводят определение значения коэффициента совпадения K_c по формуле (3).

6.3.5 Допускается использовать единое значение коэффициента совпадения K_c для всех конструкций обследуемого сооружения. Например, коэффициент совпадения, полученный по результатам определения прочности бетона на конструкции «опора», допускается использовать при расчете прочности бетона конструкции «пролетное строение»

6.3.6 Определение значений коэффициента совпадения K_c следует проводить по результатам испытаний образцов, извлеченных из конструкции (ГОСТ 28570) по отдельному договору на проведение таких работ.

6.3.7 Расчет фактической средней прочности бетона R_ϕ конструкции проводят по всем участкам измерений n путем умножения средней величины единичных значений прочности бетона R_i , полученных косвенным методом по универсальной градуировочной зависимости прибора, на коэффициент совпадения K_c по формуле

$$R_\phi = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \cdot K_c. \quad (21)$$

6.3.8 Определяют фактический класс бетона конструкции B_ϕ по формуле

$$B_\phi = 0,8R_\phi. \quad (22)$$

6.3.9 Проводят оценку соответствия фактического класса бетона B_ϕ проектному классу B_π по неравенству

$$B_\pi \leq B_\phi. \quad (23)$$

6.3.10 Пример определения прочности бетона железобетонного пролетного строения моста по схеме О2 приведен в приложении В.

6.4 Обследовательская схема ОЗ

6.4.1 По результатам измерений прочности прямыми и косвенными методами на 12 выделенных участках проводят расчет и построение частной градуировочной зависимости для прибора, реализующего косвенный метод применительно к бетону данной группы объектов, в соответствии с указаниями приложения Е ГОСТ 22690–2015.

6.4.2 С использованием построенной частной градуировочной зависимости проводят определение единичных значений прочности бетона R_i на всех (не менее 20) участках измерений n данной группы элементов.

6.4.3 Определяют средние прочности бетона R_{ik} каждого элемента и затем среднюю прочность бетона всей группы элементов R_{mk} по формуле (2).

6.4.4 Определяют среднеквадратическое отклонение S_m по формуле (12) и коэффициент вариации V_m по формуле (8) по всем участкам измерений, расположенным на N элементах данной группы.

6.4.5 Определяется фактический класс бетона B_ϕ всей группы в количестве N элементов по формуле (13), где R_m принимают как среднюю прочность бетона всей группы элементов.

6.4.6 Проводят анализ соответствия фактического класса бетона B_ϕ всей группы элементов N и средней прочности бетона отдельных элементов $R_{\phi i}$ на выполнение следующих условий:

$$B_{\text{п}} \leq B_\phi \text{ и } R_{\phi i} \geq B_{\text{п}}. \quad (24)$$

6.4.7 В случае выполнения условий (24) группа из N элементов, образующих конструкцию «пролетное строение», «опора» и др., считается принятой в целом как группа.

6.4.8 Если техническим заданием на выполнение обследовательских работ установлено определение фактического класса бетона $B_{\phi i}$ каждого одиночного элемента в составе группы из N элементов, то значение $B_{\phi i}$ определяют по формуле (13) для каждого элемента с использованием значения V_m и $R_{\phi i}$ для данного элемента, а затем проводят сравнение значения $B_{\phi i}$ с проектным классом по неравенству $B_{\text{п}} \leq B_{\phi i}$.

6.4.9 Если фактический класс бетона одиночного элемента B_{fi} оказался меньше проектного класса B_n , то такой элемент рекомендуется подвергнуть следующей проверке прочности бетона путем испытаний на сжатие образцов, отобранных из элемента по ГОСТ 28570.

6.4.10 Примеры построения и расчета параметров градуировочной зависимости, а также определения прочности бетона, соответствующие схеме ОЗ, приведены в приложении Е ГОСТ 22690–2015, а также в [3].

6.4.11 При использовании методов прямого и разрушающего контроля прочности бетона работы по восстановлению целостности конструкций (прочности и долговечности) выполняются силами заказчика обследовательских работ.

Приложение А

Методы неразрушающего контроля прочности бетона*

Таблица А.1 – Косвенные методы неразрушающего контроля

Метод (прибор)	Описание	Плюсы	Минусы
Ударного импульса (ИПС, ОНИКС и др.)	Регистрация энергии, которая появляется при соударении бойка с поверхностью бетона	Компактность оборудования. Простота применения прибора измерения	Сравнительно невысокая точность измерений
Упругого отскока (молоток Шмидта или склерометр и др.)	Измерение величины обратного отскока бойка при его ударе о поверхность бетона	Простота и оперативность проведения измерений	Дополнительные требования к качеству поверхности участков измерений. Прибор требует частой поверки
Пластической деформации (молоток Кашкарова)	Измерение отпечатка, оставшегося на бетоне при ударе металлическим шариком. Метод устаревший, но часто используемый	Доступность оборудования. Простота измерений	Невысокая точность результатов. Трудоемкость обработки результатов измерений
Ультразвуковой метод («Бетон», «Пульсар», УКС и др.)	Измерение скорости колебаний ультразвука, проходящего сквозь бетон	Пониженная трудоемкость при проведении массовых измерений. Учет прочности глубоких слоев конструкции	Повышенные требования к качеству поверхности. Повышенные требования к квалификации оператора

* В основу настоящего приложения положены данные ООО НТЦ «Эксперт».

Таблица А.2 – Прямые методы неразрушающего контроля

Метод (прибор)	Описание	Плюсы	Минусы
Отрыв дисков	Регистрация усилия при разрушении бетона при отрыве от его поверхности металлического диска. В настоящее время применяется редко	Применяется для густоармированных конструкций	Большая трудоемкость, связанная с наклейкой дисков на поверхность бетона. Применение при относительно высоких температурах, необходимых для полимеризации клея
Отрыв со скалыванием (ПИБ, ПОС, ОНИКС и их модификации)	Определение усилия, которое требуется для локального разрушения бетона при вырыве из тела бетона стандартного анкера	Высокая точность. Не требует построения частных градуировочных зависимостей, как для косвенных методов. Наличие стандартных градуировочных зависимостей «усилие отрыва – прочность бетона», зафиксированных ГОСТ 22690. Применение в качестве самостоятельного метода определения прочности	Повышенная трудоемкость, связанная с установкой анкера. Локальное разрушение защитного слоя бетона, требующее ремонта. Невозможность использовать для густоармированных сооружений и сооружений с тонкими стенами
Скалывание ребра (ПОС 50 МГ4 «Сокол» и его модификации)	Определение усилия, которое требуется для скола бетона в углу конструкции. Метод применяется для определения прочности линейных сооружений: свай, стоек квадратного сечения, балок	Простота использования и пониженная по сравнению с методом отрыва со скалыванием трудоемкость. Отсутствие предварительной подготовки измерений. Не требует построения частных градуировочных зависимостей, как для косвенных методов	Неприменим: - при толщине защитного слоя бетона меньше 2 см или его существенном повреждении; - для плоских и цилиндрических конструкций

Приложение Б

Назначение обследовательской схемы определения прочности бетона

Таблица Б.1 – Основные типы обследований и обследовательские схемы «О»

№ п/п	Наименование и описание типов обследования по [1]	Обследова- тельская схема
1	<p><u>Периодическая диагностика эксплуатируемых мостовых сооружений</u></p> <p>Проводится через установленные промежутки времени (средняя периодичность – один раз в пять лет) в целях выявления их состояния, проверки соответствия сооружений установленным требованиям и внесения изменений в банк данных.</p> <p>Отчетная документация – технический паспорт мостового сооружения</p>	О1
2	<p><u>Первичная диагностика новых (вновь построенных) или после реконструкции сооружений перед вводом в эксплуатацию</u></p> <p>Проводится в целях установления соответствия сооружения утвержденному проекту и СП 46.13330 к качеству работ и внесения параметров нового сооружения в банк данных.</p> <p>Отчетная документация – первичный технический паспорт мостового сооружения</p>	О1
3	<p><u>Диагностика мостовых сооружений после проведения капитального ремонта</u></p> <p>Проводится в целях установления соответствия выполненных работ проекту и СП 46.13330 к качеству работ и внесения параметров отремонтированного сооружения в банке данных.</p> <p>Отчетная документация – технический паспорт мостового сооружения</p>	О1
4	<p><u>Диагностика мостовых сооружений после проведения ремонта</u></p> <p>Проводится в целях уточнения технического состояния сооружения после выполнения ремонтных работ, внесения этих уточнений в банк данных и корректировки технического паспорта.</p> <p>Отчетная документация – уточнения в техническом паспорте мостового сооружения</p>	О1

Продолжение таблицы Б.1

№ п/п	Наименование и описание типов обследования по [1]	Обсле- дова- тельская схема
5	<p><u>Периодическое обследование мостовых сооружений</u></p> <p>Проводится через установленные промежутки времени (средняя периодичность – один раз в 10 лет, а для деревянных мостов – один раз в пять лет). Мостовые сооружения, находящиеся в неудовлетворительном состоянии, до начала восстановительных работ необходимо обследовать ежегодно. Основными задачами регулярно осуществляемых периодических обследований эксплуатируемых мостовых сооружений являются оценка, контроль их состояния и проверка его соответствия установленным требованиям. Данный вид обследования может сопровождаться проведением полных или частичных испытаний.</p> <p>Отчетная документация – отчет о результатах обследования и технический паспорт мостового сооружения</p>	O1, O2*
6	<p><u>Первичное обследование новых (вновь построенных) или после реконструкции сооружений перед вводом в эксплуатацию</u></p> <p>Данный вид обследования применяется в основном для больших и внеклассных мостовых сооружений. Проводится в целях установления соответствия сооружения утвержденному проекту и СП 46.13330 к качеству работ. По требованию проектной организации или территориального органа управления сооружение может быть испытано, как это предусмотрено СП 79.13330.</p> <p>Отчетная документация – отчет о результатах обследования и первичный технический паспорт мостового сооружения</p>	O1, O2*
7	<p><u>Обследование мостовых сооружений после проведения ремонта, капитального ремонта</u></p> <p>Данный вид обследования применяется в основном для больших и внеклассных мостовых сооружений и может сопровождаться проведением испытаний.</p> <p>Отчетная документация – отчет о результатах обследования и дополненный или исправленный технический паспорт мостового сооружения</p>	O1, O2*

Окончание таблицы Б.1

№ п/п	Наименование и описание типов обследования по [1]	Обсле- дова- тельская схема
8	<p><u>Предпроектное обследование</u></p> <p>Обязательный вид обследования перед составлением технического задания на проектирование ремонта, капитального ремонта или реконструкции мостового сооружения, проводимый в целях определения ремонтпригодности его элементов и сбора необходимой информации для разработки проекта, принятия правильной стратегии по модернизации сооружения. Данный вид обследования может сопровождаться проведением полных или частичных испытаний.</p> <p>При необходимости, по техническому заданию заказчика, в процессе предпроектного обследования могут выполняться геологические изыскания, подводные обследования, углубленное исследование конструкционных материалов и другие узкоспециализированные работы, стоимость которых определяется отдельными расчетами или договорной ценой отдельных контрактов.</p> <p>Отчетная документация – отчет о предпроектном обследовании</p>	O1, O2*
9	<p><u>Специальные внеплановые обследования, неполные обследования</u></p> <p>Необходимость проведения, цели, задачи внеплановых и неполных обследований устанавливаются индивидуально для каждого конкретного сооружения для решения специальных вопросов, например в целях уточнения расчетной грузоподъемности, обследования аварийных конструкций, обследования при организации пропуска сверхнормативных нагрузок по сооружению для определения возможности и условий их проезда и выявления повреждений после их прохода и т. д. Отчетная документация – заключение либо отчет о результатах обследования</p>	O1, O2*, O3*
<p>* Определение прочности бетона с применением метода отрыва со скалыванием по схемам O2, O3 следует проводить с учетом фактической трудоемкости, объема измерений, а также затрат на использование автомобильных подъемников (вышек) и проведение последующих ремонтных работ заказчиком ([1, раздел 5]).</p>		

Приложение В

Пример применения обследовательской схемы по определению прочности бетона

В.1 Обследовательская схема О1

В.1.1 Исходные данные

Автомобильный мост введен в эксплуатацию в 1997 году. Сооружение рассчитано под временные нормативные нагрузки А11 и НК-80.

Статическая система пролетного строения – балочная, температурно-неразрезная. Разбивка на пролеты: 12,0 + 18,0 + 12,0 м. Полная длина пролетного строения – 42,0 м. Габарит проезжей части по ширине – Г-12,6 м.

Пролетное строение выполнено по типовому проекту [12]. В каждом пролете моста в поперечном сечении установлены девять железобетонных ребристых балок с каркасной арматурой. Высота балок – 0,9 м и 1,05 м, толщина плиты проезжей части – 0,15 м, толщина ребра – 0,16 м.

Проектный класс бетона – В25.

Задача – определить прочность бетона пролетного строения железобетонного моста в процессе обследований с использованием косвенного метода контроля прочности бетона.

В.1.2 Проверка значения общего коэффициента совпадения применяемого прибора за предыдущие 12 мес до начала обследований

За последние 12 мес, предшествующие настоящим обследованиям, применяемый склерометр и его универсальная градуировочная зависимость использовались совместно с прибором, реализующим прямой метод определения прочности бетона «отрыв со скалыванием», шесть раз.

Значения частных коэффициентов совпадения $K_{спi}$ на i -х участках ранее обследованных конструкций, полученных с использованием универсальной градуировочной зависимости склерометра, приведены в таблице В.1.

Таблица В.1 – Частные коэффициенты совпадения за предшествующие обследованиям 12 мес

Дата исследований	Сентябрь 2018 г.			Май 2019 г.		
Значение коэффициента совпадения $K_{сп}$	0,99	1,01	1,10	1,24	1,26	1,03

Для использования данного склерометра с его градуировочной зависимостью определяют значение общего коэффициента совпадения $K_{сп}$ по формуле (4):

$$K_{сп} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{спi}}{n} = \frac{0,99 + 1,01 + 1,10 + 1,24 + 1,26 + 1,03}{6} = 1,11. \quad (B.1)$$

Определяют коэффициент вариации $V_{кв}$ общего коэффициента совпадения $K_{сп}$ по формуле (14):

$$V_{кв} = \frac{W_m}{\alpha \cdot K_{сп}} \cdot 100 = \frac{1,26 - 0,99}{2,50 \times 1,11} \cdot 100 = 9,7\%. \quad (B.2)$$

Полученный коэффициент вариации $V_{кв}$ общего коэффициента совпадения $K_{сп}$ сравнивают с максимально допустимым его значением $V_{гmax}$, приведенным в таблице 6.3:

$$V_{кв} = 9,8 > V_{гmax} = 6,5. \quad (B.3)$$

Значение $V_{кв}$ не удовлетворяет неравенству (15).

Таким образом, значение общего коэффициента совпадения $K_{сп}$ не удовлетворяет требованиям 6.2.5 и не может быть использовано при расчете прочности бетона по схеме О1 в данных обследованиях.

Проводят отбраковку «в запас» двух максимальных значений $K_{сп}$, а также дополнительно в лабораторных условиях проводят испытания прочности бетона на двух сериях образцов в июне 2019 г.

Полученные значения частных коэффициентов совпадения $K_{спi}$ после отбраковки и дополнительных испытаний прочности бетона приведены в таблице В.2.

Таблица В.2 – Расчетные значения частных коэффициентов $K_{спi}$ за предшествующие обследованиям 12 мес

Дата исследований	Сентябрь 2018 г.			Май 2019 г.	Июнь 2019 г.	
Значение коэффициента совпадения K_{ci}	0,99	1,01	1,10	1,03	0,95	1,08

Определяют новое значение общего коэффициента совпадения $K_{сп}$ за предшествующие данным обследованиям 12 мес по формуле (4):

$$K_{сп} = \frac{\sum_{n=1}^n K_{сп}}{n} = \frac{0,99 + 1,01 + 1,10 + 1,03 + 0,95 + 1,08}{6} = 1,03. \quad (B.4)$$

Определяют коэффициент вариации $V_{кc}$ нового общего коэффициента совпадения $K_{сп}$ по формуле (14) и сравнивают с максимально допустимым значением V_{rmax} .

$$V_{кc} = \frac{W_m}{\alpha \cdot K_c} \cdot 100 = \frac{1,10 - 0,99}{2,50 \cdot 1,03} \cdot 100 = 4,3\%, \quad (B.5)$$

$$V_{кc} = 4,3\% < V_{rmax} = 6,5\%. \quad (B.6)$$

Требование по неравенству (15) выполнено.

Таким образом, было установлено, что универсальная градуировочная зависимость применяемого прибора, реализующего косвенный метод, обеспечивает при проведении последующих обследований необходимую для схемы О1 точность измерений с общим коэффициентом совпадения $K_{сп} = 1,03$.

В.1.3 Объединение элементов

Провели виртуальное объединение отдельных элементов пролетного строения, которыми являются каркасные балки, в единую конструкцию – «пролетное строение».

В.1.4 Назначение участков измерений. Проведение измерений

Принимают шесть участков измерений прочности бетона. Участки измерений располагаются на одной средней и двух крайних балках пролетного строения, в местах опирания балок на устои моста, по три участка со стороны каждого устоя.

Склерометром проводят единичные измерения прочности бетона на выделенных шести участках измерений.

Результаты измерений и средние значения прочности бетона приведены в таблице В.3

Таблица В.3 – Результаты измерения прочности бетона склерометром

№ участка измерений	1	2	3	4	5	6
Единичные измерения прочности бетона, МПа	32,7	33,9	34,4	35,8	32,8	39,8
	38,7	38,0	38,1	38,7	30,7	36,5
	37,8	33,0	38,4	39,7	32,7	39,9
	34,3	37,2	38,1	39,2	37,2	31,9
	35,1	36,4	37,7	38,5	38,5	35,2
	35,3	30,4	33,7	34,4	32,5	39,0
	40,0	37,4	38,9	41,6	36,2	36,4
	38,0	33,9	39,2	42,0	39,0	39,4
	41,5	34,0	36,9	35,1	32,5	32,6
	41,7	30,4	32,6	34,8	37,9	35,1
	35,4	34,6	39,0	34,2	38,2	39,5
34,1	37,4	31,0	39,5	37,9	32,0	
Средняя прочность бетона на участке измерений R_i после отбраковки, МПа	36,5	35,6	37,4	37,0	35,9	37,9
Средняя прочность бетона конструкции «пролетное строение», МПа	36,7					
Примечание – Отбракованные значения выделены полужирным курсивом.						

Проводят отбраковку единичных измерений прочности бетона на каждом участке измерений в соответствии с требованиями 5.3.5.

Проводят расчет средней прочности бетона R_i на каждом участке измерений с использованием девяти расчетных единичных измерений (см. таблицу В.3).

В.1.5 Определение ориентировочного значения фактической прочности бетона $R_{ор.ф}$ пролетного строения

Расчет ориентировочного значения фактической средней прочности бетона R_m пролетного строения проводят по формуле (16) с учетом значения полученного общего коэффициента совпадения $K_{сп}$ по формуле (В.4):

$$R_{\phi} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \times K_{сп} = \frac{36,5 + 35,6 + 37,4 + 37,0 + 35,9 + 37,9}{6} \cdot 1,03 = 37,8 \text{ МПа.} \quad (\text{В.7})$$

В.1.6 Класс бетона пролетного строения по схеме О1 определяется по формуле (17):

$$B_{\phi} = 0,8R_m = 0,8 \cdot 37,8 = 30,2 \text{ МПа.} \quad (\text{В.8})$$

В.1.7 Проводят сравнение полученного при обследовании пролетного строения моста значения фактического класса бетона B_{ϕ} с проектным классом бетона $B_{п}$ по условию (18):

$$B_{п} = 25 \text{ МПа} < B_{\phi} = 30,2 \text{ МПа.} \quad (\text{В.9})$$

Таким образом, фактическая прочность бетона пролетного строения, обследованного по схеме О1, была зафиксирована не ниже установленной в проекте.

В.2 Обследовательская схема О2

В.2.1 Исходные данные

Автодорожный мост введен в эксплуатацию в 1997 г. Сооружение рассчитано под временные нормативные нагрузки А11 и НК-80.

Статическая система пролетного строения – балочная, температурно-неразрезная. Разбивка на пролеты: 12,0 + 18,0 + 12,0 м. Полная длина пролетного строения – 42,0 м.

Пролетное строение выполнено по типовому проекту [13]. В каждом пролете моста в поперечном сечении установлены девять железобетонных ребристых балок с каркасной арматурой. Высота балок – 0,9 и 1,05 м, толщина плиты проезжей части – 0,15 м, толщина ребра – 0,16 м.

Проектный класс бетона – В25.

Задача – определить прочность бетона пролетного строения железобетонного моста в процессе обследований с использованием прямого метода отрыва со скалыванием и косвенного метода упругого отскока с использованием склерометра.

В.2.2 Объединение элементов

Проведено виртуальное объединение отдельных элементов пролетного строения, которыми являются каркасные балки, в единую конструкцию – «пролетное строение».

В.2.3 Назначение участков измерений. Проведение измерений

Приняли шесть участков измерений прочности бетона склерометром. Из них на четырех участках провели измерение прочности бетона методом отрыва со скалыванием.

Участки измерений склерометром были назначены на стенках одной средней и двух крайних балках пролетного строения, в местах опирания балок на устои моста, по три участка со стороны каждого устоя.

Участки измерений прочности бетона методом отрыва со скалыванием назначили в местах измерения прочности бетона склерометром на стенках двух крайних балок в зонах опирания балок на обоих устоях.

Провели единичные измерения прочности бетона на назначенных участках измерений:

- методом упругого отскока на шести участках с учетом получения девяти расчетных значений единичных измерений на каждом участке измерений;

- методом отрыва со скалыванием на четырех участках при двух отрывах на одном участке измерений (глубина заделки анкера прибора 35 мм).

Результаты измерений значений прочности бетона методом упругого отскока и отрыва со скалыванием приведены в таблице В.4.

Таблица В.4 – Результаты измерения прочности бетона

№ участков измерений	1	2	3	4	5	6	
Косвенный метод упругого отскока							
Единичные измерения прочности бетона, МПа		32,7	33,9	34,4	35,8	32,8	39,8
		38,7	38,0	38,1	38,7	30,7	36,5
		37,8	33,0	38,4	39,7	32,7	39,9
		34,3	37,2	38,1	39,2	37,2	<i>31,9</i>
		35,1	36,4	37,7	38,5	38,5	35,2
		35,3	30,4	33,7	34,4	32,5	39,0
		40,0	37,4	38,9	41,6	36,2	36,4
Единичные измерения прочности бетона, МПа		38,0	33,9	39,2	42,0	39,0	39,4
		41,5	34,0	36,9	35,1	32,5	32,6
		41,7	30,4	32,6	34,8	37,9	35,1
		35,4	34,6	39,0	34,2	38,2	39,5
		34,1	37,4	31,0	39,5	37,9	32,0
Средняя прочность бетона на участке измерений после отбраковки, МПа	36,5	35,6	37,4	37,0	35,9	37,9	
Средняя прочность бетона конструкции типа «пролетное строение» R_m , МПа	36,7						
Прямой метод отрыва со скалыванием							
Единичные измерения прочности бетона, МПа		31,2	33,6	32,8	—	—	38,2
		35,4	39,8	29,2	—	—	46,7
Средняя прочность бетона на участке измерений, МПа	33,2	36,7	31,0	—	—	42,4	
Коэффициент совпадения (частный) K_{ci}	0,91	0,97	0,83	—	—	1,12	
Общий коэффициент совпадения K_c	0,96 (после отбраковки 0,90)						
Примечание – Отбракованные значения выделены полужирным курсивом.							

В.2.4 Проверка допустимости использования результатов измерений прочности бетона косвенным методом. Отбраковка результатов измерений

Провели первичную отбраковку единичных измерений прочности бетона на каждом участке измерений в соответствии с требованиями 5.3.5.

Провели проверку и вторичную отбраковку единичных значений прочности бетона по допустимому максимальному размаху величин единичных значений R_i по участкам измерений (см. таблицу В.4).

С этой целью рассчитывают коэффициент вариации $V_{\text{кв}}$ единичных значений прочности бетона на участках измерений по формуле (7):

$$V_{\text{кв}} = \frac{W_m}{\alpha \cdot R_m} \cdot 100 = \frac{37,9 - 35,6}{2,5 \cdot 36,7} \cdot 100 = 2,5 \%. \quad (\text{В.10})$$

Полученное значение $V_{\text{кв}}$ сравнивают с максимально допустимым $V_{\text{гмакс}}$ по таблице 6.2:

$$V_{\text{кв}} = 2,5 \% < V_{\text{гмакс}} = 6,5 \%. \quad (\text{В.11})$$

Максимальный размах единичных значений прочности бетона находится в допустимом интервале, и результаты измерений могут быть использованы для расчета класса бетона пролетного строения.

В.2.5 Определение коэффициентов совпадения результатов измерений косвенным и прямым методами. Отбраковка значений

По результатам единичных измерений прочности бетона косвенным методом и методом отрыва со скалывания (см. таблицу В.2) рассчитывают частные коэффициенты совпадения K_{ci} по формуле (5).

Значения частных коэффициентов совпадения K_{ci} приведены в таблице В.4.

Полученные значения частных коэффициентов совпадения K_{ci} должны удовлетворять требованиям Ж.2 приложения Ж ГОСТ 22690–2015:

- находиться в интервале значений $0,7 \leq K_{ci} \leq 1,3$;

- удовлетворять условию $0,85 \leq K_{сп}/K_c \leq 1,15$.

Проверка соблюдения изложенных выше требований, показала, что значение частного коэффициента совпадения K_{ci} , равное 1,12 (см. таблицу В.4), должно быть отбраковано.

Расчетное значение общего коэффициента совпадения K_c с учетом отбраковки было определено по формуле

$$K_c = \frac{\sum_{i=1}^n K_{ci}}{n} = \frac{0,91 + 0,83 + 0,97}{3} = 0,90. \quad (\text{В.12})$$

В.2.6 Расчет класса бетона по прочности пролетного строения

Провели расчет средней прочности бетона на каждом участке измерений косвенным методом с использованием девяти расчетных единичных измерений (см. таблицу В.4).

Определили фактическую прочность бетона пролетного строения по всем участкам измерений с учетом общего расчетного коэффициента совпадения K_c по формуле

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \cdot K_c = \frac{36,5 + 35,6 + 37,4 + 37,0 + 35,9 + 37,9}{6} \cdot 0,90 = 33,2 \text{ МПа}. \quad (\text{В.13})$$

Фактический класс бетона на сжатие B_ϕ определили по формуле

$$B_\phi = 0,8R_m = 0,8 \cdot 33,2 = 26,5 \text{ МПа}. \quad (\text{В.14})$$

Провели сравнение фактического класса бетона на сжатие, полученного в процессе обследований, с проектным классом:

$$B_n = 25,0 \text{ МПа} \leq B_\phi = 26,5 \text{ МПа}. \quad (\text{В.15})$$

Сравнением было установлено, что фактический класс бетона обследуемого пролетного строения превышает на 6 % класс бетона, установленный проектом класса.

Приложение Г

Комментарии к положениям настоящего методического пособия

Таблица Г.1 – Комментарии к положениям настоящего методического пособия

№ пункта	Комментарии, обоснование
4.2, 4.4	«...число и расположение участков должны приниматься по программе проведения обследования», пункт 7.1.1 ГОСТ 22690–2015
5.1.2	<p>Схема О1 предусматривает проведение оценки прочности бетона без использования прямых методов контроля прочности бетона.</p> <p>Такая ориентировочная оценка допускается ГОСТ 22690 и [1] и является необходимой для большинства обследуемых мостов в связи с:</p> <ul style="list-style-type: none">- повышенной трудо- и энергоемкостью работ при использовании метода отрыва со скалыванием при проведении обследований;- необходимостью последующего оперативного ремонта разрушенного защитного слоя бетона, для качественного выполнения которого требуются дополнительные затраты, кратковременное закрытие движения по эксплуатируемому мосту, а также проведение ремонтных работ в теплое время года. <p>Возможная погрешность в процессе обследований при определении класса бетона железобетонных мостовых конструкций с применением только косвенного метода невелика и несущественна, поскольку:</p> <ul style="list-style-type: none">- требования к бетонам мостовых конструкций, особенно заводского изготовления, предопределяют узкий диапазон отклонений фактической прочности бетона конструкции от проектного класса и, как правило, в большую сторону;- коэффициент вариации прочности бетона железобетонных изделий, в т. ч. мостовых, который контролируется на предприятии при сдаче конструкции после изготовления, не должен превышать 8 % (таблица 3 ГОСТ 10180–2012);- с увеличением времени эксплуатации прочность бетона мостовых сооружений вырастает в 1,2–1,3 раза по сравнению с первоначальной прочностью (таблица 7.8 СП 35.13330.2011).

№ пункта	Комментарии, обоснование
	<p>Максимальная погрешность измерений прочности бетона косвенным методом по отношению к прямому методу может быть оценена коэффициентом совпадения K_c, расчетные значения которого допускают отклонения $\pm 30\%$ измеряемой прочности от фактической (Ж.2 приложения Ж ГОСТ 22690–2015).</p> <p>В железобетонных пролетных строениях мостов, работающих на изгиб, такая погрешность существенно не влияет на показатель несущей способности конструктивного элемента.</p> <p>Это положение было неоднократно подтверждено конструкторскими расчетами грузоподъемности типовых балок ребристых пролетных строений.</p> <p>Ниже приведен один из примеров такого расчета.</p> <p><u>Пример</u></p> <p>Необходимо провести оценку величины предельного изгибающего момента в среднем сечении балки длиной 12 м, изготовленной по типовому проекту [13], в зависимости от прочности бетона балки:</p> <div data-bbox="558 1030 1053 1288" data-label="Diagram"> </div> <p>Балки армированы горячекатаной арматурой периодического профиля диаметром 32 мм в количестве восьми стержней и диаметром 14 мм в количестве двух стержней с параметрами: $R_p = 265$ МПа, $E = 206000$ МПа.</p> <p>Площадь рабочей арматуры $A_{ст} = 67,38$ см².</p> <p>Центр тяжести арматуры:</p> $y_{ц.т.а} = \frac{2 \cdot 8,0384 \cdot 3,4 + 2 \cdot 8,0384 \cdot 6,8 + 2 \cdot 8,0384 \cdot 10,2 + 2 \cdot 1,5386 \cdot 13,6}{67,38} + 3,4 = 8,89 \text{ см.}$ <p>Принимают класс бетона балки по прочности на сжатие равным В25.</p> <p>Согласно СП 35.13330 прочность бетона на сжатие при изгибе $R_6 = 13,0$ МПа (132,6 кгс/см²).</p> <p>Площадь сжатой зоны бетона:</p> $A_6 = \frac{A_{ст} \cdot R_{ст}}{R_6} = \frac{67,38 \cdot 2700}{132,6} = 1372,0 \text{ см}^2$

№ пункта	Комментарии, обоснование
	<p>Высота сжатой зоны бетона:</p> $h_6 = \frac{A_6}{b} = \frac{1372,0}{130} = 10,6 \text{ см.}$ <p>Предельный изгибающий момент в среднем сечении балки:</p> $M_{\text{пред}} = R_6 A_6 (h - u_{\text{ц.т.а}} - 0,5h_6) = 132,6 \cdot 1372,0 \cdot (90 - 8,88 - 5,30) = 137,9 \text{ тм.}$ <p>Принимают класс бетона балки по прочности на сжатие равным В35.</p> <p>Согласно СП 35.13330 прочность бетона на сжатие при изгибе $R_6 = 17,5$ МПа (178,5 кгс/см²).</p> <p>Площадь сжатой зоны бетона:</p> $A_6 = \frac{A_{\text{ст}} \cdot R_{\text{ст}}}{R_6} = \frac{67,38 \cdot 2700}{178,5} = 1019,2 \text{ см}^2.$ <p>Высота сжатой зоны бетона:</p> $h_6 = \frac{A_6}{b} = \frac{1019,2}{130} = 7,8 \text{ см.}$ <p>Предельный изгибающий момент в среднем сечении балки:</p> $M_{\text{пред}} = R_6 A_6 (h - u_{\text{ц.т.а}} - 0,5h_6) = 178,2 \cdot 1019,2 \cdot (90 - 8,88 - 3,9) = 140,2 \text{ тм.}$ <p>Таким образом, маловероятная предельная погрешность в измерении прочности бетона косвенными методами практически не сказывается на значении несущей способности изгибаемого железобетонного элемента моста (в данном примере – 1,6 % проектного класса В35).</p> <p>Кроме того, следует учитывать, что такую погрешность с запасом «перекрывают» фактический рост прочности бетона во времени на 20 % – 30 % и коэффициент надежности по материалу, равный 1,3 для первого предельного состояния конструкции по СП 35.13330.</p>
5.2.1	<p>Находящиеся в эксплуатации элементы несущих конструкций моста (пролетное строение, опоры, фундаменты и т. д.) объединяются по функциональному признаку и рассматриваются как единая конструкция, поскольку такие элементы изготавливают из бетона одного класса по прочности на сжатие и формируют по одной технологии (одинаковые условия укладки, уплотнения). Аналогичные указания приведены в пункте 8.1.3 ГОСТ 18105–2018</p>

№ пункта	Комментарии, обоснование
5.2.3	Для конструкций, находящихся в эксплуатации более 2 мес, допускается использовать (строить) единую градуировочную зависимость – пункт 6.1.3 ГОСТ 22690–2015, пункт 8.2.3 ГОСТ 18105–2018
5.3.1	Соответствует основным положениям пункта 7.1.1 ГОСТ 22690–2015, пункта 4.1.3 ГОСТ 10180–2012, [2, пункт 8.3.4]
6.1	Аналогично разделу 5 ГОСТ 18105–2018
6.1.9	В соответствии с пунктом 5.3 ГОСТ 18105–2018
6.2.1	Продолжительность периода использования коэффициентов K_c соответствует периодичности аттестации прибора измерений
6.2.4	Соответствует по существу указаниям пунктов 5.2, 5.4 ГОСТ 18105–2018
6.2.5	Соответствует по существу указаниям пунктов 5.2, 5.4, 5.5 ГОСТ 18105–2018
6.2.10	Формула (19) получена путем подстановки в формулу (5) ГОСТ 18105–2018 максимально допустимых для градуировочной зависимости значений $S_{\text{ост}}/R_m = 0,15$ и $r = 0,7$
6.3.2	Соответствует указаниям пунктов 5.2, 5.5 ГОСТ 18105–2018
6.3.3	С учетом пункта 5.2 ГОСТ 18105–2018
6.3.4	С учетом условий Ж.2 приложения Ж ГОСТ 22690–2015
6.3.7	С учетом указаний Ж.1 приложения Ж ГОСТ 22690–2015

Библиография

- [1] ОДМ 218.4.001–2008 Методические рекомендации по организации обследования и испытания мостовых сооружений на автомобильных дорогах
- [2] СП 13-102-2003 Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений
- [3] Методика статистической оценки прочности бетона в железобетонных конструкциях: методическое пособие / НИИЖБ им. А.А. Гвоздева. – М.: ФАУ ФЦС, 2017. – 148 с.
- [4] Васильев А.И., Евланов С.Ф., Бейвель А.С. Контроль прочности бетона при обследованиях мостовых конструкций // Транспортное строительство. – 2017. – № 5. – С. 14–16
- [5] Енютин Ю.А. Контроль прочности бетона: взгляд со стройплощадки. Транспортное строительство. – 2018. – № 1. – С. 4–7
- [6] Гуца Ю.П., Бруссер М.И., Краковский М.Б., Серых Р.Л., Скубко В.М. О переходе от марок к классам бетона по прочности // Бетон и железобетон. – 1985. – № 10. – С.39 – 40
- [7] Гуца Ю.П., Бруссер М.И., Краковский М.Б. и др. Стандарт на правила контроля прочности бетона // Бетон и железобетон. – 1988. – № 2. – С.39 – 40
- [8] Гвоздев А.А., Краковский М.Б., Бруссер М.И., Игошин В.Л., Дорф В.А. Связь статистического контроля прочности бетона с надежностью железобетонных конструкций. – Бетон и железобетон. – 1985. – № 3– С. 37–38
- [9] Дерюгин Л.М. К вопросу оценки качества и прочности бетона // Бетон и железобетон. – 2014. – № 1. – С. 23–27
- [10] Улыбин А.В. О выборе методов контроля прочности бетона построенных сооружений // Magazine of Civil Engineering. – 2011. – № 4. – С.10 – 15
- [11] Руководство по ремонту бетонных и железобетонных конструкций транспортных сооружений с учетом обеспечения совместимости материалов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ОАО ЦНИИС, 2010. – 182 с.

[12] Серия 3.503.1-73 Пролетные строения без диафрагм длиной 12, 15 и 18 м из железобетонных балок таврового сечения с ненапрягаемой арматурой для автодорожных мостов

[13] Серия 3.503-14 Сборные железобетонные пролетные строения для автодорожных мостов

Ключевые слова: градуировочная зависимость, единичное измерение, класс бетона, конструкция, коэффициент совпадения, неразрушающие методы, обследование конструкций, прочность бетона, разрушающие методы, средне-квадратическое отклонение, участок измерений, элемент
