

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Строительные конструкции, основания и фундаменты»

П. Ю. ЭТИН

# ДИАГНОСТИКА И ИСПЫТАНИЯ МОСТОВ

Учебно-методическое пособие

*Одобрено научно-методической комиссией  
военно-транспортного факультета БелГУТа*

Гомель 2010

УДК 621.21/.8.001.4  
ББК 39.112  
Э90

Р е ц е н з е н т – директор филиала «Мостостроительное управление  
№ 4» РУП «Мостострой» *Д.В. Алампиев*

**Этин, П. Ю.**

Э90      Диагностика и испытания мостов : учеб.-метод. пособие /  
П. Ю. Этин ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос.  
ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 65 с.  
ISBN 978-985-468-772-8

Рассмотрены вопросы организации проведения работ по обследованию, испытанию и обкатке мостов и труб на автомобильных дорогах общего и необщего пользования, на железных дорогах, а также на улицах и дорогах в городах и населенных пунктах. Приведены характерные дефекты и повреждения конструкций мостов и труб.

Изложены основные требования к проведению обследований и испытаний мостов и труб в соответствии с ТКП 45-3.03-60-2009 [1].

Предназначено для курсантов специальности 1-95 01 13-01 «Управление подразделениями транспортных войск (восстановление и строительство путей сообщения)» специализации 1-95 01 13-01 02 «Восстановление и строительство искусственных сооружений».

**УДК 621.21/.8.001.4  
ББК 39.112**

**ISBN 978-985-468-772-8**

© Этин П.Ю., 2010  
© Оформление. УО "БелГУТ", 2010

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1 Общие положения.....	4
2 Обследования мостов и труб.....	6
2.1 Общие требования.....	6
2.2 Подготовка к проведению обследования.....	7
2.3 Общее обследование.....	9
2.4 Детальное (инструментальное) обследование.....	11
3 Испытания и обкатка мостов .....	15
3.1 Общие требования.....	15
3.2 Статические испытания.....	17
3.2.1 Классификация пролетных строений по грузоподъемности (по результатам статических испытаний).....	20
3.3 Динамические испытания.....	22
3.3.1 Оценка и анализ результатов испытаний, их практическая применимость.....	24
3.3.2 Определение периода и частоты вынужденных колебаний.....	25
3.3.3 Определение амплитуды колебаний.....	25
3.3.4 Экспериментальное определение частоты собственных колебаний.....	25
3.3.5 Определение динамического коэффициента.....	26
3.3.6 Обработка опытных данных.....	29
3.3.7 Определение категории мостов по грузоподъемности.....	35
3.4 Обкатка.....	36
4 Оценка технического состояния сооружений по результатам обследований и испытаний.....	37
5 Оформление результатов обследований и испытаний.....	38
6 Безопасность труда при выполнении работ по обследованиям и испытаниям мостов и труб.....	40
<b>Приложения</b>	
А Характерные дефекты и повреждения конструкций мостов и труб.....	44
Б Перечень рекомендуемых приборов и методика статистической обработки результатов инструментальных исследований прочности бетона.....	57
В Рекомендации по анализу и оценке результатов обследований и испытаний мостов.....	59
Список литературы.....	65

## **1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Обследования и испытания мостов и труб должны выполняться специализированными организациями в области мостостроения, оснащенными необходимой приборной базой и имеющими в своем составе квалифицированных и опытных специалистов.

Обследования технического состояния больших мостов проводятся не реже 1 раза в 5 лет, остальных мостов и труб – не реже 1 раза в 10 лет.

Обследования и испытания мостов и труб предназначены для выявления дефектов, оценки технического состояния сооружений и назначения режима их эксплуатации.

Обследования могут проводиться как самостоятельный вид работ (без проведения испытаний).

Испытания и обкатку сооружений допускается выполнять только после выполнения обследования и с учетом полученных результатов.

Для решения отдельных вопросов, возникающих при проведении обследований и испытаний, по предложению организации, выполняющей обследование, заказчик должен привлекать к совместной работе организации, осуществляющие специальные виды работ (водолазные станции, лаборатории и т. д.).

Привлеченные организации должны работать под общим методическим руководством организаций, выполняющих обследования, а полученные в результате проведенных работ данные должны учитываться при принятии решений о техническом состоянии сооружений.

Испытаниям при приемке в эксплуатацию, как правило, должны подвергаться мосты с опытными и впервые применяемыми конструкциями.

Испытания других вводимых в эксплуатацию мостов (имеющих большие пролеты, а также большую повторяемость основных несущих элементов) могут проводиться по решениям приемочных комиссий, по требованиям проектных и эксплуатационных организаций, а

также в связи с выполнением соответствующими организациями научно-исследовательских и опытных работ. Необходимость проведения испытаний в таких случаях должна быть обоснована.

Вводимые в эксплуатацию и не подвергаемые испытаниям железнодорожные мосты и мосты под пути метрополитена, а также автодорожные мосты под нагрузки АБ (автомобили особо большой грузоподъемности) должны быть обкатаны.

Испытания эксплуатируемых сооружений должны проводиться в случаях, когда решение вопросов, связанных с эксплуатацией сооружений, не может быть получено только расчетным путем по данным обследований.

Необходимость проведения испытаний эксплуатируемых мостов обосновывается организациями, осуществляющими обследование сооружения. Решение о проведении испытаний принимает организация, на балансе которой находится сооружение.

Подготовительные работы, связанные с проведением обследований и испытаний (устройство временных подмостей и смотровых приспособлений с выделением необходимых материалов и рабочей силы, предоставление испытательной нагрузки, регулирование движения по мосту и под мостом в период испытаний, заделка мест отбора проб, отрывка шурфов и др.), должны выполняться:

- на вводимых в эксплуатацию сооружениях – строительной организацией, возводившей объект;
- на эксплуатируемых сооружениях – организацией, на балансе которой находится объект.

При обследовании эксплуатируемых мостов работы должны выполняться при наличии технических средств организации дорожного движения в соответствии с ТКП [2].

Средства испытаний, измерений и контроля, применяемые при обследованиях и испытаниях мостов, должны быть подвергнуты своевременной поверке в установленном порядке и соответствовать ТНПА по метрологическому обеспечению.

Использование при обследованиях и испытаниях нестандартных приборов допускается, если по их применению имеются методические указания, утвержденные в установленном порядке.

При выполнении работ по обследованиям и испытаниям мостов следует руководствоваться требованиями охраны труда по ТКП 45-1.03-40 и ТКП 45-3.03-60-2009.

Обследования и испытания мостов и труб, как правило, следует проводить при благоприятных погодных условиях, когда имеются условия для осмотра всех частей сооружения, не нарушается работа устанавливаемых измерительных приборов, нет препятствий для безопасного передвижения испытательной нагрузки, при соблюдении правил и требований охраны труда.

Запрещается проведение испытаний при температуре наружного воздуха ниже минус 20 °С и обследований – при температуре воздуха ниже минус 30 °С.

При обследованиях и испытаниях не допускается выполнять работы на высоте при скорости ветра более 15 м/с, при гололедице, грозе или тумане, исключающем видимость в пределах фронта работ.

При обнаружении во время производства работ повреждений и дефектов, которые могут привести к резкому снижению грузоподъемности моста или обрушению конструкций, следует немедленно сообщить об этом эксплуатирующей организации и заказчику работ.

## **2 ОБСЛЕДОВАНИЯ МОСТОВ И ТРУБ**

### **2.1 Общие требования**

Основной задачей обследования вводимых в эксплуатацию мостов и труб (далее – сооружений) является установление соответствия сооружения утвержденному проекту и требованиям ТНПА к качеству работ и материалов.

Основными задачами обследования эксплуатируемых сооружений являются установление и оценка их технического состояния, проверка соответствия его требованиям ТНПА, а также установление режима дальнейшей эксплуатации сооружений.

Обследование сооружений следует выполнять, руководствуясь указаниями ТКП 45-3.03-60-2009 и на основании технического задания, выдаваемого заказчиком.

В техническом задании должны быть приведены объем и состав дополнительных работ, выполняемых при обследовании, не оговоренных в ТКП 45-3.03-60-2009.

Обследования эксплуатируемых сооружений могут проводиться для разработки проектов ремонта или реконструкции, при разработке маршрута пропуска тяжеловесных крупногабаритных транспортных средств (ТКТС) или сверхнормативных нагрузок (СНН), уточнении расчетной грузоподъемности сооружений и в других целях.

При обследовании мостов и труб следует применять систему нумерации и обозначения элементов сооружения, принятую в проекте. Эта система используется как в полевых, так и в отчетных документах по обследованию.

При отсутствии проектной документации нумерацию элементов сооружения в продольном направлении следует принимать по ходу роста километража дороги, в поперечном направлении – от верховой стороны к низовой (для мостов) и слева направо по ходу роста километража дороги (для путепроводов).

При отсутствии проектной документации для городских сооружений нумерацию элементов сооружений в продольном направлении следует принимать по ходу роста номеров зданий, в поперечном направлении – от верховой стороны к низовой (для мостов) и слева направо по росту нумерации зданий (для путепроводов).

Обследование сооружений проводится, как правило, в три связанных между собой этапа:

- подготовка к проведению обследования;
- общее обследование;
- детальное (инструментальное) обследование.

## **2.2 Подготовка к проведению обследования**

Подготовительные работы осуществляют с целью:

– ознакомления с объектом обследования, с планировочными и конструктивными решениями;

– сбора и анализа исполнительной и производственно-технической документации (комплект исполнительной документации; копии сертификатов соответствия на продукцию, подлежащую обязательной сертификации; копии технических свидетельств, паспорта и другие документы, удостоверяющие качество; акты освидетельствования скрытых работ и акты промежуточной приемки; журналы производства работ; журналы на специальные виды работ; протоколы и акты испытаний строительных материалов; журналы лабораторного контроля; карточки подбора состава цементобетона; материалы выполнявшихся ранее обследований, карточка и книга сооружения).

Представление необходимой технической документации осуществляется при обследованиях и испытаниях:

– сооружений, законченных строительством, ремонтом или реконструкцией, – генподрядной строительной организацией или, по ее поручению, субподрядной строительной организацией, осуществлявшей строительство (ремонт, реконструкцию) моста;

– эксплуатируемых сооружений – организацией, в ведении (на балансе) которой находится сооружение.

При ознакомлении с производственно-технической и исполнительной документацией при обследовании вводимых в эксплуатацию сооружений следует обращать внимание:

– на правильность оформления отступлений от утвержденного проекта;

– на соответствие физических, механических и химических характеристик примененных строительных материалов требованиям проекта и ТНПА;

– на наличие сертификатов соответствия на продукцию, подлежащую обязательной сертификации;

– на соответствие условий выполнения работ (погодные условия, температура воздуха, влажность и т. д.) требованиям проекта и ТНПА;

– на наличие и правильность оформления актов освидетельствования скрытых работ и актов промежуточной приемки согласно ТКП [3].

Состав производственно-технической и исполнительной документации эксплуатируемых мостов включает в себя карточку сооружения, книгу сооружения, материалы проведенных ранее обследований и испытаний, а также комплект исполнительной документации.

При ознакомлении с производственно-технической и исполнительной документацией при обследовании эксплуатируемых сооружений следует обращать внимание:

– на степень выполнения выданных ранее рекомендаций по поддержанию сооружения в исправном состоянии;

– выполнение работ по содержанию и текущему ремонту сооружения и длительных наблюдений по рекомендациям организаций, проводивших обследование.

В результате изучения и анализа производственно-технической и исполнительной документации устанавливают:

– тип и конструктивную схему сооружения;

– грузоподъемность сооружения (проектную и на момент обследования);



- габариты по ширине и по высоте;
- проектную организацию, главного инженера проекта (ГИПа), основные ТНПА на проектирование и год проектирования;
- строительную организацию, время строительства;
- сведения о проведенных ранее капитальных ремонтах и реконструкциях;
- сведения об авариях при строительстве и эксплуатации сооружения;
- сведения о проведенных ранее обследованиях и испытаниях;
- сведения о примененных конструкциях, геометрические размеры элементов и сооружения в целом;
- характеристики материалов, из которых выполнены конструкции;
- сертификаты и паспорта на примененные изделия и материалы;
- сведения о грунтах основания;
- сведения о пересекаемом препятствии;
- отступления от проекта и др.

На этапе подготовительных работ, при необходимости, составляют программу работ по обследованию, в которой указывают: цели и задачи обследования, перечень подлежащих детальному обследованию узлов, элементов; места и методы инструментальных исследований; места вскрытия конструкций и отбора проб материалов, исследований образцов в лабораторных условиях, перечень необходимых поверочных расчетов и др.

Необходимость разработки программы устанавливает заказчик по предложению организации, выполняющей обследования.

### **2.3 Общее обследование**

Общее обследование проводят для предварительной оценки технического состояния конструкций и сооружения по внешним признакам. При этом осуществляют сплошной осмотр конструкций и выявление дефектов и повреждений по внешним признакам с применением измерительных инструментов и приборов (бинокли, фотоаппараты, рулетки, штангенциркули, щупы, микроскопы и пр.).

При общем обследовании выявляют и фиксируют видимые дефекты и повреждения, производят контрольные обмеры, делают описания, зарисовки, фотографии дефектных участков, составляют схемы и ведомости дефектов и повреждений с фиксацией их мест и характера.

Проверяют наличие характерных деформаций сооружений и отдельных строительных конструкций (прогибы, крены, выгибы, перекосы, разломы и т. д.).

При осмотрах следует фиксировать места, где вследствие неизбежного скопления грязи, воды, снега, солевых стоков, льда возможно интенсивное развитие различных неблагоприятных явлений (коррозия металла, гниение древесины, размораживание бетона и др.).

В полевых документах при обследовании должны быть указаны: дата проведения обследования, наименование сооружения и осматриваемого элемента, данные о погоде на момент выполнения работ и возможная причина возникновения выявленного дефекта.

Полевые записи подписывает лицо, выполнявшее общее обследование.

При общем обследовании выявленные дефекты классифицируются по их влиянию на безопасную эксплуатацию сооружения:

- влияющие на грузоподъемность моста;
- влияющие на безопасность движения транспортных средств и пешеходов;
- влияющие на долговечность сооружения и его элементов.

Результатом проведения общего обследования являются:

- схемы и ведомости дефектов и повреждений с фиксацией их мест и характера;
- описания, фотографии дефектных участков;
- результаты проверки наличия характерных деформаций сооружения или его элементов;
- назначение контрольных сечений и параметров для мониторинга в процессе эксплуатации (ширина раскрытия трещин, прогибы, смещения и др.);
- уточненная конструктивная схема сооружения;
- уточненная схема мест вскрытий, промеров, зондирования, отбора проб и т. п.;
- оценка влияния на работу моста или трубы сооружений, расположенных в непосредственной близости (водохранилищ, гидротехнических сооружений, подпора больших водотоков и т. п.).

Характерные дефекты и повреждения конструкций мостов и труб приведены в приложении А.

## 2.4 Детальное (инструментальное) обследование

Основной задачей детального обследования является уточнение данных, полученных в результате общего обследования, и сбор необходимых для расчета грузоподъемности исходных данных. Детальное обследование включает:

- работы по обмеру сооружения и определению размеров поперечных сечений, стыков и креплений для оценки соответствия фактических геометрических характеристик сооружения (с учетом установленных допусков) характеристикам, указанным в производственно-технической документации;

- работы по инженерно-геологическим изысканиям (при необходимости);

- инструментальное определение параметров дефектов и повреждений;

- определение фактических характеристик материалов основных несущих конструкций и элементов сооружений;

- определение расчетных усилий в конструкциях от действия эксплуатационных нагрузок;

- расчет грузоподъемности сооружения с учетом данных, полученных при детальном обследовании;

- анализ причин появления дефектов и повреждений, разработка рекомендаций по их устранению;

- составление итогового документа (технического заключения, отчета) с выводами по результатам обследования и рекомендациями по режиму эксплуатации сооружения.

Объем работ по детальному обследованию определяет руководитель работ по обследованию сооружения. Сведений, полученных при детальном обследовании, должно быть достаточно для оценки технического состояния сооружения и назначения режима его эксплуатации.

Все инструменты и приборы, применяемые при детальных обследованиях, должны быть поверены в установленном порядке.

При установлении геометрических размеров сооружения, элементов и конструкций применяют линейки стальные по ГОСТ 427, штангенциркули по ГОСТ 166, рулетки измерительные по ГОСТ 7502, лазерные дальномеры, оптические и электронные теодолиты.

С помощью геодезических приборов (нивелиров, тахеометров и теодолитов оптических и электронных) при обследованиях выполняют съемки с целью:

– оценки условий движения по сооружениям (или под ними) транспортных средств и определения соответствия этих условий требованиям, установленным в ТНПА;

– выявления качества и точности монтажных работ (на вновь построенных сооружениях);

– проверки величин уклонов, предусмотренных проектом и ТНПА;

– точного геодезического закрепления положения отдельных частей и элементов сооружения для выявления при последующих обследованиях изменений (в том числе деформаций), возникающих в процессе эксплуатации сооружения.

С помощью геодезических инструментов следует устанавливать:

*а)* на железнодорожных мостах и на мостах под пути метрополитена:

– продольный профиль рельсового пути (по отдельным ниткам);

– план рельсового пути (с привязкой его к оси моста или к осям пролетных строений);

– продольные профили главных ферм (балок) пролетных строений (кроме пролетных строений малых мостов с ездой на балласте);

– план главных ферм (балок) пролетных строений при приемке мостов в эксплуатацию и в других случаях при обнаружении их смещения в плане;

– высотное расположение характерных частей опор моста (подферменников, ригелей, обрезов фундаментов и пр.);

*б)* на автодорожных и городских мостах:

– продольные профили проезжей или пешеходной части (на пешеходных мостах);

– поперечные профили проезжей или пешеходной части;

– продольные профили главных ферм (балок) пролетных строений;

– план главных ферм (балок) пролетных строений;

– высотное расположение характерных частей опор моста.

При проверке высоты подмостового габарита путепроводов и эстакад следует производить съемки продольных и поперечных профилей пересекаемых нижележащих дорог.

Инструментальные съемки следует производить по надежно закрепленным точкам или по долговременным маркам (в случае специальных длительных наблюдений) при благоприятных погодных условиях.

Высотные отметки, как правило, следует увязывать с постоянными геодезическими реперами.

В материалах по инструментальным съемкам необходимо указывать время проведения съемок, погодные условия, типы и точность применяемых геодезических инструментов, использованные реперы.

В необходимых случаях (например, при обнаружении просадок или наклонов опор, смещении пролетных строений, развитии трещин, возращании овальности круглых труб и др.) следует устанавливать специальные долговременные марки для ведения длительных наблюдений.

Виды наблюдений (измерений), а также их периодичность и применяемое при этом оборудование устанавливаются при обследовании и фиксируются в итоговом документе по материалам обследований, а также в книге сооружения.

Длительные наблюдения выполняются силами эксплуатирующей организации или могут поручаться заказчиком организации, выполнявшей обследование.

Контрольные измерения и геодезические съемки при обследовании водопропускных труб следует проводить в соответствии с указаниями, приведенными в приложении А.

Для измерения продольных и поперечных уклонов мостового полотна и подходов допускается применять рейку для измерения уклонов (механическую или электронную).

Для определения прочностных характеристик бетона обследуемых конструкций следует применять механические методы неразрушающего контроля по ГОСТ 22690, ультразвуковые методы по ГОСТ 17624, методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкций, по ГОСТ 28570. Перечень рекомендуемых приборов и методика статистической обработки результатов инструментальных исследований приведены в приложении Б.

Для определения местоположения арматуры в обследуемой конструкции и фактического значения толщины защитного слоя бетона следует использовать приборы, действие которых основано на магнитном методе определения местоположения арматуры и толщины защитного слоя бетона по ГОСТ 22904: детекторы, металлоискатели и т. п.

Для оценки морозостойкости и водонепроницаемости бетона при обследованиях допускается применять приборы, действие которых основано на измерении вакуумметрического давления, создаваемого внутри камеры типа «АГАМА-2», ВВ-2 и т. п.

Влажность бетона и древесины конструкций следует определять по ГОСТ 21718, используя влагомеры, действие которых основано на диэлькометрическом методе, типа МГ-4, ВИМС-1, ВСМ.

Для определения размеров конструкции и положения фундаментов мостов, плотности и влажности грунтов основания сооружения следует использовать георадары, действие которых основано на получении импульсов электромагнитных волн и регистрации сигналов, отраженных от границ раздела слоев зондируемой среды, имеющих различие по диэлектрической проницаемости, типа «Зонд-10», «Зонд-12», «Око».

Толщину покрытий на металлических поверхностях мостовых конструкций следует определять по ГОСТ 12997 с использованием толщиномеров.

Для съемки профиля русла и промеров глубин в зоне мостового перехода, выявления размывов и наносов следует использовать эхолоты с глубиной эхолокации не менее 25 м.

Для обнаружения и оценки глубины трещин в стальных конструкциях сооружений следует использовать ультразвуковые дефектоскопы, обеспечивающие уровень чувствительности по ГОСТ 21105.

Для определения ширины раскрытия трещин в конструкциях следует использовать микроскопы отсчетного типа (типа микроскопа Бриннеля).

Оценку вероятности коррозии арматуры рекомендуется выполнять, применяя метод измерения разности электрических потенциалов, производя, при необходимости, контрольные вскрытия, или по СТБ 1168.

Определение степени карбонизации бетона при обследовании следует производить согласно СТБ 1481.

В полевых условиях для получения экспресс-информации о степени карбонизации защитного слоя бетона допускается применять оценочный метод измерения глубины карбонизации, который заключается в увлажнении свежего сухого бетонного скола поверхности индикаторной жидкостью (1%-ным спиртовым раствором фенолфталеина или тимолфталеина). Поверхность бетона, сохраняющего защитные свойства по отношению к арматуре, окрашивается в ярко-малиновый цвет, а поверхность прокарбонизированного бетона остается бесцветной. При применении этого метода в документации следует указывать среднюю измеренную глубину карбонизации и наибольшую единичную.

Физико-механические свойства стали мостовых конструкций определяют согласно ГОСТ 1497, а химического состава – согласно ГОСТ 19281.

## 3 ИСПЫТАНИЯ И ОБКАТКА МОСТОВ

### 3.1 Общие требования

Испытания сооружений следует проводить по программе испытаний, разработанной организацией, выполняющей обследования и испытания, и утвержденной руководителем организации, выполняющей испытания. Программа согласовывается с заказчиком, а при испытаниях, законченных строительством (капитальным ремонтом, реконструкцией) сооружений, – и проектной организацией.

В программе испытаний должны быть:

- указаны цели и задачи испытаний;
- определены виды испытаний (статической нагрузкой, динамической нагрузкой);
- определены характерные сечения, подлежащие инструментальному и визуальному контролю в процессе загрузки испытательными нагрузками;
- выполнен подбор испытательной нагрузки и разработаны схемы загрузки сооружения;
- разработаны смотровые приспособления на время испытаний;
- разработана схема размещения приборов, регистрирующих деформации и перемещения в характерных сечениях;
- определен порядок проведения испытаний и порядок обработки полученных результатов;
- даны общие указания по организации работ во время испытаний;
- приведены обязательства заказчика (предоставление взвешенной испытательной нагрузки, регулирование движения силами представителей ГАИ, дежурство спасательной лодки или катера, обеспечение безопасного доступа к контролируемым сечениям и т. д.);
- указаны требования по охране труда с привязкой к конкретным условиям производства работ по испытанию сооружения.

До начала испытаний или обкатки должно быть закончено обследование сооружения в объеме, позволяющем:

- установить возможность загрузки сооружения испытательной нагрузкой (отсутствие недоделок, снижающих несущую способность конструкций и грузоподъемность сооружения в целом; препятствий на проезде, въезде и выезде испытательной нагрузки и др.);
- зафиксировать состояние сооружения для возможности выявления изменений, произошедших в результате проведенных загрузок;

– разметить на мостовом полотне места установки и проезда испытательной нагрузки согласно программе испытаний;

– установить общий вес испытательной нагрузки и давление на каждую ось, произвести обмер испытательной нагрузки (базы, ширины колеи, следа колеса и т. д.);

– закрепить измерительные приборы в контрольных сечениях согласно программе и составить исполнительные схемы их расстановки с указанием базы измерения, типа, цены деления приборов.

Руководитель испытаний назначается приказом по организации, выполняющей испытания.

Перед испытанием руководителем испытаний должны быть разработаны и переданы заказчику мероприятия по устранению помех испытаниям, а также по обеспечению безопасности движения транспортных средств и пешеходов на участках дороги, примыкающей к мосту.

Если во время работ, связанных с проведением испытаний, движение на мосту полностью не прекращается, то должны быть предусмотрены меры по обеспечению безопасности транспортных средств в стесненных условиях и по перекрытию движения на период снятия показаний приборов.

Если на мосту имеется несколько одинаковых конструкций (пролетных строений, опор), испытания в полном объеме допускается проводить на одной из конструкций. Остальные конструкции могут подвергаться (выборочно) менее подробным испытаниям.

Параметры применяемых приборов (точность, пределы измерений, частотные характеристики и др.), способы их установки и используемые для этого приспособления должны позволять получать стабильные показания измеряемых величин с возможно меньшими погрешностями и искажениями.

При испытаниях следует защищать приборы от механических, климатических и других воздействий. Если при испытаниях нельзя устранить влияние изменения температуры воздуха на показания приборов, то это влияние, по возможности, следует учитывать расчетным путем при обработке показаний приборов.

В случаях, когда показания установленных измерительных приборов существенно превышают предполагаемые значения, а также при обнаружении неожиданных изменений в состоянии конструкций (например, при возникновении трещин и выпучивания в стальных элементах или соединениях, при появлении признаков дробления и выкалывания бетона в железобетонных элементах, при увеличении



прогибов без увеличения испытательной нагрузки и т. п.), по решению руководителя работ испытания должны быть прекращены, а испытательная нагрузка удалена за пределы испытываемого сооружения.

Дальнейшие испытания могут проводиться только после тщательного обследования состояния конструкций, выяснения причин возникших явлений и оценки их опасности.

### **3.2 Статические испытания**

Усилия, возникающие в любых элементах сооружения от испытательной нагрузки, должны быть не выше:

- при испытании сооружений, рассчитанных по предельным состояниям, – усилий от подвижной временной вертикальной нагрузки, принятой в проекте, при коэффициенте надежности по нагрузке (или коэффициенте перегрузки), равном единице, и полном динамическом коэффициенте;

- при испытании сооружений, рассчитанных по допускаемым напряжениям (по нормам, действовавшим до 1962 г.), – 120 % усилий от временной вертикальной нагрузки, принятой в проекте, с полным динамическим коэффициентом;

- при испытании сооружений, имеющих элементы с пониженной несущей способностью, и сооружений, на которые нет технической документации, – усилий от временной вертикальной нагрузки, соответствующей расчетной грузоподъемности сооружения, определенной на основании результатов обследования с учетом фактического состояния конструкций и характеристик материалов.

Усилия, вызываемые испытательной нагрузкой в элементах испытываемых сооружений, как правило, должны быть не ниже:

- при испытаниях железнодорожных мостов, мостов под пути метрополитена или трамвая, под автомобили особо большой грузоподъемности (нагрузки АБ) – усилий от наиболее тяжелой нагрузки, обращающейся по данной линии или дороге;

- при испытаниях автодорожных и городских мостов – 70 % усилий от временной вертикальной нагрузки, принятой в проекте, с полным динамическим коэффициентом для соответствующих видов мостов.

В качестве нагрузки при статических испытаниях следует использовать подвижные нагрузки: локомотивы и подвижной состав железных дорог, поезда метрополитена и трамвая, транспортные автомобильные средства и др.

При испытаниях отдельных элементов моста, при определении жесткости конструкции и в других аналогичных случаях нагрузка может быть создана домкратами, лебедками, штучными грузами или специально сооруженными временными водяными бассейнами с фиксацией создаваемых усилий.

Весовые характеристики транспортных средств, используемых при испытаниях, перед проведением работ следует уточнить.

Точность определения весовых характеристик должна быть не менее 5 %.

Вес локомотивов, а также весовые характеристики незагруженного подвижного состава железных дорог, метрополитена, трамвая и автотранспорта допускается принимать по паспортным данным.

Перед началом испытаний, при необходимости, следует уточнить предусмотренные программой схемы загрузки моста, учитывая фактический состав и вес испытательной нагрузки.

Статические испытания сооружений, как правило, проводят в две стадии:

- целью первой стадии испытаний является построение натуральных поперечных линий влияния деформаций в среднем сечении главных балок;

- на второй стадии выполняют основные контрольные нагружения полной и испытательной нагрузками.

Для безопасности проведения основного испытания по результатам первой стадии статических испытаний на основании действительной расчетной схемы уточняют усилия в главных балках от основного нагружения.

На первой стадии статических испытаний используется нагрузка в виде машины (или колонны машин), не вызывающая в несущих элементах пролетного строения усилий, выше допустимых по трещиностойкости, деформации от которой фиксируются приборами.

Количество установок временной нагрузки поперек пролета должно быть не менее пяти, при этом они должны быть симметричны относительно продольной оси сооружения, а расстояние между ними, по возможности, должно быть одинаковым. Крайние установки испытательной нагрузки следует располагать максимально близко к ограждающим устройствам на мостовом полотне.

Первое нагружение конструкции испытательной нагрузкой следует проводить постепенно, контролируя ее работу по показаниям измерительных приборов.

Время выдержки испытательной нагрузки в каждом из предусмотренных программой положений следует определять по стабилизации показаний измерительных приборов, при этом время выдержки при основном нагружении должно быть не менее 20 мин.

Остаточные деформации конструкций следует определять по результатам первого ее нагружения основной испытательной нагрузкой.

Порядок проведения статических испытаний следующий:

- первая стадия – построение натурных поперечных линий в среднем сечении главных балок – прогибов, кривизн, удлинений;
- обработка результатов, полученных на первой стадии, подбор и корректировка схемы основного испытательного нагружения;
- проведение основного нагружения испытательной нагрузкой (две стадии испытаний);
- основные испытания поперечной и продольной вспомогательной балок, плиты проезжей части (при необходимости, определенной программой испытаний);
- осмотр конструкций моста после испытаний;
- обработка данных, анализ полученных результатов, подготовка отчетных документов.

Для проведения первой стадии испытаний (построения поперечных линий влияния) в качестве исследуемых назначают сечения в середине пролета главных балок. Каждое сечение должно быть оснащено прогибомерами с ценой деления не более 0,1 мм, общим количеством не менее двух.

Если точки опирания главных балок обладают податливостью, то приопорные участки балок оснащают таким же количеством прогибомеров. Количество прогибомеров должно быть увязано с числом наездов испытательной нагрузки на одно и то же место так, чтобы их произведение было равно 6–8.

Кроме прогибомеров в исследуемых сечениях следует устанавливать стационарные деформометры с базой измерения от 450 до 500 мм и ценой деления не более 0,002 мм. С помощью деформометров определяют деформации крайнего сжатого волокна и деформации растяжения на уровне центра тяжести рабочей арматуры или деформации крайнего растянутого волокна (в стальных конструкциях).

В процессе основного нагружения полной испытательной нагрузкой следует измерять:

- общие перемещения и деформации сооружения и его частей;
- относительные деформации (напряжения) в сечениях элемента;
- локальные деформации (раскрытие трещин, швов, смещения в соединениях и т. д.).

Кроме того, в зависимости от вида конструкций и их состояния и в соответствии с задачами испытаний могут производиться измерения угловых деформаций, взаимных перемещений частей сооружения, усилий в элементах (вантах, шпренгелях) и т. д.

Места установки измерительных приборов следует назначать, исходя из необходимости получения в результате испытаний достаточно полных представлений о работе сооружения под временными вертикальными нагрузками.

Для измерения перемещений и деформаций следует выбирать элементы и узлы, наиболее интенсивно работающие под воздействием нагрузки, а также элементы и соединения, нуждающиеся в проверке по результатам обследований или по иным данным.

### **3.2.1 Классификация пролетных строений по грузоподъемности (по результатам статических испытаний)**

При статических испытаниях железобетонных балочных пролетных строений в случае отсутствия отслоений защитного слоя бетона и, следовательно, надежном сцеплении арматуры с бетоном можно допустить, что деформации, измеренные в бетоне растянутой зоны, будут близки и практически идеально совпадают с деформациями в растянутой рабочей арматуре. Поэтому измеренные деформации в бетоне могут трансформироваться в деформации арматуры с последующим их пересчетом в действующие усилия или напряжения от испытательной нагрузки.

При повреждении рабочей арматуры коррозией и образовании вторичных продуктов  $Fe_2O_3$  неизбежно отслоение защитного слоя и, следовательно, нарушение сцепления арматуры с бетоном. В таких случаях приборы следует устанавливать исключительно на стержни рабочей арматуры с предварительной их очисткой от коррозии в местах установки тензометров и удалением бетона защитного слоя.

Измеренные в ходе испытаний величины прогибов от испытательной нагрузки  $f_{исп}$  должны быть пересчитаны через приведенную жесткость  $EI_{пр}$  в прогибы от нормативной нагрузки, т. е.

$$EI_{\text{пр}} = \frac{5ql_p^4}{384},$$

где  $q$  – эквивалентная распределенная нагрузка от испытательной поездной нагрузки.

Подставив в эту формулу значение нормативной нагрузки  $q^H$ , можно определить величину **нормативного прогиба**  $f^H$  от нормативной нагрузки, который и следует сравнивать с величиной, нормируемой п. 1.43 СНиП 2.05.03–84. В конечном итоге

$$f^H = \frac{q^H f_{\text{исп}}}{q} \leq \frac{1}{800 - 1,25l_p} l_p.$$

Аналогичным образом может быть определен прогиб от нормативной нагрузки и для металлических сплошных и сквозных ферм.

Для грубой оценки несущей способности железобетонных пролетных строений, чего в практике в большинстве случаев бывает достаточно для принятия решения о режиме эксплуатации или о замене пролетного строения, можно использовать результаты, полученные при измерении напряженного состояния рабочей арматуры. Напряжения, вызванные постоянной нагрузкой, следует вычесть из расчетного сопротивления растянутой рабочей арматуры, и по оставшемуся ресурсу несущей способности арматуры можно определить величину допускаемой эквивалентной нагрузки, от которой легко перейти к установлению класса, т. е.

$$\frac{R_s - \sigma_{\text{п}}}{\sigma_{\text{н}}} = \frac{[k_{\text{ЭКВ}}]}{k_{\text{ЭКВ}}},$$

откуда

$$[k_{\text{ЭКВ}}] = \frac{(R_s - \sigma_{\text{п}})k_{\text{ЭКВ}}}{\sigma_{\text{н}}}.$$

Класс пролетного строения

$$K = \frac{(R_s - \sigma_{\text{п}})k_{\text{ЭКВ}}}{\sigma_{\text{н}} \kappa_{\text{н}} (1 + \mu)},$$

где  $\sigma_{\text{п}}$  и  $\sigma_{\text{н}}$  – напряжения в растянутой арматуре, вызванные соответственно постоянной и испытательной нагрузками;  $k_{\text{ЭКВ}}$  – эквивалентная нагрузка от испытательной нагрузки;  $\kappa_{\text{н}}$  – эталонная временная

нагрузка по схеме Н-1 [4];  $(1 + \mu)$  – динамический коэффициент, всегда определяемый для стальных пролетных строений по формуле

$$1 + \mu = 1 + \frac{27}{30 + \lambda}.$$

Эту формулу можно применять и для уточнения классов элементов сквозных и сплошностенчатых ферм. Для ферм, эксплуатируемых более 50 лет, в знаменатель формулы по определению класса при расчетах на прочность следует вводить коэффициенты, учитывающие структурные изменения в металле и накопление усталости.

В конечном виде эта формула приобретает следующий вид:

$$K = \frac{(R_s - \sigma_{II})}{mnk_H(1 + \mu)\sigma_{II}},$$

где  $m$  – коэффициент, равный 1,15 и учитывающий накопление усталости в металле;  $n$  – коэффициент, равный 1,10 и учитывающий структурные изменения в материале пролетных строений.

Полученные таким образом классы элементов целесообразно сравнить с результатами расчетов по методу классификации и это сравнение подвергнуть анализу.

### 3.3 Динамические испытания

Целью динамических испытаний являются:

- выявление величин динамических воздействий, создаваемых реальными подвижными нагрузками;
- определение основных динамических характеристик сооружения – частот и форм собственных колебаний, динамической жесткости сооружения, характеристик затухания колебаний.

Для определения динамических характеристик сооружений следует использовать подвижные, ударные, вибрационные, ветровые и другие нагрузки, способные вызвать появление устойчивых колебаний (в том числе свободных).

Для динамических испытаний следует использовать тяжелые нагрузки, которые могут реально перемещаться по сооружению и способны при имеющихся неровностях пути или проезжей части вызвать появление в конструкциях колебаний, ударных воздействий, местных перегрузок и др.

При динамических испытаниях пешеходных мостов возбуждение собственных колебаний конструкций следует производить посредством раскачки, сбрасывания грузов, движения (ходьбы и бега) по мосту отдельных пешеходов или их групп и т. п.

При возбуждении колебаний конструкции посредством ударов падающих грузов должны быть приняты меры, предохраняющие конструкцию от местных повреждений, путем устройства песчаных подушек или распределяющего настила.

Места приложения возмущающих нагрузок, а также места измерения деформаций следует выбирать с учетом ожидаемых видов и форм колебаний.

Усилия в элементах от подвижной временной нагрузки при динамических испытаниях не должны превышать значений, приведенных выше.

При испытаниях автодорожных и городских мостов в необходимых случаях (например, для выявления динамических характеристик сооружения, для оценки влияния неровностей, возможных на проезжей части, и др.) динамическое воздействие подвижной нагрузки может усиливаться применением специальных мер – проездом автомобилей по искусственно созданным неровностям (например, доскам, уложенным поперек проезда).

Возмущающие динамические силы в виде периодически повторяющихся импульсов могут быть созданы посредством проезда двухосного автомобиля по искусственно созданным неровностям, расстояние между которыми равно колесной базе автомобиля.

Для выявления характера работы сооружения в диапазоне возможных скоростей движения транспортных средств заезды испытательной нагрузки следует выполнять с различными скоростями.

Рекомендуется выполнять не менее 10 заездов испытательной нагрузки на сооружение с разными скоростями. Заезды, при которых наблюдается повышенное динамическое воздействие, следует повторять.

При динамических испытаниях, как правило, следует применять приборы, записывающие весь колебательный процесс (виброграмму), при обработке которой определяют характеристики колебательного движения: динамические прогибомеры, виброметры и вибрографы.

### 3.3.1 Оценка и анализ результатов испытаний, их практическая применимость

В практике испытаний мостов период и частоту свободных колебаний определяют по **виброграммам**, записанным вибрографом Гейгера, или осциллограммам. Применение в качестве регистрирующего прибора вибрографа Гейгера позволяет обойтись без громоздкого кабельного хозяйства, источника электрического тока, упростить монтаж прибора на исследуемую конструкцию и в целом сократить время на подготовительные работы.

Виброграммы представляют собой графическую зависимость характера колебаний исследуемой конструкции во времени. Для определения амплитуды колебаний виброграммы могут не иметь отметок времени. Во всех остальных случаях для определения периода, частоты и характера сложных колебаний двух-трех тонов и усложненных гармониками необходима фиксация масштабов времени.

При простых колебаниях одного тона, которые обычно можно наблюдать от одиночных нагрузок при идеальном состоянии мостового полотна и пути на мосту, конструкция испытывает воздействие одной возбуждающей силы. При сложных колебаниях нескольких тонов, что на практике встречается значительно чаще, возникают периодические импульсы разных частот, поэтому сложное колебание следует рассматривать как совокупность простых, имеющих разные частоты.

Чтобы решать задачи, связанные с определением динамических характеристик исследуемой конструкции по виброграммам, их необходимо расшифровать. Для этого достаточно сделать масштабные замеры по записанным виброграммам и установить скорость протяжки ленты.

Внешний вид и конфигурация виброграмм представляют собой характер динамических процессов, происходящих в исследуемой конструкции, которые можно сразу приближенно оценить.

Если амплитуда колебаний имеет выраженные резкие изменения, это свидетельствует о воздействии сил ударного характера. Отсутствие резких изменений амплитуды указывает на стабильность интенсивности динамической нагрузки.

Проявления резонанса характеризуются резким нарастанием амплитуды с сохранением экстремума на протяжении участка времени.

При многотонных колебаниях, которые хорошо просматриваются в моменты затухания после схода нагрузки, кроме колебаний основного тона, практически всегда фиксируются колебания высших тонов или, как их еще называют, гармоники.



### 3.3.2 Определение периода и частоты вынужденных колебаний

Период колебаний измеряется временем в секундах, необходимым для совершения одного полного колебания, а частота определяет количество полных колебаний, совершаемых конструкцией за одну секунду. Эти параметры вычисляются по виброграммам следующим образом.

Первоначально устанавливают скорость движения регистрирующей ленты, мм/с:

$$v = l/t,$$

где  $l$  – расстояние между отметками времени на виброграмме, мм;  $t$  – интервал времени, с, за который лентой пройдено расстояние  $l$ .

Длина записи, мм, соответствующая одному полному колебанию,

$$\lambda = L/n,$$

где  $L$  – длина записи, на которой произошли  $n$  полных колебаний.

Тогда искомый период  $T = \lambda/V$  (в секундах), а частота колебаний  $f = 1/T$  (в герцах).

### 3.3.3 Определение амплитуды колебаний

По виброграммам, записанным вибрографом Гейгера, амплитуду колебаний определяют достаточно просто, так как толщина линий, рисуемых самописцем, незначительна и не создает погрешностей и искажений при измерениях. Определение амплитуды сводится к измерению расстояния между положительной и отрицательной вершинами полуволн, после чего полученное значение делится пополам. Это и будет амплитудой.

Для более точного определения значения амплитуды при проведении испытаний следует использовать максимально возможное увеличение показаний прибора. Масштаб записи колебаний обязательно необходимо учитывать при обработке полевых материалов.

### 3.3.4 Экспериментальное определение частоты собственных колебаний

Частота собственных колебаний является определяющим фактором для принятия решения о пригодности конструкции к дальнейшей эксплуатации, необходимости ее усиления или реконструкции и назначении эксплуатационных режимов по скоростям и осевым нагрузкам.

Существует несколько **способов определения частоты собственных колебаний**:

– способ *мгновенного приложения нагрузки* или удара для получения затухающих колебаний;

– способ *резонанса*, который предусматривает использование вибростолов с доведением конструкции до эффекта резонанса. При этом частота возмущающих колебаний вибронагрузки при достижении эффекта резонанса и будет частотой собственных колебаний;

– способ *получения затухающих колебаний* от поездной нагрузки. Это наиболее часто применяемый метод в практике динамических испытаний железнодорожных мостов. После пропуска серии поездных нагрузок и записи виброграмм затухающих колебаний на них выбираются фрагменты с одинаковой амплитудой и частотой. Эти участки и будут собственными колебаниями. Их анализ, определение  $T$  и  $f$  производят по вышеизложенной методике (рисунок 3.1).

### 3.3.5 Определение динамического коэффициента

В максимально упрощенном виде определение динамического коэффициента сводится к нахождению отношения прогиба от испытательной нагрузки, пропускаемой по сооружению в эксплуатационном режиме, к статическому прогибу. Наибольшую ординату деформации принимают в качестве максимального динамического воздействия.

**Экспериментальное значение** динамического коэффициента определяют по формуле

$$1 + \mu = \frac{y_{\text{дин}}}{y_{\text{ст}}},$$

где  $y_{\text{дин}}$  и  $y_{\text{ст}}$  – соответственно прогибы от динамической и статической нагрузок.

Для определения динамического коэффициента в **практике** исследования мостовых сооружений применяется несколько способов. Наиболее точные значения динамического коэффициента можно получить, измеряя статический прогиб при неоднократном загрузении пролетного строения статической нагрузкой или измеряя на виброграмме максимальную ординату  $y_{\text{ст}}$  при очень медленном движении по мосту испытательного поезда. Динамический прогиб  $y_{\text{дин}}$  измеряют на ряде диаграмм, отражающих движение испытательной нагрузки с различными скоростями (рисунок 3.2).



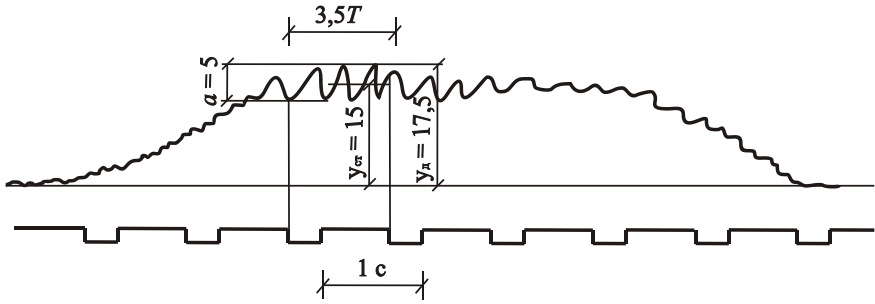


Рисунок 3.2 – Образец виброграммы вертикального прогиба фермы в середине пролета. Определение по диаграмме динамического коэффициента и периода вынужденных колебаний

В случае испытания пролетных строений под проходящими поездами значения статических и динамических прогибов можно получить по записанным виброграммам. Для этого по вершинам экспериментальных кривых прогибов проводятся огибающие, при этом максимальной амплитудой, измеренной от нулевой линии, будет являться  $y_{дин}$ , а амплитуда, измеренная до середины между огибающими, принимается за  $y_{ст}$ .

Метод определения динамического коэффициента под обращающимися нагрузками дает много погрешностей, поэтому его применяют в случаях наличия интенсивного движения и при отсутствии возможности получения технологических «окон» для проведения испытаний.

Следует отметить, что при движении по мостам поездных нагрузок со скоростью 60 км/ч и ниже их динамические воздействия на конструкции пролетных строений и опор в значительной мере снижаются, что подтверждают материалы исследований, проведенных лабораториями специализированных институтов.

Опытные данные по определению динамического коэффициента для металлического пролетного строения длиной 23 м и железобетонного длиной 4,7 м свидетельствуют о том, что при увеличении скорости нагрузок максимальные значения динамического коэффициента возрастают по закону, близкому к линейному.

При испытаниях мостов имели место случаи, когда динамический коэффициент, полученный опытным путем, оказывался выше нормативного. В таких случаях испытательная нагрузка была значительно ниже расчетной, что и послужило причиной получения высоких значений динамических коэффициентов.

Из отечественного и зарубежного опыта испытаний мостов, в частности изучения динамических коэффициентов, следует, что нельзя установить какую-либо закономерность влияния характера тяги и характера езды (балласт, езда на поперечинах или железобетонных плитах) на максимальную величину динамических коэффициентов. Поэтому в случае необходимости принятия решений о возможности увеличения осевых нагрузок от новых типов локомотивов и изменения скоростных режимов обращающихся нагрузок необходимо проводить динамические исследования пролетных строений мостов применительно к конкретной железнодорожной линии.

### 3.3.6 Обработка опытных данных

Анализ и обработка полевых материалов, полученных при проведении динамических испытаний, позволяют установить динамические характеристики испытанных сооружений и характер воздействия на них динамических нагрузок.

Частоту свободных вертикальных колебаний пролетных строений с достаточной точностью можно определить, зная величину статического прогиба, по формуле

$$\gamma = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{y_{ст}}}, \quad (1)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения. При этом период свободных колебаний определится как величина, обратная частоте, т. е.

$$T = \frac{1}{\gamma}. \quad (2)$$

Зная величину прогиба пролетного строения и нагрузку, вызвавшую его, можно определить **характеристику жесткости сооружения**:

$$C = \frac{\sum P_i \left( 3 \frac{x_i}{l} + 4 \frac{x_i^3}{l^3} \right)}{y_{ст}}. \quad (3)$$

Эта формула получена путем приведения системы сосредоточенных сил от испытательной нагрузки к одной силе, расположенной в середине пролета. Характеристикой жесткости для балочных пролет-

ных строений, колебания которых осуществляются по одной полу-волне, является сосредоточенная сила, которая, будучи приложенной в середине пролета, вызывает в этой точке прогиб, равный 1 см.

На практике для балочных пролетных строений при определении **периода свободных колебаний** удобно пользоваться выражением

$$T = 0,177 \sqrt{\frac{p}{\kappa}} y_{\text{ст}}, \quad (4)$$

где  $p$  – интенсивность постоянной нагрузки;  $\kappa$  – интенсивность временной нагрузки, принятой равномерно распределенной;  $y_{\text{ст}}$  – статический прогиб, измеренный в середине пролета.

При испытаниях малых пролетных строений, период свободных колебаний которых обычно не превышает 0,08–0,09 с, на виброграммах наблюдаются явно выраженные пики, вызываемые ударами колес. За этими пиками следуют быстро затухающие колебания, частота которых соответствует частоте свободных колебаний пролетного строения. Эта характеристика может быть принята для осуществления дальнейших камеральных расчетов.

Анализ многочисленных и многолетних исследований, проводившихся на металлических пролетных строениях железнодорожных мостов, позволил к середине прошлого века получить экспериментально-теоретические формулы для определения периодов собственных вертикальных колебаний:

$$T = 0,9 \sqrt{\frac{\sigma_p}{E}} \frac{l}{\sqrt{h}}; \quad (5)$$

$$T = 0,9 \sqrt{\frac{[\sigma]}{E}} \frac{p}{p + \kappa} \frac{l}{\sqrt{h}}, \quad (6)$$

где 0,9 – характеристика пропорциональности, имеющая размерность  $\text{с}/\text{м}^{0,5}$ , полученная на основании обработки многочисленных опытных данных по пролетным строениям железнодорожных мостов;  $\sigma_p$  – среднее расчетное (по площади нетто) напряжение, возникающее в поясах главных ферм в середине пролета от постоянной нагрузки;  $E$  – модуль упругости материала, размерность которого берется такой же, как  $\sigma_p$  и  $[\sigma]$ ;  $l$  – расчетный пролет, м;  $h$  – расчетная высота главных ферм в середине пролета, м;  $[\sigma]$  – расчетное допустимое напря-

жение по нормам проектирования;  $p$  – средняя интенсивность постоянной нагрузки для пролетного строения;  $k$  – расчетная эквивалентная нагрузка для середины пролета с учетом динамического коэффициента, если он вводился в расчет при проектировании пролетного строения (размерность  $k$  должна быть такой же, как  $p$ ).

Сопоставление опытных значений периодов с вычисленными по вышеприведенным формулам свидетельствует об их достаточно высокой точности. Сравнение результатов опытов и теоретических расчетов представлено в таблице 3.1.

Т а б л и ц а 3.1 – Сравнение результатов опытов и теоретических расчетов

Нормы проектирования	Генеральные размеры ферм, м		Периоды свободных вертикальных колебаний, с		
	пролет $l$	высота $h$	Расчет по формулам	Опыт	Разница, %
1875 г.	33,44	1,56	0,150	0,160	-7
	54,85	7,31	0,240	0,240	0
	109,20	11,37	0,450	0,477	-6
1884 г.	43,69	7,16	0,189	0,180	5
	55,47	7,16	0,220	0,220	0
	66,04	9,04	0,258	0,240	7
1896 г.	54,85	7,64	0,205	0,220	-7
	78,00	10,97	0,287	0,280	1
	109,73	15,44	0,378	0,410	-8
1907 г.	54,90	7,68	0,196	0,190	3
	76,80	8,00	0,288	0,270	6
	109,20	17,32	0,360	0,380	-5
1930 г.	45,00	9,00	0,158	0,153	3
	109,20	18,00	0,331	0,325	2
1947 г.	44,00	8,50	0,160	0,160	0
	66,00	8,50	0,247	0,265	-6
	77,00	14,00	0,243	0,248	-2
	110,00	14,00	0,410	0,391	4

Формулы (5) и (6) следует использовать при определении **периодов собственных вертикальных колебаний** мостов, запроектированных по методике допускаемых напряжений. Ими, с некоторой корректировкой, можно пользоваться и для мостов, запроектированных по методике предельных состояний СН 200–62. В этом случае формула (6) приобретает вид

$$T = 0,9 \sqrt{\frac{R_0}{E} \frac{p}{p^* + k^*} \frac{l}{\sqrt{h}}}, \quad (7)$$

где  $R_0$  – расчетное сопротивление материала поясов при действии осевых сил;  $p^*$  и  $k^*$  – соответственно постоянная и временная расчетные погонные нагрузки с учетом коэффициентов перегрузки и динамического коэффициента.

По результатам исследований, проведенных лабораторией динамики мостов ДИИТа в 1960–70 годы, была выработана эмпирическая формула, результаты расчетов по которой хорошо совпадают с опытными:

$$T = (8 + 0,39l) \cdot 10^{-2}. \quad (8)$$

Здесь значение  $l$  принимается в метрах.

Для железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов при длинах пролетов от 5 до 33,5 м экспериментальные значения периодов собственных колебаний находятся в диапазоне

$$0,0072l \geq T \geq 0,0072l - 0,05, \quad (9)$$

где  $l$  – величина расчетного пролета, м;  $T$  – период собственных колебаний, с.

Для пролетов длиной менее 5 м экспериментальным данным лучше отвечает зависимость

$$0,01l \geq T \geq 0,02.$$

Для железобетонных балочных пролетных строений с величиной пролетов более 18 м, а при обеспечении свободы перемещений подвижных опорных частей – и при меньших пролетах период свободных колебаний теоретически может быть определен по формуле

$$T = 0,58 \sqrt{\frac{\sigma_p}{E}} \frac{l}{\sqrt{x}}, \quad (10)$$

где  $\sigma_p$  – расчетное напряжение в сжатом поясе от постоянной нагрузки;  $x$  – расстояние от нейтральной оси до крайней сжатой фибры.

Важным, но не нормируемым СНиП 2.05.03–84 параметром является **логарифмический декремент затухания**, который характеризует скорость затухания колебаний. Чем он выше по абсолютной величине, тем быстрее происходит затухание колебаний. Декремент затухания принято выражать зависимостью

$$d = \varepsilon T, \quad (11)$$



где  $\varepsilon$  – коэффициент затухания, 1/с, который можно определять по формуле, предложенной ЦНИИСом:

$$\varepsilon = \frac{1}{10T^2(1+10T)}. \quad (12)$$

Для однопутных железнодорожных мостов из предварительно напряженного железобетона пролетами от 18 до 33,6 м определены опытные значения декрементов затухания, которые находятся в пределах от 0,11 до 0,56, но наиболее характерный диапазон этого параметра расположен в пределах 0,2–0,4.

Динамические характеристики некоторых металлических железнодорожных пролетных строений по характеристикам затухания, полученные в ходе экспериментов, приведены в таблице 3.2.

Т а б л и ц а 3.2 – Динамические характеристики, полученные в ходе экспериментов

Диапазон пролётов, м	Периоды свободных вертикальных колебаний $T$ , с		Характеристики затуханий			
			Эквивалентные коэффициенты затухания		Эквивалентные декременты колебаний	
	пределы измерения	средние значения	пределы измерения	средние значения	пределы измерения	средние значения
24–28	0,08–0,13	0,10	0,80–2,50	1,50	0,10–0,50	0,25
32–36	0,12–0,17	0,14	0,50–2,40	1,00	0,10–0,30	0,18
42–45	0,16–0,22	0,18	0,40–1,60	0,80	0,07–0,25	0,16
54–58	0,18–0,27	0,23	0,50–0,90	0,60	0,10–0,25	0,14
65–68	0,22–0,32	0,25	0,30–0,60	0,45	0,08–0,20	0,12
73–78	0,25–0,35	0,30	0,30–0,45	0,35	0,07–0,15	0,10
86–88	0,27–0,35	0,30	0,15–0,40	0,30	0,07–0,14	0,09
108–110	0,33–0,44	0,39	0,20–0,35	0,26	0,07–0,14	0,09
126–130	0,40–0,47	0,43	0,10–0,25	0,17	0,04–0,12	0,06
158,4	0,45–0,55	0,50	0,04–0,12	0,08	0,02–0,06	0,04

В таблице указаны средние характеристики затухания. Их следует рассматривать как ориентировочные, т. к. опытные значения в каждом из указанных диапазонов изменяются в больших пределах.

Исследования колебаний системы *нагрузка – ферма* свидетельствуют об увеличении опасности схода подвижного состава при увеличении амплитуд боковых горизонтальных колебаний пролетных строений из-за перераспределения усилий в рессорах. В связи с этим динамические расчеты устанавливают рекомендуемую величину предельной амплитуды горизонтальных колебаний, хотя нормативная

база сам этот параметр не оговаривает. СНиП 2.05.03–84 устанавливает лишь ограничения по расчетному периоду собственных поперечных горизонтальных колебаний

$$0,01l \geq T_r \leq 1,5 \text{ с.} \quad (13)$$

Таким образом, для величин наибольших амплитуд вынужденных горизонтальных колебаний металлических пролетных строений железнодорожных балочных мостов при пропуске по ним временных нагрузок допустимая амплитуда горизонтальных колебаний пролетных строений

$$a_{\text{доп}} \leq 1,5 \text{ см.} \quad (14)$$

Если при пропуске временных нагрузок будут развиваться горизонтальные колебания с амплитудами выше 1,5 см, то возможно наступление обезгруживания отдельных колес подвижного состава, недопустимое по условиям безопасности движения поездов. Меньшие амплитуды опасности обезгруживания не вызывают.

Максимально допустимая амплитуда горизонтальных колебаний, рекомендуемая динамическими расчетами, определена из условий возникновения явления резонанса. При больших значениях амплитуд вынужденных горизонтальных колебаний загруженных пролетных строений наступает одностороннее обезгруживание рессор подвижного состава независимо от того, с какой частотой происходят резонансные колебания.

Для определения периода основного тона свободных горизонтальных колебаний пролетных строений металлических железнодорожных мостов с ездой понизу  $T_{\text{гн}}$ , поверху  $T_{\text{гв}}$  и с открытыми поясами  $T_{\text{го}}$  получены достаточно точные экспериментально-теоретические формулы:

$$T_{\text{гн}} = (1,93 - 0,01l) \frac{l}{b} \sqrt{h \frac{[\sigma]}{E} \cdot \frac{p}{p+k}}; \quad (15)$$

$$T_{\text{гв}} = \frac{200}{150+l} \cdot \frac{l}{b} \sqrt{h \frac{[\sigma]}{E} \cdot \frac{p}{p+k}}; \quad (16)$$

$$T_{\text{го}} = 2,35 \frac{l}{b} \sqrt{h \frac{[\sigma]}{E} \cdot \frac{p}{p+k}}, \quad (17)$$

где  $l$  – расчетный пролет фермы, м;  $b$  – расчетная ширина фермы, м;  $h$  – расчетная высота главной фермы в середине пролета, м.

Опытные значения периодов горизонтальных колебаний различных конструкций пролетных строений, полученные в ходе экспериментов, проведенных специализированными институтами, приведены в таблице 3.3.

Т а б л и ц а 3.3 – Опытные значения периодов горизонтальных колебаний, полученные в ходе экспериментов

№ п/п	Пролет, м	$T_T$ (опыт), с	№ п/п	Пролет, м	$T_T$ (опыт), с	№ п/п	Пролет, м	$T_T$ (опыт), с
Открытые мосты			4	44,20	0,440	6	66,04	0,67
1	33,20	0,28	5	44,40	0,300	7	66,04	0,71
2	33,41	0,31	Пролётные строения с ездой понизу			8	66,50	0,59
3	33,44	0,30				9	76,80	0,59
Пролётные строения с ездой поверху			1	33,64	0,299	10	77,00	0,68
			2	55,00	0,471	11	78,00	0,67
1	33,12	0,28	3	55,06	0,470	12	109,20	0,97
2	33,60	0,29	4	55,10	0,440	13	109,20	0,95
3	43,89	0,32	5	66,00	0,570	14	109,20	0,97

### 3.3.7 Определение категории мостов по грузоподъемности

Полученные в результате расчетов по грузоподъемности классы пролетных строений и анализ результатов их испытаний являются основанием для определения категории моста. В практике эксплуатации железнодорожных мостов установлены **пять категорий грузоподъемности:**

**П е р в а я:** мосты, рассчитанные под нагрузку Н8 и С14 при отсутствии в них дефектов и повреждений, снижающих грузоподъемность.

**В т о р а я:** мосты, обеспечивающие обращение поездов с вагонами, имеющими погонную нагрузку до 105 кН/м пути (10,5 тс/м пути) при нагрузке от осей локомотивов и вагонов на рельсы до 270 кН (27 тс), а также допускающие пропуск транспортеров грузоподъемностью до 300 т со скоростью не менее 40 км/ч и со скоростью не менее 25 км/ч при их грузоподъемности 301–500 т.

**Т р е т ья:** мосты, обеспечивающие обращение поездов с вагонами, имеющими погонную нагрузку до 90 кН/м пути (9,0 тс/м пути) при нагрузке от осей локомотивов и вагонов на рельсы до 270 кН

(27 тс), а также допускающие пропуск транспортеров грузоподъемностью до 300 т со скоростью не менее 25 км/ч и со скоростью не менее 15 км/ч при их грузоподъемности 301–500 т.

**Ч е т в е р т а я:** мосты, обеспечивающие обращение поездов с вагонами, имеющими погонную нагрузку до 75 кН/м пути (7,5 тс/м пути) при нагрузке от осей локомотивов и вагонов на рельсы до 260 кН (26 тс), а также допускающие пропуск транспортеров грузоподъемностью до 300 т включительно со скоростью не менее 15 км/ч.

**П я т а я:** все остальные мосты, не обеспечивающие пропуск нагрузок, указанных для первой – четвертой категорий.

Для определения эквивалентных нагрузок и классов нагрузок, принятых в качестве эталонных и соответствующих грузоподъемности мостов первой – четвертой категорий, следует пользоваться специальными таблицами П.25.2–П.25.4 «Руководства по определению грузоподъемности металлических пролетных строений железнодорожных мостов».

### **3.4 Обкатка**

Обкатка мостов производится с целью выявления способности сооружения или его частей нормально воспринимать обращающиеся на данной линии или дороге наиболее тяжелые эксплуатационные нагрузки.

Обкатку железнодорожных мостов и мостов под пути метрополитена производят тяжелыми поездами, а обкатку мостов, запроектированных под автомобильную нагрузку АБ, – тяжелыми автомобилями.

При обкатке проводятся визуальные наблюдения за состоянием конструкции, а также могут быть выполнены измерения прогибов в серединах пролетов простейшими методами (например, нивелированием).

Обкатку железнодорожных мостов и мостов под пути метрополитена рекомендуется выполнять посредством челночного движения поезда. Общее количество проездов нагрузки с различными скоростями следует назначать, как правило, не менее 12. Первые два-три поезда следует выполнять с малой скоростью (от 5 до 10 км/ч); при необходимости измерений прогибов делаются остановки поезда.

При обкатке мостов, запроектированных под автомобильные нагрузки АБ, имеющих две или более полосы движения, на одну из крайних

полос в пределах обкатываемой конструкции устанавливается колонна автомобилей с расстоянием между задними и передними осями соседних автомобилей 10 м. По другой свободной полосе осуществляется движение одиночных автомобилей со скоростью от 10 до 40 км/ч. Количество проездов принимается, как правило, не менее пяти.

После общего обследования сооружения колонна автомобилей устанавливается на другую крайнюю полосу, а движение одиночных автомобилей производится по освободившейся полосе.

При обкатке однополосных мостов используется только проезд одиночных автомобилей.

#### **4 ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СООРУЖЕНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОБСЛЕДОВАНИЙ И ИСПЫТАНИЙ**

Оценка технического состояния и эксплуатационной надежности сооружения должна производиться путем всестороннего анализа данных, полученных при обследованиях и испытаниях. Рекомендации по анализу и оценке полученных при обследованиях данных приведены в приложении В.

Полученные при обследованиях данные контрольных измерений и съемок необходимо проверить на соответствие требованиям ТНПА на проектирование и содержание мостов, а также сравнить их с результатами предшествующих обследований. При анализе должна быть проведена оценка влияния зафиксированных отклонений на эксплуатационные характеристики сооружения.

Выявленные при обследовании дефекты и повреждения следует оценивать по их влиянию на грузоподъемность и долговечность сооружения, а также на безопасность пропуска транспортных средств и пешеходов.

Определение грузоподъемности по данным обследований и испытаний мостовых сооружений следует выполнять, руководствуясь действующими ТНПА на определение грузоподъемности мостов.

По материалам обследований и испытаний, а также по результатам оценки расчетной грузоподъемности сооружения должны разрабатываться меры по обеспечению нормальной и безопасной эксплуатации.

При обследовании мостов, эксплуатирующихся более 25 лет, рекомендуется осуществлять прогноз долговечности и эксплуатационной надежности сооружения на основе полученных при обследовании

данных о снижении прочности бетона, скорости карбонизации бетона, наличии и ширине раскрытия трещин, величине защитного слоя бетона и т. д. в соответствии с указаниями действующих ТНПА на проектирование и содержание мостов.

В зависимости от характера, значимости и распространения обнаруженных дефектов, повреждений и несоответствий требованиям ТНПА на проектирование и содержание мостов следует предусматривать проведение ремонтов, усиление отдельных элементов, введение ограничений для обращающихся нагрузок (в том числе уменьшение количества рядов или увеличение интервалов между транспортными единицами на автодорожных и городских мостах), ограничение скорости движения транспортных средств и др.

## **5 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБСЛЕДОВАНИЙ И ИСПЫТАНИЙ**

Результаты обследований и испытаний мостов и труб оформляют в виде технических заключений и отчетов.

По результатам обследований сооружений, завершенных строительством (капитальным ремонтом, реконструкцией), как правило, составляются технические заключения.

Техническое заключение по результатам обследования должно содержать следующие разделы:

### **1 Общие сведения о сооружении.**

В разделе приводится информация, полученная на стадии подготовительных работ.

**2 Данные о сооружении с учетом результатов общего обследования.**

В разделе приводится информация о принятой системе нумерации элементов сооружения, об элементах сооружения с указанием геометрических размеров примененных типовых конструкций. В этом же разделе приводятся результаты инструментальных исследований и контрольных съемок и их сопоставление с проектными и (или) нормативными значениями.

### **3 Ведомость дефектов по состоянию на момент обследования.**

В разделе приводятся схемы расположения, описания, фотографии выявленных дефектов и повреждений с указанием основной причины их появления и размеров, а также рекомендации по их устранению.

4 Выводы по результатам обследования.

5 Режим эксплуатации сооружения.

Предварительное техническое заключение может составляться по результатам обследований и испытаний сооружения при необходимости передачи полученных данных приемочным комиссиям в сжатые сроки. Срок действия предварительного технического заключения устанавливается до оформления и утверждения технического отчета.

По результатам обследований и испытаний после полной обработки полученной информации, выполнения расчетов и анализа полученных данных составляются технические отчеты.

Технический отчет должен содержать следующие разделы:

- а) реферат;
- б) общие сведения;
- в) данные о сооружении с учетом результатов обследований, включая результаты инструментальных измерений;
- г) ведомость дефектов;
- д) расчет грузоподъемности (при проведении испытаний – определение грузоподъемности);
- е) выводы по результатам обследований;
- ж) рекомендации по режиму эксплуатации.

В отчет по результатам обследований сооружений, эксплуатирующихся более 25 лет, рекомендуется включить раздел «Прогнозирование эксплуатационной надежности».

В отчет следует включать чертежи, схемы, фотографии, другие иллюстрационные материалы.

Вспомогательные материалы, расчетные таблицы и т.п. следует приводить в приложениях.

В приложения к отчету также следует включать: программу испытаний, исполнительные чертежи, акты и материалы по работам, выполненным с привлечением специализированных организаций и др.

По результатам общих обследований эксплуатируемых сооружений для разработки проектов ремонта или реконструкции, как правило, составляются технические отчеты по результатам обмерных работ.

Технический отчет по результатам обмерных работ должен содержать следующие разделы:

- общие сведения о сооружении;
- данные о сооружении с учетом результатов общего обследования: информация о принятой системе нумерации элементов сооруже-

ния, об элементах сооружения с указанием геометрических размеров примененных конструкций, результаты инструментальных исследований и контрольных съемок;

– ведомость дефектов по состоянию на момент обследования: схемы расположения, описания, фотографии выявленных дефектов и повреждений с указанием их размеров и объемов.

При разработке проектов ремонта или реконструкции сооружений может выполняться детальное обследование (например, определение фактических характеристик материалов конструкций и расчет (определение) грузоподъемности). Необходимость выполнения детального обследования определяет заказчик.

## **6 БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ ПО ОБСЛЕДОВАНИЯМ И ИСПЫТАНИЯМ МОСТОВ И ТРУБ**

К выполнению работ по обследованиям и испытаниям мостов и труб допускаются работники, прошедшие обучение и проверку знаний по вопросам охраны труда, инструктаж по охране труда в соответствии с ТКП 45-1.03-40.

Во время проведения испытаний запрещается нахождение на сооружении и под ним не занятых в испытаниях людей.

Работники, непосредственно участвующие в испытаниях, должны находиться на своих рабочих местах, указанных руководителем испытаний.

Руководитель подразделения, выполняющего обследования, должен проводить инструктаж по охране труда при проведении обследований с фиксацией в журнале инструктажа по охране труда. Периодичность инструктажа – не реже 1 раза в 3 мес.

Перед началом испытаний руководитель подразделения проводит внеплановый инструктаж с разъяснением особенностей конкретной выполняемой работы.

Контроль за соблюдением требований охраны труда во время работ по обследованиям и испытаниям мостов возлагается на руководителя работ.

Работы по обследованиям и испытаниям мостов и труб, движение по которым прекращается частично, не должны препятствовать безопасному движению транспорта, а организация работ должна обеспечивать безопасность работающих. Разработка необходимых мероприятий



по обеспечению безопасности работающих и их осуществление производятся организацией, в ведении которой находится сооружение.

При производстве работ по обследованиям и испытаниям мостов и труб в случаях наличия на них или вблизи них высоковольтных линий электропередачи (в том числе контактной сети) запрещается приближаться или подносить какие-либо предметы на расстояние менее 2 м к находящимся и неогражденным проводам или частям контактной сети. Особенно строго это требование следует соблюдать при работах с предметами большой длины (штангами, металлическими рулетками, отрезками проволоки и т. д.).

При невозможности соблюдения этого требования высоковольтная линия электропередачи по согласованию с организацией, в ведении которой она находится, должна быть обесточена.

К выполнению работ с применением электроинструмента допускаются лица, прошедшие в установленном порядке обучение, инструктаж и проверку знаний по вопросам охраны труда, имеющие группу по электробезопасности не ниже II – при работе в местах с повышенной опасностью поражения электрическим током вне помещений с электроинструментом класса I и группу по электробезопасности I – при работе с электроинструментом классов II и III.

Работы с лебедками, домкратами и другими специальными приспособлениями при проведении обследований и испытаний должны производиться под руководством работника, отвечающего за безопасное производство работ и имеющего соответствующую квалификацию и опыт.

Одновременное выполнение работ в двух или более ярусах по одной вертикали может быть разрешено только при принятии мер по обеспечению безопасности работающих внизу.

При производстве работ, связанных с передвижением по воде, сотрудники, выполняющие обследование, должны быть обеспечены спасательными средствами (спасательными жилетами, кругами, шарами, веревками и т. п.).

Работа людей со льда допускается при его толщине не менее 15 см (без учета толщины снежного покрова) и расстоянии до кромки льда не менее 5 м.

На мостах через реки шириной более 100 м (по урезу меженных вод) руководитель работ подразделения, выполняющего обследование, обязан до начала обследования проверить наличие спасательных средств. На воде должны находиться подготовленные плавсредства.

Работу на вновь антисептированных мостах, а также работу с клеями из полимерных составляющих следует производить в резиновых перчатках. При попадании антисептика или клея на открытые части тела их необходимо немедленно обильно смыть водой. По окончании работ необходимо вымыть теплой водой с мылом открытые части тела (руки, лицо).

Работники, выезжающие на объекты, на которых проводятся обследования и испытания, должны быть снабжены аптечкой с набором необходимых медикаментов и средств оказания первой помощи.

Работники, участвующие в работах по проведению обследований и испытаний, должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты (спецодеждой, спецобувью и предохранительными приспособлениями) согласно требованиям нормативных правовых актов, ТНПА и отраслевых норм. Работы следует выполнять в исправной, тщательно заправленной одежде, не имеющей свисающих пол и концов, в нескользкой обуви.

При работе на объектах в зимних условиях должны приниматься меры по обеспечению возможности периодического обогрева работающих.

Для выполнения работ при обследовании и испытании мостовых конструкций на высоте следует применять подмости, передвижные вышки, люльки, лестницы и другие средства подмащивания, соответствующие требованиям [5] и [6].

Подъем и спуск людей на подмости разрешается только по надежно закрепленным лестницам. Лестницы должны устанавливаться с уклоном, не превышающим 60°. Запрещается установка лестниц на различных подкладках.

При обследовании сооружений, особенно в стесненных условиях (между балками, в коробах, на ригелях опор и т. п.), все работающие должны быть предельно внимательны, чтобы не удариться о конструктивные элементы или о выступающие из них штыри, остатки опалубки и т. д. Не следует делать резких движений и перемещаться бегом.

При остукивании заклепок, зашлакованных сварных швов, поржавевших металлических элементов, поверхности бетона следует пользоваться защитными очками или лицевыми щитками.

При производстве работ на объекте сотрудники должны иметь защитные каски, а при работе на проезжей части сооружений, находящихся в эксплуатации, обязаны применять специальную сигнальную одежду повышенной видимости (сигнальные жилеты) и т. п.

При обследовании сооружений, не полностью законченных строительством, необходимо соблюдать особую осторожность в связи с возможностью возникновения повышенной опасности.

На время испытаний подходы к автодорожным и городским мостам должны быть ограждены в соответствии с требованиями действующих правил дорожного движения.

При проведении вибрационных испытаний запрещается приближаться к незащищенным эксцентрикам работающей вибромашины на расстояние менее 1,5 м.

При проведении испытаний ударной нагрузкой запрещается приближаться к намеченному месту падения груза на расстояние менее 3 м.

*ПРИЛОЖЕНИЕ А*  
(рекомендуемое)

**Характерные дефекты и повреждения  
конструкций мостов и труб**

**А.1 Железобетонные, бетонные и каменные пролетные строения**

1 В железобетонных конструкциях могут иметь место дефекты и повреждения, возникающие на стадиях изготовления, транспортирования и монтажа:

а) технологические трещины: усадочные, образующиеся в незатвердевшем бетоне вследствие усадочных деформаций бетона при плохом уходе за его поверхностью, а также осадочные, возникающие вследствие неравномерной осадки бетонной смеси при ее уплотнении или при деформации опалубки; эти трещины имеют рваные края, резко изменяющиеся по длине раскрытия;

б) температурно-усадочные повреждения, возникающие в затвердевшем бетоне вследствие плохой тепловлажностной обработки и обычно проявляющиеся в виде трещин с раскрытием до 0,2 мм;

в) дефекты бетонирования: раковины и каверны; места с вытекшим цементным раствором; обнажение арматуры или недостаточная толщина защитного слоя;

г) другие повреждения: сколы бетона, силовые трещины из-за непредвиденных воздействий (возникают обычно в слабоармированных местах).

2 При действии на железобетонные конструкции нагрузок и воздействий могут возникать следующие виды трещин:

– силовые трещины в бетоне: поперечные – в растянутых элементах и растянутых зонах изгибаемых элементов; продольные – в сжатых элементах и в сжатых зонах изгибаемых элементов; косые (наклонные) – в стенках балок;

– трещины от местного действия нагрузки в зонах установки анкеров напрягаемой арматуры, в местах опираний и в других подобных местах.

Образование и раскрытие этих трещин ограничивается расчетами по трещиностойкости, а в сжатой зоне бетона – также и расчетами по прочности.

3 Температурно-усадочные трещины возникают в результате неравномерных по сечению деформаций от действия температуры окружающего воздуха и усадки бетона. Эти явления могут самостоятельно приводить к образованию сетки поверхностных трещин или,

суммируясь с напряжениями от нагрузки, усугублять образование силовых трещин. Развитие последних в этом случае (например, в стенках балок) может происходить в течение 5–7 лет.

4 Продольные трещины вдоль арматуры возникают из-за стесненной арматурой усадки бетона, замерзания сырого инъекционного раствора в каналах или из-за коррозии арматуры в бетоне. Эти факторы могут ускорять появление продольных трещин от обжаривания бетона.

5 Причинами развития коррозии арматуры могут быть недостаточная толщина защитного слоя бетона, низкая плотность бетона защитного слоя и как следствие – потеря бетоном пассивирующих свойств (например, в результате карбонизации), что особенно опасно в условиях агрессивного воздействия среды (чаще всего хлористых солей).

Величины раскрытия трещин в этих случаях бывают равны примерно двойной толщине продуктов коррозии (ржавчины) на арматурном стержне или пучках стержней. В свою очередь, толщина продуктов коррозии превышает толщину прокорродированного металла в 2,5–3 раза, а в некоторых случаях до 6 раз.

6 В конструкциях могут возникнуть коррозионные повреждения, связанные с попеременным замерзанием и оттаиванием бетона во влажной среде (размораживание). Такие повреждения проявляются в виде растрескивания поверхности бетона, разрыхления и последующего разрушения наружных слоев.

В случае попадания воды во внутренние полости и каверны могут наблюдаться сколы бетона, вызванные расширением замерзающей воды.

7 В конструкциях из-за неисправностей водоотвода и гидроизоляции наблюдаются протечки воды, сопровождающиеся высолами, т. е. появлением продуктов выщелачивания бетона на поверхностях элементов. Это явление связано с выносом водой растворимых в ней солей (выщелачивание). Могут наблюдаться также высолы, образовавшиеся на стадии строительства до укладки гидроизоляции, омоноличивания стыков и заделки различных технологических отверстий.

8 В клееных стыках составных по длине конструкций могут иметь место следующие дефекты:

- наличие щелей в стыке, вызванных отсутствием клея на части площади стыка, что может приводить к появлению трещин в бетоне вблизи стыка из-за концентрации напряжений;
- пластичная консистенция клея или его неоднородность, вызванная плохим перемешиванием составляющих, что может снизить сопротивление стыка сдвигу.

## А.2 Стальные и сталежелезобетонные пролетные строения

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

Для новых конструкций дефектоскопия сварных швов производится на заводах металлических мостовых конструкций, и ее результаты должны быть подтверждены соответствующими исполнительными документами.

2 При наличии коррозии металла непосредственными замерами устанавливают степень ослабления сечения элементов. По ослаблениям определяют также скорость протекания процессов коррозии.

Выявляют конструктивные недостатки, способствующие интенсивной коррозии из-за застоя влаги и плохого проветривания («мешки»; недостатки водоотвода; пазухи и щели, коррозия в которых приводит к распучиванию элементов, и др.).

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

4 Трещины в металлических конструкциях (особенно в сварных, для которых развитие трещин не ограничивается отдельными элементами сечения – уголками или листами) представляют значительную опасность для сооружения. Поэтому при обследовании обращают особое внимание на обнаружение трещин, в случае их выявления выясняют причины их образования, оценивают их опасность для несущей способности, а также дают указания по срочной нейтрализации трещин (сверление отверстий по концам, перекрытие трещин накладками на высокопрочных болтах и т. п.).

5 Причинами образования трещин могут быть:

- а) концентрация напряжений;
- б) остаточные напряжения от сварки;

- в) усталостные явления;
- г) повышенная хладноломкость металла.

Эти причины могут сказываться самостоятельно, однако обычно имеет место влияние нескольких факторов.

6 Наиболее часто образование трещин происходит в местах концентрации напряжений. Поэтому при обследовании на такие места обращают особое внимание.

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

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

Для выявления усталостных трещин тщательно осматривают элементы, воспринимающие наибольшее количество циклов нагружения:

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

7 При обследовании заклепочных соединений обращают особое внимание на заклепки в узлах и стыках главных ферм, а также на заклепки в прикреплениях элементов проезжей части.

Дефектными считаются заклепки: дрожащие при их остукивании; с неоформленными, плохо притянутыми, сбитыми, маломерными, пережженными головками; поставленные с зарубкой основного металла; поставленные в отверстиях неправильной формы.

8 При осмотре стальных конструкций с болтовыми соединениями проверяют целостность болтов и надежность соединений: степень натяжения болтов и плотность прилегания головок болтов и гаек к соединяемым элементам.

При расположении болтов под углом к соединяемым элементам следует проверять наличие клиновидных шайб под головками болтов или под гайками.

Во фрикционных соединениях в первую очередь производят выборочную проверку величины натяжения высокопрочных болтов с помощью специального ключа, снабженного приспособлением для контроля. В число проверяемых включают болты со следами потечков ржавчины у головок, шайб или гаек.

9 В болтах-шарнирах проверяют наличие приспособлений, предупреждающих развинчивание гаек при прохождении нагрузки (стопорных винтов, контргайк и т. п.).

10 При обследовании сталежелезобетонных пролетных строений (особенно со сборной плитой проезжей части) уделяют внимание качеству омоноличивания плиты с упорами балок (ферм), а также состоянию сопряжения плиты с металлической конструкцией, особенно на концевых участках.

11 В мостах висячих и вантовых систем уделяют внимание состоянию вант и подвесок, узлов крепления подвесок к несущим кабелям и к балке жесткости, соединительных муфт подвесок и их резьбы, узлов прикрепления кабелей (вант) к пилонам, опорных частей пилонов и анкерных конструкций на концах оттяжек (во внешнераспорных системах).

12 В разводных пролетных строениях обращают внимание на исправность устройств наведения и разведения пролета, а также на наличие и исправность средств сигнализации и других устройств, обеспечивающих безопасность движения поездов, автотранспорта и пешеходов по мосту.



### **А.3 Деревянные мосты и пролетные строения из клееной древесины**

1 В деревянных мостах чаще всего встречаются следующие дефекты и повреждения:

- загнивание древесины;
- зазоры и неплотности в узлах и других сопряжениях;
- сколы и смятия древесины в сопряжениях деревянных элементов и в опорных узлах;
- износ настила проезжей части и тротуаров.

2 Загнивание древесины является наиболее опасным и распространенным видом повреждений деревянных мостов. Загниванию в первую очередь подвержены плохо проветриваемые элементы конструкции, особенно в узлах и сопряжениях, подвергающихся периодическому увлажнению.

3 При обследовании следует иметь в виду, что развитие гнили в хорошо проветриваемых элементах начинается в сердцевинных частях древесины, в то время как внешние слои часто имеют здоровый вид.

4 Загниванию древесины в значительной мере способствует отсутствие или низкое качество ее антисептирования.

Качество работ по антисептированию древесины проверяют путем ознакомления с журналом работ по антисептированию, осмотра антисептированных элементов и в случае необходимости – с помощью отбора проб обработанной древесины для лабораторного исследования.

5 Выявление гнили производят с помощью внешнего осмотра, по характерному «грибному» запаху, остукиванием, снятием стружки древесины стамеской, высверливанием внутренних слоев буравами. Другие дефекты и повреждения выявляют внешним осмотром, а также по результатам съемок профилей пролетных строений.

6 В пролетных строениях из клееной древесины характерными являются следующие специфические дефекты и повреждения:

- отсутствие клея на части швов (непроклей);
- трещины (расслоения) в стыках между досками;
- сколы зубчатых стыков.

## **А.4 Опоры мостов**

1 В опорах выявляют дефекты, характерные для материала, из которого выполнены опоры (они аналогичны дефектам пролетных строений, выполненных из соответствующих материалов), а также дефекты и повреждения, обусловленные особенностями конструкций, возведения и работы опор:

- трещины и сколы в местах опирания конструкций;
- нарушения целостности опор;
- температурно-усадочные трещины в массивных частях опор;
- расстройство облицовки, дефекты в заполнении швов между блоками сборно-монолитных конструкций;
- трещины в конструкциях, выполненных из железобетонных оболочек или объемных блоков;
- истирание и другие механические повреждения конструкций в зонах воздействия ледохода, карчехода и донных наносов;
- повреждения конструкций в зоне переменного уровня воды, вызванные климатическими факторами и воздействием воды (например, размораживанием бетона, коррозией металла и загниванием древесины);
- повреждения конструкций, вызванные навалами судов и наездами транспорта.

2 Основным источником получения сведений о состоянии оснований и фундаментов опор является техническая документация, при ознакомлении с которой уделяют внимание правильности производства работ при сложных технологических процессах (погружение свай с подмывом, подводное бетонирование и др.).

Кроме того, данные о состоянии оснований и фундаментов могут быть получены на основании анализа общих деформаций опор, определяемых по их просадкам и наклонам, размерам зазоров в деформационных швах, смещениям подвижных опорных частей, а также на основании анализа результатов съемок русла реки.

## **А.5 Опорные части**

1 При обследовании стальных (в том числе с железобетонными валками) опорных частей с помощью внешнего осмотра и измерений проверяют:

- правильность положения подвижных элементов с учетом температуры и обеспеченность расчетных температурных перемещений пролетных строений (как линейных, так и угловых);

- состояние поверхностей катания подвижных опорных частей;

- равномерность взаимного опирания всех элементов опорных частей и прилегающих к ним конструкций опор и пролетных строений;

- надежность прикрепления балансиров (подушек) к соответствующим элементам опор и пролетных строений;

- состояние стопорных и противоугонных элементов, а также защитных кожухов.

2 При обследовании резиновых опорных частей устанавливают:

- марку резины и срок службы опорных частей;

- наличие дефектов – трещин в резине, деформаций, свидетельствующих о нарушении крепления резины к стальным армирующим листам (выдавливанию резины по всей площади торцевой поверхности и выдавливания в виде отдельных, бессистемно расположенных валиков или пузырей);

- отсутствие зазоров между опорной частью и опорными площадками балок и подферменников, а также заглабления опорных частей в бетон подферменников;

- правильность положения опорных частей с учетом температуры и обеспеченность расчетных температурных перемещений пролетных строений.

3 При осмотре стальных опорных частей из полимерных материалов проверяют параллельность нижней и верхней плит, правильность ориентации подвижных элементов относительно направления перемещений, качество окраски наружных поверхностей и состояние защитных чехлов и кожухов.

4 При обследовании опорных частей всех типов обращают внимание на состояние прилегающих конструкций опор и пролетных строений с точки зрения наличия в них повреждений, связанных с дефектами или неправильной установкой опорных частей (сколов бетона и трещин в нем, отсутствия зазоров для температурных перемещений и др.).

5 При наличии продольно-подвижных опираний (разрывов) продольных балок в железнодорожных мостах проверяют обеспеченность свободы продольных перемещений концов балок, плотность опирания концов и невозможность поднятия опираемого конца относительно поддерживающего.

## **А.6 Мостовое полотно и эксплуатационные обустройства**

1 При обследовании мостового полотна автодорожных и городских мостов устанавливают:

- наличие и величину продольных и поперечных уклонов покрытия проезжей части и тротуаров;
- толщину слоев мостового полотна, главным образом покрытия и защитного слоя гидроизоляции в пределах проезжей части;
- наличие дефектов и повреждений: в покрытии проезжей части – трещин, выбоин, местных неровностей (особенно около деформационных швов); в конструкциях тротуаров, бордюрах, ограждающих устройствах и в перилах.

2 Особое внимание в автодорожных и городских мостах уделяют состоянию водоотвода и гидроизоляции. С этой целью, помимо проверки величин уклонов покрытия проезжей части, оценивают достаточность и правильность функционирования водоотводных устройств, а также оценивают обеспеченность отвода воды за пределы моста.

Состояние гидроизоляции оценивают по отсутствию (или наличию) протекания воды или следов ее протекания, высолов бетона, потеков ржавчины. В необходимых случаях для проверки состояния гидроизоляции производят выборочное вскрытие покрытия, защитного слоя или балласта.

3 При осмотре конструкций деформационных швов в автодорожных и городских мостах устанавливают обеспеченность свободного перемещения концов пролетных строений от воздействия температуры и временных нагрузок, а также плавность сопряжения конструктивных элементов швов с покрытием проезжей части.

В швах закрытого и заполненного типов проверяют герметичность швов, наличие и состояние металлических компенсаторов, состояние мастичного заполнения, резиновых вкладышей или закрывающего зазор асфальтобетона.

В швах перекрытого типа определяют состояние перекрывающих элементов (листов, гребенчатых или откатных плит), элементов окаймления и надежность их анкеровки, наличие и состояние водоотводных лотков.

4 В мостах с ездой на балласте особое внимание обращают на состояние гидроизоляции балластных корыт.

5 На всех мостах проверяют надежность крепления перил, ограждающих устройств, бордюров, мачт освещения, мачт и кронштейнов

контактных сетей электрифицированного транспорта, знаков судовой и иной сигнализации, а также состояние антикоррозионной защиты металлических элементов и конструкций.

6 При осмотре проверяют состояние смотровых приспособлений, площадок-убежищ, противопожарного оборудования, элементов заземления и прочих эксплуатационных обустройств.

7 При наличии на мосту коммуникаций (линий связи, теплофикации, водопровода, ливневых коллекторов и др.) проверяют соответствие проекту конструкций их крепления к элементам моста, а также выявляют возможное отрицательное влияние коммуникаций на условия эксплуатации моста (повышение влажности, увеличение загрязненности, ограничение доступа к элементам мостов и т. п.).

В пролетных строениях коробчатого сечения обращают внимание на наличие отверстий для спуска жидкостей при аварии коммуникаций и на условия проветривания замкнутых конструкций.

#### **А.7 Подмостовая зона и подходы к мостам**

1 При обследовании подмостовой зоны с помощью осмотра, измерений, съемок и опроса работников служб эксплуатации устанавливают:

а) на больших и средних мостах:

– состояние подмостового русла, пойменных участков, берегов, берегоукрепительных и регуляционных сооружений;

– изменение положения главного русла по отношению к опорам;

– образование новых протоков и островов (по сравнению с проектом или предшествовавшим обследованием);

– наличие посторонних предметов и остатков сооружений, создающих дополнительное стеснение русла или поймы;

– наличие размывов русла вблизи опор;

б) на малых мостах:

– состояние подмостовой, подходной и отводящей частей русла и его укреплений;

– засорение и заиленность отверстия моста;

в) на всех мостах:

– характер отрицательного воздействия сооружений мостового перехода на окружающую среду (подтопление подпорными водами, заболачивание и занос сельскохозяйственных и лесных угодий, образование оползней, оврагов и т. п.);

г) на путепроводах:

– состояние и ровность покрытия пересекаемой дороги, а также наличие и состояние ограждающих устройств на ней;

– достаточность установленных габаритов проезда под путепроводом, а также наличие и правильность установки соответствующих дорожных знаков;

д) на эстакадах и эстакадных частях мостов:

– характер вредных для сооружения последствий деятельности учреждений и предприятий, расположенных в подэстакадных помещениях (например, вибрационные и ударные воздействия, создание агрессивной среды и среды с высокой влажностью воздуха и т. п.).

2 При осмотре подходов к мостам устанавливают: состояние насыпей, обочин, бERM, откосов и их укреплений; наличие подмывов насыпи и фильтрации воды через нее; состояние и ровность дорожного покрытия (особенно в местах сопряжений с мостом); эффективность работы переходных плит; правильность укладки рельсового пути и охранных приспособлений; обеспеченность закрепления пути от угона; наличие и состояние водоотводных устройств; наличие, состояние и надежность закрепления ограждающих устройств, бордюров, надолб, парапетов, подпорных стенок, лестничных сходов, дорожных знаков; правильность нанесения горизонтальной и вертикальной дорожной разметки. Выполняют нивелирование продольного профиля подходов на участке не менее удвоенной длины переходных плит, включая переходные плиты, с шагом точек 1 м.

## **А.8 Водопрпускные трубы**

1 В процессе обследования труб производят:

– осмотр внутренних и наружных (не закрытых грунтом) поверхностей труб и оголовков;

– измерения вертикальных и горизонтальных диаметров круглых труб, высоты и ширины отверстий прямоугольных труб (или других характерных параметров труб, имеющих сложное очертание отверстий);

– замеры величин зазоров в швах между звеньями и между секциями фундаментов (для фундаментных труб), взаимных вертикальных деформаций звеньев;

– выявление заносимости лотков грунтом;

– проверку профиля лотка и положения оси трубы в плане.

Кроме того, при необходимости производят:

– замеры углов пересечения осей сооружения с осью пути или дороги;

- съемку поперечников земляного полотна;
- осмотр укрепленных откосов конусов, подводящих и отводящих русел, а также примыкающих к трубам водоотводов;
- съемку планов и характерных сечений логов, проверку правильности гидравлической работы;
- выявление фильтрации воды через тело насыпи;
- выявление признаков пучения грунта или наледообразования.

При обследовании труб, построенных на вечномёрзлых грунтах, выявляют наличие просадок труб, которые могут быть вызваны деградацией вечной мерзлоты.

2 При осмотре железобетонных, бетонных и каменных труб выявляют наличие трещин, сколов бетона, мест с недостаточной толщиной защитного слоя бетона, потеков в швах сопряжения звеньев, мокрых пятен на бетонных поверхностях и других дефектов.

3 При осмотре металлических гофрированных труб устанавливают:

- материал и состояние дополнительного покрытия;
- качество и состояние цинкового покрытия;
- материал и состояние лотка;
- изменение формы поперечного сечения;
- правильность выполнения стыков (полноту установки болтов, качество затяжки болтов и положение шайб);
- наличие местных повреждений металла (трещин у болтовых отверстий, погнутостей и др.).

4 Измерение вертикальных и горизонтальных размеров отверстий железобетонных, бетонных и каменных труб производят выборочно (в первую очередь – в местах наличия горизонтальных трещин или раскрытия швов).

В металлических гофрированных трубах измерение диаметров производят в точках, расположенных под осями путей и на концах труб.

5 Замеры величин зазоров в швах выполняют в тех случаях, когда при осмотре обнаружены признаки растяжки трубы (просыпание грунта засыпки или балласта сквозь увеличенные швы при разрыве изоляционного перекрытия, просадка лотков трубы, отрыв оголовка и т. п.).

У круглых труб замеры производят в уровне горизонтального диаметра, у прямоугольных – на середине высоты звеньев. В случаях ясно выраженных осадок или растяжек звеньев замеры делают в уровне верха звеньев и по лотку.

В случае обнаружения наклонов или отрыва оголовка фиксируют величины раскрытия швов в местах примыкания к звеньям и углы наклона.

Растяжку металлических гофрированных труб выявляют путем измерения длины трубы между фиксированными точками.

6 Выявление заносимости лотков труб грунтом производят в период между паводками, обращая внимание на толщину наносов в углублениях (пазухах) лотков.

При наличии сплошной толщи наносов внимательно обследуют состояние русла и его укреплений выше и ниже трубы, а также проверяют правильность отметок лотка трубы на входе, посередине длины и на выходе из сооружения.

7 Трубы нивелируют, как правило, по лотку. Данные нивелирования по «замку» круглых труб или посередине ригеля прямоугольных труб могут быть использованы лишь для косвенной оценки профиля лотков в случаях, когда непосредственная нивелировка звеньев по лотку затруднена (вследствие наличия большой толщи наносов, глубокого водотока и т. п.).

8 Положение звеньев труб в плане фиксируют (у круглых труб – в уровне их горизонтального диаметра, у прямоугольных – посередине высоты звеньев) измерениями по рейке с уровнем относительно мерной проволоки, протянутой вдоль оси трубы по центрам первого и последнего звеньев, или горизонтальным нивелированием.



*ПРИЛОЖЕНИЕ Б*  
(рекомендуемое)

**Перечень рекомендуемых приборов  
и методика статистической обработки результатов  
инструментальных исследований прочности бетона**

**Б.1 Приборы для определения прочности бетона**

- 1) Метод отрыва со скалыванием по ГОСТ 22690:
  - а) ГПНВ-5;
  - б) ПИБ;
  - в) ПОС 30-МГ4 «Отрыв»;
  - г) ПОС 50-МГ4 «Отрыв»;
  - д) ПОС 50-МГ4 «Скол».
- 2) Метод скалывания ребра по ГОСТ 22690: ПОС 50-МГ4 «Скол».
- 3) Ультразвуковой метод по ГОСТ 17624:
  - а) Пульсар-1,0;
  - б) Пульсар-1,1;
  - в) ультразвуковой тестер Ук-1401;
  - г) УК-15 м;
  - д) Бетон-32;
  - е) ультразвуковой прибор ТИСО.
- 4) Метод ударного импульса по ГОСТ 22690:
  - а) ИПС-МГ4.01;
  - б) ИПС-МГ4.03;
  - в) ОНИКС-2.5.
- 5) Метод упругого отскока по ГОСТ 22690:
  - а) ОМШ-1;
  - б) молоток Шмидта, тип N (склерометр).

**Б.2 Методика статистической обработки результатов  
инструментальных исследований прочности бетона**

Участки для определения прочности бетона следует выбирать в наименее напряженных зонах или элементах изделий и конструкций, нагруженных эксплуатационной нагрузкой или усилием обжатия предварительно напряженной арматуры. Лицевых поверхностей сооружения рекомендуется избегать из соображений сохранения эстетики сооружения. Необходимо учитывать требования к качеству поверхности бетона (расположению исследуемого участка), которые предъявляются для конкретного прибора. Сколы и повреждения, уча-

стки отбора образцов следует заделывать полимерцементными безусадочными растворами в течение 5 дней после отбора проб.

Для исследования прочностных характеристик бетона рекомендуется использовать метод отрыва со скалыванием или метод скалывания ребра в комплексе с другими более оперативными и менее трудоемкими неразрушающими методами (упругого отскока, ультразвуковой метод и метод ударного импульса).

На первой стадии исследования на каждом участке исследуемой конструкции производится серия (не менее 10 значений) измерений с использованием оценочных методов (например, с использованием склерометра Шмидта, молотка Кашкарова, ультразвукового метода и т. д.). Обработка полученных значений производится по формулам математической статистики с целью получения характеристики изменчивости свойств бетона на исследованном участке. Среднее значение вычисляют по формуле

$$\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_1^n a_i,$$

где  $n$  – количество испытаний.

Среднеквадратическое отклонение вычисляют по формуле

$$\bar{S} = \sqrt{\sum_1^n \frac{(\bar{a}_i - a_i)^2}{n-1}}.$$

Коэффициент вариации прочности бетона вычисляют по формуле

$$V = \frac{\bar{S}}{\bar{a}}.$$

Далее на этих же участках производится серия измерений (не менее трех) более трудоемкими точными способами определения прочности бетона (отрыв со скалыванием, скалывание ребра). Полученные косвенные значения  $b_i$  в соответствии с инструкциями на конкретный прибор переводятся в прочность на сжатие  $R_i$ .

Далее рассчитывают среднее значение прочности на сжатие по формуле

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_1^n R_i.$$

Минимальную прочность бетона, МПа, рассчитывают по формуле

$$R = \bar{R}_i - 1,64V.$$

## *ПРИЛОЖЕНИЕ В* *(рекомендуемое)*

### **Рекомендации по анализу и оценке результатов обследований и испытаний мостов**

#### **В.1 Стальные конструкции**

1 Трещины в сварных элементах создают потенциальную опасность хрупкого разрушения всего сечения конструкции, особенно возрастающую при отрицательных температурах воздуха.

2 Трещины в клепаных элементах также следует рассматривать как возможную причину разрушения того элемента сечения, в котором они расположены.

3 Наличие слабых заклепок снижает несущую способность узла или стыка.

4 Коррозия металла ослабляет сечение элементов, а также может приводить при язвенном ее характере к концентрации напряжений.

5 Значительные искривления интенсивно работающих сжатых элементов и местные искривления стенок в зоне действия сосредоточенных сил могут являться признаками недостаточной устойчивости элементов и частей конструкций.

6 Линии Людерса на поверхности металлических элементов являются признаком интенсивного развития пластических деформаций.

#### **В.2 Железобетонные конструкции**

1 Раскрытие трещин в бетоне (в размерах более нормируемых величин), а также появление трещин, не предусматриваемых в расчетах, следует оценивать с учетом:

- возможных причин появления трещин;
- влияния трещин на несущую способность элемента (на напряжения в арматуре, на целостность конструкции, на изменение схемы работы сечений и т. п.);
- опасности коррозионных повреждений арматуры по трещинам.

2 Продольные трещины в сжатой зоне бетона с одновременным значительным раскрытием поперечных трещин в растянутой зоне (для изгибаемых элементов) могут свидетельствовать об исчерпании несущей способности элементов по бетону.

3 Образование трещин в швах предварительно напряженных поперечно-члененных конструкций, не имеющих сцепления арматуры с бетоном (например, на стадии строительства), может быть следствием наступления опасного состояния по несущей способности конструкции.

4 Трещины в ненапрягаемых конструкциях, расположенные поперек рабочей арматуры, имеющие величину раскрытия более 0,5 мм при арматуре периодического профиля и более 0,7 мм при гладкой арматуре, могут свидетельствовать о текучести в арматуре или о потере сцепления арматуры с бетоном.

5 Не требуют принятия защитных мер по признаку опасности коррозии арматуры элементы со следующими трещинами:

а) в пролетных строениях железнодорожных мостов с проволочной напряженной арматурой – редкие одиночные трещины раскрытием до 0,05 мм;

б) в пролетных строениях железнодорожных мостов со стержневой напрягаемой арматурой и в пролетных строениях автодорожных и городских мостов с проволочной арматурой – одиночные трещины раскрытием до 0,1 мм;

в) в конструкциях с ненапрягаемой стержневой арматурой:

– расположенных в зонах переменного уровня воды – раскрытием до 0,15 мм;

– увлажняемых атмосферными осадками – “ до 0,2 мм;

– защищенных от атмосферных осадков – “ до 0,3 мм.

6 Наличие трещин поперек рабочей арматуры в предварительно напряженных конструкциях может рассматриваться как признак недостаточного обжатия бетона напряженной арматурой.

7 Образование трещин и сколов вдоль стержневой арматуры обычно связано с коррозией арматуры. Наличие этих дефектов указывает на недостаточные защитные свойства бетона и приводит к снижению долговечности конструкций. При значительном раскрытии трещин вдоль рабочей арматуры вследствие ее коррозии может заметно снижаться несущая способность балок и колонн.

8 Дефекты бетонирования (раковины, каверны, места с недостаточной толщиной защитного слоя бетона), а также сколы бетона следует оценивать в первую очередь как ухудшение защиты арматуры от коррозии; при больших размерах таких дефектов и повреждений следует оценивать также уменьшение площади сжатого бетона в сечениях элементов и ухудшение внешнего вида конструкций.

9 Протечки, высолы и ржавые потеки свидетельствуют, как правило, о плохой гидроизоляции конструкций. Наличие сухих, старых следов высолов на поверхности бетона (особенно на вновь построенных мостах) может быть следствием протекания воды еще до устройства гидроизоляции.

10 Наличие неотвердевшего клея на больших участках клееных стыков составных изгибаемых конструкций приводит к снижению несущей способности по поперечной силе и требует проверки стыка при пониженных значениях коэффициента трения.

### **В.3 Деревянные конструкции**

1 Загнивание древесины приводит к уменьшению рабочего сечения элементов, а также к снижению несущей способности вследствие ухудшения механических свойств.

2 Значительные местные смятия древесины в соединениях, изломы, сколы (особенно во врубках и шпонках), а также наличие непроклеенных участков в пролетных строениях из клееной древесины могут привести к существенному снижению несущей способности конструкций. При загнивании мелких ответственных элементов (шпонок, колодок, узловых подушек) эти элементы, как правило, подлежат замене.

### **В.4 Монолитные и сборно-монолитные бетонные опоры**

1 Наличие общих деформаций опор свидетельствует обычно о деформациях оснований и приводит к снижению эксплуатационных свойств сооружения (смещению опорных частей, уменьшению размеров деформационных швов, ухудшению профиля и плана пути); для статически неопределимых систем такие деформации могут привести к повреждению основных конструкций и снижению их несущей способности.

2 Вертикальные температурно-усадочные трещины в массивных бетонных опорах раскрытием до 1–1,5 мм не представляют опасности для сооружения, за исключением случаев, когда эти трещины имеют тенденцию к развитию и создают опасность нарушения целостности опоры.

3 Износ граней массивных (толщиной более 1,5 м) опор, вследствие истирания бетона льдом и донными наносами, с интенсивностью до 1 мм в год не представляет опасности и может считаться допустимым. Опасность износа облегченных и массивных опор в размерах больших, чем указано выше, следует оценивать с учетом возможности снижения несущей способности и долговечности опор.

## В.5 Рекомендации по анализу и оценке основных результатов испытаний

Основным критерием положительной оценки работы конструкций мостов по результатам испытаний является соответствие упругих факторов (усилий, напряжений, деформаций, перемещений и др.), измеренных в конструкции при действии испытательной нагрузки, значениям, найденным расчетным путем (от испытательной нагрузки).

Показателем работы конструкции при статических испытаниях является конструктивный коэффициент  $K$ , определяемый по формуле

$$K = \frac{S_e}{S_{cal}},$$

где  $S_e$  – фактор, измеренный при действии испытательной нагрузки;  $S_{cal}$  – тот же фактор, найденный от испытательной нагрузки расчетным путем.

Характерными для общей оценки работы испытываемой конструкции под временной нагрузкой являются значения коэффициента  $K$ , определенные при наибольших воздействиях испытательной нагрузки для следующих факторов:

- средних (по ширине) прогибов пролетных строений;
- средних осевых напряжений в растянутых или сжатых элементах;
- средних фибровых напряжений в каждой из зон (растянутой и сжатой) изгибаемых элементов.

Рассчитывать средний прогиб в пролетных строениях, имеющих по ширине более двух главных балок (ферм, арок), рекомендуется способами, исключаящими влияние расчетного коэффициента поперечной установки нагрузки на величину прогиба каждой из балок.

По данным многочисленных статических испытаний значения коэффициента  $K$  для основных несущих конструкций и их элементов составляют от 0,7 до 1,0, а для элементов пролетных строений, в которых расчетами не учитывается совместная работа главных балок (ферм) с элементами проезжей части и дорожной одежды, – как правило, от 0,5 до 0,7.

Значения коэффициента  $K > 1$  указывают на существенное отличие работы элементов сооружения от принятых в расчетах предположений. В этих случаях требуются выяснение причин выявленных отклонений и разработка мер по обеспечению надежной работы элементов.

Низкие значения коэффициента  $K$  могут указывать на наличие в сооружении или у его элементов резервов несущей способности. Возможность использования этих резервов может быть рассмотрена после изучения причин получения низких значений коэффициента  $K$ .

При определении фактической грузоподъемности сооружения влияние конструктивных элементов на работу основных несущих конструкций следует учитывать только в тех случаях, когда приняты необходимые меры по обеспечению надежной совместной работы этих элементов с основными несущими конструкциями или когда совместная работа гарантирована принятыми в проекте решениями.

Значения коэффициента  $K$ , найденные по величинам максимальных фибровых напряжений, могут превышать в отдельных случаях единицу в связи с наличием концентраторов напряжений, эксцентриситетов действия сил, физической неоднородности соединений и прикреплений элементов и других обстоятельств.

При анализе факторов, измеренных в отдельных элементах главных балок (ферм, арок) автодорожных и городских мостов, следует учитывать пространственную работу пролетных строений. Коэффициенты поперечной установки временной нагрузки  $\eta_i$  в этом случае определяются по формуле

$$\eta_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^n f_i},$$

где  $\eta_i$  – фактический коэффициент поперечной установки для  $i$ -й балки (фермы, арки);  $f_i$  – величина упругого прогиба  $i$ -й балки (фермы, арки), измеренная при испытаниях;  $n$  – число балок (ферм, арок) или любых других точек в поперечном сечении пролетного строения, прогибы которых измерялись при испытаниях.

Найденные коэффициенты поперечной установки  $\eta_i$  сравниваются со значениями  $\eta_b$ , принятыми при проектировании.

В качестве одного из критериев оценки моста по результатам статических испытаний может служить соотношение измеренных упругих и остаточных деформаций (в основном прогибов), выражаемое показателем работы конструкций:

$$\alpha = \frac{f_r}{f_{el}},$$

где  $f_r$  – величина остаточного прогиба, определенного после стабилизации деформаций;  $f_{el}$  – величина упругого прогиба, определенного при тех же условиях.

Оценку работы вновь построенных мостов по соотношению упругих и остаточных деформаций следует производить по результатам первого нагружения конструкций испытательной нагрузкой, близкой по величине к нормативной.

Показатели работы конструкций  $\alpha$  могут достигать следующих значений:

а) для вновь построенных мостов, выполненных:

– из дерева – 0,30;

– из других материалов – 0,15;

б) для мостов, находящихся в эксплуатации и выполненных:

– из дерева – 0,10;

– из других материалов – 0,05.

При испытаниях эксплуатируемых железнодорожных мостов обычной обращаемой на данной линии или дороге нагрузкой значение показателя  $\alpha$ , как правило, бывает близким к нулю.

Полученные при статических испытаниях величины прогибов и переломов профиля проезжей части с учетом профилей, зафиксированных при обследовании, следует использовать при оценке соответствия их нормируемым величинам.

Работу конструкций под динамическим воздействием необходимо оценивать на основании сравнения величин фактических (определенных при больших величинах испытательной нагрузки) и проектных динамических коэффициентов, сравнения измеренных величин периодов собственных колебаний с расчетными и нормируемыми, выявления неблагоприятных видов колебаний (резонансного типа и биений), рассмотрения характера затухания колебаний и др.

При сравнении измеренных прогибов, углов перелома профиля проезжей части, коэффициентов поперечной установки и периодов колебаний с их расчетными значениями последние могут определяться с учетом разгружающего влияния конструктивных элементов.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **ТКП 45-3.03-60-2009 (02250)**. Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний. – Мн. : Стройтехнорм, 2009. – 29 с.
- 2 **ТКП 172-2009 (02191)**. Обустройство мест производства работ при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог и улиц населенных пунктов. – Мн. : БелдорНИИ, 2009. – 60 с.
- 3 **ТКП 245-2010 (02191)**. Автомобильные дороги. Состав и правила оформления производственно-технической документации. – Мн. : БелдорНИИ, 2009. – 112 с.
- 4 Руководство по определению грузоподъемности металлических пролетных строений железнодорожных мостов. – М. : Транспорт, 1987. – 271 с.
- 5 Межотраслевые общие правила по охране труда. Утверждены постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 3 июня 2003 г. № 70.
- 6 Правила охраны труда при работе на высоте. Утверждены постановлением Министерства труда Республики Беларусь от 28 апреля 2001 г. № 52.
- 7 **Бондарь, Н. Г.** Динамика железнодорожных мостов / Н. Г. Бондарь – М. : Транспорт, 1965. – 412 с.
- 8 **Осипов, В. О.** Содержание и реконструкция / В. О. Осипов – М. : Транспорт, 1986. – 327 с.
- 9 **Этин, Е. М.** Испытания железнодорожных мостов / Е. М. Этин. – Гомель : БелГУТ, 2005. – 32 с.

Учебное издание

*ЭТИН Павел Юрьевич*

**Диагностика и испытания мостов**

Учебно-методическое пособие

Редактор *Н. А. Дашкевич*

Технический редактор *В. Н. Кучерова*

Компьютерный набор и верстка *П. Ю. Этина, Т. И. Шляхтовой*

Подписано в печать 20.08.2010 г. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.

Усл. печ. л. 3,95. Уч.-изд. л. 3,80. Тираж 50 экз.

Зак. № . Изд. № 97

Издатель и полиграфическое исполнение  
Белорусский государственный университет транспорта:

ЛИ № 02330/0552508 от 09.07.2009 г.

ЛП № 02330/0494150 от 03.04.2009 г.

246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

**Кафедра «Строительные конструкции, основания и фундаменты»**

**П. Ю. ЭТИН**

# **ДИАГНОСТИКА И ИСПЫТАНИЯ МОСТОВ**

**Учебно-методическое пособие**

**Гомель 2010**