УДК 624.21.01/.09

ДЕФЕКТЫ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ И МЕТОДЫ ИХ ДИАГНОСТИКИ

П. В. Кривицкий[1], Н. В. Матвеенко[2]

[1] К. т. н., доцент, зав. отраслевой лабораторией «Научно-исследовательский центр инноваций в строительстве» БрГТУ, Брест, Беларусь, krivitskiyp@mail.ru

[2] М. т. н., ст. науч. сотр. отраслевой лаборатории «Научно-исследовательский центр инноваций в строительстве» БрГТУ, Брест, Беларусь, nikifarych@yandex.by

Реферат

В статье классифицированы основные дефекты и повреждения конструкций мостовых сооружений. Выделены причины их появления и последующего влияния на долговечность, грузоподъёмность сооружения и безопасность движения. Рассмотрены современные методы диагностики дефектов и обследования мостовых сооружений. Проанализированы существующие подходы прогнозирования долговечности сооружений транспортной инфраструктуры.

Ключевые слова: мостовое полотно, пролетное строение, карбонизация, коррозия, прогнозирование.

DEFECTS OF BRIDGE STRUCTURES AND METHODS OF THEIR DIAGNOSIS

P. V. Krivitskiy, N. V. Matweenko

Abstract

The article classifies the main defects and damages of bridge structures. The reasons for their appearance and the subsequent impact on the durability, load capacity of the structure and traffic safety are highlighted. Modern methods of defect diagnostics and inspection of bridge structures were considered. The existing approaches to forecasting the durability of transport infrastructure structures were studied.

Keywords: bridge canvas, bridge beams, carbonation, corrosion, forecasting.

Введение

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 212 от 09.04.2021 утверждена Государственная программа «Дороги Беларуси» на 2021–2025 годы [1]. Основной целью программы является улучшение эксплуатационно-технического состояния автомобильных дорог общего пользования. При этом следует отметить, что одним из наиболее проблемных направлений является содержание и ремонт мостовых сооружений на республиканских и местных автомобильных дорогах. По данным дорожной диагностики 2019 года из двух тысяч двухсот семидесяти трех мостовых сооружений на республиканских автомобильных дорогах не соответствуют нормативным требованиям грузоподъемности и (или) габариту пятьсот пятьдесят одно сооружение (24,2 %), из трех тысяч двадцати пяти мостов на местных автомобильных дорогах не соответствуют нормативным требованиям тысяча сто два (36,4 %). Кроме этого, по данным результатов технических обследований мостовых сооружений, выполненных отраслевой лабораторией «Научно-исследовательский центр инноваций в строительстве» в различных регионах республики установлено, что большинство сооружений нуждается в текущем ремонте.

Как правило, дорожно-эксплуатационные службы при определении периодичности ремонтно-восстановительных работ и работ по содержанию сооружений руководствуются требованиями соответствующих нормативных документов [2, 3]. Основные требования по срокам восстановления или замены отдельных конструктивных элементов в соответствии с [2, 3] представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Проектный срок службы конструктивных элементов и периодичность их ремонта

Элементы мостов	**Проектный срок службы, лет, не менее**	**Виды работ**	**Периодичность выполнения работ**
1	**2**	**3**	**4**
Конструкции опор мостов	100	– восстановление сливов; – ремонт сколов и повреждений бетона; – гидрофобизация увлажняемых поверхностей; – обработка поверхностей железобетонных конструкций ингибиторами коррозии, подщелачивание поверхностного (защитного) слоя бетона	при необходимости; по мере возникновения; 1 раз в 5 лет; 1 раз в 20 лет
Конструкции пролетных строений с пролетами более 33 м / до 33 м включительно	100/75	– заделка сколов, раковин и мелких повреждений бетона; – гидрофобизация увлажняемых поверхностей железобетонных конструкций; – обработка поверхностей железобетонных конструкций ингибиторами коррозии (ребра балки); – ремонт и восстановление лакокрасочных покрытий: * на фасадных поверхностях железобетонных балок; * стальных балок	по мере возникновения; 1 раз в 5 лет; 1 раз в 20 лет; 1 раз в 2 года; при необходимости
Покрытие проезжей части мостов на республиканских автомобильных дорогах и в городах/ на местных автомобильных дорогах, в сельских населенных пунктах	7/10	– очистка проезжей части и тротуаров от мусора; – герметизация трещин в покрытии; – ремонт сколов и повреждений бетона элементов мостового полотна; – гидрофобизация бетонных поверхностей элементов мостового полотна	1 раз в 10 дней, при необходимости – чаще; 2 раза в год, весной и осенью; по мере возникновения; раз в 2 года – на мостах на автомобильных дорогах I–III категорий, 1 раз в 3 года – на остальных мостах
Гидроизоляция проезжей части мостов	15	–	–

Продолжение таблицы 1

Система водоотвода и дренажа	20	– очистка водоотводных трубок и других отверстий для отвода воды с мостового полотна; очистка лотков из термопласт-композита для отвода воды	1 раз в месяц
Деформационные швы	7/10	– продувка сжатым воздухом, очистка и герметизация мастикой трещин по границе заполнения щебеночно-мастичных швов и покрытия; – герметизация трещин в покрытии над деформационными швами закрытого типа; – промывка водой под давлением всех элементов мостового полотна и насадок опор под деформационными швами; – очистка деформационных швов открытого типа; – восстановление мастичного заполнения штрабы вдоль деформационных швов с резинометаллическими компенсаторами и штрабы на тротуарах с удалением старой мастики; – подтяжка шпилек болтов и пружин в деформационных швах перекрытого типа	2 раза в год, весной и осенью; 2 раза в год, весной и осенью; 1 раз в год, весной; 3–4 раза в год; по мере разрушения мастичного заполнения, предусмотренного проектной документацией; 1 раз в год весной при промывке элементов мостового полотна
Металлические опорные части	–	Очистка металлических элементов от продуктов коррозии и их окраска атмосферостойкой краской, нанесение графитовой смазки (эмульсии) на рабочие поверхности стальных подвижных опорных частей	1 раз в 2 года
Резиновые опорные части	25	Герметизация трещин на боковых поверхностях резинометаллических опорных частей	по мере возникновения
Полиуретановые опорные части	100	–	–

В ряде случаев даже при строгом соблюдении требований нормативных документов в части периодичности ремонтных работ могут возникать дефекты и повреждения отдельных конструктивных элементов, приводящие к снижению несущей способности и эксплуатационной пригодности как отдельных конструктивных элементов, так и всего сооружения в целом. Причинами появления указанных дефектов могут выступать нарушения требований технических нормативных правовых актов при проектировании и (или) строительстве сооружений, различного рода механические повреждения в процессе эксплуатации как результат дорожно-транспортных происшествий.

Дефекты мостовых сооружений

Согласно [4], в зависимости от степени влияния дефекты подразделяются: на дефекты содержания, являющиеся результатом нарушения сроков выполнения регламентных работ по техническому обслуживанию сооружения; дефекты безопасности, препятствующие свободному и безопасному движению транспортных средств и пешеходов по сооружению и под ним (при необходимости) и дефекты грузоподъемности, приводящие к снижению несущей способности пролетных строений и опор. Наиболее часто встречающиеся дефекты, установленные по результатам обследования мостовых сооружений для каждой категории, приведены в таблице 2.

Также в отдельную категорию можно выделить дефекты долговечности, которые не оказывают непосредственного влияния на эксплуатационные показатели сооружения, но при несвоевременном устранении могут привести к снижению грузоподъемности и ухудшению показателей безопасности в будущем.

При диагностике и обследовании технического состояния мостовых сооружений выявление дефектов производится на основании визуального осмотра, а отнесение его к той или иной категории во многом зависит от квалификации, опыта и субъективного мнения специалиста, проводящего обследования. При этом ряд дефектов и повреждений может быть установлен визуально – наличие коррозионных или силовых трещин, размораживание бетона, несоответствие отдельных конструктивных элементов нормативным требованиям. Иные дефекты не могут быть обнаружены без использования современных узкоспециализированных приборов или проведения лабораторных исследований – такие, как скрытая коррозия арматуры, карбонизация и насыщение хлоридами бетона, но могут привести к стремительному ухудшению технического состояния конструкций.

Современные методы диагностики дефектов мостовых сооружений

Наиболее распространенным методом выявления коррозии рабочей арматуры несущих конструкций мостового сооружения является вскрытие защитного слоя бетона и визуальная оценка степени коррозионного износа арматурных стержней. Для определения степени карбонизации и насыщения хлоридами бетона, как правило, выполняют отбор проб бетона на различных участках конструкций для их последующего лабораторного анализа. Также весьма распространенным является метод оценки карбонизации бетона в полевых условиях, который заключается в увлажнении свежего сухого бетонного скола поверхности индикаторной жидкостью (1 %-ным спиртовым раствором фенолфталеина или тимолфталеина).

Основным недостатком описанных выше методов диагностики является выявление дефектов (или их отсутствия) только на локальных участках (в местах вскрытия защитного слоя бетона или отбора проб). Проведение сплошного контроля в таких условиях сложно осуществить из-за повышенной трудоемкости работ, а также ослабления конструкции в результате механических повреждений, сопровождающих данные работы.

Одним из направлений, позволяющих выполнять более полную оценку технического состояния конструкций при сохранении их целостности, является применение методов неразрушающего контроля. В частности, использование потенциометрического метода позволяет производить оценку коррозионного состояния арматуры конструкций по изменению потенциала проверяемого стального стержня. В зависимости от величины измеренного потенциала (рисунок 1) может быть сделан вывод о состоянии арматуры конструкции, согласно таблице 3 [5].

Таблица 2 – Дефекты мостовых сооружений

Дефекты мостовых сооружений		
Влияющие на долговечность сооружения	**Влияющие на безопасность движения**	**Влияющие на грузоподъемность сооружения**
–разрушение конструкции гидроизоляции мостового полотна; –замокание, замшелость, высолы по бетону; –размораживание (морозная деструкция) бетона в том числе с оголением арматуры; –недостаточный защитный слой бетона, коррозия конструктивной арматуры; –коррозионные трещины (коррозия рабочей арматуры); –фильтрация воды по стыку, выщелачивание, замшелость, выцветы, сталактиты; –разрушение бетона стыка; –сколы бетона без оголения арматуры и с оголением арматуры; –деформационные швы негерметичны, разрушены; –размораживание торцов балки, коррозия анкерных шайб; –коррозия и разрушение опорных частей; –водоотводные трубки коротки или разрушены; –просадка конуса под насадками крайних опор и переходными плитами; –размыв конусов и откосов насыпи	–трещины в покрытии мостового полотна и подходов; –ямочность в покрытии подходов; –загрязнения мостового полотна и тротуаров; –элементы барьерного ограждения или их крепление на мосту и походах не соответствуют нормативным требованиям (отсутствуют светоотражающие вставки, коррозия металлических элементов); –перила шатаются; –просадка конуса под насадками крайних опор и переходными плитами; –размыв конусов и откосов насыпи; –разрушено организованное сопряжение тротуаров с подходами; –сквозное разрушение тротуаров; –отсутствует покрытие тротуаров; –водоотводные трубки не имеют решеток; –лестницы на подходах разрушены или отсутствуют	– коррозия рабочей арматуры; – размораживание (морозная деструкция) бетона в том числе с оголением арматуры; – повышенная толщина ездового полотна; – коррозия анкерных шайб; – разрушение опорных частей

Таблица 3 – Критерии коррозионного состояния стальной арматуры (согласно [5])

Диапазон потенциалов на поверхности железобетонной эксплуатируемой конструкции, $В_{МСЭ}$	**Характеристика коррозионного состояния арматурной стали**
P > –0,200	Вероятность отсутствия коррозионного процесса более 90 %
–0,200 > P > –0,350	Коррозионный процесс арматурной стали маловероятен
P < –0,350	Вероятность коррозионного процесса более 90 %
P < –0,50	Трещины в бетоне

В свою очередь, данные о величине потенциалов на поверхности железобетонной конструкции косвенно могут быть использованы для оценки степени карбонизации и насыщения хлоридами бетона (таблица 4). Следует отметить, что показания приборов неразрушающего контроля не могут считаться точными, поскольку во многом зависят от влажности бетонной поверхности, положения арматуры, наличия в бетоне добавок и т. д. Поэтому выполнение лабораторных исследований точечно отобранных проб бетона позволяет произвести калибровку прибора для каждой конкретной конструкции.

Таблица 4 – Значения потенциалов металлов в бетоне

Электрод	**Потенциал, Вмсэ**
Кислородный электрод в щелочной среде бетона при отсутствии хлор-ионов	< +0,17
Стержень стальной арматуры в бетоне находится: в насыщенном растворе $Ca(OH)_2$ в водонасыщенном бетоне при отсутствии кислорода в нормально увлажненном бетоне, содержащем хлор-ионы в нормально увлажненном бетоне, не содержащем хлор-ионы в карбонизированном бетоне с нормальным содержанием влаги в сухом карбонизированном бетоне в сухом бетоне	 > –1,1 > –1,1 > –0,6 от +0,1 до –0,1 включ. от +0,1 до –0,3 включ. от +0,2 до 0 включ. от +0,2 до 0 включ.
Нержавеющая сталь в бетоне с нормальным содержанием влаги	от +0,1 до –0,2 включ.
Медь в бетоне с нормальным содержанием влаги	от +0,1 до –0,2 включ.
Гальванизированная сталь в сухом бетоне	> –1,1

Немаловажным этапом обследования технического состояния сооружения является прогнозирование долговечности моста. Согласно [6], прогнозирование рекомендуется выполнять на основе данных результатов предыдущих обследований, экстраполируя снижение класса грузоподъемности по эллиптической зависимости. При неблагоприятных условиях эксплуатации (систематические замокания, воздействия химически активных антиобледенителей) необходимо учитывать снижение прочностных и деформативных свойств бетона в результате деградационных процессов в соответствии с Приложением В [6]. На снижении грузоподъ-

емности пролетного строения также сказывается коррозия арматуры, поэтому в методике, разработанной в Российской Федерации [7], предусмотрено не только прогнозирование карбонизации бетона, но и коррозии арматуры.

Для выполнения обоснованных расчетов прогнозируемой долговечности элементов мостовых сооружений необходимо иметь точную и подробную информацию о протекающих в конструкции процессах карбонизации бетона и коррозии арматуры на этапе обследования. Такую возможность предоставляют методы сплошного неразрушающего контроля.

Приведенные в нормативных документах [6, 7] методики не всегда позволяют достоверно получить данные о прогнозном сроке службы конструкций, поскольку скорость развития процессов карбонизации бетона и коррозии арматуры во многом зависит от начального качества материалов, а также условий эксплуатации конструкции, которые могут сильно отличатся даже в пределах одного сооружения: крайние и средние балки пролетных строения, конструкции, расположенные у деформационного шва и т. д.

Для полноценной оценки технического состояния и прогнозирования остаточного ресурса конструкций специалисту, выполняющему обследование, необходимо иметь данные о состоянии конструкции, степени карбонизации бетона, протекающих процессах коррозии в арматуре на протяжении всего периода эксплуатации, что не всегда является возможным.

Выводы

1. Для обеспечения необходимых грузоподъемности и технико-эксплуатационных показателей мостовых сооружений необходимо производить ремонт и замену конструкций точно в сроки, установленные нормативно-правовыми актами, а также регулярно выполнять диагностику технического состояния сооружений.

2. Диагностика дефектов мостовых сооружений может осуществляться по результатам визуального осмотра и соответствующих измерений. Наиболее перспективными являются методы сплошного неразрушающего контроля, которые позволяют получить максимально обширную информацию о состоянии конструкции, выявить скрытые дефекты без повреждения элементов моста.

3. Прогнозирование долговечности моста по данным о его грузоподъемности, определенной по результатам предыдущих обследований, позволяет учитывать развитие деградационных процессов в бетоне и коррозии арматуры. Для выполнения соответствующих расчетов необходима информации о степени карбонизации бетона и коррозионного повреждения арматуры, а также скорость их прогрессирования.

Литература

1. О Государственной программе «Дороги Беларуси» на 2021–2025 гг. [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 09 апреля 2021 г., № 212. – Режим доступа: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100212. – Дата доступа: 15.04.2021.

2. СН 3.03.01-2019. Мосты и трубы. Строительные нормы Республики Беларусь. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 279 с.

3. ТКП 376-2019. Мосты и трубы. Правила эксплуатации. – Минск : РУП БелдорНИИ, 2019. – 74 с.
4. ТКП 227-2018. Мосты автодорожные. Правила выполнения диагностики. – Минск : Минстройархитектуры, 2017. – 118 с.
5. СТБ 1994-2009. Конструкции железобетонные эксплуатируемые. Потенциометрический метод определения состояния арматуры. – Минск : Госстандарт, 2010. – 13 с.
6. ТКП 479-2019. Правила определения грузоподъемности железобетонных и сталежелезобетонных балочных пролетных строений автодорожных / Минтраспорта и коммуникаций РБ. – Минск, 2019. – 248 с.
7. Шестериков, В. И. Методика расчетного прогнозирования срока службы железобетонных пролетных строений автодорожных мостов / В. И. Шестериков, Л. И. Иосилевский, Е. А. Андропова. – М. : Росавтодор, 2002. – 140 с.

УДК 624.012.35

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПРИ СОПРОТИВЛЕНИИ СРЕЗУ

А. А. Невдах[1], П. В. Кривицкий[2]

[1] М. т. н., мл. науч. сотр. отраслевой лаборатории «Научно-исследовательский центр инноваций в строительстве» БрГТУ, Брест, Беларусь, alina.nevdah@mail.ru
[2] К. т. н., доцент, зав. отраслевой лабораторией «Научно-исследовательский центр инноваций в строительстве» БрГТУ, Брест, Беларусь, krivitskiyp@mail.ru

Реферат

В статье анализируется влияние сжатой зоны бетона на сопротивление срезу железобетонных балочных элементов. Произведено численное моделирование железобетонных балок. Составлена база образцов, отмечены варьируемые параметры и выполнен анализ.

Ключевые слова: поперечное усилие, сжатая зона, прочность бетона на сжатие, коэффициент армирования, отношение пролета среза.

FEATURES OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE COMPRESSED CONCRETE ZONE OF REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH SHEAR RESISTANCE

A. A. Nevdakh, P. V. Krivitskiy

Abstract

The article analyzes the effect of the compressed concrete zone on the shear resistance of reinforced concrete beam elements. A numerical study of the shear resistance of reinforced concrete beams under various variation factors has been performed. A sample database has been compiled, variable parameters have been noted and an analysis has been performed.