

# СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДОРОГ

УДК 624.21

В. В. Пархоменко, О. Л. Пархоменко

Автомобильно-дорожный институт

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

## ОЦЕНКА ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПЛИТЫ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ В УСЛОВИЯХ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЖЕНИЙ И НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

*Рассматривается совместное влияние на долговечность плиты проезжей части циклических нагрузжений от подвижной нагрузки и главных факторов окружающей среды. Разработаны критерии оценки разрушения бетона плиты проезжей части автодорожных мостов и приведены результаты длительных, систематических наблюдений за развитием трещин от совместного воздействия циклических нагрузжений и окружающей среды.*

**Ключевые слова:** автодорожные мосты, плита проезжей части, циклические нагрузжения, климатические факторы, критерии разрушения плиты, критериальные параметры разрушения

### Постановка проблемы

В условиях длительной эксплуатации мостов, срок службы которых рассчитан на 70–100 лет, большое значение имеет учет совместного действия нагрузок от обращающихся транспортных средств и неблагоприятного влияния внешней среды, особенно для плиты проезжей части.

К таким факторам относятся: попеременное замораживание и оттаивание, фильтрация воды, коррозия бетона и арматуры, образование изморози на поверхности балок при знакопеременных температурах в зимний период, карбонизация защитного слоя бетона, механический износ поверхностных слоев при повреждении защитных слоев дорожной одежды.

Интенсивности воздействия окружающей среды способствует и подвижной состав на дорогах (рисунок 1).

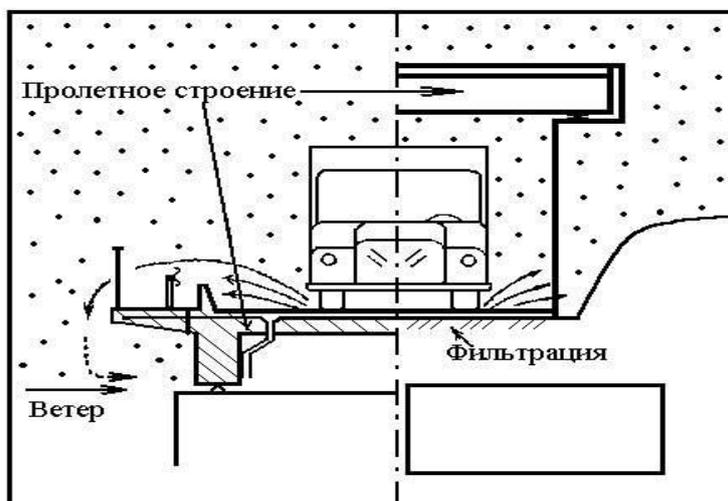


Рисунок 1 – Схема воздействия транспорта и окружающей среды на пролетное строение

Действующие нормы [1] предусматривают соответствующие формы учета влияния возникающих из-за воздействий окружающей среды характерных повреждений, но основаны они, скорее всего, исходя из требований прочности.

Действительный же учет влияния окружающей среды на долговечность конструкции значительно отличается от нормируемого и возможен только на основе накопленного материала по возникновению и развитию дефектов, в частности трещин в плите проезжей части, с использованием вероятностных методов теории надежности [2].

### *Анализ исследований и публикаций*

Некоторые попытки в направлении учета неблагоприятных факторов на состояние плиты проезжей части автодорожных мостов, основанных на результатах длительных наблюдений, приведены в [3, 4].

Оценка надежности какого-либо элемента является сложной проблемой, которая может быть решена путем одновременного выполнения как экспериментальных, так и теоретических разработок. Исходным материалом для построения расчетного метода оценки надежности и эффективного его использования является целенаправленный системный сбор материала, основанный на теоретических исследованиях.

### *Цель исследования*

Разработать критерии оценки разрушения плиты проезжей части автодорожных мостов от совместных воздействий циклических нагрузжений от подвижных нагрузок и факторов окружающей среды на основании имеющихся результатов многолетних обследований сооружений.

### *Изложение основного материала*

Плита проезжей части балочных пролетных строений обладает рядом особенностей в различные периоды ее функционирования. К ним можно отнести следующие:

- в процессе изготовления балок при нарушении технологии возможно образование поперечных трещин насквозь пересекающих плиту. Трещины также могут возникнуть при транспортировке и монтаже. Ширина раскрытия трещин – 0,01–1,5 мм. В процессе транспортировки и складирования в трещины проникает вода и мелкий мусор. При отрицательных температурах замерзшая в полости трещин вода разрушает бетон;

- после установки балок в пролеты плита образует сжатую зону бетона балочной конструкции, и раскрытие трещин частично уменьшается. Полному закрытию трещин препятствуют узлы омоноличивания между балочными конструкциями (продольные швы, поперечные диафрагмы, заполнение полости трещин пылью и строительным мусором и т. п.);

- основное время эксплуатации характеризуется приложением многократно повторяющейся нагрузки и воздействием среды. В результате этих процессов с течением времени происходит изменение прочности бетона. После окончания твердения бетона надежность конструкции по признаку выносливости бетона и арматуры является убывающей функцией времени;

- износ или нарушение гидроизоляции проезжей части, наблюдаемые, по экспертным оценкам [4], у 90 % обследованных мостов, способствует развитию коррозионных процессов арматуры и бетона по трещинам.

Совокупность указанных причин влияет на долговечность и срок службы плиты проезжей части, как одного из наиболее нагруженных и уязвимых, от воздействия неблагоприятных факторов внешней среды, элементов моста.

В настоящее время нет единых критериев оценки разрушения плиты в результате развивающихся деструктивных процессов из-за отсутствия длительных, регулярных исследований и наблюдений за отдельными специфическими дефектами в элементах сооружений.

Степень разрушения может быть оценена по таким критериям, как прогибы сечений, напряжения в бетоне и арматуре или плотность развития трещин по плите.

Оценка разрушения по прогибам и напряжениям относится к объективным методам, но точность измерений в большей мере зависит от периодичности испытаний, выполнить которые технически сложно.

Оценка разрушения по критерию образования и развитию трещин, представляется предпочтительным методом, так как позволяет с частой периодичностью производить осмотры и измерения параметров разрушений.

Целесообразно рассмотреть один из возможных критериев разрушения плиты, основанный на материалах периодических наблюдений группы мостов, эксплуатирующихся около 50 лет [5, 6].

Работа по наблюдению и сбору материалов за процессом разрушения конструкции плиты подразделялась на три вида: ежемесячные, регулярные осмотры, обследования, проводимые через 2–3 года и детальное наблюдение за участками, подвергающимися значительному разрушению. Плотность бетона проверялась простукиванием молотком.

Характер, число и длина трещин определялась визуальным осмотром. Измерение раскрытия трещин производилось с помощью отсчетного микроскопа МБП-2 24-х кратного увеличения с точностью измерения 0,05 мм, производилось фотографирование дефектов.

В качестве критериального параметра разрушения было принято образование, развитие и распространение трещин в процессе длительной эксплуатации. Их можно разделить на две группы.

К первой группе следует отнести трещины, отсекающие плиту от ребра и изменяющие расчетную схему. Такие трещины возникают от изгиба стенки из ее плоскости при эксцентричном воздействии тяжелой временной нагрузки, находящейся на проезжей части в произвольном положении, или от суммарного воздействия скальвающих напряжений от изгиба плиты, действующих по вертикальной площадке в пределах высоты сжатой зоны. Трещины данной группы встречаются сравнительно редко и достаточно хорошо изучены.

Вторая группа представляет собой сетку поверхностных и сквозных трещин, главным образом влияющих на долговечность конструкции.

В настоящей работе рассмотрен механизм разрушения плиты под воздействием второй группы трещин.

Плита проезжей части подвергается множественным циклическим нагружениям от колес движущихся транспортных средств. В результате, при движении чрезмерных нагрузок в плите возникают изгибающие моменты, превышающие допустимые для бетона растягивающие напряжения. В процессе длительной эксплуатации, при большой интенсивности движения тяжелых транспортных средств, может произойти образование трещин.

Развитие трещин в плите условно можно разделить на следующие этапы (рисунок 2).

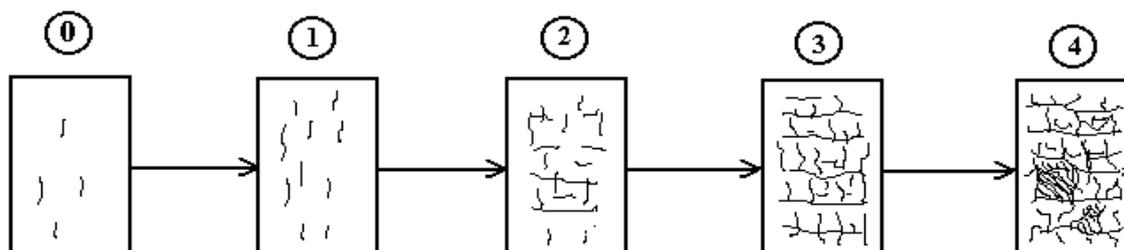


Рисунок 2 – Схема процесса трещинообразования

1. Под действием изгибающего момента от воздействия тяжелой нагрузки в плите образуются продольные микротрещины, расположенные в наиболее напряженной зоне (поз. 0 и 1), с последующим развитием в трещины. Влияние факторов окружающей среды, таких как увлажнение с последующим замораживанием при отрицательных температурах, способствует повреждению поверхностного слоя бетона на глубину до 2 мм. В зонах с большой концентрацией вредных выбросов в атмосферу дополнительное воздействие оказывает карбонизация защитного слоя бетона.

2. После возникновения начальных продольных трещин в направлении, перпендикулярном им, возникают поперечные трещины (поз. 2). Интенсивность коррозионных процессов в бетоне от влияния окружающей среды усиливается.

3. Трещины, образовавшиеся в двух направлениях, распространяются по всей нижней поверхности плиты (поз. 3). В отдельных трещинах при дождливой погоде наблюдается фильтрация воды, признаки размораживания бетона и образование белых пятен и потеков от отложения продуктов выщелачивания бетона. Глубина повреждений защитного слоя бетона по нижней поверхности плиты проезжей части достигает 2–5 мм.

4. По мере развития плотности трещин происходит их распространение вглубь конструкции, потеря сцепления между частичками бетона, их отслаивание друг от друга и от арматуры. Разрушение происходит интенсивнее на тех участках, где плита была предварительно повреждена при строительстве и в местах интенсивной фильтрации воды (поз. 4).

В качестве критериального параметра предлагается использовать плотность трещин ( $\text{м}/\text{м}^2$ ), т. е. суммарное удлинение трещин в продольном и поперечном направлениях на площади  $1 \text{ м}^2$ .

В таблице 1 приведен критериальный анализ степени разрушения плиты проезжей части в зависимости от плотности развития трещин, составленный на основании систематических наблюдений группы мостов, эксплуатируемых в различных регионах, отличающихся климатическими характеристиками и воздействиями на сооружения.

Категории разрушения 0 присущи однонаправленные поверхностные трещины раскрытием до 0,05 мм, расположенные на расстоянии более 1 м. Плотность трещин мала. Плита в хорошем состоянии.

Категории 1 – дополнительное образование однонаправленных (продольных) трещин раскрытием 0,1–0,15 мм со средним расстоянием 0,7–1 м между ними. Фильтрация воды не наблюдается, что свидетельствует о несквозном характере трещин. Требуется текущий ремонт, например окраска поверхности ПХВ красками.

Категории 2 – образование и развитие трещин в продольном и поперечном направлениях. Среднее направление между трещинами от 0,7 до 0,4 м. Раскрытие находится в пределах от 0,1 до 0,15 мм. На нижней поверхности видны участки просачивания воды и выщелачивания бетона. Требуется ремонт, включая герметизацию трещин.

Категории 3 – образование густой сетки поверхностных и сквозных трещин, локальное выкрашивание лещадок бетона. Многочисленные участки просачивания воды, выщелачивания и отслоения защитного слоя бетона с коррозией рабочей арматуры. Глубина повреждений достигает 10–15 мм. Требуется срочный капитальный ремонт конструкции.

Категории 4 – образование и развитие сетки трещин с плотностью менее 0,2 м между ними, полное разрушение защитного слоя бетона и коррозия рабочей арматуры, образование локальных проломов в плите проезжей части под местами прохода временной нагрузки. Повсеместная фильтрация воды с покрытия, вымывание цементного камня из бетона. Потеря связи бетона с арматурой. Разрушение тем интенсивнее, чем чаще происходит колебание температур с отрицательных на положительные и наоборот. Требуется срочный капитальный ремонт, усиление плиты проезжей части (например устройство монолитной неразрезной плиты по верху поврежденной) или замена пролетных строений.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных наблюдений

Критериальные параметры	Категория разрушения				
	0	1	2	3	4
Средний интервал трещин (а), м	$a > 1$	$0,7 < a < 1$	$0,4 < a < 0,7$	$0,2 < a < 0,4$	$a < 0,2$
Плотность трещин (n), м/м <sup>2</sup>	$n < 1$	$n = 1 \div 3$	$n = 3 \div 5$	$n = 5 \div 7$	$n > 7$
Ширина трещин ( $\Delta$ ), мм	волосные $\Delta \leq 0,05$	$0,1 < \Delta < 0,2$	$0,2 < \Delta < 0,3$	$0,3 < \Delta < 0,4$	$\Delta > 0,4$
Характер трещин	в одном направлении	в одном или двух направлениях	в двух направлениях	в различных направлениях	сетка
Состояние поверхности бетона	хорошее	местная фильтрация	фильтрация, выщелачивание	фильтрация, выщелачивание, отслоение	фильтрация, выщелачивание, отслаивание, разрушение защитного слоя
Решение по восстановлению при эксплуатации	нет необходимости ремонта	окраска поверхности ПХВ красками	требуется ремонт	необходим срочный ремонт, герметизация трещин	усиление, реконструкция с заменой конструкций

### Выводы

1. Разработаны критерии образования и развития трещин в плите проезжей части балочных автодорожных мостов при совместном воздействии циклического нагружения и неблагоприятного влияния окружающей среды.

2. В качестве критериального параметра предлагается использовать плотность трещин (м/м<sup>2</sup>), т. е. суммарное удлинение трещин в продольном и поперечном направлениях на площади 1 м<sup>2</sup>.

3. Приведены результаты системных наблюдений за развитием трещин в плите проезжей части балочных автодорожных мостов, эксплуатируемых в различных климатических условиях и на участках дорог с высокой интенсивностью движения транспортных средств повышенной грузоподъемности.

### Список литературы

1. СНиП 2.05.03.84 Мосты и трубы. – М.: Госстрой СССР, 1985.
2. Железобетонные пролетные строения мостов индустриального изготовления / Л. И. Иосилевский [и др.] М.: Транспорт, 1986. – 216 с.
3. Казей, И. И., Трещиностойкость мостовых конструкций из бетона и железобетона / И. И. Казей, В. П. Польевко. – М.: Транспортное строительство, 1971. – № 4. – С. 44–45.
4. Виноградский, Д. Ю. Эксплуатация и долговечность мостов / Д. Ю. Виноградский, Ю. Д. Руденко, А. А. Шкуратовский. – К.: Будівельник, 1985. – 104 с.
5. Пархоменко, В. В. Исследование напряженного состояния плиты проезжей части балочных пролетных строений мостов // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – К.: НТУ. – 2002. – Вып. 64. – С. 194–195.
6. Пархоменко, В. В. Исследование пролетных строений мостов, усиленных монолитной накладной плитой // Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури. – 2005. – Вип. 1(49). – С. 86–90.

*В. В. Пархоменко, О. Л. Пархоменко  
Автомобильно-дорожный институт*

*ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка*

**Оценка долговечности плиты проезжей части железобетонных автодорожных мостов в условиях циклических нагрузжений и неблагоприятных воздействий окружающей среды**

В процессе эксплуатации плита проезжей части железобетонных мостов подвергается циклическим нагрузкам от статического и динамического действия транспортных средств, при активном влиянии окружающей среды. Чаще всего совокупность указанных причин вызывает трещинообразование в материале конструкций и ее разрушение. В настоящее время из-за отсутствия длительных, регулярных исследований и наблюдений нет единых критериев оценки трещинообразования и разрушения плиты в результате взаимно развивающихся деструктивных процессов.

Предложен механизм оценки трещинообразования и критериальный параметр разрушения бетона плиты проезжей части при совместном воздействии внешней окружающей среды и напряженного состояния от подвижной нагрузки.

В качестве параметра использовано понятие «плотность трещин», т. е. суммарное удлинение трещин в продольном и поперечном направлении на площади  $1 \text{ м}^2$ .

Приведен критериальный анализ степени разрушения плиты проезжей части в зависимости от плотности развития трещин, составленный на основании систематических наблюдений группы мостов, эксплуатируемых в различных регионах, и предложены решения по восстановлению целостности конструкции в процессе эксплуатации.

**АВТОДОРОЖНЫЕ МОСТЫ, ПЛИТА ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ, ЦИКЛИЧЕСКИЕ НАГРУЖЕНИЯ, КЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, КРИТЕРИИ РАЗРУШЕНИЯ ПЛИТЫ, КРИТЕРИАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАЗРУШЕНИЯ**

*V. V. Parkhomenko, O. L. Parkhomenko*

*Automobile and Highway Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka*

**Roadway Slab Longevity Evaluation of Highway Reinforced Concrete Bridges in Conditions of Cyclic Loading and Adverse Effects of the Environment**

During operation, the roadway slab of reinforced concrete bridges is subjected to cyclic loading from vehicle static and dynamic effect with the active impact of the environment. More often, the combination of these reasons causes crack formation in the construction material and its destruction. Now due to the lack of long-term, regular studies and observations, there are no uniform evaluation criteria of the crack formation and slab destruction because of mutually developing destructive processes.

The mechanism for crack formation evaluation and the concrete destruction criterion parameter of the roadway slab with the joint effect of the external environment and stressed state from moving load is suggested.

As an example of the parameter, the concept «crack density», i. e. overall crack lengthway and crosswise elongation on an area of  $1 \text{ m}^2$  is used.

The criterion analysis of the roadway slab destruction degree depending on the density of the crack propagation compiled on the basis of systematic observations of the bridge group operating in various regions is given. Solutions to restore construction integrity during operation are suggested.

**HIGHWAY BRIDGE, ROADWAY SLAB, CYCLIC LOADING, CLIMATIC FACTORS, CRITERIA OF SLAB DESTRUCTION, CRITERION DESTRUCTION PARAMETERS**

**Сведения об авторах:**

**В. В. Пархоменко**

Телефон: +38 (071) 301-98-56

Эл. почта: viktor-parkhomenko88@rambler.ru

**О. Л. Пархоменко**

Телефон: +38 (071) 406-68-54

*Статья поступила 09.10.2018*

*© В. В. Пархоменко, О. Л. Пархоменко, 2018*

*Рецензент: Л. Н. Морозова, канд. техн. наук, доц., АДИ ГОУВПО «ДОННТУ»*