

**ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ПЛИТЫ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ  
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРЕДНАПРЯЖЕННЫХ БАЛОЧНЫХ  
АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ С УЧЕТОМ НЕБЛАГОПРИЯТНОГО  
ВОЗДЕЙСТВИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Пархоменко В.В., Морозова Л.Н., Пархоменко О.Л.  
Донецкий национальный технический университет  
Автомобильно-дорожный институт

*У роботі розглядаються головні фактори впливу навколишнього середовища, що справляють істотний вплив на довговічність конструкції плити проїзної частини. Вказується, що визначення ступеню впливу навколишнього середовища можливе на основі ймовірнісних методів теорії надійності з урахуванням статистичних матеріалів накопичення та розвитку дефектів.*

В условиях длительной эксплуатации мостов, срок службы которых рассчитан на 70-100 лет, большое значение имеет учет неблагоприятного влияния внешней среды, особенно для плиты проезжей части. К таким факторам относятся: попеременное замораживание и оттаивание, фильтрация воды, коррозия бетона и арматуры, карбонизация защитного слоя бетона, механический износ поверхностных слоев при повреждении защитных слоев дорожной одежды.

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 возможен только с использованием вероятностных методов теории надежности на основе накопленного материала по возникновению и развитию дефектов при эксплуатации сооружений. Некоторые попытки в направлении учета неблагоприятных факторов, основанных на вероятностных методах применительно к плите проезжей части, приведены ниже.

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.

Плита проезжей части предварительно напряженных балочных пролетных строений обладает рядом особенностей в различные периоды их функционирования. К ним можно отнести следующее:

1. В процессе изготовления балок при нарушении технологии возможно образование поперечных трещин насквозь пересекающих плиту. Трещины также могут возникнуть при транспортировке и монтаже. Частота такого рода отказов по результатам исследований авторов составляет около 45% [2,3]. Ширина раскрытия трещин – 0,01-1,5мм;

2. 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.);

3. 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;

4. Износ или нарушение гидроизоляции проезжей части способствует развитию коррозионных процессов арматуры и бетона по трещинам.

Имеющийся материал позволяет с некоторых позиций рассмотреть влияние трещинообразования на долговечность плиты проезжей части при наличии опасности развития коррозии арматуры и бетона по трещинам и снижения вследствие таких коррозионных повреждений несущей способности железобетонной конструкции.

Под долговечностью рассматриваемого элемента будем понимать надежность, количественно определяемую как вероятность наступления отказа по несущей способности в пределах нормативного срока службы сооружения с учетом неблагоприятного влияния процессов коррозии по трещинам. В общем виде условие может быть записано следующим образом

$$\Phi_p \geq \Phi_n, \quad (1)$$

где  $\Phi_p$  - надежность плиты, определяемая расчетом;

$\Phi_n$  - предельно допустимое значение надежности.

Вместо надежности  $\Phi$  можно использовать вероятность  $P(t) = 1 - \Phi$ .

Развитие коррозионных процессов по трещинам плиты можно рассматривать как результат неблагоприятного влияния окружающей среды, накладывающего дополнительные условия на жизнеспособность конструкции. В этом случае, для того, чтобы обеспечить необходимую надежность плиты на участке с трещинами в условиях наличия определенной вероятности развития коррозионных повреждений, можно повысить начальную несущую способность и этим компенсировать ослабление элемента в результате коррозии. Другим приемлемым путем может быть снижение вероятности возникновения коррозионных повреждений до уровня, при котором требуемая надежность изменится незначительно. Предложенный второй путь является более приемлемым, так как исходит из конечного итога развития процессов трещинообразования, который можно охарактеризовать двумя показателями – размерами повреждений и вероятностью образования такого повреждения  $P(t)$ . Логическую схему цепочки стадий, предшествующих предельному состоянию, можно представить следующим образом:

Стадия 1 - образование трещин в результате превышения напряжениями предельных значений прочности бетона  $R_{btser}$  на растяжение в процессе передачи усилий предварительного напряжения на балку или образование трещин при нарушении технологии транспортировки и монтажа. Вероятность этого события обозначим через  $P_1$ ;

Стадия 2 – достижение частью образовавшихся трещин раскрытия, опасного в отношении возникновения процессов коррозии. Вероятность развития трещин таких размеров обозначим через  $P_2$ ;

Стадия 3 – развитие коррозионных повреждений до уровня, при котором они начинают отражаться на несущей способности наиболее нагруженных участков плиты. Вероятность событий превышения трещинами предельных размеров обозначим через  $P_3$ .

Приведенные стадии зависимы между собой и следуют одно за другим. Каждая из стадий может произойти только при условии совершения предыдущей стадии.

Полная вероятность возникновения данного предельного состояния может быть определена из следующего выражения

$$P(t) = P_1 * P_2 * P_3 \leq P_n \quad (2)$$

Вероятность образования трещин  $P_1$  определяется, с одной стороны, соотношением действующих в бетоне напряжений от усилий предварительного напряжения, перегрузки консолей балок при транспортировке и монтаже, с другой стороны, прочностью бетона на растяжение.

Вероятность достижения предельно допустимой величины раскрытия трещин  $P_2$  зависит от работы арматуры – ее напряженного состояния и взаимного сцепления с бетоном.

Стадия, определяющая вероятность развития коррозионных повреждений по трещинам  $P_3$ , связана с условиями и продолжительностью протекания процессов коррозии, а также с коррозионной стойкостью арматуры, бетона и агрессивностью фильтрующей влаги.

С вероятностных позиций первые две стадии могут быть оценены как расчетным путем, так и на основании экспериментальных данных. Вероятности образования трещин могут быть определены, исходя из предположения их появления после разрыва бетона, вызванного превышением растягивающих напряжений  $\sigma_{biser}$ . Прочность бетона и действующие в нем растягивающие напряжения могут быть описаны кривыми нормального распределения с характеристиками:  $\bar{m}_R$  и  $\bar{m}_S$  – математическое ожидание кривой прочности бетона и кривой растягивающих напряжений от усилий предварительного напряжения арматуры;  $\hat{\sigma}_R$  и  $\hat{\sigma}_S$  – соответствующие дисперсии распределения. По методу А.Р. Ржаницына [4] вероятность образования трещин  $P_1$  может быть найдена из выражения

$$P_1 = f\left(\frac{\bar{m}_R - \bar{m}_S}{\sqrt{\hat{\sigma}_R^2 + \hat{\sigma}_S^2}}\right). \quad (3)$$

Прочностные свойства бетона наиболее употребляемого класса для предварительно напряженных балок пролетных строений могут быть оценены по результатам испытаний призм на изгиб. Эти характеристики могут быть использованы при рассмотрении работы плиты проезжей части.

Параметры нормального распределения растягивающих напряжений в бетоне могут быть найдены из следующих соображений:

Математическое ожидание принимается равным нормативным напряжениям в бетоне. Стандарт распределения напряжений характеризуется коэффициентом вариации

$$u_s = \frac{\hat{\sigma}_s}{m_s} \quad (4)$$

и может быть найден, исходя из коэффициентов вариации кривых распределения нагрузок. Случайные отклонения внешних нагрузок могут быть оценены коэффициентом перегрузок  $n_i$ , размеры которых устанавливаются, исходя из обеспечения трех стандартов. При этом коэффициент вариации

$$u_i = \frac{n_i - 1}{3} \quad (5)$$

- дисперсию результирующей кривой всех нагрузок можно определить из выражения

$$\sigma_s^2 = \sum_{i=1}^n (u_i m_i)^2, \quad (6)$$

где  $u_i$  - коэффициент вариации силовых факторов, определяющих возникновение растягивающих усилий и определяемых по формуле (5);  $m_i$  - соответствующее значение математического ожидания от нормативных нагрузок.

Представляет интерес оценка фактических вероятностей образования трещин в плите реальных мостовых конструкций. При этом исходим из условия, что образование трещин происходит при превышении напряжениями прочности бетона на растяжение, которое может быть вызвано технологическими или силовыми факторами. При удовлетворении этого условия во всех точках растянутого элемента плиты должно образовываться наибольшее количество трещин, соответствующее полному их насыщению с плотностью

$$n_{\max} = \frac{l}{l_{mp}}, \quad (7)$$

где  $l_{mp}$  - среднее расстояние между трещинами, см. Это расстояние может быть принято за предельное и оценено как  $P_1 = 1,0$ , тогда при  $P_1 = 0$   $n = 0$ . Если считать, что с изменением действующих в плите напряжений вероятность образования и количества трещин изменяется пропорционально, то можно принять условие

$$P_1 = \frac{n}{n_{\max}}, \quad (8)$$

где  $n$  - фактическое количество трещин на рассматриваемой стадии трещинообразования.

Следует отметить, что для одного и того же напряженного состояния бетона наблюдается значительный разброс в состоянии конструкции, связанной с большой изменчивостью факторов, влияющих на трещинообразование. Это в некоторой степени сказывается на специфике трещинообразования. В начальный период после распалубки и передачи усилий предварительного напряжения на бетон вследствие

эксцентричного приложения нагрузки в плите балок возникают значительные растягивающие напряжения.

Как показывают результаты обследований, частота трещин находится в пределах 0,8-1,5м, а раскрытие имеет значительный разброс и колеблется в пределах 0,05-1,3мм, что сказывается на величине  $P_2$ . С течением времени процесс увеличения ширины раскрытия трещин затухает, но полного закрытия полости трещин не происходит.

Последнее третье событие ( $P_3$ ) определяется вероятностью образования коррозионных процессов по трещинам, превышающим допустимое раскрытие. Опыт эксплуатации мостов показал, что превышение трещинами предельного раскрытия является необходимым, но недостаточным условием для возникновения коррозии арматуры. Важнейшую роль в этом процессе играет гидроизоляция проезжей части. Длительные наблюдения за пролетными строениями показали, что при некачественной гидроизоляции коррозионные процессы в трещинах плиты проезжей части наблюдаются уже в первые годы службы сооружений. При этом отмечается протекание воды даже через трещины очень малого раскрытия (0,05-0,1мм).

Вскрытие бетона на участках трещин показало наличие коррозионных процессов в арматуре, приводящее к разрушению защитного слоя вследствие распирающего действия продуктов коррозии.

Изложенный выше вероятностный подход к трещиностойкости и коррозиестойкости позволяет более правильно сформулировать требования детерминированного подхода к обеспечению предельного состояния по несущей способности конструкции плиты с учетом неблагоприятного воздействия внешней среды.

#### Литература :

1. СНиП 2.05.03-84. Мосты и трубы./Госстрой СССР. – М.:ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 200с.
2. Железобетонные пролетные строения мостов индустриального изготовления/. Иосилевский Л.И., Носарев А.В., Чирков В.П., Шепетовский О.В. – М: Транспорт, 1986. – 216с.
3. Исследовать влияние подземных горных выработок на условия работы и параметры автомобильных дорог и искусственных сооружений. Отчет о НИР (заключительный)/ Автомоб. дор. ин-т ДонНТУ.Н-76-00. - Горловка, 2005.-157с.
4. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. – М.: Стройиздат, 1978. - 239с.