

СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДОРОГ

УДК 624.21

Л. Н. Морозова, канд. тех. наук, В. В. Пархоменко

Автомобильно-дорожный институт

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

Предложены основные положения по вычислению относительных повреждений и остаточного ресурса долговечности, а также диаграммы долговечности в методике, основанной на теории о непрерывности и необратимости процесса разрушения материала.

Ключевые слова: долговечность, ресурс, разрушение, повреждение, нагрузка, несущая способность

Введение

В настоящее время одной из важнейших задач для Донбасса является восстановление его инфраструктуры, восстановление сети автомобильных дорог и, соответственно, мостов и путепроводов.

Актуальным является не только восстановить разрушенные мосты и путепроводы, но и определить несущую способность восстановленных сооружений и оценить их остаточный ресурс долговечности.

Постановка проблемы

Вопросы определения долговечности мостов, их ресурса, срока службы всегда были и есть актуальными в мостостроении.

Авторами статьи в [1] обращалось внимание на то, что существует целый ряд методик, которые позволяют в той или иной степени оценить ресурс долговечности мостов, однако они не позволяют прогнозировать долговечность автодорожных мостов с заданным уровнем надежности с учетом конструктивных особенностей, напряженно-деформированного состояния и особенностей режима эксплуатации.

Интересной представляется методика оценки изменения долговечности мостов, учитывающая историю нагружения конструкции и позволяющая определить остаточный ресурс долговечности конструкции, а также относительное повреждение, возникающее при пропуске нагрузки.

Анализ публикаций

Вопросам долговечности, надежности всегда уделялось особое внимание в мостостроении. В методиках определения долговечности А. И. Васильева [2], Л. И. Иосилевского [3], А. И. Лантух-Лященко [4], В. П. Чиркова [5], В. И. Шестерикова [6] и др. в основу положены законы физической химии; закономерности механики разрушения, вероятностные модели, которые имеют свои достоинства и недостатки.

Особый интерес представляет методика определения долговечности мостов, основанная на теории о непрерывности и необратимости процесса разрушения материала. В последнее время находит все большее распространение одно из направлений механики твердого тела – механика разрушения. Особенностью этого направления является то, что разрушение рассматривается не как одномоментный акт, а как процесс, который зависит от многих факторов, в

том числе и от времени. В [1] даны основные общие положения предлагаемой методики.

Поэтому представляет интерес порядок вычисления относительных повреждений и остаточного ресурса долговечности по предлагаемой методике.

Целью исследования является усовершенствование методики оценки изменения долговечности мостов.

Основной материал

В предлагаемой методике, основанной на теории о непрерывности и необратимости процесса разрушения, важную роль играет выбор расчетной диаграммы долговечности материала. В виду отсутствия данных по железобетону и для получения которых требуются дополнительные достаточно трудоемкие исследования, предлагается для предварительной оценки долговечности железобетонных пролетных строений в качестве расчетной диаграммы долговечности бетона использовать с безопасностью 0,95 эмпирические зависимости, полученные А. В. Мельниченко с учетом разработок И. М. Грушко [7], В. М. Бондаренко [8]. Общий вид диаграммы долговечности бетона представлен на рисунке 1.

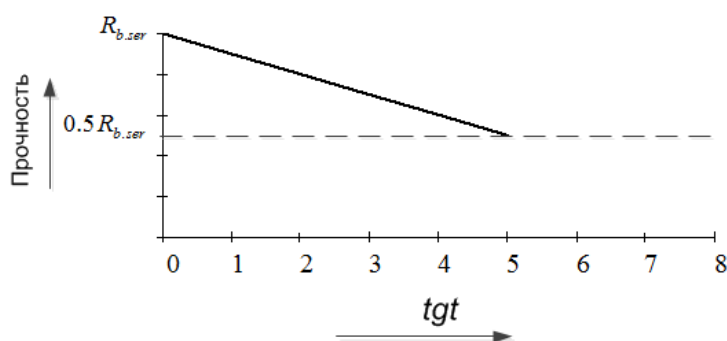


Рисунок 1 – Диаграмма долговечности бетона

Зная расчетное уравнение долговечности материала, можно перейти и к уравнению долговечности конструкции из того же материала через ее геометрические характеристики, считая их неизменными. Согласно этому диаграмму долговечности пролетного строения по бетону получим в виде

$$M = M_0 + m \lg \tau, \quad (1)$$

где M – несущая способность расчетного поперечного сечения пролетного строения, соответствующая долговечности τ ;

M_0 – несущая способность расчетного поперечного сечения пролетного строения, соответствующая характеристической долговечности τ_x ;

m – коэффициент интенсивности снижения несущей способности пролетного строения во времени.

Следует также отметить, что принятая диаграмма долговечности пролетных строений по бетону позволяет учитывать влияние дефектов и повреждений на несущую способность, что важно для восстановленных мостов Донбасса.

Теория о непрерывности и необратимости процесса разрушения позволяет из условия разрушения определить возможное число циклов до разрушения.

Так, из условия разрушения число циклов до разрушения элемента конструкции при нагружении ее одинаковыми прямоугольными импульсами может быть определено по формуле

$$n = \frac{\tau(M_i)}{\Delta t_i}, \quad (2)$$

где $\tau(M_i)$ – долговечность элемента при несущей способности;

t_i – длительность действия нагрузки.

Если же конструкция не разрушается при действии n циклов изгибающего момента M_i , то величина возможного относительного повреждения будет равна

$$\xi = \frac{\Delta t_i}{\tau_i(M_i)} n, \quad (3)$$

а величина остаточного ресурса (долговечности) соответственно равна

$$\xi_{ост} = 1 - \xi. \quad (4)$$

Следует заметить, что для несущих элементов мостовых конструкций постоянное во времени нагружение не является характерным. Нагружение в элементах моста изменяется по сложному периодическому закону с изменением амплитуды и частоты. Это связано с тем, что по мосту проходят различные по величине нагрузки и с разными скоростями.

Условно закон нагружения в балочных разрезных и неразрезных пролетных строениях может быть задан функцией

$$M(t) = M_{ном} + \frac{\Delta M}{2} \left(1 - \cos \frac{2\pi v}{L} t\right), \quad (5)$$

где $M_{ном}$ – изгибающий момент в несущем элементе конструкции от постоянной нагрузки;

ΔM – приращение изгибающего момента в несущем элементе конструкции от временной нагрузки при наиболее невыгодном ее расположении;

L – величина пролета;

v – скорость движения;

t – текущее время.

С целью упрощения расчета график нагружения представим в виде суммы одиннадцати прямоугольных импульсов.

Длительность импульсов:

$M_1 = M_{ном};$	$\Delta t_1 = 0,05T;$
$M_2 = M_{ном} + 0,025 \Delta M;$	$\Delta t_2 = 0,1T;$
$M_3 = M_{ном} + 0,1 \Delta M;$	$\Delta t_3 = 0,1T;$
$M_4 = M_{ном} + 0,207 \Delta M;$	$\Delta t_4 = 0,1T;$
$M_5 = M_{ном} + 0,35 \Delta M;$	$\Delta t_5 = 0,1T;$
$M_6 = M_{ном} + 0,5 \Delta M;$	$\Delta t_6 = 0,1T;$
$M_7 = M_{ном} + 0,65 \Delta M;$	$\Delta t_7 = 0,1T;$
$M_8 = M_{ном} + 0,793 \Delta M;$	$\Delta t_8 = 0,1T;$
$M_9 = M_{ном} + 0,9 \Delta M;$	$\Delta t_9 = 0,1T;$
$M_{10} = M_{ном} + 0,975 \Delta M;$	$\Delta t_{10} = 0,1T;$
$M_{11} = M_{ном} + \Delta M;$	$\Delta t_{11} = 0,05T;$

В случае периодических однозначных нагружений при заданных $M_{ном}$, ΔM , T условие разрушения будет иметь вид:

$$T \cdot n \cdot \left(\frac{0,05}{\tau_1(M_1)} + \frac{0,1}{\tau_2(M_2)} + \dots + \frac{0,1}{\tau_{10}(M_{10})} + \frac{0,05}{\tau_{11}(M_{11})} \right) = 1, \quad (6)$$

где $T = \frac{L}{v}$ – продолжительность одного цикла загрузки.

Откуда число циклов до разрушения составит:

$$n = \frac{1}{T \sum_{i=1}^{11} \frac{\Delta t_i}{\tau_i(M_i)}}, \quad (7)$$

где $\tau_i(M_i)$ – определяется по графику $M - \lg t$.

Аналогично зависимости (3), можно определить величину возможного относительного повреждения:

$$\xi = T \cdot n \cdot \left(\frac{0,05}{\tau_1(M_1)} + \frac{0,1}{\tau_2(M_2)} + \dots + \frac{0,1}{\tau_{10}(M_{10})} + \frac{0,05}{\tau_{11}(M_{11})} \right), \quad (8)$$

величина остаточного ресурса долговечности определяется по зависимости (4).

В случае же, если закон периодической нагрузки меняется, т. е. параметры $M_{ном}$, ΔM , T принимают различные значения, то условие разрушения будет иметь вид:

$$\sum_{i=1}^m n_i T_i \sum_{j=1}^{11} \frac{\Delta t_j}{\tau_{ji}(M_{ji})} = 1, \quad (10)$$

где m – число ступеней периодической нагрузки, а возможное повреждение равно

$$\xi = \sum_{i=1}^m T \cdot n \cdot \left(\frac{0,05}{\tau_{1i}(M_{1i})} + \frac{0,1}{\tau_{2i}(M_{2i})} + \dots + \frac{0,1}{\tau_{10i}(M_{10i})} + \frac{0,05}{\tau_{11i}(M_{11i})} \right). \quad (11)$$

Таким образом, зная историю загрузки пролетных строений и зависимость $M - \lg t$, можно определить относительное повреждение, возможное от пропуска той или иной нагрузки и остаточный ресурс долговечности пролетных строений.

Выводы

На основании выполненных исследований, получены следующие выводы:

1. Предлагаемая методика оценки изменения долговечности мостов, основанная на теории о непрерывности и необратимости процесса разрушения материала, гипотезе о линейном накоплении повреждений, принятой диаграмме долговечности конструкций и учитывающая историю нагружения конструкции, позволяет определить остаточный ресурс долговечности конструкции, относительное повреждение, возникающее при пропуске нагрузки, а задаваясь определенным остаточным ресурсом долговечности определять возможное количество проезда нагрузки и скорость ее движения, учитывая при этом эксплуатационное состояние пролетных строений.

2. Следует отметить, что решение вопроса об определении оценки снижения долговечности пролетных строений по предлагаемой методике требует дальнейших исследований для получения более точных зависимостей долговечности $M - \lg t$ для бетона и железобетона при действии повторных циклических нагрузок.

Список литературы

1. Морозова, Л. Н. К оценке ресурса долговечности автодорожных мостов / Л. Н. Морозова, В. В. Пархоменко // Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса 2019 : материалы V Международной научно-практической конференции «Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса» в рамках 5-го Международного научного форума Донецкой Народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса: инфраструктурное и социально-экономическое развитие», Горловка, 22 мая 2019. – Горловка : АДИ ГОУВПО «ДОННТУ», 2019. – С. 185–188.

2. Васильев, А. И. Вероятностная оценка остаточного ресурса физического срока службы железобетонных мостов / А. И. Васильев // Труды ЦНИИС. – 2002. – Вып. 208. Проблемы нормирования и исследования потребительских свойств мостов. – С. 101–120.
3. Иосилевский, Л. И. Практические методы управления надежностью железобетонных мостов / Л. И. Иосилевский. – Москва : Инженер, 2001. – 296 с.
4. Лантух-Лященко, А. И. О прогнозе остаточного ресурса моста / А. И. Лантух-Лященко // Дороги і мости. – 2007. – Т. 2, Вып. 7. – С. 3–9.
5. Чирков, В. П. Вероятностные методы расчета мостовых железобетонных конструкций / В. П. Чирков. – Москва : Транспорт, 1980. – 128 с.
6. Шестериков, В. И. Оценка состояния автодорожных мостов и прогнозирование его изменения с помощью показателя физического износа / В. И. Шестериков // Автомобильные дороги : информационный сборник. – Москва : ЦБНТИ Росавтодора, 1991. – С. 1–48.
7. Грушко, И. М. Прочность бетонов на растяжение / И. М. Грушко, А. Г. Ильин, С. Г. Рашевский. – Харьков : Изд-во Харьков. ун-та, 1973. – 155 с.
8. Бондаренко, В. М. Некоторые вопросы нелинейной теории железобетона / В. М. Бондаренко. – Харьков : ХГУ, 1968. – 323 с.

Л. Н. Морозова, В. В. Пархоменко

Автомобильно-дорожный институт

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

Определение долговечности железобетонных автодорожных мостов

Рассмотрены основные положения методики оценки ресурса долговечности мостов, основанной на теории о непрерывности и необратимости процесса разрушения материала. Предложена диаграмма долговечности и закон нагружения в балочных разрезных и неразрезных пролетных строениях мостов. Приведены зависимости по определению относительных повреждений и остаточного ресурса долговечности железобетонных автодорожных мостов, учитывающие историю нагружения конструкции.

Предлагаемая методика оценки изменения долговечности мостов, основанная на теории о непрерывности и необратимости процесса разрушения материала, гипотезе о линейном накоплении повреждений, принятой диаграмме долговечности конструкций и учитывающая историю нагружения конструкции, позволяет определить остаточный ресурс долговечности конструкции, относительное повреждение, возникающее при пропуске нагрузки, а задаваясь определенным остаточным ресурсом долговечности определять возможное количество проезда нагрузки и скорость ее движения, учитывая при этом эксплуатационное состояние пролетных строений.

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ, РЕСУРС, РАЗРУШЕНИЕ, ПОВРЕЖДЕНИЕ, НАГРУЗКА, НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ

L. N. Morozova, V. V. Parkhomenko

Automobile and Road Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka

Durability Determination of the Reinforced Concrete Road Bridges

The fundamentals of the bridge durability evaluation procedure based on the theory of the continuity and irreversibility of the material destruction process are considered. The durability diagram and the stress sequence in the beam divided and continuous spans of bridges are proposed. The dependencies to determine the relative damage and residual life of the reinforced concrete road bridges durability, taking into account the history of the structural loading are given.

The proposed evaluation procedure of the change in the durability of bridges, based on the theory of the continuity and irreversibility of the material destruction process, the hypothesis of the linear damage accumulation, the accepted durability diagram of structures and taking into account the history of the structural loading, makes it possible to determine the residual life of the structure's durability, the relative damage occurring when a load is skipped, and given a certain residual durability life, determine the possible number of the load passage and the speed of its movement, while taking into account the operational state of the bridge spans.

DURABILITY, LIFE, DESTRUCTION, DAMAGE, LOAD, BEARING CAPACITY

Сведения об авторах:

Л. Н. Морозова

Телефон: +38 (071) 412-71-06

Эл. почта: most_ln@mail.ru

В. В. Пархоменко

Телефон: +38 (071) 301-98-56

Эл. почта: viktor-parkhomenko88@rambler.ru

Статья поступила 14.03.2022

© Л. Н. Морозова, В. В. Пархоменко, 2022

Рецензент: Т. В. Скрыпник, канд. техн. наук, доц., АДИ ГОУВПО «ДОННТУ»