



17-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos
TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,
vykusios 2014 m. gegužės 8 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 17th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'
TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT, 8 May 2014, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 17-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»
ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, 8 мая 2014 г., Вильнюс, Литва

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ МОСТОВЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СИСТЕМ

Виктор Кваша¹, Юлия Шиндер²

*Кафедра мостов и строительной механики, Национальный университет «Львовская политехника»,
Львов, Украина*

Эл. почта: ²julia.shynder@gmail.com

Аннотация. В статье предложен общий подход к построению математической модели эксплуатационного поведения строительных конструкций. Модель конкретизируется применительно к железобетонным автомобильным мостам.

Ключевые слова: конкурирующие риски, математическая модель, мост, железобетон, мостовая система.

Постановка проблемы. Анализ публикаций по теме исследования

В Украине на дорогах государственного значения эксплуатируется около 63 % мостов, возраст которых превышает 30 лет, поэтому проблема оценки и прогноза их технического состояния весьма актуальна.

Первым шагом на пути решения данной проблемы является построение математической модели эксплуатационного поведения железобетонных автомобильных мостов и их элементов. С её помощью могут быть записаны в математической форме характеристики объекта (моста), описывающие ту или иную его сторону. Зная их, можно заранее рассчитать (предсказать) состояние объекта (моста) в разных условиях его эксплуатации (Иосилевский 2005, Коваленко 1980).

Построение математических моделей объектов разной физической природы и различного назначения нашло отражение во многих научных исследованиях. Специфика же математических моделей объектов (например, мостов) подвергаемых контролю, учитывается лишь в немногих публикациях, например (Большевцев 2006, 2010; Васильев 2002; Капур, Ланберсон 1980).

Цель статьи

Целью данной статьи является разработка общего алгоритма построения и анализа математической модели эксплуатационного поведения железобетонного автодорожного моста.

Основная часть

Задача прогнозирования и контроля состояния железобетонных конструкций мостовых сооружений с целью их оптимальной эксплуатации (Шестериков 2004) может быть сведена к задаче о вычислении конкурирующих рисков.

Решение задачи и вычисление приближенных норм Q_j рисков R_{ij} можно разделить на три основных этапа:

- Построение математической модели поведения конструкции в процессе эксплуатации;
- Получение общего решения для построенной модели;
- Разработка методики определения основных параметров модели применительно к реальным железобетонным пролетным строениям автомобильных мостов.

Для реализации указанных процедур наиболее удобно рассматривать объект (мост) как систему конструктивных элементов (зон): мостовое полотно, пролетные строения, опоры, опорные части, фундаменты, регулятивные сооружения и подмостовое русло. Форма записи возможных состояний зон должна учитывать тип и характер ее работы, положение её в системе, а также характер различного рода воздействий.

С учетом этих требований запись состояния одной зоны можно представить в виде

$$S_{iu}^{iv} \text{ или } S_{iu}^{kvQ},$$

где: $i = 1, 2, \dots, n$ – число, обозначающее одно из возможных состояний зоны; $k = 1, 2, \dots, \alpha$ – число, обозначающее тип конструктивного элемента; $v = 1, 2, \dots, g$ – число, обозначающее одну из зон объекта; $u = 1, 2, \dots, \omega$ – число, обозначающее соответственно одно из усилий M, Q, N, \dots в мостовых конструкциях от внешних нагрузок и воздействий, комбинации и величины которых определяются зонами v ; $\Theta = 1, 2, \dots, l$ – число, обозначающее один из параметров, характеризующих эксплуатационные свойства мостовой конструкции (M_k, Q_k, a_k, \dots).

На основании принятых обозначений, можно записать: S_{iu}^{kv} – состояние одной из конструкций типа k в зоне v по усилию u ; S_{iu}^{kvQ} – состояние одной из конструкций k в зоне v по параметру Θ и усилию u .

Для практических целей достаточно выделить только четыре возможных и несовместимых состояния, в которых конструктивный элемент может находиться во времени процесса эксплуатации, при этом будут справедливы следующие соотношения:

$$S_1^{kv} = \prod_{u=1}^{\alpha} S_{1u}^{kv}, \quad (1)$$

$$S_2^{kv} = \sum_{u=1}^{\alpha} S_{2u}^{kv}, \quad (2)$$

$$S_3^{kv} = \sum_{\Theta=0}^l \sum_{u=1}^{\alpha} S_{3u}^{kv\Theta}, \quad (3)$$

$$S_4^{kv} = \sum_{u=1}^{\alpha} S_{4u}^{kv}, \quad (4)$$

где: S_{14}^{kv} – состояние, соответствующее нормальной эксплуатации конструкции типа k в зоне v по усилию u ; S_{24}^{kv} – состояние, соответствующее перезагрузки конструкции типа k в зоне v по усилию u ; $S_{34}^{kv\Theta}$ – состояние, соответствующее потере эксплуатационных свойств конструкции типа k в зоне v по параметру Θ и по усилию u ; S_{44}^{kv} – аварийное состояние конструкции типа k в зоне v вследствие потери несущей способности по усилию u ; $S_1^{kv}, S_2^{kv}, S_3^{kv}, S_4^{kv}$ – состояния, отвечающие соответственно нормальной эксплуатации, перегрузке, потере эксплуатационных свойств и несущей способности (аварийное состояние) конструкцией типа k в зоне v .

В процессе эксплуатации мостов возможны переходы из одного состояния в другое. Эти переходы рассматриваются как риски и записываются в виде r_{ij}^{kv} , при наличии перехода $S_i^{kv} \rightarrow S_j^{kv}$.

В общем случае для каждой мостовой конструкции возможны 16 рисков, из которых только четыре рассматриваются как невозможные, тем самым исключается возможность ремонта и восстановления в рассматриваемый период эксплуатации T .

Поведение во времени эксплуатационного моста и его отдельных конструктивных элементов определяется взаимодействием целым рядом случайных факторов, поэтому рассматриваемый период эксплуатации T разбивается на M временных интервалов τ_m одинаковой длины ($\tau_m = T/M$) и выбора различных способов поведения элемента мостовой системы на каждом временном интервале. На протяжении каждого из временных интервалов $\tau_m (m = 1, 2, \dots, M)$ система не может подвергаться более чем одному риску. Интенсивность рисков r_{ij}^{kv} на протяжении τ_m оценивается соответствующими вероятностями их реализаций $q_{ij(m)}^{kv}$, которые, в свою очередь, удовлетворяют условию:

$$\sum_{j=1}^n q_{j(m)}^{kv} = 1, \quad (5)$$

причем величина интервала τ_m должна быть достаточно малой, чтобы свести к минимуму искажение, вносимое в математическую модель требованием в том, что конструктивный элемент (зона) может подвергаться только одному риску. Вместе с тем, он должен быть достаточно большим, чтобы в течение τ_m имелась возможность реализации каждого из сформулированных рисков.

Таким образом, данная математическая модель позволяет привести изучение поведения эксплуатируемого автомобильного моста или его элементов за время T к рассмотрению всех возможных комбинаций, исходов M последовательных испытаний $q_{ij(m)}^{(*)rt}$ и определению вероятностей логических сум тех возможных комбинаций исходов, которые приводят элементы системы в заключительный момент T_m к каждому из состояний $S_1^{kv}, S_2^{kv}, S_3^{kv}, S_4^{kv}$, т.е. приближенных форм $Q_1^{kv}, Q_2^{kv}, Q_3^{kv}, Q_4^{kv}$.

Здесь $q_{ij(m)}^{(*)rt}$ переходная вероятность для конструктивного элемента $r(k-r)$, находящегося в зоне $t(v-t)$, которая соответствует одной из возможных комбинаций переходных вероятностей всех конструктивных элементов мостовой системы на $m-m$ временном интервале.

$$q_{ij}^t = q_{ij(m)}^{rt} \prod_{\xi} \prod_{\eta} q_{ij(m)}^{\xi\eta} \prod_k \prod_v [1 - q_{ij(m)}^{kv}], \quad (6)$$

где ξ, k -числа, которые пробегают все значения от 1 до α , кроме r ; η, v -числа, пробегающие все значения от 1 до g , кроме t .

Приближенные нормы $Q_j^{kv} (j = 1, 2, 3, 4)$ рисков r_{ij}^{kv} образуют спектр вероятностей, которые и являются прогнозом состояния элементов железобетонного автомобильного моста и удовлетворяют условию

$$\sum Q_j^{kv} = 1. \quad (6)$$

Попадание конструктивных элементов моста в начальный момент времени T_0 в одно из возможных состояний S_j^{kv} определяется вектором начального состояния, компоненты которого определяются по результатам натурных обследований.

Литература

- Васильев, А. И. 2002. Вероятностная оценка остаточного ресурса физического срока службы железобетонных мостов: Труды ЦНИИС, выпуск № 208 – М.
- Иосилевский, Л. И. 2005. Практические методы управления надежностью железобетонных мостов. – М.: НИЦ «Инженер».
- Шестериков, В. И. (руководитель разработки) 2004. Методика расчетного прогнозирования срока службы железобетонных пролетных строений автодорожных мостов. – М.: Росавтодор.
- Капур, К.; Ланберсон, Л. 1980. Надежность в проектировании систем. – М.: Мир. 347 с.
- Антипов, А. С.; Помогаев, П. Е.; Зверева, Н. Г. Анализ состояния эксплуатируемых пролетных строений из предварительно напряженного железобетона. Тр. ВНИИЖТД980, Вып. 625, с. 170–184.
- Коваленко, С. Н. 1980. Эксплуатационная оценка состояния автодорожных мостов// Автомобильные дороги и дорожное строительство. Киев, с. 79–81.
- Большевцев, А. Д. 2006. Некоторые методологические аспекты проблемы повышения качества технического контроля / А. Д. Большевцев// Измерительная техника. № 11. с.10–14.
- Большевцев, А. Д. 2010. Элементы общей теории технического контроля / А. Д. Большевцев, Л. А. Большевцева. Курск: Государственный технический университет. 212 с.

Выводы. Перспективы дальнейших исследований

В статье изложен общий подход к построению математической модели эксплуатационного поведения автодорожного железобетонного моста.

Модель может быть взята за основу разработки обобщенных алгоритмов автоматизированного контроля технического состояния и прогноза остаточного ресурса мостов и их элементов, находящихся в эксплуатации.