

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ НАДЕЖНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

В статье рассматриваются особенности и эффективность методики расчетного прогнозирования срока службы железобетонных пролетных строений автодорожных мостов, сделан анализ различных методик вероятностной основы запасов прочности конструкции, приведен нормативный график долговечности.

*Ключевые слова:* надежность, долговечность, срок службы, пролетное строение, бетон, мост, факторы разрушения, регенерация, безотказность, работоспособность

Задачей статьи является анализ комплексной системы обеспечения надежности, формулировка критериев регенерации железобетонных пролетных строений автодорожных мостов, пути совершенствования методики эксплуатационной оценки состояния искусственных сооружений.

Основы надежности и безопасности строительных конструкций изложены в работах [1, 2, 3]. В этих работах надежность объекта характеризуется, как свойство этого объекта выполнять свои функции в заданном режиме в течение заданного срока с заданной вероятностью.

Количественной оценкой надежности является вероятность  $P$  выполнения объектом своих функций. В комплексной системе надежность рассматривается как совокупность безотказности и долговечности конструкции. Безотказность – свойство сооружения непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени. Долговечность – свойство сохранять работоспособность в течение определенного времени  $T$ .

Отказ – случайное событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта. Вероятность отказа равна  $q = 1 - P$

Мостовые конструкции представляют собой совокупность последовательно и параллельно соединенных элементов.

При последовательном соединении элементов надежность системы равна  $P_s = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4$ .

Вероятность отказа при последовательном соединении элементов равна  $q_s = 1 - P_s$ .

При параллельном соединении элементов вероятность отказа  $i$ -элемента равна  $q_i = 1 - P_i$ .

Вероятность отказа всей системы  $q_s = q_1 \cdot q_2 \cdot q_3 \cdot q_4$ .

Надежность системы при параллельном соединении элементов равна  $P_s = 1 - q_s$ .

Комплексная система обеспечения предполагает регулярное обследование сооружения, определение его фактической грузоподъемно-

сти, проведение плановых и внеплановых ремонтов.

Пролетное строение моста в процессе эксплуатации проходит три этапа (рис. 1).

Первый этап, так называемый период приработки, характеризуется тем, что пролетное строение эксплуатируется какое-то время без снижения своей надежности. Во время этого периода протекают основные длительные деформации (усадка и ползучесть бетона), возрастает прочность бетона, нормально функционирует система водоотвода и гидроизоляции. В этот период вероятность безотказной работы пролетного строения сохраняется на уровне, обусловленном строительными нормами и правилами с индексом надежности  $I = 3,0$ . В этот период за пролетным строением осуществляется только уход. Продолжительность этого периода зависит от качества изготовления и монтажа конструкций и составляет в среднем 10-18 лет (см. рис. 1, точка А).

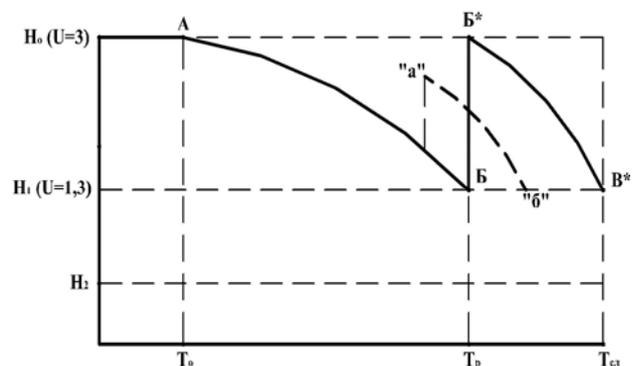


Рис. 1. График снижения надежности (Н) моста  
 $T_0$  – период приработки;  $T_p$  – работоспособность;  
 $T_{cl}$  – предельный срок службы

Второй этап эксплуатации пролетного строения характеризуется появлением дефектов: коррозией арматуры, трещинами в бетоне, отслоением защитного слоя, разрушением гидроизоляции. Эти дефекты уже влияют на несущую способность балок пролетного строения, но сооружение продолжает эксплуатироваться в прежнем режиме без ограничений, хотя

надежность пролетных строений постепенно снижается. Продолжительность второго этапа определяется временем, за которое вероятность безотказной работы балок пролетного строения снижается с 0,9986 до 0,9, т.е. индекс надежности уменьшается с 3,0 до 1,282 ( $\gg 1,3$ ). В этот период за мостом ведется уход, и проводятся плановые профилактические работы. Продление этого этапа осуществляется проведением плано-предупредительных работ. На рис. 1 этот период времени показан линией «а» – «б». Снижение индекса надежности с 3,0 до 1,3 в течение второго этапа (см. рис. 1, точка Б) означает, что дальнейшая эксплуатация моста по первоначальной схеме невозможна, и мост должен быть закрыт на ремонт или реконструкцию, в связи с тем, что работоспособность пролетных строений исчерпана. Если ремонт моста по каким-либо причинам в данное время не проводится, то для продолжения эксплуатации моста необходимо ввести ограничение по массе временной нагрузки и скорости движения.

Третий этап эксплуатации характеризуется двумя факторами:

- наличием в балках пролетных строений дефектов, снижающих их несущую способность и грузоподъемность в целом;
- введением ограничений по массе транспортного средства, которое может безопасно двигаться по мосту в неконтролируемом режиме, и периодическим снижением массы транспортного средства с целью обеспечения требуемой надежности.

Продолжительность третьего этапа (см. рис. 1, участок Б\*-В\*) определяется временем, которое необходимо для достижения такого состояния моста, когда при максимально возможных ограничениях по временной нагрузке, вероятность безотказной работы пролетных строений снова достигает  $P = 0,9$ . На третьем этапе эксплуатации моста обязательно выполняется его ремонт, не дожидаясь наступления момента В\*. Возможна серия ремонтных мероприятий, цель которых отодвинуть момент ремонта или восстановления за счет изменения темпов деградации материалов.

Важнейшими элементами эффективности выполнения работ по регенерации мостов являются критерии:

- применение метода случайных величин для оценки надежности конструкций;
- изучение влияния фактора системности на надежность пролетных строений мостов;
- создание предпосылок для проектирования балочных железобетонных пролетных строений с заданным условием надежности;

– разработка комплексной системы управления надежностью на всех этапах строительного процесса (изыскание, проектирование, строительство);

– создание нормативной базы для разработки взаимосвязанной системы критериев принятия решений на различных этапах производственного процесса.

В России разработана и внедрена «Методика расчетного прогнозирования срока службы железобетонных пролетных строений» [4]. В этой методике рассматриваются два основных уровня надежности  $H_1$  и  $H_2$  (см. рис. 1). Уровень  $H_1$  характеризуется значением вероятности безотказной работы пролетных строений  $P = 0,9$  в условиях действия проектных нагрузок. Этому уровню соответствует временной отрезок  $T_p$ , называемый работоспособностью. Он определяется для проектируемых, строящихся и недавно построенных сооружений. При достижении уровня  $H_1$  снижается грузоподъемность пролетных строений или выполняется ремонт.

Уровень  $H_2$  характеризуется значением вероятности безотказной работы пролетных строений  $P = 0,50$  в условиях действия проектных нагрузок. Этому уровню соответствует предельный износ пролетного строения, а его дальнейшая эксплуатация недопустима даже при пониженной эксплуатационной нагрузке. Первое снижение допустимой нагрузки происходит в возрасте пролетных строений до  $T_p$ . Дальнейшее снижение нагрузки возможно на участке Б\*-В\*, что может продлить период эксплуатации пролетных строений до достижения уровня  $H_2$ .

Критерием невозможности эксплуатации моста, удовлетворяющим современным требованиям (пропускать безопасно по мосту движущиеся транспортные средства), является показатель грузоподъемности. Нормативный срок службы сооружения определяется временем достижения конструкций предельного физического износа. Функция износа соответствует функции отказа из теории надежности и определяется по формуле:

$$U_1 = [e^{\lambda(t_1 - T_0)} - 1] \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $e$  – натуральное число,  $t_1$  – временной параметр (годы),  $T_0$  – период приработки.

По результатам обследования более 500 автодорожных пролетных строений в системе Укравтодора, выполненного Отраслевой научно-исследовательской лабораторией иску-

ственных сооружений ДИИТа, были получены среднестатистические данные по износу, которые отражены на рис. 2.



Рис. 2. Нормативный график долговечности

На нормативном графике долговечности (см. рис. 2) показаны 3 участка:

- зона содержания, когда конструкция испытывает минимальный износ и может эксплуатироваться в заданном режиме, выполняя только работы по текущему содержанию;
- зона мелкого ремонта, когда конструкция такого износа, при котором требуется проведение мелкого планово-предупредительного ремонта;
- зона капремонта и реконструкции моста, когда износ достигает предельных значений и дальнейшая эксплуатация возможна только после капитального ремонта и реконструкции сооружения.

По результатам обследования преднапряженных ребристых пролетных строений на автодорогах I и II категории получены данные по их сроку службы в зависимости от определенного расчетом износа. На основании этих данных построен график долговечности ребристых преднапряженных пролетных строений (рис. 3).

Особенностью методики [4] является то, что она позволяет расчетом принимать предельные сроки службы железобетонных пролетных строений на разных этапах их функционирования.

Существующая методика эксплуатационной оценки состояния искусственных сооружений нуждается в разработке новых подходов к мониторингу мостов, внедрение современных технологий ремонта, пересмотра всей проектной базы и внедрения современных методик оценки надежности.

Автором в работах [5, 6, 7, 8, 9, 10] освещены некоторые вопросы надежности и долговечности железобетонных пролетных строений автодорожных мостов, указаны технологии регенерации железобетонных конструкций автодорожных мостов, поврежденных в результате длительного воздействия эксплуатационных нагрузок.

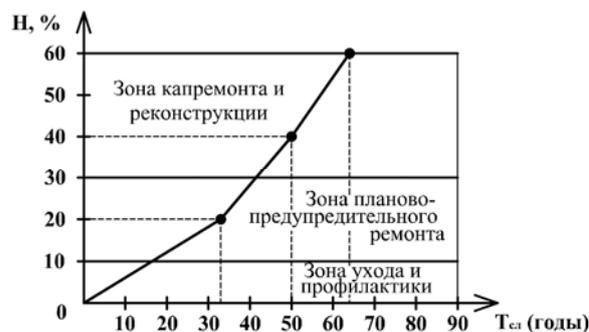


Рис. 3. График долговечности ребристых преднапряженных пролетных строений

Условие надежности конструкции определяется так называемым предельным неравенством:

$$S \leq F = R \cdot A, \quad (2)$$

где  $S$  – усилие или напряжение, возникающее в конструкции;  $F$  – несущая способность элемента;  $R$  – прочность материала;  $A$  – геометрическая характеристика сечения элемента.

Для системы с множеством элементов можно записать.

$$\{S_i\} \leq \{R_i \cdot A_i\}. \quad (3)$$

Надежность моста – это вероятность выполнения неравенств [3], а частные надежности – как обеспеченность в частных неравенствах [4].

$$S_i \leq R_i \cdot A_i. \quad (4)$$

Отношение  $\frac{F}{S} \geq 1$  коэффициент запаса прочности.

Запас прочности – это разница между несущей способностью элемента  $F$  и воздействием  $S$  на некоторый элемент.

$$\psi = (F - S). \quad (5)$$

где  $F$  и  $S$  – случайные величины.

Среднее значение случайной величины равно

$$\bar{\psi} = (\bar{F} - \bar{S}). \quad (6)$$

Дисперсия

$$D_{\psi} = D_F + D_S = \sigma_F^2 + \sigma_S^2, \quad (7)$$

где  $F, S, \sigma_F, \sigma_S$  – среднее значение и среднеквадратичные отклонения (стандарты) величин  $F$  и  $S$  соответственно.

Ремонтопригодность сооружения – приспособление сооружения к восстановлению работоспособного состояния.

Очередными задачами по повышению надежности железобетонных автодорожных мостов являются внедрение комплексной системы управления качеством, совершенствова-

ние методики эксплуатационной оценки состояния искусственных сооружений, внедрение интеллектуальных систем мониторинга, широкое внедрение в практику современных технологий регенерации мостовых конструкций.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Иосилевский, Л. И. Практические методы управления надежности железобетонных мостов [Текст] / Л. И. Иосилевский – М.: Науч.-изд. центр «Инженер», 2005. – 324 с.
2. Перельмутер, А. В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций [Текст] / А. В. Перельмутер – К.: УкрНИИ-промстальконструкция, 2000. – 216 с.
3. Лантух-Ляшенко, А. І. Оцінка технічного стану транспортних споруд, що знаходяться в експлуатації [Текст] / А. І. Лантух-Ляшенко // Вісник Транспортної Академії України. – 1999. – № 3. – С. 59-63.
4. Методика расчетного прогнозирования срока службы железобетонных пролетных строений автодорожных мостов [Текст]: утв. М-вом транспорта Рос. Федерации 18.04.01: ввод в действие с 18.04.01. – М.: Транспорт, 2001. – 140 с.
5. Костюченко, С. М. Обеспечение эксплуатационной надежности и долговечности железобетонных конструкций автодорожных мостов [Текст] / С. М. Костюченко, Б. В. Савчинский // Автомобильные дороги и дорожное строительство. – 2002. — К.: НТУ. – № 64. – С. 147-149.
6. Заяц, Ю. Л. Некоторые вопросы диагностики и регенерации железобетонных конструкций автодорожных мостов, поврежденных в результа-

те длительного воздействия эксплуатационных нагрузок [Текст] / Ю. Л. Заяц, Б. В. Савчинский // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій: Зб. наук. праць / ФМІ ім. Г. В. Карпенка. – Львів, 2002. – Вип. 5. – С. 491-494.

7. Савчинский, Б. В. Вопросы повышения надежности и безопасности металлических пролетных строений железнодорожных мостов [Текст] / Б. В. Савчинский // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2005. – Вип. 9. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2005. – С. 203-205.
8. Савчинский, Б. В. Критерии оценки надежности железобетонных конструкций автодорожных мостов [Текст]: тез. докл. Междунар. научно-практич. конф. «Мосты и тоннели: теория, исследования, практика» / Б. В. Савчинский // – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – С. 62-63.
9. Савчинский, Б. В. Совершенствование методов диагностики и способов регенерации железобетонных конструкций автодорожных мостов при обеспечении их эксплуатационной надежности и долговечности [Текст] / Б. В. Савчинский // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 33. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 228-231.
10. Савчинский, Б. В. Анализ методов расчета надежности железобетонных пролетных строений автодорожных мостов [Текст] / Б. В. Савчинский // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика: Зб. наук. праць / Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2012. – Вип. 1. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2012. – С. 99-100.

Поступила в редколлегию 25.06.2012.

Принята к печати 11.07.2012.

Б. В. САВЧИНСЬКИЙ (ДПТ)

## ДЕЯКІ АСПЕКТИ НАДІЙНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ АВТОДОРОЖНІХ МОСТІВ

У статті розглядаються особливості та ефективність методики розрахункового прогнозування терміну служби залізобетонних прогонових будов автодорожніх мостів, зроблено аналіз різноманітних методик вірогідної основи запасів міцності конструкції, приведено нормативний графік довговічності.

*Ключові слова:* надійність, довговічність, термін служби, прогонова будова, бетон, міст, фактори руйнування, регенерація, безвідмовність, працездатність

B. V. SAVCHINSKIY (Dnepropetrovsk National University of Railway Transport)

## SOME ASPECTS OF THE RELIABILITY OF REINFORCED CONCRETE SPANS OF HIGHWAY BRIDGES

The features and efficacies of the procedure of calculated prediction of the working life of reinforced concrete spans of highway bridges are considering in this article, there has been made the analysis of the different procedures of probable base of margin design and the normative plot of durability has been plotted.

*Keywords:* reliability, durability, working life, span, concrete bridge, the factors of destruction, regeneration, reliability, efficiency