

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.21.09.012.35-027.45

О. И. ДУБИНЧИК^{1*}, В. Р. КИЛЬДЕЕВ²

^{1*} Кафедра «Тоннели, основания и фундаменты», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 53, эл. почта olya.dubinichic.62@mail.ru, ORCID 0000-0003-4059-2357

² Кафедра «Тоннели, основания и фундаменты», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 53

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО ВЫНОСЛИВОСТИ АРМАТУРЫ

Цель. Определение срока службы мостовой железобетонной конструкции по критерию выносливости арматуры растянутой зоны. **Методика.** Для достижения поставленной цели рассмотрены и проанализированы факторы, влияющие на долговечность железобетонной конструкции, работающей при многократно повторяющихся нагружениях. **Результаты.** Предложена зависимость для определения ресурса железобетонной конструкции по выносливости растянутой арматуры. В ней учтено количество циклов нагружения конструкции в единицу времени, пластические деформации арматуры, параметры удельной деформации ползучести бетона. **Научная новизна.** Определена возможность прогнозирования срока эксплуатации мостовой железобетонной конструкции. **Практическая значимость.** Определив ресурс по выносливости арматуры конструкции, можно прогнозировать сроки ее ремонтных работ.

Ключевые слова: ресурс; железобетонная мостовая конструкция; надежность; безотказность; долговечность; сохраняемость; выносливость арматуры

Введение

При проектировании нового мостового объекта предусматривается теоретический уровень надежности его конструкций и узлов. С первого дня эксплуатации в конструкциях начинают происходить изменения, ведущие к ухудшению характеристик и показателей. Эти изменения различны: одни протекают во времени медленно и непрерывно, другие – случайно, бессистемно. Но все изменения через какой-то промежуток времени приводят к нарушению заданной работоспособности конструкции. Следовательно, на протяжении всего срока эксплуатации имеется вероятность потери несущей способности мостовой конструкции. Чем меньше такая вероятность, тем надежнее конструкция.

Цель

Правильная оценка состояния эксплуатируемой мостовой железобетонной конструкции и определения срока эксплуатации, позволяет определить безопасность ее работы.

Методика

Надежность – это свойство сооружения выполнять заданные функции сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течении требуемого промежутка времени или требуемой наработки [1]. Надежность включает безотказность, долговечность, сохраняемость и ремонтпригодность сооружения в целом и его конструкций.

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение установленного срока службы. К показателям безотказности относят вероятность безотказной работы, среднюю наработку до первого отказа, интенсивность отказов, параметр потока отказов, гарантийную наработку.

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонтов. Показателями долговечности являются средний срок службы, срок службы до первого капитального ремонта, межремонтный срок службы. Таким образом, безотказность и дол-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

говечность – это свойства объекта сохранять работоспособность, при этом безотказность предусматривает непрерывную работоспособность в течение определенного времени, а долговечность – с возможными перерывами на ремонт.

Сохраняемость – это свойство объекта непрерывно сохранять исправное и работоспособное состояние. Оно включает: способность конструкции противостоять отрицательному влиянию неудовлетворительного хранения и транспортировки и сохраняемость объекта в целом до ввода в эксплуатацию и во время ремонтов.

Ремонтопригодностью является доступность объекта в проведении мероприятий по предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов и повреждений, а также устранению их путем ремонта и обслуживания. К показателям ремонтпригодности относятся: вероятность восстановления в заданное время, среднее время восстановления, удельная трудоемкость обслуживания и ремонтов, средняя стоимость ремонтов.

В процессе проектирования объекта закладывается его теоретическая надежность. В процессе строительства обеспечивается фактическая надежность каждого элемента, что зависит от качества сборки и монтажа конструкций. Далее надежность необходимо поддерживать на необходимом уровне правильной эксплуатацией объекта.

В процессе эксплуатации на надежность мостовой конструкции оказывают воздействие следующие условия: внутренние напряжения в конструкции, не соответствующие их проектным значениям, внешние воздействия, система технического обслуживания и ремонтов.

Надежность мостового объекта и отдельных конструкций обуславливается изменчивостью во времени внутренних свойств материалов и внешних нагрузок и воздействий. Характеристики и показатели этих факторов к моменту окончания монтажа объекта определяют начальную его надежность, которая с первого дня эксплуатации постепенно снижается. В процессе эксплуатации ухудшаются физические свойства материалов, из которых изготовлены конструкции, характер сопряжений между ними. Этот процесс в основном носит закономерный, но иногда и случайный характер. Со временем происходит разрушение конструктивных элементов. Процесс возникновения та-

ких состояний во времени является случайным. Первый процесс в целом протекает, как правило, с малой интенсивностью, постепенно, второй же характеризуется скачкообразным, внезапным изменением технического состояния. Эти процессы протекают не независимо, они взаимно влияют друг на друга. Это обстоятельство затрудняет их математическое описание.

Техническое состояние и работоспособность мостовой конструкции в целом является функцией работоспособности отдельных конструктивных элементов.

Все факторы, вызывающие изменения работоспособности мостовой конструкции в целом и отдельных элементов можно разделить на две группы причин: внутреннего и внешнего характера.

К причинам внутреннего характера относятся:

- физико-химические процессы, протекающие в материалах, из которых изготовлены конструкции;
- нагрузки и процессы, возникающие при эксплуатации;
- конструктивные факторы;
- качество изготовления.

К причинам внешнего характера относятся:

- климатические факторы: температура, влажность, солнечная радиация;
- факторы окружающей среды: ветер, пыль, песок, наличие в атмосфере агрессивных соединений, биологические факторы;
- качество эксплуатации;
- техническое обслуживание и ремонт.

Сложность исследования надежности мостовых конструкций состоит в многочисленности факторов, определяющих надежность. Главные из них – это вид материалов, характер конструкций и их схем, качество изготовления и монтажа.

Таким образом, под надежностью мостовой конструкции в целом как сложной системы следует понимать стабильность показателей качества и эффективности ее функционирования. Задача оценки надежности сводится к установлению влияния частичных и полных отказов на качество и функционирование объекта. Надежность должна характеризоваться основным показателем, который является определяющим. В плане системного подхода определяющим показателем является его оптимальный срок службы. Надежность можно понимать как сохранение качества во времени.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Все перечисленные выше переменные, с некоторыми допущениями, подчиняются закону нормального распределения. Исходя из этого, можно установить влияние каждого из переменных на долговечность конструкции. Одним из таких переменных есть прогнозирование ресурса железобетонных конструкций по выносливости арматуры при многократно повторных нагружениях.

Результаты

Ресурс по выносливости растянутой арматуры можно определить зависимостью [2]

$$T_{res} = (N_{cr} - \Delta t \sum \alpha_o n_{oi}) / \sum \alpha_o n_{oi} \times [1 - ((\psi_k - a_s) / b_s)^{1/\beta}], \quad (1)$$

где N_{cr} – количество циклов нагружения до разрыва арматуры, определяемое зависимостью

$$N_{cr} = N_1 \exp[\alpha_o ((1 - S / C_v R_{mn}) / (1 - 1 / (a - b S_n / S)) - 1)], \quad (2)$$

где R_{mn} – предел прочности арматуры при статическом действии нагрузки; C_v – величина, учитывающая скорость нагружения, при статических испытаниях; α_o – коэффициент, равный 14,49; a , b – коэффициенты зависящие от вида арматуры.

Параметры R_{mn} , C_v , a , b для различных видов арматурной стали приведены в табл. 1 [3].

Таблица 1

Данные для расчета выносливости арматуры

Вид арматурной стали	R_{mn} , кгс/см ²	C_v	a	b
Высокопрочная проволока гладкая, без отпуска	18000	1	3,36	2,36
Высокопрочная проволока гладкая, отпущенная	17000	1,12	4,22	3,22
Гладкая стержневая сталь Ст3	4250	1,18	2,75	1,75
Стержневая сталь периодического профиля Ст5	5600	1,18	3,54	2,54

S и S_n – максимальное напряжение и напряжение от постоянной нагрузки; ψ_k – значение меры накопления повреждений к моменту технической диагностики

$$\psi_k = \varepsilon_{SN} / \varepsilon_{scr}, \quad (3)$$

где ε_{SN} – остаточная деформация в растянутой арматуре, накопленная к моменту технической диагностики, определяемая по формуле

$$\varepsilon_{SN} = h_o f / S l^2 - \sigma_b / v_e E_b, \quad (4)$$

где f – величина остаточного прогиба в середине пролета, измеренная в результате технической диагностики; S – функция, зависящая от статической расчетной схемы балки; v_e – коэффициент, характеризующий отношение упругой части деформации крайнего сжатого волокна к его полной деформации

$$v_e = \varepsilon_e / (\varepsilon_e + \varepsilon_{cr} + \varepsilon_f), \quad (5)$$

$$\varepsilon_e = \sigma_b / E_b; \quad (6)$$

$$\varepsilon_{cr} = C_{ii} \sigma_b; \quad (7)$$

$$\varepsilon_f = [\Delta t / (a_m + \Delta t)] C_{lim}; \quad (8)$$

$$\varepsilon_f = [(2\rho_1 / (1 + \rho_1)) \gamma_f E_b C_n + (1 - \rho_1) \times (0,388 C_n - 0,35 \cdot 10^{-6}) E_b] \sigma_b / E_b \quad (9)$$

В приведенных зависимостях C_{ii} – удельная деформация ползучести бетона, соответствующая моменту диагностики; Δt – время эксплуатации конструкции; ρ_1 – коэффициент асимметрии цикла напряжений; γ_f – коэффициент, учитывающий сочетание нагрузок; C_{lim} – предельное значение удельной деформации ползучести бетона; C_n – нормативное значение удельной деформации ползучести бетона; a_m – параметр, характеризующий скорость развития деформации ползучести; ε_{scr} – предельное значение пластических деформаций в момент разрыва арматуры

$$\varepsilon_{scr} = (M_{max} / z_1 A_S E_S) N_{cr}^\beta, \quad (10)$$

где z_1 – плечо внутренней пары сил.

$$a_s = 1 / (1 + N_{cr}^\beta); \quad (11)$$

$$b_s = N_{cr}^\beta / (1 + N_{cr}^\beta); \quad (12)$$

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

$\beta = 0,02$ – параметр, характеризуючий швидкість накоплення пластических деформацій в процесі многократно повторного нагрівання; α_s – коефіцієнт, учитывающий несимметричность приложения многократно повторной нагрузки. При симметричных циклах нагрівання $\alpha_s = 1,0$; n_{oi} – количество циклов нагрівання конструкций в единицу времени.

Выводы

Определив ресурс по выносливости арматуры растянутой зоны можно прогнозировать срок службы мостовой железобетонной конструкции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ройтман, А. Г. Надежность конструкций эксплуатируемых зданий [Текст] / А. Г. Ройтман. – Москва : Стройиздат, 1985. – 175 с.
2. Мамажанов, Р. К. Прогнозирование ползучести бетона пролетных строений мостов при нарастающих нагрузках [Текст] / Р. К. Мамажанов, О. И. Кильдеева // Межвуз. сб. науч. тр. – Ташкент : Изд-во ТашИИТ, 1996. – Вып. 226/62. – С. 33-38.
3. Мамажанов, Р. К. Вероятностное прогнозирование ресурса железобетонных пролетных строений мостов [Текст] / Р. К. Мамажанов. – Ташкент : Фан, 1993. – 156 с.
4. ДБН В.2.3-14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування [Текст]. – Надано чинності 2007-02-01. – Київ : Мін. буд., архіт. та житл.-комун. госп-ва, 2006. – 359 с.
5. Болотин, В. В. Применение методов теории вероятности и теории надежности в расчетах сооружений [Текст] / В. В. Болотин. – Москва : Стройиздат, 1971. – 255 с.
6. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты [Текст] / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев, Е. А. Гусев. – Москва : Стройиздат, 1980. – 536 с.
7. Математические модели процессов коррозии бетона [Текст] / Б. В. Гусев, А. С. Фацвусович, В. Ф. Степанова, Н. К. Розенталь. – Москва : Информ. – изд. ТИМР, 1996. – 104 с.
8. Колесник, Д. Ю. Сучасні уявлення про корозію цементного каменю в бетоні під дією води [Текст] / Д. Ю. Колесник, К. К. Пушкарьова, Л. О. Шейнич // Штучні споруди : автомобільні дороги. – 2012. – № 4 (228). – С. 33-37.
9. Особенности коррозии выщелачивания в современных бетонах [Текст] / Г. И. Овчаренко, Н. Г. Бровкина, О. С. Носкова и др. // Технология бетонов. – 2008. – № 3. – С. 62-63.
10. Соломка, В. І. Хімічна та біологічна корозія бетону і її наслідки для залізобетонних конструкцій мостів [Текст] / В. І. Соломка // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика : зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2013. – Вип. 4. – С. 107-112.
11. Подвальный, А. М. Физико-химическая механика – основа научных представлений о коррозии бетона и железобетона [Текст] / А. М. Подвальный // Бетон и железобетон. – 2000. – № 5. – С. 23-27.
12. Медведев, К. В. Прочность надежность и долговечность железобетонных элементов автодорожных мостов [Текст] / К. В. Медведев, Ф. В. Яцко // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика : зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2013. – Вип. 4. – С. 52-59.
13. Шестовицкий, Д. А. Прогнозирование срока службы железобетонных мостов [Текст] / Д. А. Шестовицкий // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика : зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2013. – Вип. 4. – С. 120-129.
14. ISO 2394, 1998. General principles on reliability for structures 2nd edn. Geneva, Switzerland : ISO.
15. Takewaka K., Mastumoto S. Quality and Cover Thickness of Concrete Based on the Estimation of Chloride Penetration in Marine Environments. ACI SP 109-17, American Concrete Institute, 1988. pp. 381-400.
16. Tingcheng Yan, Chunhua Lu, Zhiren Wu, Ronggui Liu Durability of Pre-stressed Concrete Structure Suffering from Chloride Ions' Invasion. International Journal of Nonlinear Science, 2008, vol. 5, pp. 184-192.

О. І. ДУБІНЧИК^{1*}, В. Р. КІЛЬДЕЄВ²

^{1*} Кафедра «Тунелі, основи та фундаменти», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 53, ел. пошта olya.dubinichic.62@mail.ru, ORCID 0000-0003-4059-2357

² Кафедра «Тунелі, основи та фундаменти», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 53

ПРОГНОЗУВАННЯ РЕСУРСУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА ВИТРИВАЛІСТЮ АРМАТУРИ

Мета. Визначення терміну експлуатації мостової залізобетонної конструкції за критерієм витривалості арматури розтягнутої зони. **Методика.** Для досягнення поставленої мети розглянуто та проаналізовано фактори, що впливають на довговічність залізобетонної конструкції, що працює при багаторазово повторних навантаженнях. **Результати.** Запропоновано залежність для визначення ресурсу залізобетонної конструкції по витривалості розтягнутої арматури. У ній враховано кількість циклів навантаження конструкції в одиницю часу, пластичні деформації арматури, параметри питомої деформації повзучості бетону. **Наукова новизна.** Визначено можливість прогнозування терміну експлуатації мостової залізобетонної конструкції. **Практична значимість.** Визначивши ресурс по витривалості арматури конструкції, можна прогнозувати терміни її ремонтних робіт.

Ключові слова: ресурс; залізобетонна мостова конструкція; надійність; безвідмовність; довговічність; збереженість; витривалість арматури

O. I. DUBINCHIK^{1*}, V. R. KILDEEV²

^{1*} Department «Tunnels bases and foundations» of Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, 2, Lazaryana Str., Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 53, e-mail olya.dubinichic.62@mail.ru, ORCID 0000-0003-4059-2357

² Department «Tunnels bases and foundations» of Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, 2, Lazaryana Str., Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 53

PREDICTING LIFE OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES FOR THE REINFORCEMENT OF ENDURANCE

Purpose. Defining life pavement concrete structure on the criterion of stamina reinforcement stretched zone. **Methodology.** To achieve this goal are considered and analyzed the factors affecting the durability of the concrete structure, operating at many times repeated loading. **Findings.** A dependence of the resource definition for the concrete structure endurance tensile reinforcement. It is considered the number of load cycles per unit time structure, plastic deformation of the valve, the parameters specific creep deformation of concrete. **Originality.** The possibility of predicting the life of the pavement concrete structure. **Practical value.** Identify resources for endurance valve design, it is possible to predict the timing of repairs.

Keywords: resource; reinforced concrete bridge structures; reliability; reliability; long-eternity; the keeping; stamina reinforcement

REFERENCES

1. Roytman, A. G. *Nadezhnost konstruksiy ekspluatiruemyykh zdaniy* [Reliability of structures maintained buildings]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1985. 175 p.
2. Mamazhanov R. K., Kildeeva O. I. *Prognozirovanie polzuchesti betona proletnykh stroeniy mostov pri narastayushchikh nagruzheniyakh* [Concrete of creep prediction bridge spans at increasing loadings] *Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov* [Interuniversity collection of scientific papers]. Tashkent, TashIIT Publ., 1996, issue 226/62, pp. 33-38.
3. Mamazhanov R. K. *Veroyatnostnoe prognozirovanie resursa zhelezobetonnykh proletnykh stroeniy mostov* [Probabilistic forecasting resource concrete bridge spans]. Tashkent, Fan Publ., 1993. 156 p.
4. *DBN V.2.3-14-2006. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Pravyla proektuvannya* [State Standard V.2.3-14-2006. Transport constructions. Bridges and pipes. Design rule]. Kyiv, Ministerstvo budivnytstva, arkhitektury i zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Publ., 2006. 359 p.
5. Bolotin V. V. *Primenenie metodov teorii veroyatnosti i teorii nadezhnosti v raschetakh sooruzheniy* [Application of the theory of probability and reliability theory in the calculation of structures]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1971, 255 p.
6. Moskvina V. M., Ivanov F. M., Alekseev S. N., Guzeev Ye. A. *Korroziya betona i zhelezobetona, metody ikh zashchity* [Corrosion of concrete and reinforced concrete, methods of protection]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1980, 536 p.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

7. Gusev B. V., Facvusovich A. S., Stepanova V. F., Rozental N. K. *Matematicheskie modeli protsessov korrozii betona* [Mathematical models of concrete corrosion processes]. Moscow, TIMR Publ., 1996, 104 p.
8. Kolesnyk D. Yu., Pushkar'ova K. K., Sheynych L. O. Suchasni uyavlennya pro koroziiyu tsementnoho kamenyu v betoni pid diyeyu vody [Modern views on the corrosion of cement in concrete under water]. *Shtuchni sporudy : avtomobilni dorohy* [Artificial buildings: roads], 2012, no 4 (228), pp. 33-37.
9. Ovcharenko G. I., Brovkina N. G., Noskova O. S. et al. Osobennosti korrozii vyshchelachivaniya v sovremennykh betonakh [Features of corrosion leaching in modern concretes]. *Tekhnologiya betonov* [Concrete technology], 2008, no 3, pp. 62-63.
10. Solomka V. I. Khimichna ta biolohichna koroziiya betonu i yiyi naslidky dlya zalizobetonnykh konstruksiy mostiv [Chemical and biological corrosion of concrete and its implications for reinforced concrete structures bridges]. *Zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana "Mosty ta tuneli: teoriya, doslidzhennya, praktyka"* [Proc. of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan "Bridges and tunnels: Theory, Research, Practice"], 2013, issue 4, pp. 107-112.
11. Podvalnyy A. M. Fiziko-khimicheskaya mekhanika – osnova nauchnykh predstavleniy o korrozii betona i zhelezobetonu [Physico-chemical mechanics – the basis of scientific ideas about the corrosion of concrete and reinforced concrete]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete], 2000, no 5, pp. 23-27.
12. Medvedev K. V., Yatsko F. V. Prochnost nadezhnost i dolgovechnost zhelezobetonnykh elementov avtodorozhnykh mostov [Strength, reliability and durability of reinforced concrete highway bridge elements]. *Zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana "Mosty ta tuneli: teoriya, doslidzhennya, praktyka"* [Proc. of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan "Bridges and tunnels: Theory, Research, Practice"], 2013, issue 4, pp. 52-59.
13. Shestovitskiy D. A. Prognozirovaniye sroka sluzhby zhelezobetonnykh mostov [Service life prediction of reinforced concrete bridges]. *Zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana "Mosty ta tuneli: teoriya, doslidzhennya, praktyka"* [Proc. of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan "Bridges and tunnels: Theory, Research, Practice"], 2013, issue 4, pp. 120-129.
14. ISO 2394, 1998. *General principles on reliability for structures 2nd edn*. Geneva, Switzerland : ISO.
15. Takewaka K., Mastumoto S. *Quality and Cover Thickness of Concrete Based on the Estimation of Chloride Penetration in Marine Environments*. ACI SP 109-17, American Concrete Institute, 1988. pp. 381-400.
16. Tingcheng Yan, Chunhua Lu, Zhiren Wu, Ronggui Liu Durability of Pre-stressed Concrete Structure Structure Suffering from Chloride Ions Invasion. *International Journal of Nonlinear Science*, 2008, vol. 5, pp. 184-192.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. Д. Петренко (Украина), д.т.н., проф. И. И. Лучко (Украина).

Поступила в редколлегию 19.09.2015

Принята к печати 28.09.2015