



ISSN 1819-432X print / ISSN 1993-3495 online

СУЧАСНЕ ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО
СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

2012, ТОМ 8, НОМЕР 4, 205–215

УДК 624.21

ПРОЕКТУВАННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ЗГИНАНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ АВТОДОРОЖНИХ МОСТІВ

Д. І. Бородай

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державина, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.*

E-mail: digobor@yandex.ru

Отримана 12 жовтня 2012; прийнята 21 грудня 2012.

Анотація. Сформульована загальна проблема довговічності залізобетонних елементів автодорожніх мостів України. Запропонована модель життєвого циклу згинаних елементів залізобетонних мостів на підставі закономірностей корозії бетону та арматури, яка дозволяє прогнозувати ресурс у вигляді функції часу залежно від фізико-механічних властивостей бетону й арматури, типу конструкцій, умов експлуатації, а також проектувати елементи конструкцій транспортних споруд із заданим терміном служби. Наведені чисельні приклади визначення довговічності по запропонованій моделі плитних прогонових будов за типовим проектом 3.503-12, які підтверджуються статистичними даними про технічний стан експлуатованих мостів по базі даних системи управління мостами АЕСУМ.

Ключові слова: життєвий цикл автодорожніх мостів, прогноз життєвого циклу, згинаний залізобетонний елемент, міст, корозія.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

Д. И. Бородай

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.*

E-mail: digobor@yandex.ru

Получена 12 октября 2012; принята 21 грудня 2012.

Аннотация. Сформулирована общая проблема долговечности железобетонных элементов автодорожных мостов Украины. Предложена модель жизненного цикла изгибаемых элементов железобетонных мостов на основании закономерностей коррозии бетона и арматуры, которая позволяет прогнозировать ресурс в виде функции времени в зависимости от физико-механических свойств бетона и арматуры, типа конструкций, условий эксплуатации, а также проектировать элементы конструкций транспортных сооружений с заданным сроком службы. Приведены численные примеры определения долговечности по предлагаемой модели плитных пролётных строений по типовому проекту 3.503-12, которые подтверждаются статистическими данными о техническом состоянии эксплуатируемых мостов по базе данных системы управления мостами АЭСУМ.

Ключевые слова: жизненный цикл автодорожных мостов, прогноз жизненного цикла, изгибаемый железобетонный элемент, мост, коррозия.

LIFE CYCLE DESIGN OF FLEXIBLE ELEMENTS OF REINFORCED-CONCRETE HIGHWAY BRIDGES

Denis Borodaj

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.*

E-mail: digobor@yandex.ru

Received 12 October 2012; accepted 21 Desember 2012.

Abstract. The general problem of durability of reinforced-concrete elements of Ukrainian highway bridges is formulated. The life cycle model of flexible bridge elements on the basis of concrete and reinforcement corrosion process which allows predicting a resource in the form of time depending function on physicomachanical properties of concrete and reinforcement, construction type and maintenance conditions is offered. Model allows designing transport construction element with the set life cycle. Numerical examples of slab superstructures durability definition on a standard project 3.503-12 on an offered model are resulted. Results confirm by statistical data of technical condition of maintained bridges on a database of AESUM bridge management system.

Keywords: life cycle of highway bridges, life cycle prediction, flexible reinforced-concrete element, bridge, corrosion.

Введение

Автомобильные мосты являются важнейшими составляющими транспортной инфраструктуры Украины. Закрытие моста вследствие его разрушения или необходимости срочного ремонта может привести к значительным экономическим убыткам и неблагоприятным социальным последствиям. Автомобильные мосты относятся к категории объектов, от которых зависит удовлетворение базовых потребностей жизнедеятельности страны и которые представляют повышенную техногенную и экологическую опасность. В связи с этим необходимо обеспечить надежность и безопасную эксплуатацию таких объектов.

Согласно оценкам экспертов [1–5], на дорогах общего пользования Украины в настоящее время более 64 % мостов, а на коммунальных дорогах более 72 % мостов полностью или частично не соответствуют предъявляемым к ним требованиям действующих нормативных документов по грузоподъемности и габаритам. При этом более 700 автомобильных мостов требуют капитального ремонта или реконструкции.

В решении Межведомственной комиссии по вопросам научно-технологической безопасности при Совете национальной безопасности и обороны Украины от 13 октября 2009 г. обращается внимание на то, что «... критичный стан автомобильных мостов та транспортних споруд як скла-

дових систем життєзабезпечення на території України підвищує ризик виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру і становить відповідно до статті 7 Закону України «Про основи національної безпеки України» загрозу національній безпеці в економічній та екологічній сферах ...» [6].

Одним из приоритетных направлений исследований сегодня является разработка методов моделирования процессов деградации свойств конструкционных материалов во время их длительной эксплуатации с целью прогнозирования ресурса конструкций автомобильных мостов [1, 3, 5].

Согласно действующим отечественным нормативным документам [7, 8] проектный срок службы железобетонных мостов должен составлять 70–100 лет. Обеспечить заданный срок службы можно соблюдением определенных нормативных конструктивных требований (устанавливаются допустимые значения толщины защитного слоя бетона, водоцементного отношения, расхода цемента, плотности и т. д.). Однако срок службы не закладывается в расчеты на этапе проектирования, т. е. не существует нормативного алгоритма, позволяющего прогнозировать и управлять долговечностью моста при его проектировании. Современный аппарат проектирования железобетонных конструкций не содержит инструментов управления долговечностью.

Уравнения предельных состояний не содержат переменной времени. Таким образом, существующие нормативные документы обеспечивают только мгновенную надежность конструкции моста в момент ее ввода в эксплуатацию, а происходящие в дальнейшем изменения несущей способности под воздействием внешних факторов, а также изменяющийся характер временной подвижной нагрузки не учитываются. В то же время, данные статистического анализа технического состояния железобетонных автодорожных мостов Украины показывают, что реальный средний срок службы мостов составляет 35–50 лет [5, 9].

Таким образом, возникает необходимость разработки моделей жизненного цикла автодорожных мостов, позволяющих прогнозировать и регулировать ресурс железобетонных элементов мостов на этапе разработки проекта, что соответствует государственной политике в сфере обеспечения технологической безопасности в основных отраслях экономики.

Основной целью данной работы является разработка модели жизненного цикла изгибаемых элементов железобетонных мостов на основании закономерностей коррозии бетона и арматуры в элементах конструкций транспортных сооружений.

Модель жизненного цикла изгибаемых элементов железобетонных автодорожных мостов

В процессе эксплуатации железобетонных элементов мостов в результате воздействия временной подвижной нагрузки и внешних факторов окружающей среды их техническое состояние ухудшается. Износ реализуется в повреждениях бетона и арматуры, причинами которых являются следующие процессы:

- морозные повреждения бетона;
- выщелачивание цементного камня;
- сульфатная коррозия бетона;
- реакция цементного камня с некоторыми видами щелочных заполнителей;
- карбонизация бетона, сопровождающаяся снижением значения рН поровой среды бетона, что приводит к общей коррозии арматуры;
- диффузия ионов хлора в бетон при использовании солей-антиобледенителей, которые применяются для борьбы с зимней скольз-

костью на дорогах. Проникая внутрь бетона, хлориды при определенной концентрации у поверхности арматуры вызывают ее интенсивную локальную электрохимическую коррозию.

Анализ литературных источников [2, 5, 9–13], посвященных изучению технического состояния мостов, указывает на то, что большинством исследователей ресурса железобетонных мостов главной причиной износа указывается коррозия стальной арматуры в результате карбонизации защитного слоя бетона или диффузии хлоридов.

Модель жизненного цикла основывается на зависимости изменения технического состояния железобетонных элементов мостов во времени от коррозионного состояния арматуры. Согласно Туутти [14] срок службы T железобетонных элементов, эксплуатирующихся в агрессивной среде, можно представить в виде процесса, включающего два периода:

$$T = t_1 + t_2, \quad (1)$$

где t_1 – время коррозии защитного слоя бетона (фаза инициирования коррозии арматуры); t_2 – время коррозии арматуры до критического уровня (фаза развития коррозии арматуры).

В течение срока службы изгибаемые железобетонные элементы автодорожных мостов эксплуатируются в агрессивной среде. Для рассматриваемых элементов выражение (1) интерпретируется следующим образом. Арматура последовательно находится в двух коррозионных состояниях:

- пассивном, когда защитный слой бетона выполняет защитные функции по отношению к арматуре;
- активном, когда карбонизация бетона защитного слоя или накопление в нем хлоридов вызывают начало коррозии арматуры.

Образующиеся продукты коррозии занимают больший объем по сравнению с исходным материалом. Накапливаясь на поверхности арматуры, продукты коррозии снижают сцепление арматуры с бетоном, оказывают давление на окружающий бетон, что приводит к образованию продольных трещин, их раскрытию и по достижению ширины трещин некоторого значения к скалыванию защитного слоя бетона [12, 13]. Наряду с этим происходит потеря сечения арматуры, снижающая несущую способность сечения (рис. 1).

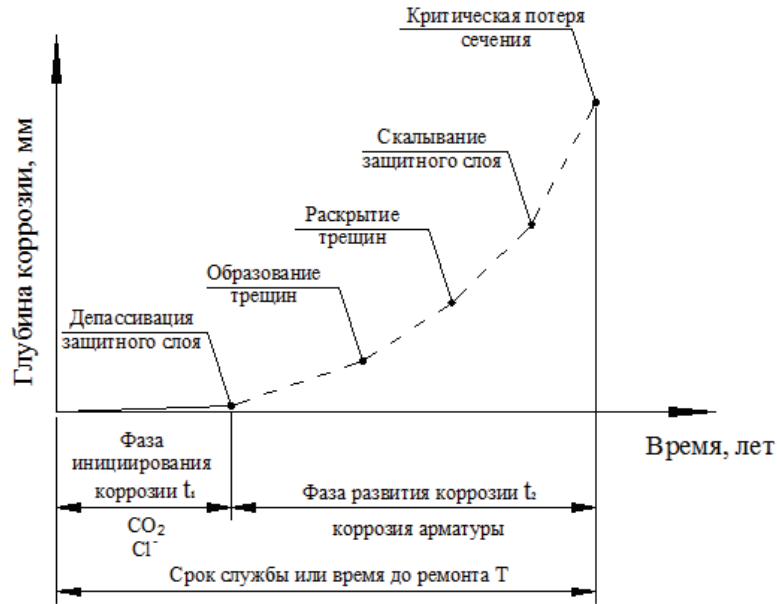


Рисунок 1. Схема процесса деградации изгибаемых железобетонных элементов автодорожных мостов.

Таким образом, накопление повреждений во времени, ухудшение технического состояния, снижение грузоподъемности изгибаемых элементов железобетонных автодорожных мостов связаны с потерей сечения арматуры в результате коррозии.

Определение времени коррозии защитного слоя бетона t_1

При определении времени t_1 рассматривается кинетика двух процессов: карбонизации бетона и диффузии ионов хлора. Определяется время карбонизации защитного слоя бетона t_{carb} и время накопления критической концентрации хлоридов у поверхности арматуры t_{Cl} . Меньшее из двух полученных значений принимается в качестве времени коррозии защитного слоя бетона t_1 . При этом принимается отсутствие корреляции между t_{carb} и t_{Cl} :

$$t_1 = \begin{cases} t_{carb}, t_{carb} < t_{Cl} \\ t_{Cl}, t_{Cl} < t_{carb} \end{cases} \quad (2)$$

Процессы карбонизации и диффузии хлоридов в бетоне достаточно хорошо изучены [15, 16] и в классической теории диффузии описываются дифференциальными уравнениями первого и второго законов Фика. При заданных начальных условиях величины t_{carb} и t_{Cl} определяются выражениями (3) и (4):

$$t_{carb} = \frac{X_c^2}{2 \cdot D_{CO_2} \cdot a^{-1} \cdot c_1} \cdot (3)$$

где X_c – толщина защитного слоя бетона, м;
 D_{CO_2} – коэффициент диффузии CO_2 в бетоне, m^2/c (зависит от состава бетона, степени гидратации, содержания влаги);
 c_1 – содержание CO_2 на внешней поверхности бетона, kg/m^3 ;
 a – количество CO_2 , необходимое для превращения продуктов гидратации цемента, способных карбонизироваться, kg/m^3 .

$$t_{Cl} = \frac{X_c^2}{4 \cdot D_{Cl} \cdot \left(erf^{-1} \left(\frac{C_s - C_{crit}}{C_s} \right) \right)^2}, \quad (4)$$

где D_{Cl} – коэффициент диффузии хлоридов в бетоне, m^2/c ;
 $erf(x)$ – функция ошибок Гаусса;
 C_s и C_{crit} – соответственно концентрации хлоридов на поверхности бетона и критическая на поверхности арматуры, % по массе цемента.

Определение времени коррозии арматуры до критического уровня t_2

В процессе коррозии стали в железобетоне происходит уменьшение диаметра (площади) арматуры и снижение ее механических характеристик

(предела прочности при растяжении, деформативности). Время коррозии арматуры t_2 до критического уровня предлагается оценивать в зависимости от вида предельного состояния конструкции, наступление которого прогнозируется.

Для расчетов на прочность определяется время коррозии арматуры до критического снижения площади сечения:

$$t_2 = \frac{x_{crit}}{V_{cor} \cdot \alpha_{pit}}, \quad (5)$$

где x_{crit} – глубина коррозии арматуры, соответствующая критическому снижению площади поперечного сечения;

V_{cor} – средняя скорость коррозии арматуры (определяется исходя из природных условий эксплуатации железобетонного элемента), мм/год;

α_{pit} – фактор, который учитывает характер коррозии [16].

Для расчетов на трещинообразование определяется время коррозии арматуры до появления трещин из условия:

$$W_{crit} = \rho_{steel} \cdot \left(\frac{\pi d^2}{4} - \pi \cdot \left(\frac{d}{2} - V_{cor} \cdot \alpha_{pit} \cdot t_2 \right)^2 \right) \cdot \alpha, \quad (6)$$

где d – диаметр арматуры, м;

W_{crit} – критическая удельная масса продуктов коррозии, вызывающих образование трещин, кг/м;

ρ_{steel} – плотность стали, кг/м³;

α – отношение молекулярной массы стали к молекулярной массе продуктов коррозии.

Для расчетов на ширину раскрытия трещин определяется время коррозии арматуры до момента раскрытия трещин на граничную ширину Δ_{cr} :

$$t_2 = \frac{\Delta_{cr} + 0,05}{0,125 \cdot V_{cor} \cdot \alpha_{pit}} + t_{crack}, \quad (7)$$

где t_{crack} – время от начала коррозии арматуры до образования трещины, определяемое из выражения (6), лет.

Связь модели с эксплуатационными состояниями железобетонных пролетных строений мостов

Нормы [17], регламентирующие оценку технического состояния мостов, характеризуют износ пролетных строений как процесс последовательного перехода в одно из пяти эксплуатационных

состояний (от «исправного» до «неработоспособного»). Каждому эксплуатационному состоянию пролетного строения соответствуют определенный уровень износа (оценивается по классификационным таблицам характерных дефектов и повреждений и уточняется по определению грузоподъемности или реальной характеристики безопасности), а также регламентируемые эксплуатационные или ремонтные мероприятия. Предлагаемая модель позволяет связать наступление различных эксплуатационных состояний с этапами жизненного цикла изгибаемых элементов с различным армированием, а, следовательно, прогнозировать время наступления эксплуатационных состояний пролетного строения в зависимости от принятых проектных решений и их реализации при строительстве.

Тестирование модели

В Украине для автоматизации формализованной оценки технического состояния автодорожных мостов и генерации экспертных рекомендаций по планированию порядка проведения работ по содержанию, ремонту и реконструкции используется аналитическая экспертная система управления мостами АЭСУМ. Система разработана ГосДорНИИ им. Шульгина совместно с Национальным транспортным университетом при поддержке Укравтодора в период с 2004 по 2006 год. С 2007 года осуществляется внедрение АЭСУМ в систему эксплуатации мостов на областных уровнях [4]. Одним из модулей АЭСУМ является база данных технического состояния эксплуатируемых автодорожных мостов Украины, куда поступает информация со всей страны, полученная в ходе обследований и паспортизации рассматриваемых сооружений. В работе используется информация о техническом состоянии и времени перехода мостов в различные эксплуатационные состояния, поступающая в базу данных АЭСУМ.

В ходе паспортизации мостов Донецкой области были получены статистические данные о типах пролетных строений и их техническом состоянии, анализ которых свидетельствует о том, что наиболее широко представлены плитные пролетные строения (около 60 % от всего количества мостов). Плитные пролетные строения армированы как обычной (типовой проект

5-04-145 Белгипродора), так и преднапряженной арматурой (типовой проект 3.503-12).

В данной работе рассматриваются сборные пролетные строения из пустотных плит длиной от 6 до 18 м, армированные предварительно напряженной арматурой, по типовому проекту – серии 3.503-12, выпуск 16, выпуск 21, которые получили широкое распространение при строительстве мостов и путепроводов в 70-е и 80-е года XX столетия. Проект разработан под нагрузки Н-30 и НК-80. В плитах используется бетон с маркой по прочности на сжатие М-400. Плиты армированы предварительно напряженной стержневой арматурой классов А-VI и А-V из стали марки 20ХГ2Ц по ГОСТ 5781-75 и стали марки 23Х2Г2Т по ГОСТ 5781-75 соответственно диаметром 18 мм. Толщина защитного слоя бетона – 40 мм.

Для тестирования модели были сделаны выборки из 29 и 40 мостов с пролётными строениями по типовому проекту 3.503-12, которые согласно данным обследований находились соответственно в третьем и четвертом эксплуатационном состояниях. Был выполнен статистический анализ полученных выборок, результаты которого представлены на рис. 2, 3 и в табл. 1.

Применение предлагаемой модели жизненного цикла для рассматриваемых типовых пролетных строений заключается в определении времени перехода элементов в третье и четвертое эксплуатационное состояние, в качестве которых согласно классификационным таблицам

[17] были приняты соответственно следующие этапы жизненного цикла:

- образование трещин;
- раскрытие трещин на ширину 0,2 мм.

На практике параметры модели являются случайными величинами. Для учета неотъемлемой физической неопределенности параметров модели использовался метод Монте-Карло, при помощи которого параметры модели генерировались как случайные величины с заданным типом распределения, средним значением и коэффициентом вариации согласно проектной документации [18] и литературным данным [12, 13, 16]. Генерировались две выборки по 1 000 значений времени перехода рассматриваемых типовых пролетных строений соответственно в третье и четвертое эксплуатационное состояние. Для полученных выборок был проведен статистический анализ, результаты которого приведены на рис. 4, 5 и в табл. 2.

Сравнивая полученные результаты моделирования с данными о фактическом техническом состоянии мостов, можно сделать вывод о достаточной степени точности прогнозирования процесса износа пролетных строений.

Возможности использования модели при проектировании жизненного цикла изгибаемых элементов автодорожных мостов

Предложенная модель жизненного цикла позволяет проектировать изгибаемые железобетонные

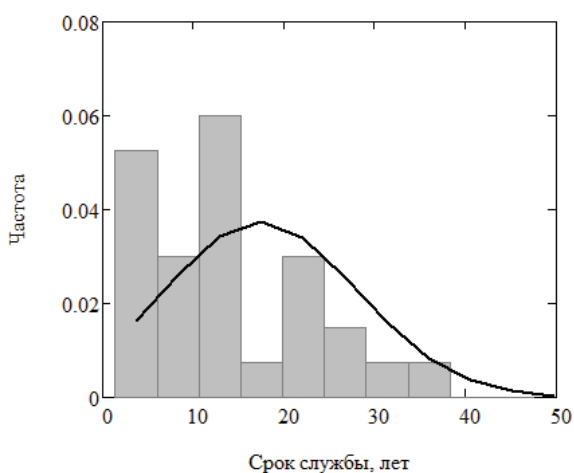


Рисунок 2. Гистограмма распределения фактического времени перехода пролетных строений в третье эксплуатационное состояние Т-3эс.

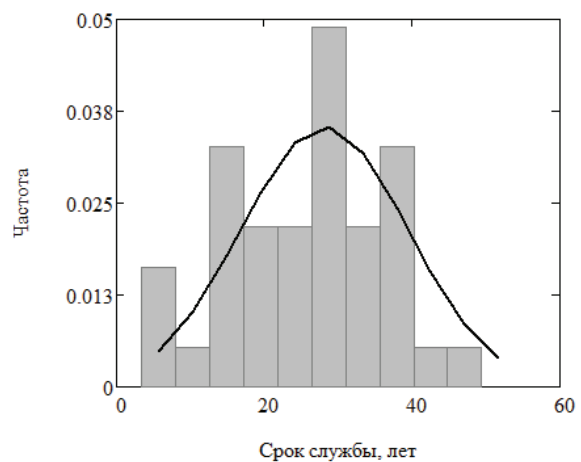


Рисунок 3. Гистограмма распределения фактического времени перехода пролетных строений в четвертое эксплуатационное состояние Т-4эс.

Таблица 1. Статистические параметры выборок фактического времени перехода пролетных строений в третье и четвертое эксплуатационное состояние

Эксплуатационное состояние	Математическое ожидание, μ , лет	Минимальное значение, лет	Максимальное значение, лет	Стандарт, σ , лет
Третье, Т-3эс	17,4	6	52	10,7
Четвертое, Т-4эс	28,0	8	54	11,3

Таблица 2. Статистические параметры выборок смоделированного времени перехода пролетных строений в третье и четвертое эксплуатационное состояние

Эксплуатационное состояние	Математическое ожидание, μ , лет	Минимальное значение, лет	Максимальное значение, лет	Стандарт, σ , лет
Третье, Т-3эс	16,8	9,1	38,8	3,6
Четвертое, Т-4эс	24,3	16,5	46,2	5,2

**Рисунок 4.** Гистограмма распределения смоделированного времени перехода пролетных строений в третье эксплуатационное состояние Т-3эс.**Рисунок 5.** Гистограмма распределения смоделированного времени перехода пролетных строений в четвертое эксплуатационное состояние Т-4эс.

элементы автодорожных мостов с заданным сроком службы. Использовать модель предлагается на следующих этапах:

- при проектировании изгибаемых железобетонных элементов автодорожных мостов;
- при вводе моста в эксплуатацию;
- при оценке технического состояния эксплуатируемых мостов.

При проектировании, исходя из принятых характеристик бетона и арматуры, определяется время наступления предельных состояний первой и второй групп (образование трещин, раскрытие трещин, потеря прочности по изгибающему моменту). Корректируя геометрические характеристики сечения и физико-механические свойства бетона и арматуры, регулируется требуемый срок службы элементов. Регулирование срока службы конструкций за счет характеристик материалов достигается:

- а) увеличением класса бетона по прочности, водопроницаемости и морозостойкости, которое снижает коэффициент диффузии углекислого газа и хлоридов в бетоне и повышает сопротивление бетона защитного слоя к растрескиванию под воздействием растущих продуктов коррозии (гидроксидов железа);
- б) применением арматуры периодического профиля с защитным покрытием, которое увеличивает время эксплуатации до начала коррозии и снижает скорость коррозии.

Регулирование срока службы пролетных строений конструктивным путем достигается за счет:

- а) увеличения толщины защитного слоя бетона;
- б) дополнительного армирования.

При вводе моста в эксплуатацию для уточнения срока службы, установленного при проектировании, выполняется перерасчет согласно фактическим физико-механическим свойствам бетона и арматуры и фактическим геометрическим размерам сечений. Данные параметры определяются согласно результатам об-

следований и испытаний материалов и конструкций, изготовленных на заводе МЖБК и на строительной площадке.

При оценке технического состояния эксплуатируемых мостов модель позволяет определять остаточный ресурс пролетных строений, используя данные о фактических значениях геометрических параметров сечения и физико-механических свойств бетона и арматуры, полученных в результате обследований, что в свою очередь позволяет планировать затраты на ремонт и реконструкцию мостов.

Выводы

С целью наиболее эффективного использования финансовых ресурсов, предназначенных для содержания, ремонта и реконструкции мостов, необходим инструмент, позволяющий прогнозировать процесс износа и время наступления различных этапов жизненного цикла мостов. Приведенная модель жизненного цикла на основании закономерностей коррозии бетона и арматуры позволяет проектировать изгибаемые железобетонные элементы автодорожных мостов с заданным сроком службы. Модель имеет статистическое обоснование на основании данных АЭСУМ.

Для повышения точности прогноза этапов жизненного цикла необходимым видится уточнение влияния напряженно-деформированного состояния, климатических, производственных и эксплуатационных факторов на параметры модели согласно статистической информации о техническом состоянии эксплуатируемых мостов, которая аккумулируется в базе данных системы управления мостами АЭСУМ.

Автор выражает глубокую благодарность д. т. н., профессору А. И. Лантух-Лященко за советы и рекомендации при выполнении теоретических и численных методов исследования, приведенных в данной работе.

Литература

1. Лантух-Лященко, А. И. До питання про створення національної системи експлуатації мостів [Текст] / А. И. Лантух-Лященко, П. М. Ковальов // Діагностика, довговічність та регенерація мостів і будівельних конструкцій із застосуванням сучасних технологій та матеріалів : [зб. наук. пр.]. Вип. 1 /

References

1. Lantuh-Liashhenko, A. I.; Kovalov, P. M. On the question about creation of national framework of bridge operations. In: *Diagnostic operation, longevity and regeneration of bridges and building constructions by applying high technology and materials: (Edited volume). Issue 1* / Edited by

- НАН України. Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка ; Ред.: В. В. Панасюк. – Львів : Каменяр, 1998. – С. 70–76.
2. Коваль, П. М. Вдосконалення системи утримання автомобільних мостів України [Текст] / П. М. Коваль // Дороги і мости : зб. наук. пр. / Держ. служба автомоб. доріг України (Укравтодор), Держ. дор. НДІ ім. М. П. Шульгіна. – К. : ДерждорНДІ, 2009. – Випуск 11. – С. 133–145.
 3. Мости: конструкції та надійність [Текст] / [Й. Й. Лучко, П. М. Коваль, М. М. Корнієв та ін.] ; за ред. В. В. Панасюка і Й. Й. Лучка. – Львів : Каменяр, 2005. – 989 с.
 4. Боднар, Л. П. Програмний комплекс АЕСУМ. Сучасний стан та концепція подальшого розвитку [Текст] / Л. П. Боднар // Дороги і мости [Текст] : зб. наук. пр. / Держ. служба авт. доріг України (Укравтодор), Держ. дор. НДІ ім. М. П. Шульгіна. – К. : ДерждорНДІ, 2010. – Випуск 12. – С. 31–39.
 5. Лантух-Лященко, А. І. Теоретичні засади прогнозу ресурсу залізобетонних елементів мостів [Текст] / А. І. Лантух-Лященко // Теорія і практика будівництва : [зб. наук. пр.] / відп. ред. З. Я. Бліхарський. – Л. : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2010. – С. 288–292. – (Вісник / Національний університет «Львівська політехніка» ; № 662).
 6. Відбулося чергове засідання Міжвідомчої комісії з питань науково-технологічної безпеки при Раді національної безпеки і оборони України [Електронний ресурс] / відредаговано автором // Рада національної безпеки і оборони України. – Електрон. текстові дані. – 14.10.2009. – Режим доступу : <http://www.rainbow.gov.ua/news/1002.html>. – Назва з екрану.
 7. ДБН В.2.3-22:2009. Мости та труби. Основні вимоги проектування [Текст]. – Вводяться на заміну ДБН В.2.3-14:2006 ; чинний від 2010-03-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 52 с. – (Державні будівельні норми України).
 8. ДБН В.2.3-14:2006. Мости та труби. Правила проектування [Текст]. – На заміну СНиП 2.05.03-84 ; чинний від 2007-02-01. – К. : Мінбуд, 2006. – 359 с. – (Державні будівельні норми України).
 9. Лантух-Лященко, А. І. Уточнення оцінки експлуатаційного стану мостів [Текст] / А. І. Лантух-Лященко // Дороги і мости [Текст] : зб. наук. пр. / Держ. служба автомоб. доріг України (Укравтодор), Держ. дор. НДІ ім. М. П. Шульгіна. – К. : ДерждорНДІ, 2008. – Випуск 9. – С. 12–18.
 10. Маринин, А. Н. Прогнозирование напряженно-деформированного состояния железобетонных мостовых пролетных строений с учетом хлоридной коррозии и карбонизации [Текст] : диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук : спец. 05.23.11 «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей» / А. Н. Маринин. – Волгоград, 2007. – 383 с.
 - V. V. Panasiuk. Lviv: Kameniar, 1998, p. 70–76. (in Ukrainian)
 2. Koval, P. M. Development of the management system of high-way bridges of Ukraine. In: *edited volume «Roads and bridges»*. Kyiv: DerzhdorNDI, 2009. Issue 11, p. 133–145. (in Ukrainian)
 3. Luchko, Yo. Yo.; Koval, P. M.; Korniev, M. M. et al. Edited by V. V. Panasiuk and Yo. Yo. Luchko. Bridges: constructions and reliability. Lviv: Kameniar, 2005. 989 p. (in Ukrainian)
 4. Bodnar, L. P. Program complex AECUM. The current state and conception of further development. In: *edited volume «Roads and bridges»*. Kyiv: DerzhdorNDI, 2010. Issue 12, p. 31–39. (in Ukrainian)
 5. Lantuh-Liashhenko, A. I. Theoretical concepts of forecast of resources of concrete component of bridges. In: *Edited volume «Theory and practice in building» / Edited by Z. Ya. Blihariskii*. Lviv: Publishing house of National University «Lvov polytechnology», 2010, Number 662, p. 288–292. (in Ukrainian)
 6. Regular meeting of joint committee on the question of scientific and processable safety on duty of Rada of national security and defence of Ukraine has happened. Accessed at: <http://www.rainbow.gov.ua/news/1002.html>. (in Ukrainian)
 7. DBN B.2.3-22:2009. Bridges and tubes. Dominant requirements of design. Kyiv: Minregionbud of Ukraine, 2009. 52 p. (in Ukrainian)
 8. DBN B.2.3-14:2006. Bridges and tubes. Design rules. Kyiv: Minbud of Ukraine, 2006. 359 p. (in Ukrainian)
 9. Lantuh-Liashhenko, A. I. Pecification of evaluation of service reliability of bridges. In: *Edited volume «Roads and bridges»* Kyiv: DerzhdorNDI, 2008. Issue 9, p. 12–18. (in Ukrainian)
 10. Marinin, A. N. Forecasting of strain-stress state of reinforced-concrete bridge span taking into account chloride attack by corrosion and carbonating: Ph.D. Thesis in Engineering Science: speciality 05.23.11 «Design and construction of roads, tube railroads, airfields, bridges and transport tunnels». Volgograd, 2007. 383 p. (in Russian)
 11. Busel, A. V.; Volskii, E. V.; Isakov S. E. Management of snow and ice control of bridges and their protection from salt corrosion. In: *edited volume «Roads and bridges»* Kyiv: DerzhdorNDI, 2008. Issue 10, p. 51–53. (in Russian)
 12. Ferreira, Rui Miguel. Probability-based durability analysis of concrete structures in marine environments. Guimarães: University of Minho, School of Engineering Department of Civil Engineering, 2004. 321 p. ISBN 972-8692-16-1.
 13. Daigle, L.; Cusson, D.; Lounis, Z. Extending Service Life of High Performance Concrete Bridge Decks with Internal Curing. In: *Creep, Shrinkage and Durability Mechanics of Concrete and Concrete Structures: Proceedings of the CONCREEP 8 conference held in Ise-Shima, Japan, 30 September – 2 October 2008 / Edited by Tada-aki Tanabe, Kenji Sakata, Hirozo Mihashi, Ryoichi Sato, Kochi Maekawa*. Ise-Shima: Taylor &

11. Бусел, А. В. Управление зимним содержанием мостов и их защита от солевой коррозии [Текст] / А. В. Бусел, Е. В. Вольский, С. Е. Исаков // Дороги і мости [Текст] : зб. наук. пр. / Держ. служба авт. доріг України (Укравтодор), Держ. дор. НДІ ім. М. П. Шульгіна. – К. : ДерждорНДІ, 2008. – Випуск 10. – С. 51–53.
12. Ferreira, R. M. Probability-based durability analysis of concrete structures in marine environments [Текст] / Rui Miguel Ferreira. – Guimarães : University of Minho, School of Engineering Department of Civil Engineering, 2004. – 321 p. – ISBN 972-8692-16-1.
13. Daigle, L. Extending Service Life of High Performance Concrete Bridge Decks with Internal Curing [Текст] / L. Daigle, D. Cusson, Z. Lounis // Creep, Shrinkage and Durability Mechanics of Concrete and Concrete Structures : Proceedings of the CONCREEP 8 conference held in Ise-Shima, Japan, 30 September – 2 October 2008 / Edited by Tada-aki Tanabe, Kenji Sakata, Hirozo Mihashi, Ryoichi Sato, Kochi Maekawa. – Ise-Shima : Taylor & Francis, 2008. – P. 1–6. – Режим доступу : <http://archive.nrc-cnrc.gc.ca/obj/irc/doc/pubs/nrcc50429/nrcc50429.pdf>.
14. Tuutti, K. Corrosion of Steel in Concrete [Текст] : Ph.D. Thesis / K. Tuutti ; Swedish Cement and Concrete Research Institute. – Stockholm, 1982. – 469 p.
15. Crank, J. The mathematics of diffusion [Текст] / J. Crank. – 2nd edition. – London : Oxford University Press, 1975. – 414 p.
16. Modelling of Degradation [Текст]. DuraCrete. Probabilistic performance based durability design of concrete structures / The European Union – Brite EuRam III. – Contract BRPR-CT95-0132, Project No. BE95-1347. – [S. l. : s. n.], 1998. – 174 p. – ISBN 90-376-0444-7.
17. ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2009. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів [Текст]. – На заміну ВБН В.3.1-218-174-2002 ; чинний від 2010-03-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 49 с. – (Національний стандарт України).
18. Типовые конструкции, изделия и узлы зданий и сооружений. Серия 3.503-12. Унифицированные сборные пролетные строения из предварительно напряженного железобетона для мостов и путепроводов на автомобильных и городских дорогах. Выпуск 21 [Текст] / Разработаны ГПИ «Союздорпроект» – М. : Союздорпроект, 1977. – 21 с.
- Francis, 2008, p. 1–6. Accessed at: <http://archive.nrc-cnrc.gc.ca/obj/irc/doc/pubs/nrcc50429/nrcc50429.pdf>.
14. Tuutti, K. Corrosion of Steel in Concrete: Ph.D. Thesis. Stockholm, 1982. 469 p.
15. Crank, J. The mathematics of diffusion. 2nd edition. London: Oxford University Press, 1975. 414 p.
16. Modelling of Degradation. DuraCrete. Probabilistic performance based durability design of concrete structures / The European Union – Brite EuRam III. Contract BRPR-CT95-0132, Project No. BE95-1347. [S. l.: s. n.], 1998. 174 p. ISBN 90-376-0444-7.
17. DSTU-N B B.2.3-23:2009. Decree of evaluation and forecasting of engineering status of high-way bridges. Kyiv: Minregionbud of Ukraine, 2009. 49 p. (in Ukrainian)
18. Standard design, products and units of buildings and constructions. Series 3.503-12. Universal, unit-construction, spans from pretensioned iron concrete for bridges and overbridges on automobile and municipal roads. Issue 21-st. Moscow: Soiuzdorproekt, 1977. 21 p. (in Russian)

Бородай Денис Ігорович – асистент кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: надійність та довговічність транспортних споруд.

Бородай Денис Игоревич – ассистент кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: надежность и долговечность транспортных сооружений.

Denis Boroday – assistant; Highways and Airdromes Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: reliability and durability of transport constructions.

