

СПОСОБ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АВАРИЙНОГО СРОКА СЛУЖБЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ВИНТОВЫХ СВАЯХ

Р. Ю. ДОЛОМАНЮК, В. В. ПЕТРУСЕВИЧ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Надежность – свойство искусственного сооружения выполнять свои функции в период всего нормативного срока службы. Проектный срок службы – период, на протяжении которого искусственное сооружение может выполнять свои функции при условии выполнения работ по содержанию и ремонтам. Долговечность – свойство искусственного сооружения сохранять работоспособное состояние до подхода к предельному состоянию при установленной системе содержания и ремонтов. Характеристиками долговечности являются срок службы и ресурс. Живучесть – способность элемента или конструкции сохранять несущую способность при повреждении или разрушении отдельных частей. Оценка технического состояния – установление степени соответствия технического состояния сооружения предъявляемым к нему требованиям по грузоподъемности, пропускной способности и безопасной эксплуатации. Режим эксплуатации – комплексная характеристика условий функционирования сооружения, его отдельных элементов, включающая совокупность воздействий и систему технического обслуживания [1].

В современных нормах проектирования срок службы мостов составляет 100 лет. Для выполнения мероприятий по определению и оценке фактических параметров, характеризующих эксплуатационное состояние сооружения и определяющих режим дальнейшей эксплуатации и необходимость ремонтов, реконструкции или замены сооружения существуют различные системы управления мостами. Данные системы на основании различных показаний, расчетов, методик прогнозирования производят эксплуатацию мостовых сооружений с оценкой технического состояния [1].

Оценка технического состояния мостов выполняется по основным показателям: безопасности, грузоподъемности, долговечности, ремонтпригодности [1].

Обследования технического состояния мостов проводится не реже 1 раза в 5–10 лет, в зависимости от типа моста. При обследовании мостов, эксплуатирующихся более 25 лет, рекомендуется осуществлять прогноз долговечности и эксплуатационной надежности сооружения на основе данных о снижении прочности бетона, скорости карбонизации бетона, наличии и ширине раскрытия трещин, величине защитного слоя бетона [2].

Основными задачами транспортных войск на современном этапе являются:

– изучение предполагаемых районов действий, имеющихся там железных и автомобильных дорог, осуществление подготовительных мероприятий и обеспечение технического прикрытия, восстановления, разминирования и заграждения железных и автомобильных дорог, повышение их живучести и пропускной способности;

– осуществление эксплуатации военно-автомобильных восстанавливаемых железных дорог и т. д. [3].

Техническое прикрытие железнодорожных и автомобильных дорог представляют собой комплекс инженерных, технических и организационных мероприятий, осуществляемых в мирное и военное время для всесторонней подготовки объектов, сооружений и устройств эксплуатируемой транспортной сети, а также восстановленных и эксплуатационных сил и средств [3].

В комплексе технического прикрытия железнодорожных направлений Республики Беларусь, для принятия решения по организации мероприятий обеспечения живучести капитальных мостовых сооружений необходимо производить оценку длительности эксплуатации мостов. Четких алгоритмов по прогнозированию долговечности моста в составе мероприятий технического прикрытия не существует.

Целью исследования является разработка упрощенной методики прогнозирования долговечности железобетонных конструкций моста, позволяющая определить срок службы моста на стадии подготовки комплекса мероприятий по обеспечению живучести сооружения. Задача исследования заключается в разработке математической модели расчета долговечности железобетонных элементов моста; определении долговечности железобетонных конструкций при помощи предложенной модели; сравнении полученных результатов с фактической долговечностью железобетонных элементов.

Проектный срок службы конструкций дает возможность для определения периода времени (или так называемого остаточного срока службы), в течение которого эксплуатируется искусственное сооружение в заданных условиях без необходимости выполнения ремонта. За основу возьмем ма-

тематическую модель остаточного срока службы конструкции мостового сооружения, которое выражается уравнением [4]

$$T = t_p + t_{cor}, \quad (1)$$

где T – остаточный срок службы конструкций, лет; t_p – время депассивации арматуры (проектный срок службы), лет; t_{cor} – время активной коррозии, лет.

На основе этого физического уравнения разработан алгоритм по практическому прогнозированию и оценке срока службы железобетонных конструкций моста на стадии подготовки мероприятий по обеспечению живучести искусственного сооружения в комплексе технического прикрытия железнодорожных направлений Республики Беларусь (рисунок 1).

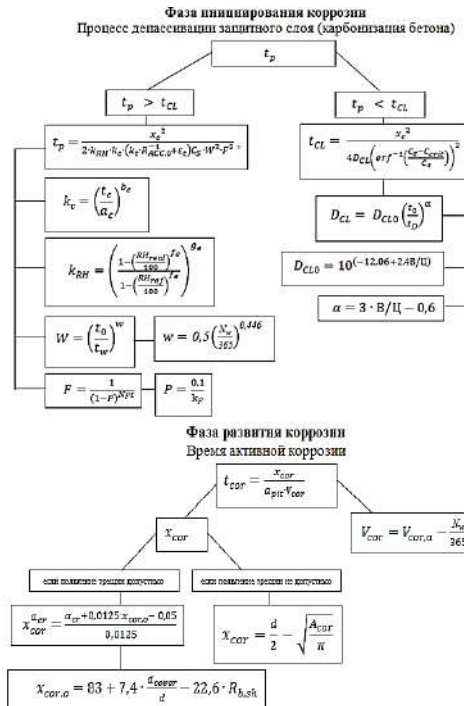


Рисунок 1 – Алгоритм по прогнозированию и оценке срока службы

Обозначения на рисунке 1:

t_p – проектный срок службы;

x_c – глубина карбонизации за время службы конструкции, мм;

k_{RH} – коэффициент относительной влажности, %;

RH_{real} – среднегодовая относительная влажность, % (таблица 1);

RH_{ref} – относительная влажность равна 65 %;

f_e и g_e – коэффициент, определяющийся методом аппроксимации кривой по данным эксплуатационных измерений, и равен соответственно $f_e = 5,0$; $g_e = 2,5$;

k_c – коэффициент твердения, можно найти формуле или таблице 2.

t_c – продолжительность ухода за бетоном, дни;

a_c – параметр регрессии, 7^{b_c} (1/дни);

b_c – показатель регрессии при нормальном распределении;

k_t – коэффициент регрессии при использовании ускоренного метода карбонизации;

ϵ_t – коэффициент погрешности при использовании ускоренного метода карбонизации;

$R_{ACC,0}^{-1}$ – обратное эффектное сопротивление карбонизации в бетоне, $m^5/c \text{ кг CO}_2$;

C_s – концентрация CO_2 в окружающем воздухе, kg/m^3 ;

W – функция, учитывающая изменение физико-механических свойств бетона во времени;

t_w – время, сут;

t_0 – эталонное время, сут (по ускоренному методу испытаний при $t_0 = 28$ дней);

w – длительность и периодичность периодов увлажнения;

N_w – число дней в году с осадками более 2,5 мм;

F – функция влияния морозного разрушения на карбонизацию;
 N_F – число циклов «замораживания – оттаивания» в год;
 t_D – время, лет;
 P – вероятность повреждения бетона в цикле «замораживание – оттаивание», которая связана с маркой бетона по морозостойкости k_F ;
 t_{CL} – время накопления хлоридов, лет;
 D_{CL} – коэффициент диффузии хлоридов в бетоне, m^2/c ;
 $erf()$ – функция ошибок Гаусса;
 C_{crit} – критическая концентрация хлоридов на поверхности арматуры, % по массе цемента;
 D_{CL0} – начальный коэффициент диффузии хлоридов в бетоне в возрасте $t_0 = 28$ суток, m^2/c , который зависит от В/Ц;
 α – показатель степени, зависящий от водоцементного отношения;
 t_{cor} – время активной коррозии, лет;
 x_{cor} – глубина коррозионного повреждения арматуры, определяется выражением, с учетом установки минимально допустимого значения площади арматуры на прочность;
 x_{cor}^{acr} – глубина коррозионного повреждения арматуры, мм;
 α_{cr} – ширина раскрытия трещин, мм;
 $x_{cor,o}$ – глубина коррозионного повреждения арматуры, соответствующая началу образования трещин, мм;
 d – диаметр арматуры;
 A_{cor} – площадь сечения арматурного стержня, mm^2 ;
 d_{cover} – толщина защитного слоя бетона, мм;
 $R_{b,sh}$ – прочность бетона на скалывание при изгибе, МПа;
 a_{pit} – питтинговый фактор, который учитывает характер коррозии и согласно равен $a_{pit} = 2$ при общей коррозии, вследствие карбонизации и $a_{pit} = 9,28$ при питтинговой коррозии, в случае локального воздействия хлоридов;
 V_{cor} – скорость коррозии арматуры;
 $V_{cor,a}$ – средняя скорость коррозии арматуры, мм/год, которая определяется исходя из природных условий эксплуатации железобетонного элемента по таблице 3.

Таблица 1 – Статические параметры среднегодовой относительной влажности для шести областных центров РБ

Город	Значение относительной влажности, %			Значение относительной влажности, %
	Среднее	Минимальная граница	Максимальная граница	
Минск	77,6	15	100	9,4
Брест	76,0	15	100	9,0
Гродно	78,5	13	100	8,6
Витебск	77,5	13	100	8,8
Гомель	75,2	15	100	9,5
Могилев	79,7	15	100	8,0

Таблица 2 – Параметр коэффициента твердения

Продолжительность выдерживания бетона t_c , дни	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
k_c	3,0	2,03	1,61	1,37	1,2	1,09	1,0	0,92	0,86	0,81	0,71	0,73	0,7	0,67

Таблица 3 – Средняя скорость коррозии стальной арматуры в железобетоне $V_{cor,a}$ в различных условиях эксплуатации

Коррозионное состояние	Условия эксплуатации	V_{cor} , мм/год
Общая коррозия при карбонизации	на открытом воздухе	0,005
	в помещении	0,002
Питтинговая коррозия	сухие	0,004
	переменная влажность	0,03
	в воздухе над морской водой	0,03
	зона периодического смачивания	0,07

Надежность и долговечность железобетонных конструкций мостов определяется не только условиями их эксплуатации, но и современным и качественным проведением работ по диагностике и ремонту. Выполнение этих мероприятий позволяет не только выявить степень их износа, но и определить причины их появления. Оценка прочности и надежности железобетонных конструкций даст возможность рассматривать различные стратегии эксплуатации мостовых сооружений.

Список литературы

- 1 Строительство и восстановление искусственных сооружений : материалы Междунар. науч.-техн. конф. : в 2 ч. Ч. 1 / под общ. ред. А. Г. Гордюка ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2013.– 323 с.
- 2 Прочность, трещиностойкость и долговечность конструкционного бетона при температурных и коррозионных воздействиях : монография: В 2 ч. Ч. 2 / С. Н. Леонович, Д. А. Литвиновский, О. Ю. Чернякевич, А. В. Степанова ; под ред. С. Н. Леоновича. – Минск: БНТУ, 2016.– 204 с. – ISBN 978-985-550-925-8 (Ч. 2).
- 3 **Доломанюк, Р. Ю.** Функция изменения физико-механических свойств бетона во времени в зависимости от периодов увлажнения на территории Республики Беларусь / Р. Ю. Доломанюк // Современные научные исследования и разработки. – М., 2019. – 359 с.
- 4 **Доломанюк, Р. Ю.** Влияние коэффициента влажности на глубину карбонизации железобетонных элементов мостовых сооружений / Р. Ю. Доломанюк // Современные проблемы науки и образования: вопросы теории и практики : материалы Междунар. науч.-практ. конф. НИЦ ПНК, 30 апр. 2019 г. / ред. кол.: Р. Р. Галлямов, А. А. Бельцер, Ю. А. Кузнецова, О. А. Подкопаев. – Самара : Поволжская научная корпорация, 2019. – 232 с.

УДК 355.442:623.746.4-519

ВАРИАНТ ИСПОЛНЕНИЯ ГИБРИДНОГО КОМПЛЕКСА ЗАЩИТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОДАВЛЕНИЯ И МЕХАТРОНИКИ ДЛЯ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ БПЛА

*К. В. ДРОБЫШЕВСКИЙ, Д. Д. ЛЕМЕШЕВ, М. Е. ТОЛСТОЛЕС
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Использование беспилотных летательных аппаратов (далее – БПЛА) в самых разнообразных сферах – от военных действий и разведки до коммерческих перевозок и мониторинга – переживает экспоненциальный период роста. Эта тенденция, несомненно, несет значительные преимущества, но одновременно порождает серьезные угрозы. Актуальность использования гибридных комплексов защиты от БПЛА сегодня достигла своего пика. Традиционные системы противовоздушной обороны в ряде случаев показывают свою неэффективность против широкого спектра БПЛА [1], поэтому в данной статье хотелось бы поговорить о таком способе защиты как гибридный комплекс защиты от БПЛА, рассмотреть его общий принцип действия.

Комплекс представляет собой интегрированную систему противодействия БПЛА и объединяет в себе два ключевых направления: электромагнитное подавление сигналов управления и мехатронические системы физического перехвата. Такой подход обеспечивает многоуровневую защиту критически важных объектов от различных типов угроз, включая разведывательные, диверсионные и ударные БПЛА. Вариант исполнения электромагнитной и мехатронической системы подавления может быть различным и включать в себя различные виды исполнения комплекса: как мобильный, так и стационарный. Рассмотрим общий принцип работы гибридного комплекса.

Составляющая электромагнитного подавления основана на принципе генерации мощных электромагнитных импульсов для нарушения каналов связи между оператором и БПЛА. Спектр ее воздействия охватывает основные частотные диапазоны управления современными дронами и системами навигации. Эффективность системы обеспечивает надежное подавление на расстояниях до нескольких километров в зависимости от конфигурации;

Мехатронический компонент комплекса включает автоматизированные системы физического перехвата и нейтрализации БПЛА. Система использует высокоточные сенсоры для обнаружения и отслеживания целей, а также управляемые механизмы для их захвата или вывода из строя. Интеграция с системой электромагнитного подавления позволяет сначала дезориентировать дрон, а затем осуществить его физический перехват.

К основным компонентам гибридной системы относятся:

- радиолокационная станция (обнаруживает и отслеживает цели на дальних дистанциях);
- генератор электромагнитного излучения (ЭМИ) (создает импульсы для подавления управления);
- система наведения (точно наводит перехватчик на цель);
- механизм захвата (осуществляет физический перехват и нейтрализацию БПЛА).