

УДК 624.21.093

С.Н. Леонович, доктор технических наук,
профессор, зав. кафедрой «Технология строительного производства»
Белорусского национального технического университета,
Минск, Беларусь.

А.В. Степанова, магистр технических наук, ассистент кафедры
«Строительные конструкции, основания и фундаменты»,
Белорусский государственный университет транспорта,
Гомель, Беларусь

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХЛОРИДНОЙ АГРЕССИИ НА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЙ БЕТОН ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАСЧЕТНОГО СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ

Многие параметры, влияющие на долговечность железобетонных конструкций, нестабильны во времени и носят вероятностный характер, законы распределения воздействующих факторов подчиняются произвольным распределениям, а функции их влияния, как правило, нелинейные.

Ключевые слова: хлоридная агрессия, срок эксплуатации.

Many of the parameters that influence the durability of reinforced concrete structures are not stable over time and are probabilistic in nature, laws of distribution of influencing factors subject to arbitrary distributions and functions of their influence, are usually non-linear.

Keywords: chloride aggression, lifetime.

Существующие методы расчета железобетонных конструкций не дают однозначного количественного ответа о долговечности или об остаточном сроке службы существующих железобетонных конструкций. Применение вероятностных методов проектирования, позволяет учитывать изменения условий эксплуатации сооружений или требований к конструкциям и устанавливать их остаточный срок службы.

В настоящей статье, на основании проведенных теоретических и натурных исследований железобетонных пролетных строений автомобильных мостов и путепроводов, рассматривается методика определения срока службы при воздействии жидкой хлоридсодержащей среды, основанная на вероятностной модели и составленная с учетом климатических условий Республики Беларусь.

Предлагаемая методика учитывает периоды инициирования и распространения коррозии арматуры. Процесс инициирования начинается с эксплуатации конструкции и заканчивается после достижения концентрации ионов хлора в защитном слое бетона предельного значения. После чего начинается процесс распространения: депассивация арматуры; коррозия арматуры; инициирование трещины; развитие трещины; достижение трещины поверхности конструкции.

В соответствии с нормами [1], в предварительно напряженных конструкциях появление трещин не допускается, поэтому период распространения заканчивается после достижения трещиной поверхности конструкции. Таким образом, при прогнозировании долговечности железобетонной конструкции, рассматривается время до инициирования коррозии и время до достижения определенного критического уровня коррозии и сравнивается с проектируемым сроком эксплуатации. Срок нормальной эксплуатации конструкции заканчивается, когда коррозия арматуры достигает критического уровня, при котором трещины достигают поверхности конструкции.

В уравнениях предельного состояния для периода инициирования сравнивается фактическая концентрация ионов хлора на глубине залегания арматуры с предельной

концентрацией, при которой начинается процесс коррозии арматуры. В уравнениях предельного состояния для периода распространения сравнивается прочность бетона на растяжение с расчетными растягивающими напряжениями в бетоне, при которых трещины достигают поверхности конструкции.

Вероятность окончания периода инициирования конструкции будет определяться вероятностью того, что на глубине залегания арматуры x фактическая концентрация хлоридов C_x превысит критическую C_{crit} :

$$P_{иниц} = p(C_{crit} < C_x). \quad (1)$$

Проведенным анализом преимуществ и недостатков различных моделей проникновения хлора в бетон (закон диффузии Фика, *DuraCrete*-модель, *Mejlbros-Poulsen*-модель, конвекционная модель хлоридов и *ClinConc*-модель), для расчета периода инициирования коррозии арматуры при воздействии хлорид-содержащих жидких сред принята *DuraCrete*-модель [2]. Эта модель позволяет использовать данные по проникновению хлоридов в железобетонные конструкции, полученные другими авторами.

Основным уравнением модели является:

$$C_x = C_{sn} \left[1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D_a(t)t}} \right], \quad (2)$$

где C_x – концентрация хлора на некоторой глубине, в % от массы це-

мента; C_{sn} – поверхностная концентрация хлора в % от массы цемента; x – глубина проникновения хлора, м; t – время воздействия, с; $D_a(t)$ – коэффициент диффузии хлора, $\text{м}^2/\text{с}$, определяемый по формуле

$$D_a(t) = D_a(t_0) \left(\frac{t_0}{t} \right)^n = k_c k_e k_t D_0 \left(\frac{t_0}{t} \right)^n, \quad (3)$$

где k_c – постоянный коэффициент, который учитывает влияние технологии изготовления; k_e – постоянный коэффициент, который учитывает влияние окружающей среды; k_t – постоянный коэффициент, который учитывает влияние метода испытаний; D_0 – коэффициент диффузии хлора, определенный при стандартных условиях, $\text{м}^2/\text{с}$; t_0 – эталонное время, с; n – фактор возраста.

Как уже отмечалось выше, после достижения концентрации ионов хлора предельного значения начинается процесс распространения, который разделен на: инициирование трещины, развитие трещины, достижение трещины поверхности. Предельным будем считать достижение трещины поверхности [3, 4].

Вероятность окончания периода распространения конструкции определяется вероятностью того, что прочность бетона на растяжение превысят расчетные растягивающие напряжения в бетоне:

$$P_{расп} = P(\sigma_{ct} < f_{ctd}). \quad (4)$$

Растягивающие напряжения в бетоне в зависимости от величины за-

щитного слоя c_{cov} и диаметра арматуры D определяются:

– при инициировании трещины

$$\sigma_{ct1} = \frac{(c_{cov}/D)^2 + (c_{cov}/D)}{(c_{cov}/D)^2 + (c_{cov}/D) + 0,5} f_{ctd}; \quad (5)$$

– при развитии трещины

$$\sigma_{ct2} = \frac{0,5 + (c_{cov}/D)}{1,665} f_{ctd}; \quad (6)$$

– при достижении трещины поверхности

$$\sigma_{ct3} = 2((c_{cov}/D) + 0,5) f_{ctd}; \quad (7)$$

– минимальные растягивающие напряжения

$$\sigma_{ct,min} = (2c_{cov}/(D + 2d_0)) f_{ctd}. \quad (8)$$

Растягивающие напряжения в бетоне от коррозии арматуры определяются по формуле

$$\sigma_{ct}(t) = \frac{2E_{eff}d_s(t)}{(D + 2d_0) \left(\frac{c^2 + a^2(t)}{c^2 - a^2(t)} + v_c \right)}, \quad (9)$$

где E_{eff} – эффективный модуль упругости бетона; D – диаметр арматурного стержня; d_0 – толщина слоя продуктов коррозии в зоне сцепления арматуры с бетоном; c – расстояние от поверхности до центра арматурного стержня, $c = c_{cov} + D/2$; c_{cov} – защитный слой бетона; v_c – коэффициент Пуассона для бетона, $v_c = 0,2$; $a(t) = [(D + 2d_0)/2] + d_s(t)$; $d_s(t)$ – толщина слоя продуктов коррозии.

Если растягивающие напряжения $\sigma_{ct}(t)$ меньше или равны минимальным растягивающим напряжениям $\sigma_{ct,min}$ – процесс инициирования ионов

хлора в бетон не закончился, расчет срока службы конструкции ведется по вероятностной DuraCrete-модели.

Если растягивающие напряжения $\sigma_{ct}(t)$ превышают минимальным растягивающим напряжениям $\sigma_{ct,min}$ – начинается процесс распространения, то есть напряжения начинаем сравнивать с напряжениями:

$\sigma_{ct}(t) \leq \sigma_{ct1}$ – инициирование трещины;

$\sigma_{ct}(t) \leq \sigma_{ct2}$ – развитие трещины;

$\sigma_{ct}(t) \leq \sigma_{ct3}$ – достижение трещины поверхности.

Достижение трещиной поверхности конструкции устанавливает предельное состояние при процессе распространения.

Многие учитываемые факторы DuraCrete-модели являются стохастическими, в простейшем стационарном случае – случайными величинами с заданными законами распределения. Законы распределения воздействующих факторов подчиняются произвольным распределениям, а функции их влияния, как правило, нелинейные. Поэтому, для решения поставленной задачи использовалось имитационное моделирование и метод Монте-Карло. Метод Монте-Карло заключается в многократном розыгрыше значений влияющих факторов с последующим вычислением необходимых функционалов, например: фактической концентрации хлоридов на заданной

глубине залегания арматуры; срока службы железобетонной конструкции и т.д.

Для компьютерной реализации метода Монте-Карло был разработан специализированный программный комплекс автоматизации имитационного моделирования «СМ-ДЭС», состоящий из трех модулей. Первый модуль отвечает за генерацию случайных величин. В нем реализованы две подсистемы:

1) подсистема генерации базовой случайной величины, подчиняющейся равномерному закону распределения на отрезке $[0; 1]$;

2) подсистема генерации случайной величины с основными типовыми законами распределения (нормальное, бета, гамма, Вейбулла, треугольного, трапецеидального, Лапласа, арксинуса, Пуассона и др.), а также произвольного распределения, заданного функцией распределения и гистограммой.

Второй модуль пакета – вычислительный – отвечает за функциональные преобразования с множеством влияющих случайных величин. Поскольку исследуемые модели могут включать сколь угодно сложные и разнообразные математические преобразования, то в качестве вычислительного модуля использовалось ядро символьных вычислений пакета компьютерной математики Maple. Для взаимодей-

ствия программы «СМ-ДЭС», написанной в среде программирования Delphi, с ядром Maple используется стандартная технология OpenMaple и дополнительная библиотека преобразования типов данных.

Третий модуль пакета «СМ-ДЭС» анализирует результаты статистических испытаний – оценкой основных числовых характеристик, в том числе квантилей распределения случайных величин и вероятностей событий.

Программа «СМ-ДЭС» работает следующим образом. Первоначально формирует текстовую строку, соответствующую принятой вероятностной модели – математическую функцию $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ множества аргументов, записанную на языке Maple. Для получения очередной реализации метода Монте-Карло разыгрывается случайный вектор (x_1, x_2, \dots, x_n) . Его значения передаются в ядро Maple с запросом на вычисление вещественной функции $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Процедура повторяется указанное число раз с последующим статистическим анализом.

В предлагаемую модель расчета долговечности железобетонных конструкций, подверженных воздействию жидкой агрессивной хлоридсодержащей среды, входят следующие вероятностные модели параметров и факторов базисных переменных.

Толщина защитного слоя бетона. Проектная толщина защитного слоя бетона должна быть не менее 40 мм [5] из условий защиты арматуры от коррозии, воздействия огня и из условий обеспечения совместной работы арматуры с бетоном. Для статистического моделирования толщины защитного слоя принят подход, при котором защитный слой бетона c_{cov} является детерминированной величиной, а отклонение Δc носит случайный характер. При вероятностном моделировании отклонений толщины защитного слоя бетона Δc приняты следующие параметры: $\mu = 0 \dots +10$ мм; $\sigma = 5 \dots 10$ мм.

Проектный срок службы. В соответствии с ТКП 45-3.03-232-2011 [6] проектный срок службы мостов – 100 лет. Проектный срок службы элементов мостовых сооружений, при выполнении нормативных условий содержания и ремонтов, составляет для конструкций пролетных строений с пролетами более 33 м $t_p = 100$ лет, для конструкций пролетных строений с пролетами 33 м и менее $t_p = 75$ лет.

Параметры, учитывающие влияние окружающей среды. Модель DuraCrete использует три фактора, учитывающих влияние окружающей среды (табл. 1).

Таблица 1.

Параметры DuraCrete-модели, учитывающие влияние окружающей среды

Параметр	Описание	Формула определения
$k_{C,T}$	Коэффициент, который учитывает влияние температуры на поверхностное содержание хлора	$k_{C,T} = \frac{C_{sn}(T, Cl_f)}{C_{sn,eq}(+20^\circ C, Cl_f)} = e^{\left[\frac{3700}{273+T} - \frac{1}{293} \right]}$
$k_{D,RH}$	Коэффициент, который учитывает влияние влажности на коэффициент диффузии	$k_{D,RH} = \frac{D_a(T, RH)}{D_a(T, 100\%RH)} = \left(1 + \frac{(1 - RH)^4}{(1 - RH_c)^4} \right)^{-1}$
$k_{D,T}$	Коэффициент, который учитывает влияние температуры на коэффициент диффузии	$k_{D,T} = \frac{D_a(T, RH)}{D_a(+20^\circ C, RH)} = e^{\left[\frac{3700}{293} - \frac{1}{273+T} \right]}$

В формулах таблицы 1: RH_c – влажность, при которой коэффициент диффузии $D(RH_c) = 1/2D(100\%RH)$, $RH_c = 83 \%RH$; $D_a(T, RH) - D_a(t)$ – полученный по кривым проникновения хлора при определенных температуре T и влажности RH ; $D_a(+20^\circ C, RH) - D_a(t)$ – полученный по кривым проникновения хлора, при температуре $+20^\circ C$ и определенной RH ; $C_{sn}(T, Cl_f) - C_{sn}$ – полученный по кривым проникновения хлора при воздействии раствора хлора с температурой T и определенной концентрацией, Cl_f ; $C_{sn}(+20^\circ C, Cl_f) - C_{sn}$ – полученный по кривым проникновения хлора при воздействии раствора хлора при температуре $+20^\circ C$ определенной концентрации, Cl_f ; T – температура бетона, $^\circ C$.

Значения прочих параметров DuraCrete-модели.

Поверхностное содержание хлора, измеренное при эквивалентных условиях и качестве бетона, $C_{sn,eq}$,

принято на основании исследования проникновения ионов хлора в несущие конструкции автодорожных мостов, выполненного в работах [7, 8]. Срок эксплуатации мостов составлял 25–27 лет, бетон на портландцементе, В/Ц = 0,4...0,45, расход вяжущего 260...420 кг/м³. Величина $C_{sn,eq}$ составляет 1,0...2,7 % по массе цемента.

Критическая концентрация хлора, C_{crit} принята на основании обзора данных, представленных различными авторами. В литературе значения C_{crit} изменяются от 0,1 до 2,0 % по массе цемента.

Коэффициент, который учитывает влияние состава бетона на поверхностное содержание хлора $k_{C,conc}$ принят на основании экспериментальных данных [2, 9, 10].

Коэффициент, который учитывает расстояние по горизонтали до источника хлоридов $k_{C,d}$, можно определить на основании анализа экспериментальных данных [11, 12, 13].

Коэффициент $k_{C,d}$ зависит от расстояния до дороги, от интенсивности и скорости движения, которые описаны параметром d_o . Этот параметр дает расстояние от дороги, при котором $k_{C,d} = 1,0$.

Коэффициент, который учитывает расстояние по вертикали к источнику хлоридов $k_{C,h}$, можно определить на основании экспериментальных данных приведенных в работах [8, 14].

Коэффициент, который учитывает ориентацию поверхности по отношению к движению транспорта $k_{C,o}$ определен количественно при помощи данных [8].

Коэффициент, который учитывает условия набора прочности $k_{D,c}$, принят в соответствии с экспериментальными данными [2, 9, 10] (таблица 2).

Коэффициент возраста, n , учитывающий уменьшение коэффициента диффузии D_a со временем, на основании экспериментальных данных, изложенных в [2, 7, 8, 9, 10,] принят под-

чиняющимся бета-распределению с параметрами: $\mu = 0,3$; $\sigma = 0,12$ (4,075; 9,508; 0,0; 1,0).

Для значений влияющих факторов, характерных для эксплуатации железобетонных балок путепроводов в Республике Беларусь, в пакете «СМ-ДЭС» была построена теоретическая модель проникновения хлоридов в железобетонную конструкцию

$$R = (C_{crit} - C_x). \quad (10)$$

По модели определены значения вероятностей ресурсного отказа в течение различного срока эксплуатации для различных значений толщины защитного слоя бетона. При этом состоянию ресурсного отказа соответствуют отрицательные значения R , то есть, когда фактическая концентрация хлоридов C_x на глубине x превышает критическую концентрацию C_{crit} .

Выполнены расчеты вероятности ресурсного отказа несущей балки пролетного строения путепровода, для постоянных негативных воздей-

Таблица 2

Параметры распределения вероятностей коэффициента $k_{D,c}$

Время набора прочности, дни	Среднее значение, μ	Стандартное отклонение, σ	Статистическое распределение
1	2,4	0,700	Beta (1.667, 1.905, 1.00, 4.00) $1,00 \leq k_c \leq 4,00$
3	1,5	0,300	Beta (2.148, 10.741, 1.00, 4.00) $1,00 \leq k_c \leq 4,00$
7	1,0	—	Det. (1)
28	0,793	0,102	Beta (4.445, 2.333, 0.40, 1.00) $0,40 \leq k_c \leq 1,00$

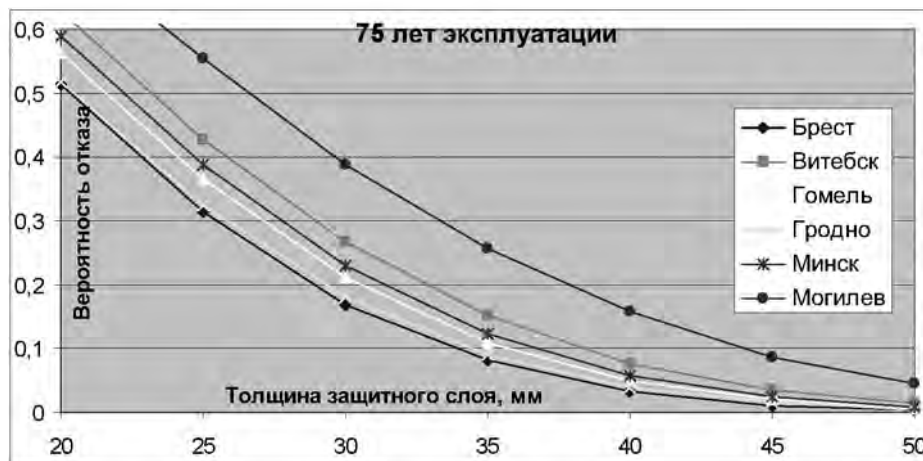


Рис. 1. Вероятности отказа железобетонного элемента в зависимости от величины защитного слоя бетона при нормативном сроке эксплуатации, равном 75 лет для областных центров Республики Беларусь

ствий хлора при поверхностном содержании равном 1,5 % и различных климатических условиях республики Беларусь. Получены вероятности отказа конструкции и индексы надежности в зависимости от срока эксплуатации при постоянной величине защитного слоя бетона и вероятности отказа конструкции и индексы надежности в зависимости от величины защитного слоя бетона при нормативном сроке эксплуатации равном 75 лет. Расчеты выполнены по критерию иницирования концентрации ионов хлора в бетоне

Сравнительный анализ полученных значений вероятностей отказа и индексов надежности железобетонных балок пролетных строений путепроводов XD3 класса по условиям эксплуатации, под-

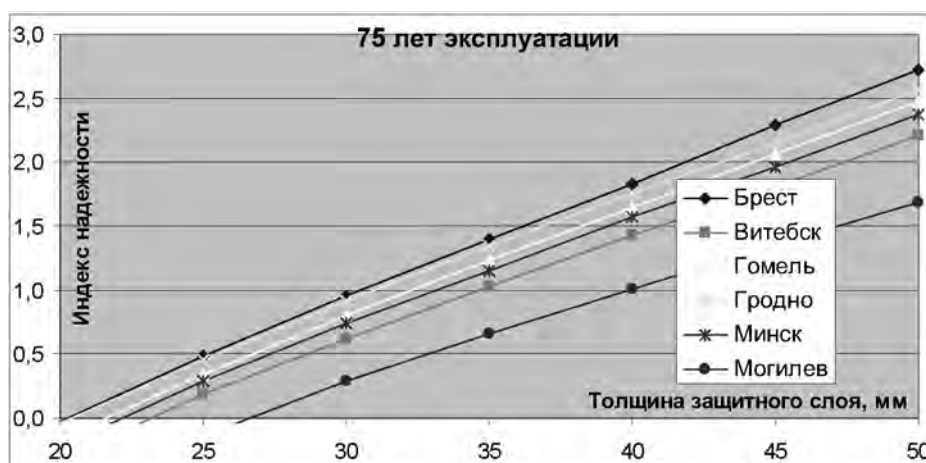


Рис. 2. Индексы надежности железобетонного элемента в зависимости от величины защитного слоя бетона при нормативном сроке эксплуатации, равном 75 лет для областных центров Республики Беларусь

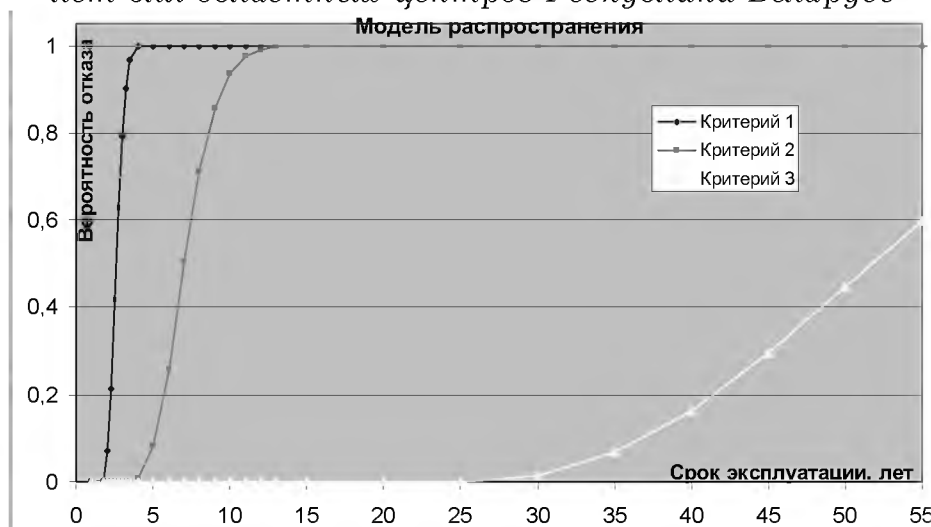


Рис. 3. Вероятность отказа железобетонного элемента в зависимости от длительности фазы распространения

вергающиеся увлажнению растворами-антиобледенителями, содержащими ионы хлора, представлен на рисунках 1 и 2.

С помощью программы «СМ-ДЭС» выполнен расчет вероятности отказа железобетонного элемента по модели распространения в зависимости от длительности фазы распространения, для трех различных критериев: 1 – инициирования трещины; 2 – развитие трещины; 3 – достижение трещиной поверхности. Расчет показал, что период распространения коррозии, который заканчивается после достижения трещиной поверхности конструкции, составил 6 лет. Результаты расчета представлены на рисунке 3.

При верификации достоверности предлагаемой модели выполнены расчеты изменения концентрации хлора в защитном слое бетона в зависимости от времени эксплуатации балок пролетных строений путепроводов. Результаты расчетов сравнивались с результатами определения концентрации хлора в защитном слое бетона балок пролетных строений путепроводов г. Гомеля. Сопоставление результатов расчетов и экспериментальных данных показало хорошую сходимость [15].

ВЫВОДЫ

Разработана методика прогнозирования долговечности пролетных строений автомобильных мостов и пу-

тепроводов при воздействии агрессивных хлоридсодержащих сред с использованием вероятностной модели расчета. Методика позволяет учитывать многочисленное количество факторов (толщину защитного слоя бетона, коэффициент диффузии хлора, критическую концентрацию, поверхностное содержание хлора, время воздействия, автодорожные условия и др.), часть из которых являются стохастическими: в простейшем стационарном случае – случайными величинами с заданными законами распределения. В методике, для оценки конструкции по предельному состоянию, рассчитываются периоды инициирования и распространения коррозии арматуры при воздействии жидких хлоридсодержащих сред и сравниваются с проектным сроком эксплуатации.

Расчет прогнозирования долговечности выполняется с помощью программного комплекса автоматизации имитационного моделирования «СМ-ДЭС», использующего метод Монте-Карло, позволяющий оценивать вероятность ресурсного отказа по критерию проникновения хлоридов к арматуре железобетонных конструкций, эксплуатируемых в условиях агрессивной среды. При этом может быть решена и обратная задача определения ресурса конструкций, обеспечиваемого с заданной вероятностью.

Список литературы:

1. СТБ ISO 2394-2007. Надежность строительных конструкций. Общие принципы. – Введ. 01.07.2008. – Мн., 2008. – 72 с.
2. DuraCrete (1998a). Modelling of Degradation // Document BE95-1347/R4-5. The European Union – BriteEuRam III, Contract BRPR-CT95-0132, Project BE95-1347, CUR, Gouda. – 1998.
3. *Martin-Perez, B.* Service Life Modelling of R. C. Highway Structures exposed to chlorides / B. Martin-Perez // PhD Dissertation. – Department of Civil Engineering, University of Toronto. – 1999.
4. *Tepfers, R.* Cracking of concrete cover along anchored deformed reinforcing bars / R. Tepfers // Magazine of Concrete Research. – March 1979. – Vol. 31, Iss. 106. – P. 3-12.
5. ТКП 45-2.01-111-2008 (02250). Защита строительных конструкций от коррозии. Строительные нормы проектирования. – Введ. 01.01.2009. – Мн. : Минстройархитектуры РБ, 2009. – 94 с.
6. ТКП 45-3.03-232-2011 (02250). Мосты и трубы. Строительные нормы проектирования. – Введ. 01.11.2019. – Мн. : Минстройархитектуры РБ, 2011. – 304 с.
7. *Lindvall, A.* Chloride ingress data from Danish and Swedish road bridges exposed to splash from de-icing salt / A. Lindvall, A. Andersen, L.-O. Nilsson // Proceedings of 2nd International RILEM Workshop on Testing and Modelling the Chloride Ingress into Concrete. – Paris, 2000. – P. 85-103.
8. *Lindvall, A.* Mapping of the chloride load around two Swedish reinforced concrete bridges / A. Lindvall // Publication P-02:2, Department of Building Materials, Chalmers University of Technology. – Goteborg, 2002. – P. 52.
9. DuraCrete (1998a). Modelling of Degradation // Document BE95-1347/R4-5. The European Union – BriteEuRam III, Contract BRPR-CT95-0132, Project BE95-1347, CUR, Gouda. – 1998.
10. DuraCrete (1999f). Quantification of the environmental parameters in the carbonation and chloride ingress models // Document BE95-1347/TG4/C. The European Union – BriteEuRam III, Contract BRPR-CT95-0132, Project BE95-1347, Prepared at Chalmers University of Technology, Göteborg. – 1999.
11. *Blomqvist, G.* Airborne spreading and deposition of de-icing salt – a case study / G. Blomqvist, E.-L. Johansson // The Science of the Total Environment. – 1999. – Vol. 235. – P. 161-168.
12. *Eliasson, E.* Spridning av vägsaltkringvägar (The spread of de-icing salts around roads) / E. Eliasson // Project work 20p, Naturgeografiska institutionen, Göteborgs universitet, Göteborg, 1996. (in Swedish).
13. *McBean, E.* Migration pattern of de-icing salts from roads / E. McBean, S. Al-Nassri // Journal of Environmental Management. – 1987. – Vol. 25. – P. 231-238.
14. *Fagerlund, G.* Kartering av kloridbelastning vid Riksväg 40 – Resultat från 5 vintersäsonger (Mapping of the chloride load around a Swedish main road exposed to de-icing salts – Results after 5 winter seasons): Report TVBM-7162 / G. Fagerlund, J. Svard // Division of Building Materials, Lund Technical University. – Lund, 2001. – P. 12.

15. Талецкий, В.В. Нарушения несущих железобетонных конструкций путепроводов, вызванные хлоридной агрессией / В.В. Талецкий, А.В. Степанова // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-технич. конф., Могилев, 19-20 апреля 2012 г. В 2 ч. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2012. – Ч. 2. – С. 127

УДК 691

Е.А. Коледа, аспирант кафедры технологии строительного производства Белорусского национального технического университета, e-mail: elena_koleda@bk.ru

С.Н. Леонович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Технологии строительного производства Белорусского национального технического университета, e-mail: snleonovich@yandex.ru

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ФИБРОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИ КАК КОМПОНЕНТ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА РИСКОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕКТА

Приведены основные физико-механические характеристики сталефибробетона и влияние на них параметров фибрового армирования. Рассмотрены принципиальные способы, на основе которых уже созданы или могут быть созданы приборы для контроля показателей сталефибробетона в конструкциях на строительной площадке.

Ключевые слова: фибробетон, прочность, неразрушающий контроль качества.

The main physical and mechanical characteristics of fibro-reinforced concrete and the effects of fiber reinforcement parameters. Considered fundamental ways, on the basis of which has already been or may be established instruments for indicators of fibro-reinforced concrete in the construction of a building site.

Keywords: fibro-reinforced concrete, strength, non-destructive quality control.

Сталефибробетон достаточно известный и давно применяемый материал. Бетон является хрупким материалом. Благодаря добавлению в бетон путем подмешивания стальной фибры резко улучшаются его физико-