

ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

**ОЦЕНКА СКОРОСТИ ДЕГРАДАЦИИ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ**

Васильев А. А., к.т.н., доцент

Республика Беларусь, г. Гомель, Белорусский государственный университет транспорта.

Дашкевич С. В., аспирант

Литва, г. Вильнюс, Дойче Бан Инженеринг & Консалтинг GmbH филиал Вильнюс

DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/12072018/6007

ARTICLE INFO

Received: 02 May 2018

Accepted: 21 June 2018

Published: 12 July 2018

KEYWORDS

carbonization of concrete;
steel reinforcement;
corrosion rate;
reinforced concrete culverts
(water pipes);
the durability of reinforced concrete
water pipes

ABSTRACT

Based on a long-term studies and research: the changes of carbonization in time along the cross-section of concrete of various classes in strengths; its effect on the change of the protective properties of concrete in relation to steel reinforcement; the conditions of steel reinforcement and concrete of the protective layer,- the graphical dependences have been obtained, allowing to estimate and predict the depth of corrosion damage of steel reinforcement; the average rate of its corrosion, the time of the onset critical damage to steel reinforcement and the formation of cracks with development of critical width from the thickness of protective layer for concrete of various classes on the strength, which are operated in conditions of open atmosphere.

The nature of the dependencies obtained makes it possible to obtain in an analytical form the regression dependencies of the change in corrosion rate of steel reinforcement in carbonized concrete on various technological and operational parameters. That will allow much more objective predictions of the durability of reinforced concrete water pipes (culverts) much more objectively, both at the design stage and during operation.

Citation: Васильев А. А., Дашкевич С. В. (2018) Ocenka Skorosti Degradacii Zhelezobetonnyh Vodopropusknyh Trub. *World Science*. 7(35), Vol.2. doi: 10.31435/rsglobal_ws/12072018/6007

Copyright: © 2018 Васильев А. А., Дашкевич С. В. This is an open-access article distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

Введение. Безаварийная работа железнодорожного транспорта в значительной степени обуславливается техническим состоянием малых мостов и труб. Одним из ключевых факторов, определяющих долговечность железобетонных водопропускных труб, является скорость деградации железобетона. В свою очередь, основным процессом, нейтрализующим бетон в железобетонных элементах (ЖБЭ), эксплуатируемых в условиях открытой атмосферы, является карбонизация бетона, которая, снижая защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре, создает условия для ее коррозии. В процессе развития коррозии стальной арматуры происходит уменьшение поперечного сечения с одновременным снижением механических характеристик, поэтому одним из важнейших вопросов является установление зависимости скорости коррозии стальной арматуры при карбонизации защитного слоя бетона от его толщины, класса бетона по прочности и условий эксплуатации ЖБЭ.

Основная часть. Существующие методики оценки карбонизации, основанные на фенолфталеиновом тесте, рассматривают только два состояния бетона – «здоровый», сохраняющий защитные свойства по отношению к стальной арматуре и карбонизированный,

способствующий возникновению и развитию коррозии, не позволяют оценивать скорость коррозии стальной арматуры от изменения состояния бетона защитного слоя.

Так, скорость коррозии стальной арматуры в условиях открытой атмосферы в соответствии с [1]:

$$V_{corr} = V_{corr,a} \cdot \frac{N_w}{365}, \quad (1)$$

где $V_{corr,a}$ – средняя скорость коррозии стальной арматуры, мм/год, определяемая условиями эксплуатации; в соответствии с [1] при эксплуатации на открытом воздухе $V_{corr,a} = 0,005$ мм/год,

N_w – количество дней в году с осадками более 2,5 мм.

Предлагаемая зависимость, не учитывает такие важнейшие факторы, как класс бетона по прочности (состав бетона), состояние защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре, толщина защитного слоя бетона, и др.

Оценка срока службы изгибаемых железобетонных элементов по величине критического повреждения стальной арматуры. Для возможности определения скорости развития коррозии стальной арматуры в карбонизированном защитном слое бетона использованы результаты многолетних исследований изменения во времени карбонизации по сечению бетона и ее влияния на изменение состояния защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре и состояния стальной арматуры [2–6]. На основании выявленной зависимости коррозионного состояния стальной арматуры от степени карбонизации бетона в зоне ее расположения и полученных регрессионных зависимостей изменения во времени по сечению степени карбонизации бетона был выполнен анализ времени наступления граничных значений степеней карбонизации для различных классов бетона по прочности. Были получены, в графическом виде, зависимости изменения во времени коррозионного повреждения стальной арматуры для толщин защитного слоя бетона 10, 15, 20 и 25 мм для классов бетона по прочности C^{12}_{15} – C^{30}_{37} и условий эксплуатации открытой атмосферы.

В качестве примера на рисунках 1 и 2 приведены, в графическом выражении, соответственно, регрессионные зависимости глубины коррозионного повреждения стальной арматуры от толщины защитного слоя бетонов классов по прочности C^{16}_{20} и C^{25}_{30} для эксплуатационных условий открытой атмосферы. Регрессионные зависимости для остальных классов бетона по прочности получены аналогично.

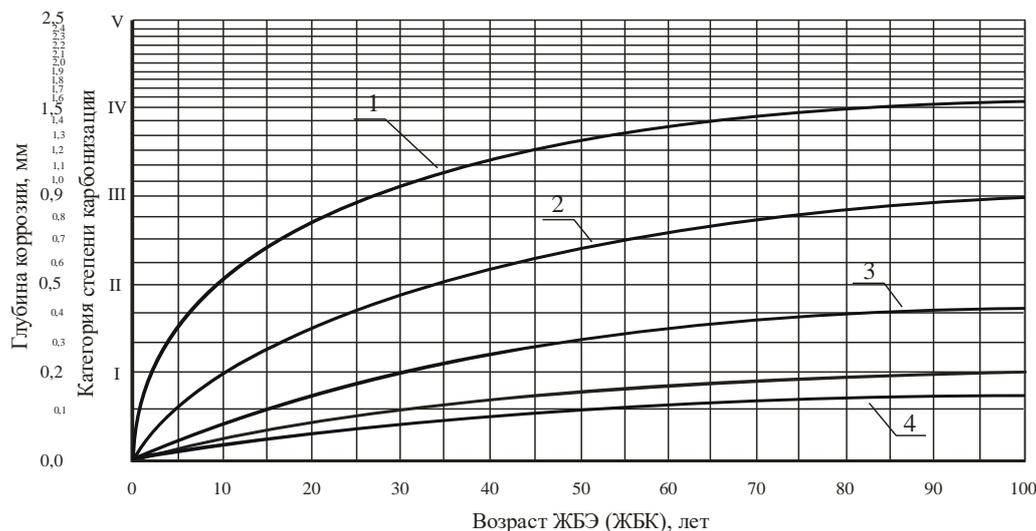


Рис 1 – Зависимости глубины коррозионных повреждений стальной арматуры от толщины защитного слоя бетона класса по прочности C^{16}_{20} для условий открытой атмосферы

Толщина защитного слоя бетона: 1 – 10; 2 – 15; 3 – 20; 4 – 25 мм

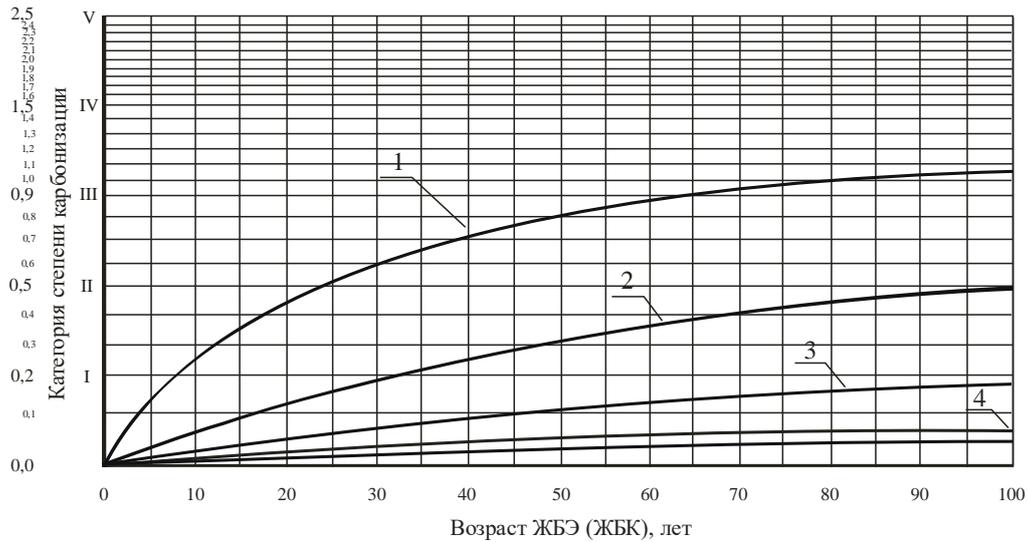


Рис. 2 – Зависимости глубины коррозионных повреждений стальной арматуры от толщины защитного слоя бетона класса по прочности $C^{25}/_{30}$ для условий открытой атмосферы
 Толщина защитного слоя бетона: 1 – 10; 2 – 15; 3 – 20; 4 – 25 мм

Результаты исследований показывают, что коррозионные повреждения стальной арматуры развиваются по сложной экспоненциальной зависимости и их скорость зависит от толщины защитного слоя бетона и класса бетона по прочности.

Использование полученных зависимостей позволяет прогнозировать глубину коррозионного повреждения стальной арматуры во времени и оценивать скорость ее коррозии в зависимости от толщины защитного слоя бетонов различных классов по прочности.

Приняв, нормативный срок эксплуатации железобетонных труб 50 лет [7], оценив среднюю скорость коррозии стальной арматуры для граничных толщин защитного слоя бетонов различных классов по прочности, получили, в графическом выражении, зависимости средней скорости коррозии стальной арматуры от толщины защитного слоя для бетонов различных классов по прочности (рисунок 3).

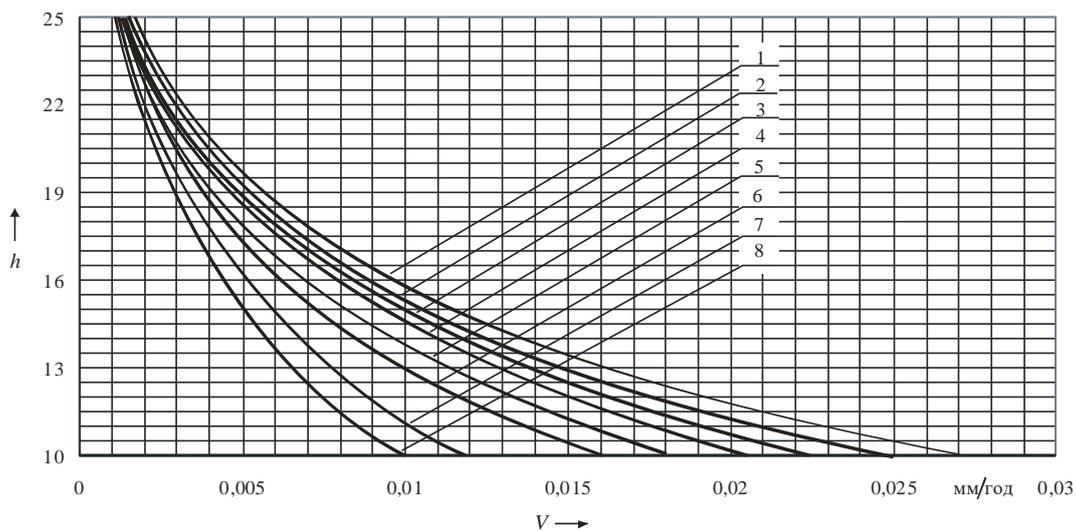


Рис. 3 – Зависимости средней скорости коррозии стальной арматуры от толщины защитного слоя бетона для условий открытой атмосферы
 Классы бетона по прочности: 1 – $C^{12}/_{15}$; 2 – $C^{16}/_{20}$; 3 – $C^{18}/_{22,5}$; 4 – $C^{20}/_{25}$; 5 – $C^{22}/_{27,5}$; 6 – $C^{25}/_{30}$; 7 – $C^{28}/_{35}$; 8 – $C^{30}/_{37}$

Они показывают, что средняя скорость коррозии стальной арматуры уменьшается по сечению бетона с поверхности вглубь по сложной экспоненциальной зависимости, причем с

уменьшением толщины защитного слоя бетона (менее 20 мм) она значительно выше предлагаемой [1].

В соответствии с [8], приняв, что потеря 25 % площади поперечного сечения стальной арматуры является ее критическим повреждением, и коррозия развивается по всей поверхности стержня, получили значения критической глубины коррозии для различных диаметров стальной арматуры (таблица 1).

Таблица 1 – Критическая глубина коррозии для различных диаметров

Диаметр стержня, мм	Критическая глубина коррозии, мм	Диаметр стержня, мм	Критическая глубина коррозии, мм
6	0,40	16	1,07
8	0,54	18	1,21
10	0,67	20	1,34
12	0,80	22	1,47
14	0,94	25	1,88

Используя регрессионные зависимости коррозионных повреждений стальной арматуры от толщины защитного слоя бетона, определили возраст достижения стальной арматуры различных диаметров критической глубины коррозии для фиксированных значений толщины защитного слоя.

По полученным результатам построены зависимости времени наступления критического повреждения стальной арматуры диаметров $\varnothing 6 \div 25$ мм от толщины защитного слоя для бетонов классов по прочности $C^{12}_{15} - C^{30}_{37}$ и различных эксплуатационных условий.

В качестве примера на рисунках 4 и 5 представлены зависимости времени наступления критического повреждения стальной арматуры диаметров $\varnothing 6 \div 25$ мм от толщины защитного слоя для бетонов, соответственно, классов по прочности C^{16}_{20} и C^{25}_{30} в условиях открытой атмосферы.

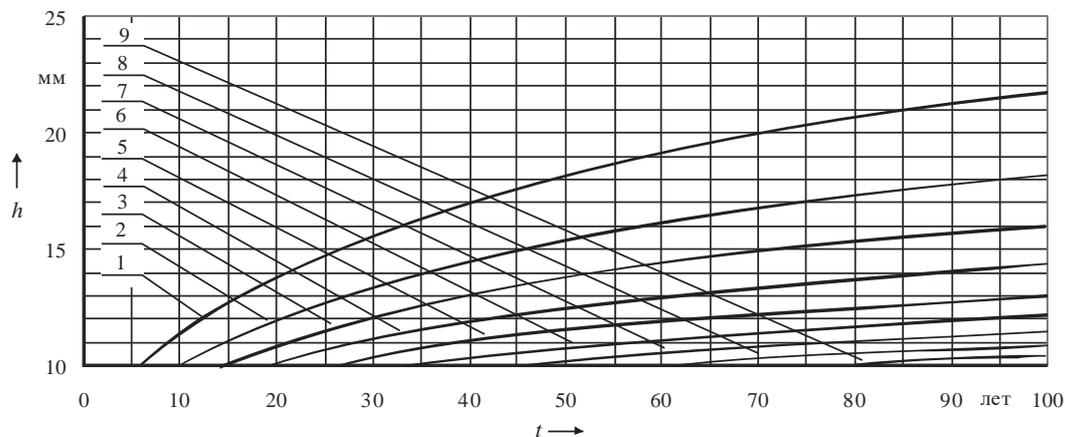


Рис. 4 – Зависимости времени наступления критических коррозионных повреждений стальной арматуры от толщины защитного слоя бетона класса по прочности C^{16}_{20} для условий открытой атмосферы
Диаметры стальной арматуры (\varnothing): 1 – 6; 2 – 8; 3 – 10; 4 – 12; 5 – 14; 6 – 16; 7 – 18; 8 – 20; 9 – 22 мм

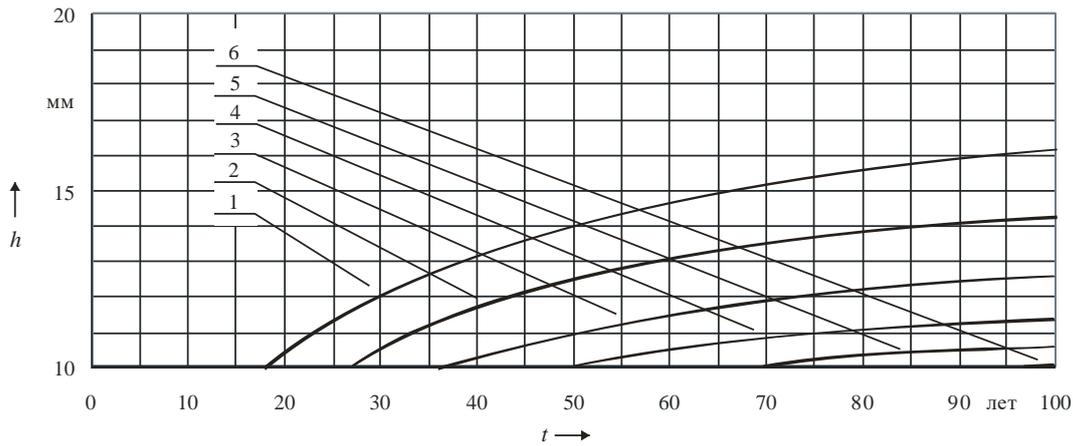


Рис. 5 – Зависимости времени наступления критических коррозионных повреждений стальной арматуры от толщины защитного слоя бетона класса по прочности $C^{25}/_{30}$ для условий открытой атмосферы

Диаметры стальной арматуры (\emptyset): 1 – 6; 2 – 8; 3 – 10; 4 – 12; 5 – 14; 6 – 16 мм

Полученные зависимости позволяют прогнозировать время наступления критического повреждения стальной арматуры различных диаметров в ЖБЭ, изготовленных из бетонов классов по прочности $C^{12}_{15}-C^{30}/_{37}$, эксплуатирующихся в разных атмосферных средах в зависимости от толщины защитного слоя.

Оценка срока службы изгибаемых железобетонных элементов по критической величине раскрытия трещин. Для случая образования трещин шириной раскрытия до 1 мм:

$$a_{cr} = 0,05 + 0,0125(X_{corr} - X_{corr,0}), \quad (2)$$

где a_{cr} – ширина раскрытия трещины, мм;

X_{corr} – глубина коррозионного повреждения стальной арматуры, мм;

$$X_{corr} = V_{corr} \cdot \alpha_{pit} \cdot t, \quad (3)$$

где V_{corr} – скорость коррозии стальной арматуры, мм/год;

α_{pit} – питтинговый фактор, учитывающий характер коррозии; при поверхностной коррозии вследствие карбонизации $\alpha_{pit} = 2$;

t – время, лет.

$$V_{corr} = V_{corr,a} \cdot \frac{N_w}{365}, \quad (4)$$

где N_w – количество дней в году с осадками более 2,5 мм.

$X_{corr,0}$ – глубина коррозионного повреждения стальной арматуры, соответствующая началу образования трещин, мм; определяемая эмпирическим выражением:

$$X_{corr,0} = 83 + 7,4 \cdot \frac{d_{cover}}{D} - 22,6 \cdot R_{b,sh}, \quad (5)$$

где d_{cover} – толщина защитного слоя бетона, мм; D – диаметр арматуры, мм;

$R_{b,sh}$ – прочность бетона на скалывание при изгибе, МПа.

Приняв граничное значение ширины раскрытия трещины $a_{cr} = 1,0$ мм, что соответствует критической ширине раскрытия трещин для изгибаемых элементов, определили возраст элементов, при котором образуются данная трещина для ЖБЭ, выполненных из бетонов классов по прочности $C^{12}_{15}-C^{30}/_{37}$, диаметрами стальной арматуры $\emptyset 6 \div 25$ мм, с толщиной защитного слоя $10 \div 25$ мм. По результатам расчетов построены зависимости времени образования трещины шириной раскрытия 1,0 мм от толщины защитного слоя для бетонов классов по прочности $C^{12}_{15}-C^{30}/_{37}$, диаметров стальной арматуры $\emptyset 6 \div 25$ мм, условий открытой атмосферы.

В качестве примера, на рисунках 6 и 7 приведены полученные зависимости для бетонов классов по прочности $C^{16}/_{20}$ и $C^{25}/_{30}$.

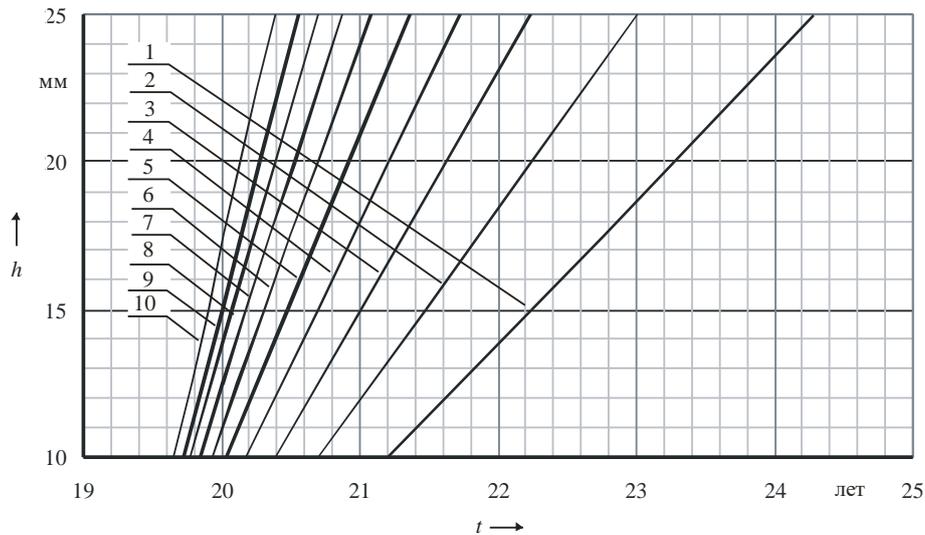


Рис. 6 – Зависимости скорости образования трещин шириной раскрытия 1,0 мм от толщины защитного слоя бетона класса по прочности $C^{16}/_{20}$ для условий открытой атмосферы ($N_w = 300$ дней)

Диаметры стальной арматуры: 1 – 6; 2 – 8; 3 – 10; 4 – 12; 5 – 14; 6 – 16; 7 – 18; 8 – 20; 9 – 22; 10 – 25 мм

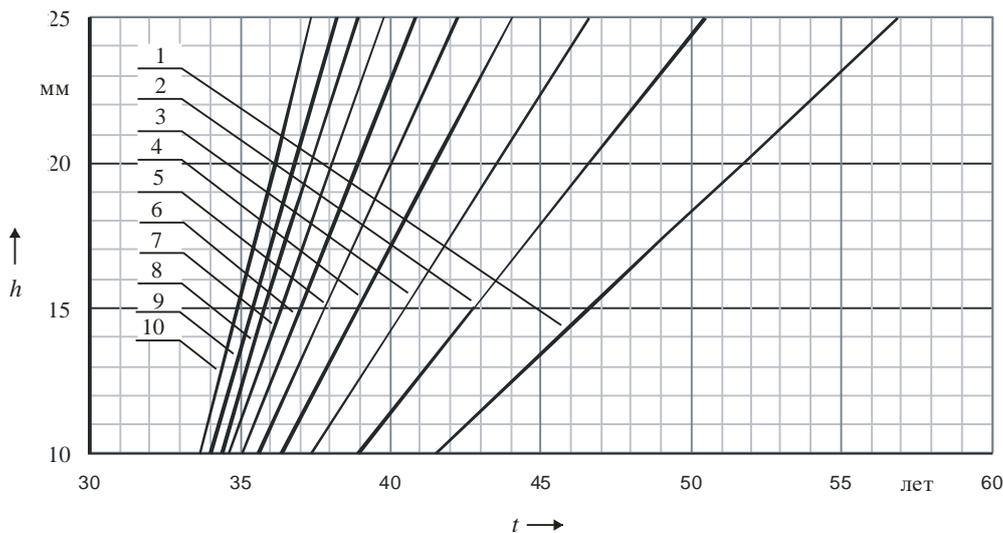


Рис. 7 – Зависимости скорости образования трещин шириной раскрытия 1,0 мм от толщины защитного слоя бетона класса по прочности $C^{25}/_{30}$ для условий открытой атмосферы ($N_w = 300$ дней)

Диаметры стальной арматуры: 1 – 6; 2 – 8; 3 – 10; 4 – 12; 5 – 14; 6 – 16; 7 – 18; 8 – 20; 9 – 22; 10 – 25 мм

Зависимости для других классов бетона по прочности носят аналогичный характер. Они линейны (с учетом предлагаемой скорости коррозии), что не отражает реальных сроков образования и раскрытия трещин до принятого граничного значения.

Используя полученные зависимости коррозионных повреждений стальной арматуры от толщины защитного слоя бетона (рисунок 3) из формулы (2) нашли время образования трещин шириной раскрытия 1,0 мм, для диаметров стальной арматуры 6÷25 мм, фиксированных значений толщин защитного слоя бетона и по ним построили графические зависимости времени образования вышезаявленных трещин для бетонов классов по прочности $C^{12}/_{15}$ – $C^{30}/_{37}$ условий открытой атмосферы.

В качестве примера на рисунках 8 и 9 представлены, соответственно, графические зависимости времени образования трещины шириной раскрытия 1,0 мм для бетонов классов по прочности $C^{16}/_{20}$ и $C^{25}/_{30}$.

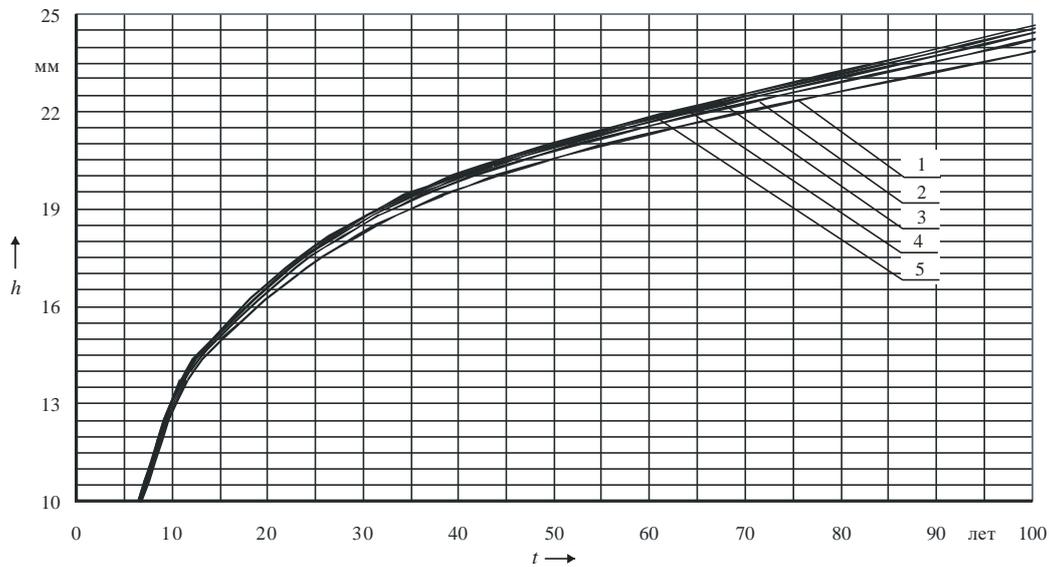


Рис. 8 – Зависимости скорости образования трещин шириной раскрытия 1,0 мм от толщины защитного слоя бетона класса по прочности $C^{16}/_{20}$ для условий открытой атмосферы
Диаметры стальной арматуры (\emptyset): 1 – 8; 2 – 12; 3 – 16; 4 – 20; 5 – 25 мм

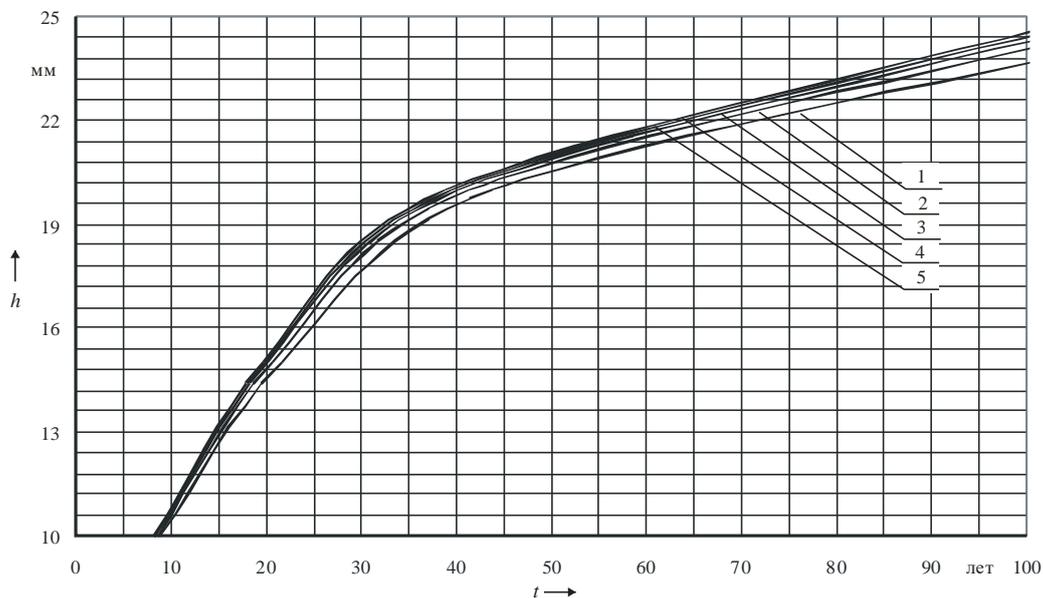


Рис. 9 – Зависимости скорости образования трещин шириной раскрытия 1,0 мм от толщины защитного слоя бетона класса по прочности $C^{25}/_{30}$ для условий открытой атмосферы
Диаметры стальной арматуры (\emptyset): 1 – 8; 2 – 12; 3 – 16; 4 – 20; 5 – 25 мм

Зависимости для трещин любой ширины раскрытия (до 1,0 мм), классов бетона по прочности $C^{12}/_{15}$ – $C^{30}/_{37}$, диаметров стальной арматуры 6–25 мм и различных степеней агрессивности эксплуатационных условий носят аналогичный характер. Они показывают, что скорость образования трещин подчиняется сложной экспоненциальной зависимости, она значительна в поверхностных слоях и уменьшается по сечению вглубь бетона.

Выводы. Выполненные исследования, и полученные по их результатам графические зависимости, позволяют оценивать и прогнозировать глубину коррозионных повреждений стальной арматуры, среднюю скорость ее коррозии, время наступления критического повреждения стальной арматуры и образования трещин критической ширины развития от толщины защитного слоя для бетонов классов по прочности $C^{12/15}-C^{30/37}$.

Они дают возможность получить в аналитическом виде регрессионные зависимости изменения скорости коррозии стальной арматуры в карбонизированном бетоне от различных параметров: класса бетона по прочности, состава бетона (количества использованного цемента), толщины защитного слоя бетона, степени карбонизации бетона, эксплуатационных условий, что позволит значительно более объективно прогнозировать долговечность железобетонных водопропускных труб в части деградации железобетона, как на стадии проектирования, так и эксплуатируемых.

ЛИТЕРАТУРА

1. DuraCrete 7: General guidelines for durability design and redesign. The European Union – Brite EuRam III, Project No. BE95-1347, Probabilistic Performance-based Durability Design of Concrete Structures, Report No. T7-01-1, 1999.
2. Васильев, А. А. Карбонизация и оценка поврежденности железобетонных конструкций: [монография] / А. А. Васильев; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2012. – 263 с.
3. Васильев, А. А. Карбонизация бетона (оценка и прогнозирование): [монография] / А. А. Васильев; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2013. – 304 с.
4. Васильев, А.А. Расчетно-экспериментальная модель карбонизации бетона: [монография] / А. А. Васильев; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус.гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2016. – 263 с.
5. Васильев, А. А. Совершенствование оценки и прогнозирования технического состояния железобетонных элементов и конструкций, эксплуатирующихся в различных атмосферных условиях / А. А. Васильев // Проблемы современного бетона и железобетона. Сборник научных трудов. Вып. 9. – Минск, 2017. – С. 148–167.
6. Васильев, А. А., Оценка и прогнозирование степени карбонизации бетона / А.А. Васильев // Инновационное развитие: потенциал науки и современного образования: монография / Под общ. ред. Г.Ю. Гуляева – Пенза: МЦНС «Наука и просвещение – 2018. – С. 148–158.
7. Мосты и трубы. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-3.03-232-2011 (02250). – Введ. 2011-11-01 – Минск, 2011. – 162 с.
8. Обследование строительных конструкций зданий и сооружений. Порядок проведения: ТКП 45-1.04-37-2008 (02250). – Введ. 2008-21-29 – Минск, 2009. – 39 с.