

**СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Еврокод. Основы проектирования несущих конструкций: СТБ ЕН 1990-2007. – Введ. 01.01.2008. – Мн.: Минстройархитект. РБ, 2007. – 56 с.
2. Изменение №2 СТБ ЕН 1990-2007. Еврокод. Основы проектирования несущих конструкций. – Введ. 01.02.2010. – Мн.: Минстройархитект. РБ, 2009. – 5 с.
3. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1–3. Общие воздействия. Снеговые нагрузки: ТКП ЕН 1991-1-3-2009. – Введ. 01.01.2010. – Мн.: Минстройархитект. РБ, 2010. – 40 с.
4. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1–4. Общие воздействия. Ветровые воздействия: ТКП ЕН 1991-1-4-2009. – Введ. 01.01.2010. – Мн.: Минстройархитект. РБ, 2010. – 118 с.
5. Деревянные конструкции. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-5.05-146-2009. – Введ. 01.01.2010. – Мн.: Минстройархитект. РБ, 2009. – 63 с.
6. Тур, В.В. Основы проектирования строительных конструкций в соответствии с ТКП ЕН 1990:2002 / В.В. Тур, Д.М. Марковский // Строительная наука и техника. – 2010. – № 3. – С. 13–31.
7. Жук, В.В. Оценка влияния ветровой нагрузки на напряженное состояние стропильных систем / В.В. Жук, Н.В. Черноиван, А.В. Черноиван // Сборник конкурсных научных работ студентов и магистрантов: в 2 ч. / УО «Брестский государственный технический университет». – Брест, 2009. – Ч. 1. – С. 155–159.
8. Шишкин, В.Е. Примеры расчета конструкций из дерева и пластмасс / В.Е. Шишкин / Учебное пособие для техникумов. – М.: Стройиздат, 1974. – 219 с.
9. Бойтемиров, Ф.А. Расчет конструкций из дерева и пластмасс: учебное пособие для студ. вузов / Ф.А. Бойтемиров, В.М. Головина, Э.М. Улицкая; под ред. Ф.А. Бойтемирова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд. центр «Академия», 2006. – 160 с.
10. Руководство по проектированию клееных деревянных конструкций. – М.: Стройиздат, 1977. – 189 с.
11. Конструкции из дерева и пластмасс: Учеб. для техн. вузов / Д.К. Арленинов [и др.]; под общ. ред. Д.К. Арленинова. – М.: Издательство АСВ, 2002. – 280 с.

*Материал поступил в редакцию 05.01.11*

**CHERNOIVAN A.V., GHUK V.V., CHERNOIVAN N.V. To choice of design combination of actions at designing pitched roofs**

In article present results of choice of design combination of actions at designing pitched roofs.

On the basis of the executed calculations designing recommendations of rafters of double-pitch roof are given.

УДК 691.544: 666.941.2

**Лукашевич М.В., Филимонова Н.В.**

**ВЛИЯНИЕ ЖИДКИХ АГРЕССИВНЫХ ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ СРЕД НА КОРРОЗИОННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Введение.** В настоящее время во всем мире проблема коррозии бетонных и железобетонных конструкций под воздействием агрессивных сред приобретает особую актуальность, так как состояние и технические характеристики таких конструкций крайне необходимы для производительности общества. Многие здания и сооружения должны эксплуатироваться в течение 100 лет и более. Однако на практике в результате неточного проектирования, неправильного подобранных материалов, ошибок в выборе количественного состава, реализации технологического процесса эксплуатационные характеристики могут ухудшаться. В большинстве стран огромные расходы приходится на ремонтные работы, технический уход и восстановление существующих конструкций. Большая часть этих расходов вызвана проблемами, связанными с их недостаточной прочностью и недолговечностью.

Невысокая прочность, недолговечность и преждевременное окончание срока эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций инициируют не только технические и экономические проблемы, но также оказывают негативное влияние на окружающую среду и безопасность человека [1].

**Коррозионные повреждения железобетонных конструкций под действием хлорид-ионов.** Агрессивные среды в зависимости от их свойств и условий действуют на строительные конструкции весьма разнообразно. Анализ большого экспериментального материала и результатов исследований сооружений, подвергавшихся действию различных агрессивных сред, позволил В.М. Москвину выделить три основных вида коррозии бетона [2].

К первому виду могут быть отнесены все процессы коррозии, которые возникают в бетоне при действии жидких сред (водных растворов), способных растворять компоненты цементного камня. Составные

части цементного камня растворяются и выносятся из структуры бетона. Особенно интенсивно эти процессы могут протекать при фильтрации воды через толщу бетона. Если в воде содержатся соли, не реагирующие непосредственно с составными частями цементного камня, они могут повысить растворимость гидратированных минералов цементного камня вследствие повышения ионной силы раствора.

Ко второму виду коррозии можно отнести процессы, при которых происходят химические взаимодействия – обменные реакции – между компонентами цементного камня и раствора, содержащего химическое вещество. При этом, чем энергичнее протекает процесс реакции взаимодействия и чем более растворимы новообразования, тем скорее и полнее разрушается бетон [3, 4]. Разрушения начинаются с поверхности. Образующиеся продукты реакции или легкорастворимые соединения выносятся из структуры в результате диффузии или фильтрационным потоком или отлагаются в виде аморфной массы, не обладающей вяжущими свойствами и не влияющей на дальнейший разрушительный процесс. Такой вид коррозии представляют процессы, возникающие при действии на бетон растворов кислот и некоторых солей.

Третий вид коррозии включает процессы, при развитии которых происходят накопление и кристаллизация малорастворимых продуктов реакции с увеличением объема твердой фазы или веществ, способных при фазовых переходах, полимеризации и тому подобных процессах увеличивать объем твердой фазы в порах бетона. Кристаллизация и другие вторичные процессы, развивающиеся в бетоне, создают внутренние напряжения, которые могут привести к повреждению структуры бетона [2, 4].

При коррозии третьего вида при накоплении солей в порах и капиллярах бетона на начальных стадиях бетон уплотняется. Если этот процесс протекает медленно, то в первый период создается

*Лукашевич Марина Витальевна, аспирант кафедры технологии бетона и строительных материалов второго года заочной формы обучения Брестского государственного технического университета.*

*Филимонова Наталья Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии бетона и строительных материалов Брестского государственного технического университета.*

*Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.*

картина «ложного упрочнения». Далее накапливающиеся от кристаллизации соли создают давление на стенки пор и капилляров и разрушают бетон [книга]. К этому виду коррозии относится щелочная коррозия и коррозия при действии сульфатов. Разрушение в этом случае происходит из-за роста кристаллов гидросульфалюмината кальция, кристаллизация солей при наличии испаряющей поверхности для конструкций, частично погруженных в раствор соли, полимеризации мономера с увеличением объема и т.д.

В естественных условиях редко встречается коррозия только одного вида [2, 3].

Весьма часто наблюдаются разрушения бетонных и железобетонных конструкций, соприкасающихся с грунтами, насыщенными или периодически увлажняемыми минерализованными водами, в частности содержащими хлорид-ионы [1].

Хлориды являются распространенным компонентом поверхностных и грунтовых вод, а также неотъемлемым составляющим соленых вод, в частности морской воды. Хлорид-ионы сами по себе инертны по отношению к цементному клинкеру, так как не образуют труднорастворимых соединений с кальцием – главным элементом минералов цементного камня. В основном их агрессивность связывают только с коррозией стальной арматуры в железобетонных конструкциях. Однако при исследовании влияния жидких агрессивных сред на процессы изменения фазового состава цементного камня необходимо учитывать действие всех ионов в совокупности [4, 6].

Коррозия стальной арматуры в бетоне является основной проблемой, с которой сталкиваются исследователи сегодня при попытке поддерживать в работоспособном состоянии бетонные и железобетонные конструкции.

Существует два основных фактора, которые вызывают коррозию арматуры в бетоне. Это карбонизация и присутствие хлорид-ионов, которые либо были составляющими бетона с самого начала, либо проникли в бетон из окружающей среды за время срока эксплуатации. Хлорид-ионы и углекислый газ  $CO_2$  проникают в бетон практически не разрушая его целостности (рис. 1).

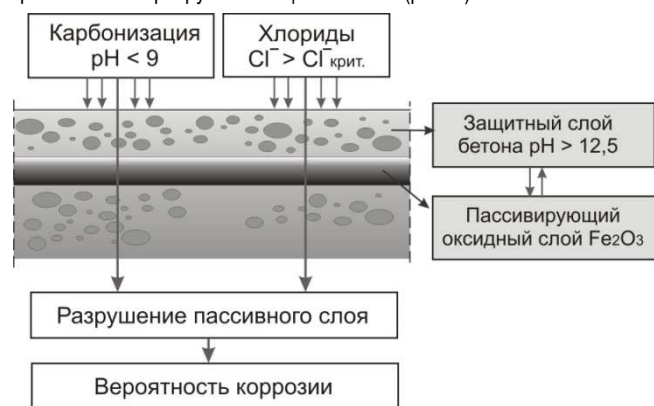


Рис. 1. Предпосылки к развитию коррозии арматуры

Наиболее технически сложной и серьезной причиной повреждения и преждевременного разрушения железобетонных конструкций является неконтролируемое проникновение хлорид-ионов из окружающей среды [1].

Бетон обеспечивает высокий уровень безопасности стальной арматуры от коррозии вследствие высокой щелочности ( $pH \approx 13$ ) растворов, содержащихся в порах. При высокой щелочности сталь находится в пассивированном состоянии. Кроме того, хорошо уплотненный и правильно выдержанный бетон с низким водоцементным отношением обладает низкой водопроницаемостью, что минимизирует проникновение факторов, вызывающих коррозию стальной арматуры, таких как хлорид-ион, углекислый газ, влага и т.д. Если бетон должным образом спроектирован, применен и обслужен, не должно возникать значительных проблем с коррозией стали во время срока эксплуатации конструкций. Однако часто на практике не соблюдаются все требования по прочности и долговечности железобетонных конструкций [1, 3].

Щелочная природа бетона, вызванная присутствием гидроксида кальция  $Ca(OH)_2$ , предотвращает коррозию арматуры железобетона формированием тонкого защитного слоя из оксида железа  $Fe_2O_3$  на поверхности металла. Эта защита известна под названием «пассивность». В случае проникновения растворимых хлоридов к арматуре при наличии воды и кислорода произойдет ее коррозия. Слой пассивного оксида железа разрушается, когда pH опускается ниже 11.

Известно, что коррозия не протекает в абсолютно сухой среде и при высокой относительной влажности. Было предположено, что оптимальная относительная влажность для коррозии составляет от 70 до 80 %.

Коррозия стали происходит за счет различий в электрохимическом потенциале на поверхности, которая образует анодные и катодные зоны, связанные электролитом в форме раствора соли в поровом пространстве бетона (рис. 2). Отрицательно заряженные свободные электроны, находящиеся в стали, поглощаются элементами электролита и соединяются с водой и кислородом для образования гидроксид-ионов ( $OH^-$ ). Эти ионы затем соединяются с положительно заряженными ионами  $Fe^{2+}$  для образования гидроксида железа (II), который преобразуется дальнейшим окислением в ржавчину. Этот процесс можно записать следующим образом:

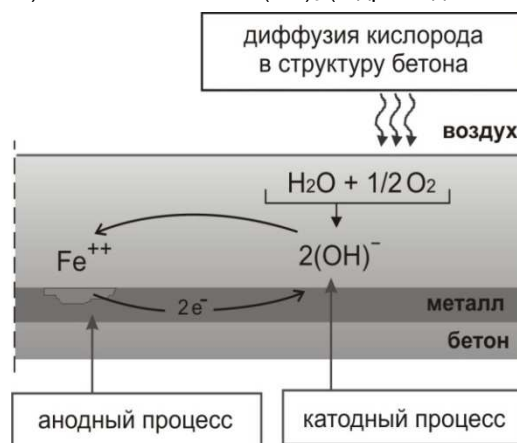
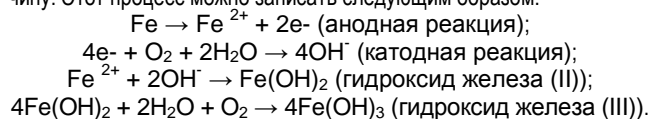
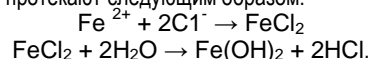


Рис. 2. Схема процесса коррозии арматуры в бетоне

Высокая концентрация хлоридов в защитном слое бетона вызывает депассивацию стальной арматуры. Хлорид-ионы атакуют пассивный слой, но, в отличие от карбонизации, не происходит общего падения pH. Хлориды действуют как катализаторы для инициации коррозии, когда возникает достаточная концентрация их на поверхности арматуры [1, 2]. Происходящая коррозия имеет форму локализованной точечной коррозии. В присутствии хлорид-ионов схематически реакции протекают следующим образом:



Точечная коррозия происходит с определенным потенциалом, который называется потенциал питтингообразования. Этот потенциал выше в сухом бетоне, чем в увлажненном бетоне. Как только коррозионные «язвы» начинают образовываться, потенциал стали, находящейся рядом, снижается, в результате чего новые «язвы» не образуются в течение некоторого времени.

Риск коррозии арматуры связывается с уровнями содержания хлорид-иона как в некарбонизированном бетоне, так и в карбонизированном бетоне, что представлено в таблице [1].

Транспортировка и распределение хлоридов в бетонной конструкции во многом зависят от условий окружающей среды, в основном от концентрации и длительности действия растворов, соприкасающихся с поверхностью бетона. Кроме этого, уровень и количество поглощения хлорида связаны с градиентами влажности, присутствующими в бетонной матрице, с пористостью бетона и размером пор, а также с химическими свойствами затвердевшего цемента.

Таблица. Риск коррозии в бетоне, содержащем хлорид-ионы

Общее содержание хлорид-иона (массовая доля % цемента)	Состояние бетона, смежного с арматурой	Риск коррозии
1	2	3
Менее чем 0,4%	Карбонизированный	Высокий
	Некарбонизированный, сделанный с цементом, содержащим меньше 8% C <sub>3</sub> A	Умеренный
	Некарбонизированный, сделанный с цементом, содержащим 8% или более C <sub>3</sub> A	Низкий
0,4%-1,0%	Карбонизированный	Высокий
Более чем 1,0%	Некарбонизированный, сделанный с цементом, содержащим меньше 8% C <sub>3</sub> A	Высокий
	Некарбонизированный, сделанный с цементом, содержащим 8% или более C <sub>3</sub> A	Высокий
	Все случаи (карбонизированные)	Высокий

Существует ряд различных процессов переноса хлорид-ионов внутрь железобетонной конструкции. Наиболее изученным является поток воды, вызванный применением гидростатического давления. Однако данный процесс редко бывает преобладающим (исключением являются водоудерживающие конструкции и глубоко погруженный в воду бетон).

Еще одним процессом переноса хлорид-ионов является поглощение воды, вызванное капиллярными силами, которое характеризуется коэффициентом поглощения. В средах, где возможно значительное осушение бетона, поглощение воды может привести к очень быстрому проникновению ионов, растворимых в воде. Комбинация поглощения воды и диффузии водяного пара, характеризуемая коэффициентами поглощения и диффузности водяного пара, называется действием фитиля – это перенос воды из увлажненной поверхности бетонного элемента в высыхающую часть поверхности.

Вероятность коррозии арматуры с участием хлорид-ионов может быть оценена на основании концепции порогового значения хлоридов или критической концентрации хлоридов. Пороговое значение хлоридов может быть определено как минимальный уровень хлоридов вблизи поверхности арматуры, который вызывает ее активную точечную коррозию. Это определение соответствует модели Тутти (рис. 3), когда период инициации останавливается и начинается период распространения.

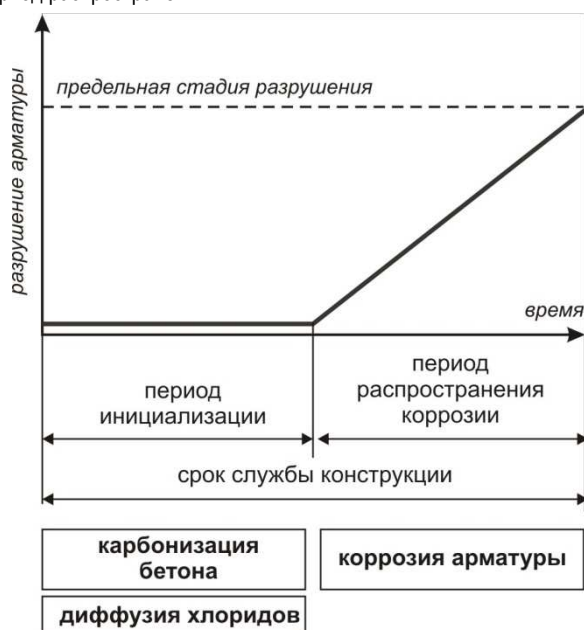


Рис. 3. Оценка срока эксплуатации конструкции в соответствии с моделью Тутти [7]

Другим возможным определением порогового уровня хлоридов в бетоне является критическое содержание хлоридов на поверхности

стали в отдельно взятый промежуток времени (рис. 4), когда начинается разрушение или повреждение бетонной конструкции [1].

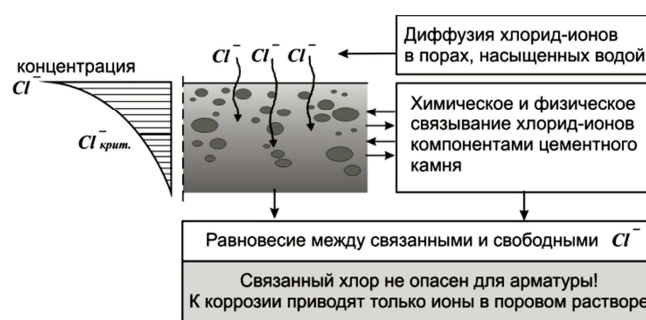


Рис. 4. К оценке критической концентрации хлорид-ионов в структуре бетона

Методы, используемые в настоящее время при определении срока эксплуатации железобетонных конструкций, подверженных воздействию хлоридов, требуют знания порогового значения хлоридов для рассматриваемой конструкции. Факторы окружающей среды, определяющие состояние влажности бетона и электрохимический потенциал стали, также являются весьма важными параметрами для порогового значения хлоридов.

Сталь в бетоне обычно пассивирована во влажной, щелочной среде, которая не содержит хлоридов и других агрессивных ионов. Термин пассивность означает, что, несмотря на то, что обычная стальная арматура в бетоне не обладает термодинамической стабильностью, скорость коррозии понижается до незначительно низкого уровня при помощи образования барьера из оксидов железа на поверхности стали. Состояние пассивации поддерживается до тех пор, пока бетон, соприкасающийся с арматурой, не станет карбонизированным, или до того момента, пока достаточная концентрация растворимых в воде агрессивных ионов порогового значения (обычно хлорид-ионов) не достигнет поверхности стали. Агрессивные ионы (например, хлориды) потом локально проникают в слой оксида железа и вызывают растворение слоя оксида железа, что приводит к растворению стали.

Использование цементов с высоким содержанием C<sub>3</sub>A (3CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) считается способствующим хорошей сопротивляемости коррозии, из-за способности химически связывать хлориды при помощи образования хлороалюмината кальция, 3CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·CaCl<sub>2</sub>·10H<sub>2</sub>O, называемого соль Фриделя.

Низкое водоцементное соотношение уменьшает проницаемость бетона, что, в свою очередь, снижает проникновение хлорид-ионов, карбонизации, а также кислородной диффузии в бетоне (рис. 5). Аль-Амоуди [1] установил, что проницаемость цементного камня значительно уменьшается при соотношении вода/цемент ниже 0,45 и значительная прочность бетона достигается при водоцементном соотношении 0,40.

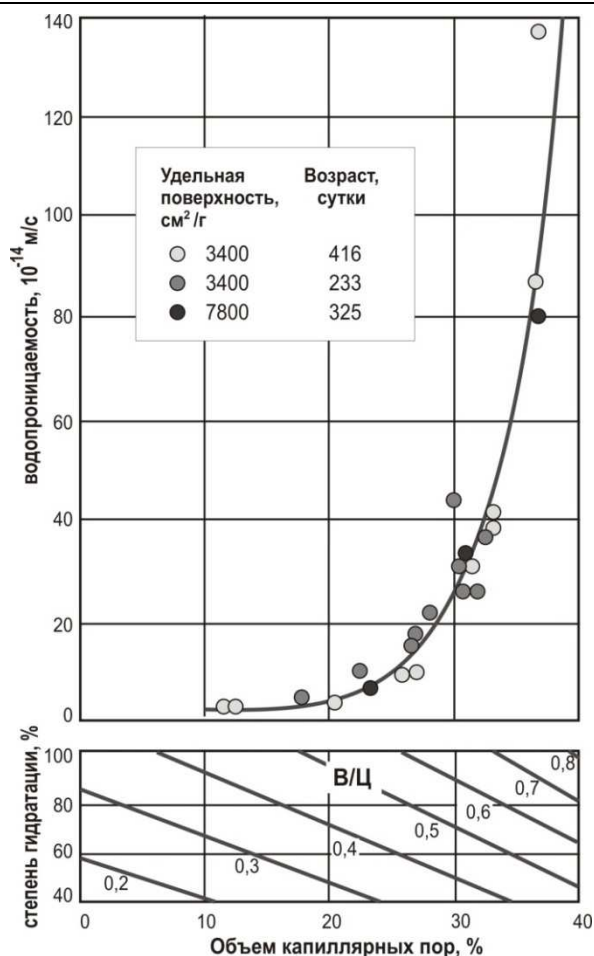


Рис. 5. Влияние В/Ц на проницаемость цементного камня. Диаграмма Пауэрса [8]

В литературе уровень пороговых значений обычно варьирует от 0,17 до свыше 2 % по весу цемента. В Великобритании, в Норвегии, например, максимально допустимое значение общего хлорида по весу цемента в нормальном бетоне – 0,4 %. В Америке Американский Институт Бетона рекомендует максимально допустимое значение общего хлорида по весу цемента – 0,2 [1, 3].

Существует пороговое значение хлоридов для коррозии, приведенной с учетом соотношения хлорид/гидроксид. Оно было измерено в лабораторных исследованиях при помощи растворов гидроксида кальция. Когда концентрация хлорида превышает 0,6 концентра-

ции гидроксида, наблюдается коррозия. Это значение приближено к концентрации 0,4 % хлорида по весу цемента, если хлориды попадают в бетон, и 0,2 %, если они диффундируют. Несмотря на то, что эти цифры основаны на экспериментальных данных, фактические значения являются функцией практических наблюдений реальных конструкций [1].

**Заключение.** Три последних десятилетия исследования коррозии арматуры в бетоне были весьма интенсивными. Тем не менее, современное состояние науки о процессах коррозии и об их влиянии на срок службы конструкции остается неудовлетворительным. На основании изучения последних публикаций можно выделить следующие основные факторы, влияющие на вероятность развития коррозии арматуры в бетоне: а) пористость цементного камня; б) химико-минерологический состав цемента; в) концентрация хлорид-ионов; г) относительная влажность бетона.

Агрессивные жидкие хлорсодержащие среды вызывают коррозию стальной арматуры в железобетонных конструкциях, которая значительно сокращает сроки эксплуатации водохозяйственных объектов, а также ряда других объектов, подверженных контакту с хлорсодержащими средами. Невысокая прочность, недолговечность и преждевременное окончание срока эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций вызывают экологические проблемы, а также проблемы, связанные с охраной окружающей среды и утилизацией природных ресурсов.

**СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Ferreira, R.M. Probability-based durability analysis of concrete structures in marine environment / Rui Miguel Ferreira. – Guimaraes, Portugal. – 2004.
2. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин [и др.]. – М.: Стройиздат, 1980. – 536с.
3. Бадовска, Г. Антикоррозионная защита зданий / Г. Бадовска, В. Данилецкий, М. Мончинский. – М.: Стройиздат, 1978. – 508 с.
4. Долговечность конструкций из бетона и железобетона: учебное пособие / А.В. Ферронская. – М.: Издательство АСВ, 2006. – 336 с.
5. Горчаков, Г.И. Строительные материалы: учеб. для вузов / Г.И. Горчаков, Ю.М. Баженов. – М.: Стройиздат, 1986. – 688 с.
6. Юхневский, П.И. Строительные материалы и изделия: учеб. пособие / П.И. Юхневский, Г.Т. Широкий. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – 476 с.
7. Werkstoffe des Bauwesens Dauerhaftigkeit von Beton / K.-Ch.Thienel, Univ.-Prof. Dr.-Ing. – Universität München, 2006. – S. 49.
8. Zement: Taschenbuch / Verein Deutscher Zementwerke e.V. (Hrsg), Düsseldorf. – 49. Ausgabe Düsseldorf: Verlag Bau+Technik, 2000.

Материал поступил в редакцию 14.01.11

**LUKASHEVICH M.V., FILIMONOVA N.V. Influence liquid aggressive chlorinecontain of environments on corrosion damages of ferro-concrete designs**

In clause the brief literary analysis of corrosion damages of ferro-concrete designs under influence liquid aggressive chlorinecontain of environments is submitted. The mechanism of corrosion of the fixture is considered at the presence of ions of chlorine, and also major factors influencing corrosion processes in ferro-concrete. The executed analysis has allowed to reveal the most important parameters of structure of concrete and corrosion process, on the basis of which is planned to develop a settlement method of forecasting of corrosion stability and durability of ferro-concrete designs.

УДК 69.022

**Деркач В.Н.**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ КАМЕННОЙ КЛАДКИ ПРИ ДЕЙСТВИИ СЖИМАЮЩЕГО УСИЛИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНО ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ РАСТВОРНЫМ ШВАМ**

**Введение.** В соответствии с Еврокодом 6 [1] характеристическую (нормативную) прочность каменной кладки при действии сжи-

мающего усилия параллельно плоскости горизонтального шва допускается определять по тем же аналитическим зависимостям, что и

**Деркач Валерий Николаевич**, кандидат технических наук, заместитель директора филиала Республиканского унитарного предприятия «Институт БелНИИС» Научно-технический центр. Беларусь, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267/2.