

Несмотря на тот факт, что строительство общежитий возобновлено, в целом, проблему расселения студентов по нашей стране это не решает. Ежегодно в учебные заведения поступают абитуриенты, как следствие растет потребность в обеспечении их жильем. Становится очевидной нехватка студенческого жилья, которое либо частично отдано в аренду под другие функции, либо находится в аварийном состоянии.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. О внесении изменений и дополнений в постановление Совета Министров Республики Беларусь от 15 сентября 1999 г. № 1437: постановление Совета Министров Республики Беларусь от 14.12.2005 № 1441. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.levonevski.net/pravo/norm2013/num34/d34941.html>.
2. Белорусское образование в контексте международных показателей. – Мн.: Аналитическое издание Министерство образования Республики Беларусь, 2013. – 68 с.
3. Кропотова, О.В. Современные тенденции формирования архитектурной жилой студенческой среды: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://book.uraic.ru/project/conf/txt/005/archvuz14_pril/47/template_articlear=K41-60-k63.htm.
4. Студенческое общежитие в Париже от OFIS Arhitekti – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://hroom.ru/studencheskoe-obschezhitie-v-parizhe-ot-ofis-arhitekti.html>
5. Градюшко, Н. Минобразования: к 2015 году вопрос жилья для иногородних студентов в Минске будет решен. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://realt.onliner.by/2013/02/27/stud-16/>

УДК 624.011/.014

Васильев А.А.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И КОНСТРУЦИЙ

Целью настоящей работы являлась разработка критериев оценки технического состояния железобетонных элементов (ЖБЭ) и конструкций (ЖБК), эксплуатируемых в различных воздушных средах, на основе исследования изменения во времени карбонизации бетона и ее влияния на образование и развитие коррозионных процессов в стальной арматуре.

В основу исследований положено использование методов рН- и карбометрии, поскольку показатель рН (водородный показатель поровой влаги цементного камня) является основной количественной характеристикой перерождения цементного камня в карбонаты под воздействием внешней среды и является универсальной характеристикой состояния бетона и его защитных свойств по отношению к арматуре, а показатель КС (карбонатная составляющая) характеризует процентное содержание карбонатов в бетоне и позволяет оценить их влияние на изменение показателя рН.

Объекты и методы исследования. Объектами исследования служили ЖБЭ различных типов (колонны, балки, прогоны), эксплуатировавшиеся длительные сроки в различных воздушных средах.

Для анализа отбирались образцы бетона в зоне расположения стальной арматуры.

Показатели рН и КС определялись по методикам [1]. Статистическую обработку экспериментальных данных производили при помощи табличного процессора «Excel» и пакета статистического анализа данных «Statgraphics» [2].

Результаты исследований

Оценка коррозионного состояния стальной арматуры. Для объективной оценки технического состояния ЖБЭ (ЖБК) одним из основных критериев является правильное определение коррозионных повреждений стальной арматуры.

В результате обследования многочисленных ЖБЭ, эксплуатировавшихся длительные сроки, при оценке состояния стальной арматуры были выявлены различные степени ее коррозионных повреждений, как по площади, так и по сечению.

Для оценки состояния стальной арматуры, выявляемой после вскрытия защитного слоя бетона, предложена балльная система, приведенная в таблице 1.

Таблица 1 – Оценка состояния стальной арматуры ЖБЭ (ЖБК)

Степень коррозии стальной арматуры (балл)	Коррозионные характеристики стальной арматуры
0	Чистая поверхность
I	Сплошная коррозия до 50 % поверхности стержня
II	То же более 50 %
III	Пластинчатая коррозия малой степени интенсивности (уменьшение площади сечения на величину до 25 %)
IV	То же средней степени интенсивности (уменьшение площади сечения на величину 25 – 50 %)
V	То же высокой степени интенсивности (уменьшение площади сечения стержня на величину более 50 %)

Примечание: с учетом того, что стальная арматура подвержена различным видам коррозии и в течение длительного срока эксплуатации повреждения поверхностного слоя арматуры под действием язвенной, точечной, коррозии пятнами практически сливаются, вызывая расслаивание металла с поверхности по всему сечению, для оценки состояния стальной арматуры со значительным поражением поверхностного слоя предложено понятие пластинчатой коррозии

Исследование зависимости коррозионного состояния стальной арматуры от состояния защитного слоя бетона. Результаты обследования различных объектов были систематизированы с целью сопоставления коррозионного состояния стальной арматуры с физико-химическими параметрами защитного слоя бетона. Для оценки зависимости коррозионного состояния стальной арматуры от физико-химических показателей бетона защитного слоя исследовали более двухсот проб бетона: определяли показатели pH и КС в зоне расположения арматуры и степень коррозионных повреждений стальной арматуры.

Зависимость коррозионного состояния стальной арматуры от показателя щелочности поровой жидкости бетона. Для определения показателя pH и установления его связи с коррозионными повреждениями стальной арматуры отбирали пробы бетона ЖБЭ, эксплуатировавшихся от 10 до 40 лет в основном в атмосферных условиях и условиях сельскохозяйственных помещений. Исследовали пробы бетона, отобранные в зоне расположения стальной арматуры с показателями щелочности поровой жидкости бетона pH = 12,40 – 8,60.

Результаты исследований сведены в таблицы 2 и 3.

Таблица 2 – Соотношение показателя pH бетона и коррозии стальной арматуры

Величина показателя щелочности поровой жидкости pH	Вид коррозии стальной арматуры	Характеристика коррозии	
		Глубина, мм	Площадь стержня, %
> 11,80	Коррозии не выявлено	–	–
11,80 – 11,60	Начало поверхностной коррозии на отдельных участках	До 0,1	До 10
11,60 – 11,30	Поверхностная	До 0,3	До 30
11,30 – 10,90	— —	До 0,3	До 50
10,90 – 10,50	— —	До 0,5	> 50
10,50 – 10,20	— —	> 0,5	> 50

Таблица 3 – Соотношение показателя pH бетона и коррозии стальной арматуры

Величина показателя щелочности поровой жидкости pH	Вид коррозии стальной арматуры	Характеристика коррозии	
		Уменьшение площади сечения, %	Площадь стержня, %
10,20 – 9,80	Пластинчатая	До 25	до 25
9,80 – 9,50	— —	До 25	25 – 50
9,50 – 9,00	— —	25 – 50	> 50
< 9,00	— —	> 50	> 50

При pH > 11,80 коррозия стальной арматуры практически отсутствовала. Были выявлены следы коррозии отдельных стержней, свидетельствующие о применении арматуры без обработки, после длительного хранения в атмосферных условиях. При pH ≤ 9,00 на отдельных ЖБЭ наблюдалась пластинчатая коррозия различных степеней, вплоть до полного разрушения рабочей и конструкционной арматуры небольших диаметров (Ø ≤ 12 мм).

На основании результатов исследований, для каждой степени коррозии стальной арматуры (в соответствии с таблицами 2 и 3) получили области изменения показателя pH бетона, находящегося в зоне расположения стальной арматуры (таблица 4). Границы областей назначены на основании результатов опытных исследований и общепринятых представлений.

Таблица 4 – Взаимосвязь степени коррозии стальной арматуры с показателем pH

Степень коррозии стальной арматуры	Граничные значения pH
0	> 11,80
I	11,80 – 10,90
II	< 10,90 – 10,20
III	< 10,20 – 9,50
IV	< 9,50 – 9,00
V	< 9,00

По результатам многолетних исследований состояния стальной арматуры в зависимости от показателя pH защитного слоя в зоне расположения арматуры предложено шесть категорий оценки состояния защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре (таблица 5).

Таблица 5 – Категории состояния защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре

Категория состояния защитных свойств бетона	Граничные значения рН	Состояние защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре
0	>11,80	Бетон полностью сохраняет защитные свойства по отношению к стальной арматуре
I	11,80–10,90	Начало деградации бетона
II	<10,90–10,20	Деградация бетона малой степени интенсивности
III	<10,20–9,50	Деградация бетона средней степени интенсивности
IV	<9,50–9,00	Деградация бетона повышенной степени интенсивности
V	<9,00	Полная деградация бетона

Для возможности оценки состояния защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре, изменяемых вследствие карбонизации, необходимо введение такого показателя, который бы учитывал общее состояние защитных свойств бетона (в карбонизированной и некарбонизированной частях). Таким показателем является степень потери защитных свойств бетона при карбонизации (СПЗ_к). СПЗ_к рассчитывается из пропорции, как процентное отношение показателя КС к ПВК (предельной величине карбонизации). Методика определения ПВК приведена в [1].

Поскольку любой класс бетона по прочности можно получить различными составами, для расчета СПЗ_к определяли значения ПВК для различных составов бетона на один класс по прочности, после чего полученные значения ПВК усредняли. Для дальнейших исследований были приняты следующие усредненные значения ПВК: для бетона класса по прочности C¹²_{/15} – 24,0; C¹⁶_{/20} – 25,3; C¹⁸_{/22,5} – 26,5; C²⁰_{/25} – 29,2; C²⁵_{/30} – 30,8; C³⁰_{/37} – 33,2 %.

Ранее, на основании исследования карбонизации по сечению бетонов разных составов и классов по прочности как сразу после изготовления с применением ТВО, так и в процессе длительной эксплуатации, получены модели развития карбонизации бетона для различных условий эксплуатации. В соответствии с ними, для бетонов классов по прочности C¹⁶_{/20} – C²⁵_{/30} сразу после изготовления с применением ТВО в зоне расположения арматуры (приняв среднее значение толщины защитного слоя 20 мм) значения начальной карбонизации составляют КС₀ = 3,1...4,3 %. Пересчитав их в соответствии с приведенной выше методикой, получаем, что сразу после изготовления бетона в заводских условиях степень потери его защитных свойств составляет СПЗ_к = 12,3...14,0 %.

В связи с тем, что для различных классов бетона по прочности начальный период эксплуатации, когда при постоянном развитии карбонизации значения показателя рН в зоне расположения арматуры остаются постоянными либо снижаются незначительно, в соответствии с [1] составляет 2–10 лет, принимаем значение срока эксплуатации 2 года, после которого гарантированно начнется изменение показателя рН в зоне расположения стальной арматуры. Взяв за основные условия эксплуатации – атмосферные, область обычной карбонизации, в соответствии с полученными моделями карбонизации определяем, что через 2 года эксплуатации для бетонов классов по прочности C¹⁶_{/20} – C²⁵_{/30} показатель СПЗ_к будет равен 18,0...20,0 %.

Для установления взаимосвязи показателей рН и СПЗ_к принимаем, с некоторым (начальным) запасом, за верхнее граничное усредненное значение для различных классов бетона по прочности СПЗ_к = 22 % (соответствующее граничному значению рН = 12,30) для начальной карбонизации, обеспечивающее сохранение бетоном своих защитных свойств по отношению к стальной арматуре длительный промежуток времени (зависящий в первую очередь от условий эксплуатации), и за нижнее граничное значение СПЗ_к = 80 % (соответствующее граничному значению рН = 9,00, с учетом того, данное значение общепринято [1] для полной карбонизации бетона), а за 15 лет исследования карбонизации для атмосферных условий эксплуатации минимальные значения щелочности поровой жидкости в зоне расположения арматуры составили рН = 7,3...7,5.

Степень потери защитных свойств бетона по критерию «СПЗ_к» определяется значением рН, граничные значения которых были назначены следующим образом: 12,30–11,80; 11,80–10,90; 10,90–10,20; 10,20–9,50; 9,50–9,00. Соответствующим образом все исследуемые объекты были распределены по вышеуказанным классам.

Для решения задачи определения граничных значений «СПЗ_к» x_{ij} , соответствующих различным объектам с учетом вероятностного характера «СПЗ_к» среди возможных критериев выбора граничных значений «СПЗ_к» применили следующий: «объект, для которого СПЗ_к равен граничному значению x_{ij} для двух соседних классов i и j , с одинаковой вероятностью может быть отнесен к каждому из них». Следовательно, если СПЗ_к объекта больше граничного значения x_{ij} между классами i и j , то с большей вероятностью он может быть отнесен к классу $j = i+1$.

Для формального отыскания граничных значений x_{ij} решили графическое уравнение:

$$\bar{F}_i(x_{ij}) = 1 - \bar{F}_j(x_{ij}), \quad (1)$$

где $\bar{F}_i(x)$ – эмпирическая функция распределения значений «СПЗ_к» объектов i -го класса; x_{ij} – граничное значение «СПЗ_к» между объектами i -го и j -го классов, $j = i + 1$.

По результатам расчетов с применением пакета статистического анализа данных «Statgraphicks Centurion» были найдены граничные значения x_{ij} : $X_{12} = 30,8$; $X_{23} = 47,0$; $X_{34} = 59,2$; $X_{45} = 71,3$ 8%. Кроме того, в данной программе были найдены межквартильные размахи значений СПЗ_к для объектов каждого класса.

Области значений рН и СПЗ_к с их граничными значениями и их взаимосвязь приведены на рисунке 1.

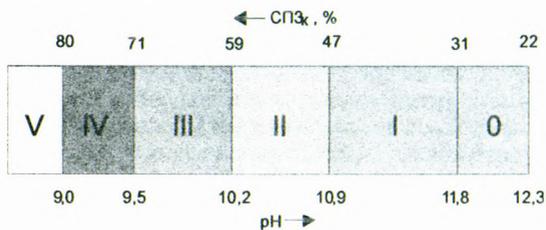


Рисунок 1 – Взаимосвязь параметров рН и СПЗ_к по сечению бетона:
0 – V – степени потери защитных свойств бетона при карбонизации
(категории состояния защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре)

Анализ апробации зависимости параметров рН и СПЗ_к по сечению бетона выполнялся на основании полученных результатов исследования физико-химических показателей бетона колонн, эксплуатировавшихся различные длительные сроки в разных атмосферных условиях. Оценивалась возможность правильной классификации объектов СПЗ_к по экспериментальным значениям. Для этого в графиках исследования показателей КС и рН по сечению бетона (рисунки 3.27–3.36 [3]) определялись для толщин защитного слоя 20 и 25 мм значения показателей рН и КС. После чего значения КС пересчитывались в соответствии с предложенными моделями регрессии (табл.4. 5, 4.6, 4.10, 4.11, 4.14, 4.15 [3]) для аналогичных классов бетона по прочности и условий эксплуатации. Полученные значения СПЗ_к анализировались на предмет попадания в назначенные группы. При этом граничные значения СПЗ_к определялись из соображения, чтобы объект, значение СПЗ_к которого попадает на границу интервала, с равной вероятностью мог быть отнесен к любой из соседних групп.

Результаты апробации данной методики показали правильную классификацию 57 объектов из 80 (т.е. оценка вероятности составила $p=0,715$).

Из них:

- для объектов «с толщиной защитного слоя 20 мм» адекватная классификация была характерна для 30 объектов из 40 ($p=0,750$);
- для объектов «с толщиной защитного слоя 25 мм» правильная (адекватная) классификация была характерна для 27 объектов из 40 ($p=0,675$).

Полученные результаты показали, что назначенные группы СПЗ_к адекватно позволяют классифицировать объекты с вероятностью не менее 0,675.

Критерии оценки технического состояния железобетонных элементов

Результаты обследования различных типов ЖБЭ с использованием методов рН- и карбометрии и оценкой состояния стальной арматуры позволили назначить количественные критерии качественной оценки технического состояния ЖБЭ (ЖБК) по физико-химическим показателям цементно-песчаной фракции бетона рН и КС (СПЗ_к) и степени коррозии стальной арматуры (таблица 6).

Таблица 6 – Критерии оценки технического состояния ЖБЭ (ЖБК)

рН	СПЗ _к , %	Состояние бетона и арматуры. Техническое состояние железобетонного элемента (ТКП 45-1.04-208-2010 (02250))
1	2	3
>11,8	<31	Структурные свойства бетона находятся в уровне свежеприготовленного. Происходит плавное снижение показателя рН, свидетельствующее о последующей нейтрализации бетона и падении его защитных свойств по отношению к стальной арматуре. Показатель рН приближается к границе, после которой бетон полностью нейтрализуется и теряет свои защитные свойства по отношению к стальной арматуре, что вызовет возможность развития ее коррозии в условиях переменной влажности. Бетон сохраняет защитные свойства по отношению к стальной арматуре, стальная арматура – в пассивном состоянии. 0 степень потери бетоном защитных свойств по отношению к стальной арматуре и коррозии стальной арматуры. Состояние бетона, стальной арматуры – хорошее. Техническое состояние ЖБЭ (ЖБК) – хорошее
11,8–10,9	31–47	Начало деградации бетона. Происходит снижение показателя рН ниже граничного значения, свидетельствующее о потере бетоном защитных свойств по отношению к стальной арматуре. I степень потери бетоном защитных свойств по отношению к стальной арматуре и коррозии стальной арматуры. Состояние бетона, стальной арматуры – удовлетворительное. Техническое состояние ЖБЭ (ЖБК) – удовлетворительное

Продолжение таблицы 6

1	2	3
10,9–10,2	Св.47–59	<p>Развитие деградационных процессов в бетоне. Деградация бетона малой степени интенсивности. Образование волосяных трещин в местах расположения рабочей и конструктивной стальной арматуры в местах недостаточной толщины защитного слоя бетона при $СПЗ_k = (59 - 52)$. II степень потери бетоном защитных свойств по отношению к стальной арматуре и коррозии стальной арматуры. Состояние бетона, стальной арматуры – не вполне удовлетворительное. Техническое состояние ЖБЭ (ЖБК) – не вполне удовлетворительное</p> <p>Образование волосяных трещин в местах расположения рабочей и конструктивной стальной арматуры при $СПЗ_k = (51 - 47)$. II степень потери бетоном защитных свойств по отношению к стальной арматуре и коррозии стальной арматуры. Состояние бетона, стальной арматуры – не вполне удовлетворительное. Техническое состояние ЖБЭ (ЖБК) – не вполне удовлетворительное</p>
10,2–9,5	Св.59–71	<p>Деградация бетона средней степени интенсивности. Раскрытие трещин в местах недостаточной толщины защитного слоя бетона. Отслаивание защитного слоя бетона в местах его недостаточной толщины при $СПЗ_k = (71 - 65)$. III степень потери бетоном защитных свойств по отношению к стальной арматуре и коррозии стальной арматуры. Состояние бетона, стальной арматуры – не вполне удовлетворительное. Техническое состояние ЖБЭ (ЖБК) – не вполне удовлетворительное</p> <p>Деградация бетона средней степени интенсивности. Раскрытие трещин в местах расположения рабочей и конструктивной стальной арматуры. Отслаивание защитного слоя бетона при $СПЗ_k = (64 - 59)$. III степень потери бетоном защитных свойств по отношению к стальной арматуре и коррозии стальной арматуры. Состояние бетона, стальной арматуры – не вполне удовлетворительное. Техническое состояние ЖБЭ (ЖБК) – не вполне удовлетворительное</p>
9,5–9,0	Св.71–80	<p>Деградация бетона повышенной степени интенсивности. Раскрытие трещин в местах расположения рабочей и конструктивной стальной арматуры. Отслаивание и частичное разрушение защитного слоя бетона. Полное разрушение защитного слоя бетона и оголение стальной арматуры в местах недостаточной толщины защитного слоя бетона. IV степень потери бетоном защитных свойств по отношению к стальной арматуре и коррозии стальной арматуры. Состояние бетона, стальной арматуры – неудовлетворительное. Техническое состояние ЖБЭ (ЖБК) – неудовлетворительное</p>
<9,0	>80	<p>Полная деградация бетона. Потеря сцепления цементного камня с заполнителем. Отслаивание и разрушение защитного слоя бетона. V степень потери бетоном защитных свойств по отношению к стальной арматуре и коррозии стальной арматуры. Состояние бетона и стальной арматуры – неудовлетворительное. Техническое состояние ЖБЭ (ЖБК) – предаварийное</p>

Приведенные критерии разработаны для ЖБЭ (ЖБК), изготовленных из любых видов бетона.

Предлагаемые критерии оценки технического состояния ЖБЭ (ЖБК) значительно расширяют возможности детального обследования для более объективной оценки их технического состояния и разработки оптимальных рекомендаций по их дальнейшей длительной безопасной эксплуатации.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. 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.
2. Герасимович, А.И. Математическая статистика / А. И. Герасимович. – Минск: Выш. шк., 1983. – 275 с.
3. Васильев, А.А. Карбонизация бетона (оценка и прогнозирование): [монография] / А.А. Васильев; М-во образования Респ. Бел., Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2013. – 304 с.

УДК 691.5.535

Вишнякова Ю.В., Бакатович А.А., Наумова В.А.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ШТУКАТУРНЫХ РАСТВОРОВ С КАРБОНАТОСОДЕРЖАЩИМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

В лабораториях кафедры строительного производства Полоцкого государственного университета проведен комплекс исследований по изучению эксплуатационных свойств штукатурных растворов смесей и растворов с карбонатосодержащим наполнителем. Наполнитель получали из многотоннажного вторичного продукта Полоцкой и Новополоцкой ТЭЦ – шлама водоочистки путем предварительной сушки и последующего измельчения.

Оптимальное количество наполнителя для штукатурных цементных и известковых растворов смесей определяли, основываясь на показателях прочности растворов, расслаиваемости и водоудерживающей способности растворов смесей. За контрольные принимали составы цементно-известковых штукатурных растворов марок М 50 и М 75 с расходом цемента 156 кг и 192 кг соответственно, а также известково-песчаный раствор с соотношением известь:песок – 1:6, используемый для внутренних отделочных работ. Подвижность растворов смесей составляла 8 см. В исследованиях использовался наполнитель с наибольшим размером зерен 80 мкм. Результаты исследований приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Основные показатели качества штукатурных цементных растворов смесей и растворов

№ состава	Марка контрольного состава	Расход на 1 м ³ , кг			В/Т	Прочность, МПа		Расслаиваемость, %	Водоудерживающая способность, %
		цемента	известки	наполнителя		7 сут.	28 сут.		
1	М50	156	96 (60*)	–	1,46	3,5	5,1	8,0	96,8
2		160	–	40 (30*/40")	1,69	3,2	4,3	9,8	95,8
3		159	–	59 (40/60)	1,5	3,8	5,2	8,1	96,5
4		157	–	78 (50/80)	1,39	4,2	5,7	8,0	97,0
5		156	–	96 (60/100)	1,45	3,6	5,1	8,4	97,2
6		155	–	114 (70/120)	1,49	3,2	4,5	9,2	97,9
7	М75	192	90 (50)	–	1,28	5,0	7,5	8,3	96,5
8		197	–	37(20/40)	1,48	4,3	7,0	9,6	95,7
9		195	–	55 (30/60)	1,35	5,2	7,6	8,5	96,2
10		194	–	72 (40/80)	1,21	5,8	8,3	8,0	96,5
11		192	–	90 (50/100)	1,3	5,1	7,7	8,3	97,0
12		190	–	107 (60/120)	1,34	4,6	7,2	9,0	97,4

* – процент ввода известки или наполнителя от расчетной массы цемента

" – процент ввода наполнителя от расчетной массы известки