

О НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ БЕЛОРУССКОГО НОРМАТИВНОГО ДОКУМЕНТА ПО ОЦЕНКЕ КАРБОНИЗАЦИИ БЕТОНА

ВАСИЛЬЕВ А. А.

Белорусский государственный университет транспорта

Введение. Бетон и железобетон во всем мире признаны одними из самых экономичных, экологически чистых, надежных и долговечных строительных материалов. В индустриально развитых странах на одного жителя затрачивается в год до 2 м^3 бетона и железобетона [1]. Никакие другие конструкционные материалы так широко не используются во всех отраслях. Таким образом, основную долю строительных конструкций зданий и сооружений, эксплуатируемых в настоящее время, составляют железобетонные элементы (ЖБЭ) и конструкции (ЖБК) различных типов.

Большинство ЖБЭ (ЖБК) эксплуатируются в различных воздушных средах, их долговечность во многом определяется концентрацией и степенью агрессивности содержащихся в них компонентов. Поскольку концентрация углекислого газа в воздухе в $10\text{--}10^4$ раз выше концентрации других кислых газов, основным процессом нейтрализации бетона является карбонизация [2]. Вызывая структурные изменения цементного камня, она приводит к изменению его физико-химических характеристик, уменьшая защитные свойства по отношению к стальной арматуре, что в определенных условиях вызывает образование и развитие коррозионных процессов различной степени интенсивности в стальной арматуре, снижая несущую способность ЖБЭ (ЖБК).

Для оценки карбонизации бетона в Республике Беларусь используют единственный нормативный документ в данной области – СТБ 1481-2011 «Бетоны конструкций мостовых сооружений. Методы определения содержания хлоридов и степени карбонизации» [3]. В данном документе приведена методика определения количества поглощенного углекислого газа, так как общепринято под степенью карбонизации бетона подразумевать количество поглощенного CO_2 .

Безусловно, это не логично и, кроме того, ни в одной науке степень не определяется количеством. Кроме того, в результате анализа определяется степень карбонизации бетона с точностью до 0,2 %. Полученная абсолютная величина, (%), ни с чем не сравнивается. Отсутствуют критерии оценки состояния бетона и, как следствие, неясен смысл проведения анализа.

Анализом не определяется количество образовавшихся карбонатов, таким образом, он не оценивает карбонизацию бетона и, тем более, ее влияние на состояние защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре. Также, необходимо отметить, что анализ сложен, для определения количества поглощенного CO_2 используется значительная масса цементно-песчаной фракции бетона, которую невозможно отобрать без причинения ущерба ЖБЭ (ЖБК) [4–6].

Таким образом, заявленная оценка степени карбонизации бетона в существующем документе не выполняется и его нельзя использовать для оценки карбонизации бетона и ее влияния на состояние защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре.

Постановка задачи. Исследование карбонизации бетона необходимо выполнять на основе определения карбонатной составляющей (показателя КС), поскольку именно он определяет количество образовавшегося карбоната кальция (CaCO_3) и его влияние на изменение показателя рН (водной вытяжки цементного камня), который, в свою очередь является основной количественной характеристикой перерождения цементного камня в карбонаты или другие продукты химического взаимодействия под воздействием агрессивности среды, и универсальной характеристикой состояния бетона и его защитных свойств по отношению к стальной арматуре [2, 7–13].

Основная часть. В НИЛ «Диагностика, испытание и исследование строительных материалов и конструкций» им. профессора И. А. Кудрявцева Белорусского Государственного Университета транспорта, на основании многолетних исследований карбонизации бетона, [2–13] для объективной оценки параметров карбонизации разработан экспресс-метод определения карбонатной составляющей цементно-песчаной фракции бетона [14].

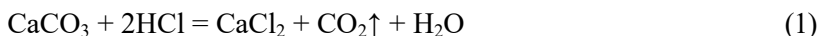
В экспресс-методе определения карбонатной составляющей в цементно-песчаной фракции бетона применены следующие термины с соответствующими определениями: единичная проба –

проба бетона из обследуемого бетонного (железобетонного) элемента, конструкции, отбираемая в определенное время в одном месте, достаточная для проведения испытаний; лабораторная проба – часть смешанной пробы, подготовленная посредством гомогенизации и уменьшения и предназначенная для приготовления средней аналитической пробы; смешанная проба – гомогенная смесь измельченной единичной пробы бетона, отобранной в определенное время в одном месте из одной железобетонной конструкции; средняя аналитическая проба – проба бетона, приготовленная из лабораторной пробы и предназначенная непосредственно для испытаний; титрованный раствор – раствор, приготовленный из стандарт-титра.

Остальные термины и определения приняты в соответствии с действующими нормативными документами.

Методика определения. Карбонатная составляющая бетона характеризует процентное содержание карбонатов кальция в цементно-песчаной фракции бетона.

Определение карбонатной составляющей бетона в соответствии с настоящим методом основано на растворении навески, отобранной из средней аналитической пробы бетона, в соляной кислоте и измерении объема выделяющегося при этом диоксида углерода в соответствии с реакцией



При проведении анализа пробы бетона массу навески в граммах определяют с точностью до 0,0001 г, объемы, измеряемые бюреткой, в сантиметрах кубических с точностью до 0,05 см³.

Концентрацию растворов выражают:

- массовой долей в процентах, численно равной массе вещества в граммах на 100 г раствора;
- молярной концентрацией вещества – эквивалента в молях на кубический дециметр раствора (Н);
- соотношением объемных частей, где первое число обозначает объемную часть концентрированной кислоты, второе – объемную часть воды.

Средства измерений, испытательное оборудование.

Весы аналитические с ценой деления 0,0001 г, пределом взвешивания 200 г по ГОСТ 24104.

Весы лабораторные с ценой деления 0,01 и 1,0 г по ГОСТ 24104.
Сушильный шкаф, обеспечивающий автоматическое регулирование температуры в диапазоне $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

Сито с сеткой № 008 по ГОСТ 6613.

Прибор для определения степени карбонизации бетона (рис. 1).

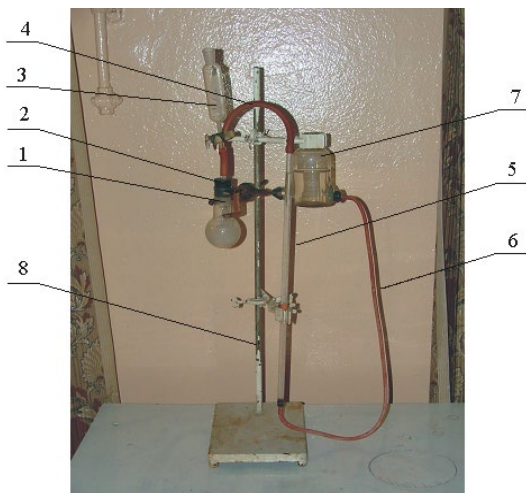


Рисунок 1. Установка для определения карбонатной составляющей: 1 – круглодонная колба; 2 – резиновая пробка; 3 – дозирующее устройство; 4 – резиновая трубка; 5 – мерная бюретка; 6 – резиновый шланг; 7 – уравнильный сосуд; 8 – штатив

Пипетки по ГОСТ 29230.

Бюретки по ГОСТ 29251 II класса точности.

Колбы мерные с притертыми пробками вместимостью 100 см^3 , колбы круглодонные вместимостью 50 см^3 и стеклянные воронки диаметром 9–10 см по ГОСТ 25336.

Цилиндры вместимостью 10 и 25 см^3 по ГОСТ 1770.

Стеклянные стаканы для взвешивания с притертой крышкой.

Реактивы и материалы. Кислота соляная (HCl) плотностью $1,19 \text{ г/см}^3$ по ГОСТ 3118 и раствор соляной кислоты концентрацией 1:3.

Кислота соляная концентрацией $\text{HCl} = 3 \text{ моль/дм}^3$ (3Н).

Вода дистиллированная по ГОСТ 6709.

Условия испытаний. При проведении испытаний внешние воздействующие факторы не должны превышать значений:

- температура воздуха – (20 ± 10) °С;
- относительная влажность воздуха – (75 ± 10) %.

Требования безопасности при проведении испытаний. Лабораторные помещения, в которых выполняются испытания бетона, должны быть оборудованы вентиляционными системами по ГОСТ 12.4.021. При эксплуатации электроприборов, используемых в процессе анализа, должны выполняться требования электробезопасности согласно ГОСТ 12.1.019.

При применении в качестве реактивов токсичных (вредных) веществ следует руководствоваться требованиями безопасности, изложенными в нормативных документах на эти реактивы. Концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны должна соответствовать гигиеническим регламентам, установленным ГОСТ 12.1.005 и СанПиН № 11-19.

Периодичность контроля содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны устанавливается в зависимости от их класса опасности в соответствии с п. 3.2.6 СанПиН № 11-19.

Определение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны выполняют по методикам, входящим в Перечень методик, утвержденный Главным государственным санитарным врачом Республики Беларусь и согласованный Госстандартом Республики Беларусь 10 сентября 2002 г.

При работе с вредными веществами должны быть соблюдены правила безопасности, действующие в химических лабораториях. При этом следует применять индивидуальные средства защиты (респираторы) по ГОСТ 12.4.011 или ГОСТ 12.4.028, резиновые перчатки по ГОСТ 12.4.103, одежду по ГОСТ 27652, ГОСТ 27654, ГОСТ 29057 и ГОСТ 29058.

Подготовка к испытаниям. Приготовление реактивов. Титрованный раствор соляной кислоты (3Н) готовят из стандарттитра, для чего содержимое трех ампул кислоты переносят в мерную колбу вместимостью 100 см³ в следующей последовательности:

- наружную поверхность ампул промывают дистиллированной водой;
- в мерную колбу вместимостью 100 см³ помещают воронку диаметром 9–10 см;
- держа ампулу над воронкой, с помощью стеклянного бойка пробивают отверстие в утонченном углублении ампулы, осторожно

переворачивают ампулу, не вынося ее за пределы воронки, пробивают бойком отверстие в противоположном углублении и выливают содержимое ампулы через воронку в колбу;

– ампулу тщательно промывают изнутри через верхнее отверстие дистиллированной водой;

– для разбавления перенесенной кислоты добавляют в мерную колбу дистиллированную воду до $2/3$ объема колбы;

– после полного растворения содержимого ампулы объем раствора в колбе доводят дистиллированной водой до метки, соответствующей объему, равному 100 см^3 , и тщательно перемешивают содержимое колбы.

Отбор образцов бетона и подготовка пробы. Для определения карбонатной составляющей бетона используют среднюю аналитическую пробу бетона, приготовленную из образцов-кернов, отобранных по ГОСТ 28570 из эксплуатируемых бетонных и железобетонных элементов (ЖБЭ) и конструкций (ЖБК) образцов-сколов, образующихся при определении прочности бетона конструкций по ГОСТ 22690, а также образцов, отобранных другими способами.

Для анализа отбирают пробы защитного слоя бетона в зоне расположения арматуры, а также порошки, получаемые выбуриванием по сечению ЖБЭ и ЖБК до глубины 100 мм и кубов сеч. $100 \times 100 \times 100$ мм до глубины 50 мм.

Отбор образцов производят при проведении обследований ЖБЭ и ЖБК.

Предварительно бетонная поверхность должна быть тщательно очищена от всякого рода загрязнений, штукатурного слоя, краски и, при наличии, слоя ремонтного материала.

В отобранных образцах отделяют слой бетона толщиной ≈ 10 мм. Отделенные фрагменты защитного слоя объединяют в единичную пробу. Количество отбираемых единичных проб определяют в зависимости от вида и эксплуатационного состояния конструкций.

Перед проведением испытания единичную пробу бетона измельчают в фарфоровой ступке ударами, не растирая, и отделяют крупный заполнитель. Из измельченной единичной пробы бетона формируют смешанную пробу, которую квартованием сокращают до лабораторной пробы массой (10 ± 2) г.

Лабораторную пробу высушивают при температуре $(105 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ до влажности $(1,5 \pm 0,5) \%$, дополнительно измельчают в фарфоровой или

агатовой ступке для отделения цементного камня от заполнителя и формируют из нее для анализа среднюю аналитическую пробу массой $(0,5 \pm 0,005 \text{ г})$ путем просеивания через сито с сеткой № 01 по ГОСТ 6613.

Подготовленную среднюю аналитическую пробу хранят в стеклянном стакане для взвешивания с притертой крышкой – для защиты от воздействия окружающей среды.

Проведение испытаний. Перед отбором навески подготовленную среднюю аналитическую пробу бетона, помещенную в стеклянный стакан для взвешивания, гомогенизируют и высушивают в сушильном шкафу при температуре $(105 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ до постоянной массы, после чего охлаждают в эксикаторе над хлоридом кальция.

Постоянство массы считается достигнутым, если разница между двумя последовательными взвешиваниями не превышает $0,0004 \text{ г}$. Если при повторном взвешивании масса навески увеличивается, то для расчета применяют массу, предшествующую ее увеличению. При этом первое взвешивание осуществляют через $1,5\text{--}2 \text{ ч}$.

Допускается проводить анализ из воздушно-сухой навески с последующим пересчетом на навеску, высушенную до постоянной массы (сухую). Массу сухой навески m , г, вычисляют по формуле

$$m = m_0(100 - W) / 100, \quad (2)$$

где m_0 – масса навески в воздушно-сухом состоянии, г;

W – массовая доля влаги в навеске, определенная по ГОСТ 5382.

Из высушенной до постоянной массы (воздушно-сухой) средней аналитической пробы бетона отбирают навеску массой $(0,5 \pm 0,005 \text{ г})$.

Собирают прибор для определения карбонатной составляющей (КС) бетона (см. рис. 1).

Уровень воды в мерной бюретке 5 устанавливают на нулевую отметку вертикальным перемещением уравнительного сосуда 7.

Навеску анализируемой пробы $0,5 \text{ г}$ засыпают в круглодонную колбу 1 и закрывают резиновой пробкой 2.

Перекрыывают кран дозатора 3 и заливают в него раствор соляной кислоты (3Н).

Перед подачей раствора соляной кислоты в круглодонную колбу 1 в ней создают небольшой вакуум опусканием уравнительного сосуда 7 на 5 см ниже начального уровня воды в мерной бюретке 5.

Открывая кран дозатора 3, подают раствор кислоты (3 см^3) в колбу 1.

Измеряют объем газа, выделившегося в мерную бюретку 5, с точностью до 0,05 см³ при протекании реакции (1).

Из полученного значения объема вычитают объем залитой кислоты (3 см³).

Содержание карбонатной составляющей, %,

$$КС = 0,16 \frac{P_p V_p}{m_n T}, \quad (3)$$

где P_p – парциальное давление газа, Па (мм рт. ст.);

V_p – объем газа, выделяющегося при анализе, см³;

m_n – масса навески анализируемой пробы, г;

T – температура по шкале Кельвина;

0,16 – постоянный множитель, полученный приведением условий к нормальным.

Парциальное давление газа P_p рассчитывают по формуле

$$P_p = P_t - P_b - 0,125t', \quad (4)$$

где P_t – показания барометра в момент анализа, Па (мм рт. ст.);

P_b – давление насыщенного водяного пара, Па (мм рт. ст.) (в соответствии с таблицей 1);

0,125 t' – поправка на показания барометра для приведения их к нормальным условиям;

t' – температура воздуха в помещении, °С.

За результат анализа принимают среднее арифметическое значение двух определений, выраженное в процентах с точностью до ±1 %.

Допустимое расхождение между результатами параллельных определений не должно превышать 2 %. При большем расхождении проводят повторное определение.

Таблица 1

Давление насыщенного водяного пара

t , °С	P_b , мм рт. ст.	t , °С	P_b , мм рт. ст.	t , °С	P_b , мм рт. ст.	t , °С	P_b , мм рт. ст.	t , °С	P_b , мм рт. ст.
10	9,2	15	12,8	20	17,5	25	23,8	30	31,8
11	9,8	16	13,6	21	18,6	26	25,2	31	33,7
12	10,5	17	14,5	22	19,8	27	26,7	32	35,7
13	11,2	18	15,5	23	21,1	28	28,3	33	37,7
14	12,0	19	16,5	24	22,4	29	30,0	34	39,9

Настоящий экспресс-метод определения карбонатной составляющей цементно-песчаной фракции бетона обеспечивает получение результатов испытаний с точностью ± 1 %, что является достаточным, так как при отборе для анализа образцов в порошкообразном состоянии ошибка может достигать 3 % за счет вероятностного характера распределения карбонизированного цементного камня в смеси с песком.

Для различных классов бетона по прочности на сжатие величина карбонатной составляющей зависит от количества использованного цемента (Ц), В/Ц, способа твердения бетона и др. Одно и то же численное значение карбонатной составляющей для одних бетонов может свидетельствовать о начале карбонизации, а для других – уже о полной карбонизации в рассматриваемом сечении. Таким образом, показатель КС не позволяет объективно оценивать карбонизацию бетона. Для оценки карбонизации необходим параметр, который бы независимо от состава бетона позволял бы оценивать его коррозионное состояние. Таким показателем принята степень карбонизации бетона (показатель СК) – величина, определяющая процент гидроокиси кальция и гидратированных клинкерных материалов, перешедших в карбонаты на разной глубине бетона [7–10].

Показатель СК рассчитывается из пропорции

$$X \% СК_l = \frac{\% КС_l \cdot 100}{\% КС_{\max}} \quad (5)$$

где $СК_l$ и $КС_l$ – соответственно, значения степени карбонизации и карбонатной составляющей, %, в рассматриваемом сечении бетона;

$КС_{\max}$ – максимальное значение карбонатной составляющей.

$$КС_{\max} = ПВК \cdot \alpha \quad (6)$$

где ПВК – предельная величина карбонизации бетона, %;

α – степень гидратации цемента, %.

ПВК характеризует содержание карбонатов в бетоне в массовых процентах при условии, что весь СаО цемента полностью перейдет в СаСО₃. Значения ПВК зависят от состава бетона и определяются по известной массе каждого компонента бетонной смеси.

Показатель ПВК определяется для цементно-песчаной фракции бетона по следующей методике:

1. Рассчитывается масса CaO (m_{CaO}) в цементе для приготовления 1 м³ бетона:

$$m_{CaO} = m_{ц} \cdot 0,6, \quad (7)$$

где $m_{ц}$ – масса цемента, используемая для приготовления 1 м³ бетона;
0,6 – усредненная доля содержания CaO в цементе.

2. Определяется масса CaCO₃ (m) при карбонизации m_{CaO} в 1 м³ бетона из пропорции

$$\begin{aligned} & M_{CaO} - M_{CaCO_3}, \\ & m_{CaO} - m_{CaCO_3} \end{aligned} \quad (8)$$

$$m_{CaCO_3} = \frac{m_{CaO} M_{CaCO_3}}{M_{CaO}},$$

где M_{CaO} – молекулярная масса CaO (56 г/моль, или 56 кг);

M_{CaCO_3} – молекулярная масса CaCO₃ (100 г/моль, или 100 кг);

m_{CaO} – масса CaO в 1 м³ бетона.

3. Рассчитывается масса цементно-песчаной фракции $m_{цп}$, кг, в 1 м³ бетона с учетом привеса за счет полного превращения CaO в CaCO₃:

$$m_{цп} = 1,15Ц + П + (m_{CaCO_3} - m_{CaO}), \quad (9)$$

где Ц – масса цемента, кг, в 1 м³ бетона;

П – масса песка, кг, в 1 м³ бетона.

4. Вычисляется значение ПВК, %, из пропорции

$$\begin{aligned} & m_{цп} - 100 \%, \\ & m_{CaCO_3} - \text{ПВК}, \end{aligned} \quad (10)$$

$$\text{ПВК} = \frac{m_{CaCO_3} \cdot 100}{m_{цп}}.$$

В случаях, когда состав бетона неизвестен, возможно применять усредненные значения ПВК. Так, для бетона класса по прочности на сжатие C¹²/₁₅ ПВК = 19,5 %; C¹⁶/₂₀ – 25,8 %; C¹⁸/_{22,5} – 28,3 %; C²⁰/₂₅

– 30,8 %; $C^{22}/_{27,5}$ – 32,6 %; $C^{25}/_{30}$ – 35,4 %; $C^{28}/_{35}$ – 40,2 %; $C^{30}/_{37}$ – 42,0 %. Для других классов бетона по прочности на сжатие возможно значения показателя ПВК определять интерполированием.

По результатам многолетних исследований карбонизации и ее влияния на состояние защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре [10] предложена балльная оценка степени карбонизации бетона и определены граничные значения показателя СК (таблица 2).

Таблица 2

Оценка бетона по показателю СК

Степень карбонизации, (СК)	Граничные значения показателя СК, %	Состояние бетона
0	< 13	Бетон полностью сохраняет защитные свойства по отношению к стальной арматуре
I	13–26	Потеря защитных свойств по отношению к стальной арматуре. Начало деградации бетона
II	> 26–36	Деградация бетона малой степени интенсивности
III	> 36–47	Деградация бетона средней степени интенсивности
IV	> 47–74	Деградация бетона высокой степени интенсивности
V	> 74	Полная деградация бетона

Заключение. Экспресс-метод определения карбонатной составляющей цементно-песчаной фракции бетона позволяет исследовать именно карбонизацию (образование карбонатов) практически не разрушая бетона ЖБЭ и ЖБК. Преимущество предлагаемого метода – в скорости проведения анализа при достаточной для практических целей точности.

В совокупности с критериями оценки карбонизации (показателя СК) он дает возможность на основании полученных количественных показателей карбонатной составляющей количественно и качественно оценивать степень карбонизации бетона в любом сечении ЖБЭ (ЖБК).

На основании предлагаемого экспресс-метода определения карбонатной составляющей цементно-песчаной фракции бетона и критериев оценки степени карбонизации бетона необходимо создавать нормативный документ для использования при проектировании составов бетона, выборе класса бетона по прочности на сжатие при проектировании ЖБЭ (ЖБК), при обследовании ЖБЭ (ЖБК) с диагностикой их технического состояния.

Список использованных источников:

1. Железобетон в XXI веке: Состояние и перспективы развития бетона и железобетона в России / Госстрой России; НИИЖБ. – М. : Готика, 2001. – 684 с.

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. Бетоны конструкций мостовых сооружений. Метод определения степени карбонизации: СТБ 1481-2011. – Введ. 2011-09-30. – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2011. – 22 с.

4. Васильев, А. А. О необходимости разработки нормативного документа по обследованию зданий, сооружений и комплексов бого-служебного и вспомогательного назначения / А. А. Васильев // Вестник Белорус. гос. Ун-та трансп. – Гомель: БелГУТ, 2010. – № 2 (21). – С. 83 – 87.

5. Васильев, А. А. К вопросу необходимости учета карбонизации бетона в нормативных документах Республики Беларусь по оценке технического состояния железобетонных элементов и конструкций / А. А. Васильев // Вестник Белорус. гос. Ун-та трансп. – Гомель: БелГУТ, 2017. – № 1 (34). – С. 87 – 88.

6. Васильев, А. А. К вопросу объективности современной оценки и прогнозирования карбонизации бетона на основе индикаторного метода. / А. А. Васильев // Вестник Брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. – Брест, 2020. – № 1. – С. 77 – 80.

7. Комплексная оценка состояния длительно эксплуатируемых железобетонных конструкций: практическое пособие / Т. М. Пецо-

льд [и др.] ; под ред. А. А. Васильева. – Гомель: БелГУТ, 2005. – 31 с.

8. 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.

9. Васильев, А. А. Расчетно-экспериментальная модель карбонизации бетона: [монография] / А. А. Васильев; Белорус. гос. Ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2016. – 263 с.

10. Васильев, А. А. Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона: [монография] / А. А. Васильев; Белорус. гос. Ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2019. – 215 с.

11. Васильев, А. А. Исследование карбонизации железобетонных конструкций с момента их изготовления / А. А. Васильев // Материалы, технологии, инструменты. – 2004. – Т. 9, № 4. – С. 30 – 33.

12. Васильев, А. А. Оценка существующей модели карбонизации бетона / А. А. Васильев // Строительная наука и техника. – 2009. – № 1 (22). – С. 54 – 58.

13. 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. – Минск, 2017. – Выпуск 9 – С. 148 – 167.

14. Васильев, А. А. Экспресс-метод определения карбонатной составляющей цементно-песчаной фракции бетона / А. А. Васильев // сб. статей XXII Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2019. – С. 29 – 34.