

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

УДК 691.32 : 624.012.45/46

А. А. ВАСИЛЬЕВ, кандидат технических наук, М. И. ТКАЧЕВА, аспирант, К. Э. АГЕЕВА, магистрант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО СОДЕРЖАНИЯ ЦЕМЕНТА
БЕТОНОВ КЛАССОВ ПО ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ $C^{12/15}-C^{50/60}$**

Показана необходимость оценки и прогнозирования карбонизации бетона новыми методами. Предложены зависимости определения предельной величины карбонизации бетона для различных марок бетонной смеси по удобоукладываемости бетонов классов по прочности на сжатие $C^{12/15}-C^{50/60}$. Приведена логичность использования показателя расчетного содержания цемента для определения предельной величины карбонизации бетона. Выполнены расчеты и представлены зависимости расчетного содержания цемента от величины осадки конуса для подвижных смесей и от величины времени вибрации для жестких смесей для отпускной прочности бетонов 70–100 % бетонов классов по прочности на сжатие $C^{12/15}-C^{50/60}$. Приведены расчетные значения содержания цемента для бетонов классов по прочности на сжатие $C^{12/15}-C^{50/60}$ марок бетонных смесей по удобоукладываемости П1, Ж1 и Ж2.

Введение. Воздействие углекислого газа воздуха среди других агрессивных сред, взаимодействующих с поровой жидкостью бетона (основой которой является гидроксид кальция) в атмосферных условиях эксплуатации подавляющего большинства железобетонных элементов (ЖБЭ) и конструкций (ЖБК) за счет постоянного (во времени) воздействия является основной причиной нейтрализации бетона и потери им защитных свойств по отношению к стальной арматуре. Таким образом, карбонизация, в первую очередь, определяет коррозионные свойства бетона и железобетона.

По результатам многолетних исследований карбонизации бетона (реакции и механизма карбонизации, развития карбонизации во времени по сечению бетонов различных классов по прочности на сжатие в различных эксплуатационных условиях) доцент А. А. Васильев в своих многочисленных работах [1–3 и др.] показал и убедительно доказал, что существующие методы оценки и прогнозирования карбонизации бетона, базирующиеся на фенолфталеиновом тесте (ФФТ) и краткосрочных лабораторных исследованиях, построенные на линейном распределении фронта карбонизации не позволяют ни оценивать, ни прогнозировать карбонизацию, тем более – оценивать и прогнозировать техническое состояние железобетона с учетом развития карбонизации во времени по сечению

бетона ЖБЭ и ЖБК. Это потребовало создания и применения новых методов исследования карбонизации и ее влияния на изменение коррозионных свойств бетона и стальной арматуры в карбонизированном бетоне [1–8], соответственно, введения новых понятий и определений.

Основная часть. Предельная величина карбонизации бетона (ПВК) оценивает максимальную карбонизируемость бетона (в любом сечении элемента (конструкции)) при условии полной гидратации цемента ($\alpha = 1$). Значения ПВК определяются по известному содержанию компонентов бетонной смеси [1]. Определение ПВК является основой для создания системы расчетно-экспериментальных зависимостей изменения степени фактической карбонизации (СФК) во времени по сечению бетона любого класса по прочности на сжатие (состава бетона) для различных эксплуатационных условий [2].

Простое и качественное определение ПВК (на стадии проектирования ЖБЭ (ЖБК), при детальном обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений и др.) – одна из важнейших задач объективной оценки и прогнозирования технического состояния ЖБЭ (ЖБК).

По результатам исследований в [9–14] были предложены зависимости $PVK = f(R, Ц)$ для составов бетонов классов по прочности на сжатие $C^{12/15}-C^{50/60}$.

Для подвижных смесей

$$PVK = (-0,0028R^2 + 0,4325R - 13,78)10^{-8}Ц^3 - 9,0 \cdot 10^{-3}Ц^2 + (-5,0 \cdot 10^{-6}R^2 + 0,0007R + 0,0970)Ц + 6,0 \cdot 10^{-4}R^2 - 0,1012R + 2,381. \quad (1)$$

Для жестких смесей

$$PVK = (-0,0003R^2 + 0,0075R - 5,725) \cdot 10^{-8}Ц^3 - 1,0 \cdot 10^{-4}Ц^2 + (-8,0 \cdot 10^{-7}R^2 - 9,0 \cdot 10^{-6}R + 0,1361)Ц + 2,0 \cdot 10^{-4}R^2 - 0,0156R - 1,782, \quad (2)$$

где R – отпускная прочность бетона, %; $Ц$ – содержание цемента, $кг/м^3$.

В [4–10] представлены зависимости $PVK = f(R, Ц)$ для каждого (отдельного) класса бетона по прочности на сжатие. В общем виде

$$PVK = (k_1R + k_2)Ц + k_3R + k_4, \quad (3)$$

где k_1-k_4 – коэффициенты, аппроксимирующие линейную зависимость.

При подборе составов бетонов и выведении зависимостей (1)–(3) использовался вычислительный комплекс «Технолог», основанный на многофакторном методе подбора состава бетона, разработанном проф. В. В. Бабицким.

В приведенных зависимостях (1)–(3) неизвестны R и Π . Существует прямая зависимость между ними, но необходимо понимать, что каждому значению R соответствует ряд значений Π (так, для подвижных смесей марок по удобоукладываемости П1–П5 – 25 значений Π ; для жестких смесей марок по удобоукладываемости Ж1–Ж4 – 36 значений Π для каждого класса бетона по прочности на сжатие).

Отпускная прочность бетона изменяется в пределах 70–100 % для любого класса бетона по прочности на сжатие, при этом не только значительно изменяется содержание цемента при таком диапазоне R , но и значения Π пересекаются в границах соответствующих значений диапазонов R .

Так, для бетона класса по прочности на сжатие $C^{28}/_{35}$ при $R = 70 \dots 100$ % содержание цемента для подвижных смесей изменяется в пределах 418–793 кг/м³ (для $R = 70$ % $\Pi = 418 \dots 599$ кг/м³; $R = 80$ %; $\Pi = 461 \dots 661$ кг/м³; $R = 90$ %; $\Pi = 507 \dots 726$ кг/м³; $R = 100$ %; $\Pi = 554 \dots 793$ кг/м³); для жестких смесей – в пределах 353–565 кг/м³ (для $R = 70$ % $\Pi = 353 \dots 426$ кг/м³; $R = 80$ %; $\Pi = 390 \dots 470$ кг/м³; $R = 90$ %; $\Pi = 429 \dots 517$ кг/м³; $R = 100$ %; $\Pi = 469 \dots 565$ кг/м³).

Таким образом, для применения зависимостей (1)–(3) необходимо знать не только граничные значения Π для каждого значения R , но и соблюдать зависимость $\Pi(R)$, что сложно даже при проектировании ЖБЭ (ЖБК) в лабораторных условиях и практически невозможно в условиях обследования реальных конструкций.

Так как для бетона любого класса по прочности на сжатие для подвижных бетонных смесей марок по удобоукладываемости П1–П5 подвижность изменяется в пределах ОК = 1...25 см; для жестких (Ж1–Ж4) – 5...40 с, считаем необходимым получить зависимость расчетного содержания цемента от значений осадки конуса (времени вибрации), что позволит значительно упростить (без потери точности) определение ПВК.

В общем виде зависимость $\Pi_p = f(R, M(S))$ для любого граничного значения отпускной прочности бетона

$$\Pi_p = k_1 M^2(S^2) + k_2 M(S) + k_3,$$

где k_1 – k_3 – коэффициенты, аппроксимирующие полиномиальную зависимость; M – осадка конуса для подвижных смесей, см; S – время вибрации для жестких смесей, с; $k_1, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{см}^2}$; $k_2, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{см}}$, $k_3, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Здесь

$$k_1 = k_4 R + k_5, \quad (4)$$

$$k_2 = k_6 R + k_7, \quad (5)$$

$$k_3 = k_8 R + k_9, \quad (6)$$

где k_4 – k_9 – коэффициенты, аппроксимирующие линейную зависимость; $k_4, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{см}^2 \cdot \%}$, $k_5, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{см}^2}$,

$k_6, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{см} \cdot \%}$, $k_7, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{см}}$, $k_8, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \%}$, $k_9, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Так, для бетона класса по прочности на сжатие $C^{28}/_{35}$ подвижных смесей марок по удобоукладываемости П1–П5, для отпускной прочности бетона 70 %

$$\Pi_p = -0,3486M^2 + 14,46M + 403,7; \quad (7)$$

$$R = 80 \%, \quad \Pi_p = -0,3876M^2 + 18,23M + 445,4; \quad (8)$$

$$R = 90 \%, \quad \Pi_p = -0,4209M^2 + 19,86M + 489,8; \quad (9)$$

$$R = 100 \%, \quad \Pi_p = -0,4618M^2 + 21,74M + 535,2. \quad (10)$$

Путем математической обработки были получены коэффициенты k_1 – k_3 :

$$k_1 = -0,0037R - 0,0878; \quad (11)$$

$$k_2 = 0,1747R + 4,223; \quad (12)$$

$$k_3 = 4,389R + 95,46. \quad (13)$$

Таким образом, для бетона класса по прочности на сжатие $C^{28}/_{35}$ бетонных смесей марок по удобоукладываемости П1–П5

$$\Pi_p = (-0,0037R - 0,0878)M^2 + (0,1747R + 4,223)M + 4,389R + 95,46. \quad (14)$$

Аналогично, для жестких смесей марок по удобоукладываемости Ж1–Ж4

$$\Pi_p = (0,0002R + 0,0070)S^2 + (-0,0310R - 0,8313)S + 4,750R + 104,2. \quad (15)$$

С учетом того, что подавляющее большинство железобетонных элементов (ЖБЭ) выполняется из подвижных смесей марки по удобоукладываемости П1 (ОК = 3, 4 см) из жестких смесей – Ж1 (5–10 с) Ж2 (11–20 с), можно получить укрупненную зависимость $\Pi_p = f(R)$.

Для подвижных смесей (П1, ОК = 4 см)

$$\Pi_p = 5,029R + 111,0. \quad (16)$$

Для жестких смесей (Ж1, $S_{cp} = 8$ с)

$$\Pi_p = 4,512R + 97,99; \quad (17)$$

(Ж2, $S_{cp} = 15$ с)

$$\Pi_p = 4,330R + 93,29. \quad (18)$$

Полученные зависимости $\Pi_p = f(R, M(S))$ для бетонов классов по прочности на сжатие $C^{12}/_{15}$ – $C^{50}/_{60}$ для бетонных смесей марок по удобоукладываемости П1–П5 и Ж1–Ж4 приведены соответственно в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Зависимости $\Pi_p = f(R, M)$ для бетонов различных классов по прочности на сжатие (подвижность смеси П1–П5) и отпускной прочности 70–100 %

Класс бетона по прочности на сжатие	Зависимость $\Pi_p = f(R, M)$
$C^{12}/_{15}$	$(-0,0013R - 0,0449)M^2 + (0,0559R + 2,404)M + 1,539R + 81,66$
$C^{16}/_{20}$	$(-0,0021R - 0,0177)M^2 + (0,1111R + 0,2215)M + 1,894R + 113,5$
$C^{18}/_{22,5}$	$(-0,0036R + 0,0709)M^2 + (0,1550R - 1,695)M + 2,173R + 117,9$
$C^{20}/_{25}$	$(-0,0035R + 0,0169)M^2 + (0,1495R + 0,5500)M + 2,707R + 103,2$
$C^{22}/_{27,5}$	$(-0,0030R - 0,0596)M^2 + (0,1381R + 3,144)M + 3,255R + 89,15$

Окончание таблицы 1

Класс бетона по прочности на сжатие	Зависимость $\sigma_p = f(R, M)$
$C^{25}/_{30}$	$(-0,0029R - 0,0994)M^2 + (0,1361R + 4,601)M + 3,417R + 103,9$
$C^{28}/_{35}$	$(-0,0037R - 0,0878)M^2 + (0,1747R + 4,223)M + 4,389R + 95,46$
$C^{30}/_{37}$	$(-0,0039R - 0,0976)M^2 + (0,1823R + 4,562)M + 4,695R + 96,05$
$C^{32}/_{40}$	$(-0,0043R - 0,0945)M^2 + (0,2022R + 4,513)M + 5,128R + 99,97$
$C^{35}/_{45}$	$(-0,0048R - 0,1036)M^2 + (0,2287R + 4,858)M + 5,889R + 101,6$
$C^{40}/_{50}$	$(-0,0055R - 0,0984)M^2 + (0,2590R + 4,815)M + 6,645R + 102,7$
$C^{45}/_{55}$	$(-0,0061R - 0,1037)M^2 + (0,2865R + 4,945)M + 7,373R + 103,8$
$C^{50}/_{60}$	$(-0,0066R - 0,1105)M^2 + (0,3124R + 5,141)M + 8,110R + 104,3$

Таблица 2 – Зависимости $\sigma_p = f(R, S)$ для бетонов различных классов по прочности на сжатие (подвижность смеси Ж1–Ж4) и отпускной прочности 70–100 %

Класс бетона по прочности на сжатие	Зависимость $\sigma_p = f(R, S)$
$C^{12}/_{15}$	$(8,0 \cdot 10^{-5}R - 0,0038)S^2 + (-0,0096R - 0,4948)S + 1,652R + 86,78$
$C^{16}/_{20}$	$(-4,0 \cdot 10^{-5}R + 0,0160)S^2 + (-0,0099R - 0,8556)S + 2,127R + 113,3$
$C^{18}/_{22,5}$	$(0,0002R + 0,0003)S^2 + (-0,0301R + 0,8314)S + 2,417R + 120,4$
$C^{20}/_{25}$	$(0,0005R - 0,0231)S^2 + (-0,0395R + 1,067)S + 3,013R + 104,6$
$C^{22}/_{27,5}$	$(0,0003R - 0,0040)S^2 + (-0,0395R + 0,7152)S + 3,564R + 93,40$
$C^{25}/_{30}$	$(0,0001R + 0,0134)S^2 + (-0,0316R - 0,2526)S + 3,750R + 109,0$
$C^{28}/_{35}$	$(0,0002R + 0,0070)S^2 + (-0,0310R^3 - 0,8323)S + 4,750R + 104,2$
$C^{30}/_{37}$	$(0,0003R + 0,0063)S^2 + (-0,0339R - 0,7830)S + 5,074R + 105,1$
$C^{32}/_{40}$	$(0,0003R + 0,0072)S^2 + (-0,0367R - 0,8578)S + 5,560R + 108,2$
$C^{35}/_{45}$	$(0,0003R + 0,0049)S^2 + (-0,0425R - 0,8141)S + 6,367R + 111,1$
$C^{40}/_{50}$	$(0,0004R + 0,0058)S^2 + (-0,0480R - 0,8310)S + 7,178R + 112,5$
$C^{45}/_{55}$	$(0,0004R + 0,0069)S^2 + (-0,0526R - 0,8732)S + 7,972R + 113,5$
$C^{50}/_{60}$	$(0,0005R + 0,0058)S^2 + (-0,0582R - 0,8436)S + 8,763R + 114,1$

С учетом того, что для подвижных смесей марки по удобоукладываемости П1 применяются составы, в основном с ОК = 4 см, в таблице 3 приведены укрупненные зависимости $\sigma_{p, П1} = f(R)$.

Таблица 3 – Зависимости $\sigma_{p, П1} = f(R)$ для бетонов различных классов по прочности на сжатие (подвижность смеси П1) и отпускной прочности 70–100 %

Класс бетона по прочности на сжатие	Зависимость $\sigma_{p, П1} = f(R)$
$C^{12}/_{15}$	$1,742R + 90,56$
$C^{16}/_{20}$	$2,295R + 114,1$
$C^{18}/_{22,5}$	$2,735R + 112,4$
$C^{20}/_{25}$	$3,249R + 105,7$
$C^{22}/_{27,5}$	$3,759R + 100,8$
$C^{25}/_{30}$	$3,915R + 120,7$
$C^{28}/_{35}$	$5,029R + 111,0$
$C^{30}/_{37}$	$5,362R + 112,7$
$C^{32}/_{40}$	$5,868R + 116,5$
$C^{35}/_{45}$	$6,727R + 119,4$
$C^{40}/_{50}$	$7,593R + 120,4$
$C^{45}/_{55}$	$8,421R + 121,9$
$C^{50}/_{60}$	$9,254R + 123,1$

Аналогично получены укрупненные зависимости $\sigma_{p, Ж1} = f(R)$ и $\sigma_{p, Ж2} = f(R)$ для жестких смесей марок по удобоукладываемости Ж1 и Ж2 для средних значений вибрации – соответственно 8 и 15 с (таблица 4).

Таблица 4 – Зависимости $\sigma_{p, Ж1(Ж2)} = f(R)$ для бетонов различных классов по прочности на сжатие (подвижность смеси Ж1 и Ж2) и отпускной прочности 70–100 %

Класс бетона по прочности на сжатие	Зависимость $\sigma_p = f(R)$ для марок смеси по удобоукладываемости	
	Ж1	Ж2
$C^{12}/_{15}$	$1,580R + 83,07$	$1,526R + 80,21$
$C^{16}/_{20}$	$2,045R + 107,5$	$1,970R + 104,1$
$C^{18}/_{22,5}$	$2,189R + 127,1$	$2,011R + 132,9$
$C^{20}/_{25}$	$2,729R + 111,7$	$2,533R + 115,4$
$C^{22}/_{27,5}$	$3,267R + 98,93$	$3,039R + 103,3$
$C^{25}/_{30}$	$3,504R + 107,8$	$3,300R + 108,2$
$C^{28}/_{35}$	$4,512R + 97,99$	$4,330R + 93,29$
$C^{30}/_{37}$	$4,822R + 99,24$	$4,633R + 94,77$
$C^{32}/_{40}$	$5,286R + 101,8$	$5,077R + 96,95$
$C^{35}/_{45}$	$6,046R + 104,9$	$5,797R + 99,99$
$C^{40}/_{50}$	$6,820R + 106,2$	$6,548R + 101,3$
$C^{45}/_{55}$	$7,577R + 107,0$	$7,273R + 102,0$
$C^{50}/_{60}$	$8,329R + 107,7$	$8,003R + 102,8$

С учетом того, что подавляющее большинство ЖБЭ изготавливают (по экономическим соображениям) с отпускной прочностью 70 % при проектировании ЖБЭ (ЖБК), можно использовать значения σ_p (таблица 5).

Таблица 5 – Расчетное содержание цемента C_p для бетонов различных классов по прочности на сжатие

Класс бетона по прочности на сжатие	Расчетное содержание цемента C_p , кг/м ³ для марки бетонной смеси по удобоукладываемости		
	П1	Ж1	Ж2
$C^{12}_{/15}$	212,5	193,7	187,0
$C^{16}_{/20}$	274,8	250,7	242,0
$C^{18}_{/22,5}$	303,9	280,3	273,7
$C^{20}_{/25}$	333,1	302,7	292,7
$C^{22}_{/27,5}$	363,9	327,6	316,0
$C^{25}_{/30}$	394,8	353,1	339,2
$C^{28}_{/35}$	463,0	413,8	396,4
$C^{30}_{/37}$	481,0	436,8	419,1
$C^{32}_{/40}$	527,3	471,8	452,3
$C^{35}_{/45}$	590,3	528,1	505,8
$C^{40}_{/50}$	651,9	583,6	559,7
$C^{45}_{/55}$	711,4	637,4	611,1
$C^{50}_{/60}$	770,9	690,7	663,0

Заключение. Результаты исследований показывают, что использование параметра «расчетное содержание цемента» и зависимостей, представленных в таблицах 1–4 значительно упрощает (без потери точности и объективности) расчет и прогнозирование предельной величины карбонизации бетона для бетонных смесей марок по удобоукладываемости П1–П5, Ж1–Ж4 для бетонов классов по прочности на сжатие $C^{12}_{/15}$ – $C^{50}_{/60}$.

Для упрощенного прогнозирования значений ПВК бетонов реально эксплуатируемых ЖБЭ (ЖБК) возможно и достаточно использование граничных значений C_p (см. таблицу 5).

Список литературы

- 1 Васильев, А. А. Карбонизация и оценка поврежденности железобетонных конструкций : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 263 с.
- 2 Васильев, А. А. Карбонизация бетона (оценка и прогнозирование) : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 303 с.
- 3 Васильев, А. А. Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 215 с.
- 4 Васильев, А. А. Оценка существующей модели карбонизации бетона / А. А. Васильев // Строительная наука и техника. – 2009. – № 1 (22). – С. 54–58.

Получено 28.08.2024

A. Vasilyev, M. I. Tkacheva, K. E. Ageeva. Estimated cement content of concretes of compressive strength classes $C^{12}_{/15}$ – $C^{50}_{/60}$.

The necessity of estimation and forecasting of concrete carbonization by new methods is shown. Relationships of determination limit value of concrete carbonization for different grades of concrete mixture by workability of concretes of $C^{12}_{/15}$ – $C^{50}_{/60}$ compression strength classes are proposed. The logics of using the estimated cement content to determine the limit value of concrete carbonization is presented. Calculations have been performed and relationships between calculated cement content and cone settlement value for movable mixtures and vibration time value for rigid mixtures for concrete release strength of 70–100 % of concretes of $C^{12}_{/15}$ – $C^{50}_{/60}$ compression strength classes are presented. The calculated values of cement content for concretes of compression strength classes $C^{12}_{/15}$ – $C^{50}_{/60}$ grades of concrete mixtures by workability of П1, Ж1 and Ж2 are given.

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 БелГУТа: Наука и транспорт. – 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. – 2020. – № 1. – С. 77–80.

7 Васильев, А. А. Совершенствование методов оценки технического состояния железобетонных элементов, эксплуатирующихся в условиях атмосферной агрессии / А. А. Васильев // Строительная наука и техника. – 2012. – № 2 (41). – С. 21–28.

8 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 : сб. науч. тр. – Минск, 2017. – Вып. 9. – С. 148–167.

9 Васильев, А. А. Оценка предельной величины карбонизации бетона / А. А. Васильев, Ю. К. Кабышева, Н. А. Леонов // World science and education: problems and innovations : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза : Наука и Просвещение, 2021. – С. 22–25.

10 Васильев, А. А. Анализ предельной величины карбонизации бетона для различных классов бетона по прочности на сжатие / А. А. Васильев // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2022. – № 1 (42). – С. 88–90.

11 Васильев, А. А. Оценка и прогнозирование максимальной величины карбонизации бетона / А. А. Васильев // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Прикладные науки. Строительство и архитектура. – 2022. – № 8 (31). – С. 46–53.

12 Кабышева, Ю. К. Анализ предельной величины карбонизации бетона / Ю. К. Кабышева, А. А. Васильев // Лучшая студенческая статья 2022 : сб. ст. XLVII науч.-исслед. конкурса ; под общ. ред. Гуляева Г. Ю. – Пенза : Наука и Просвещение, 2022. – С. 70–77.

13 Анализ предельной величины карбонизации для жестких смесей бетонов классов по прочности на сжатие $C^{12}_{/15}$ – $C^{50}_{/60}$ / Ю. К. Кабышева [и др.] // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2024. – № 1 (48). – С. 88–90.

14 Анализ предельной величины карбонизации для подвижных смесей бетонов классов по прочности на сжатие $C^{12}_{/15}$ – $C^{50}_{/60}$ / Ю. К. Кабышева [и др.] // Научное обозрение: актуальные вопросы теории и практики : сб. ст. X Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза : Наука и Просвещение, 2024. – С. 20–25.