

УДК 624.012.45/.46.62-192

АНАЛИЗ ПРЕДЕЛЬНОЙ ВЕЛИЧИНЫ КАРБОНИЗАЦИИ ДЛЯ ЖЕСТКИХ СМЕСЕЙ БЕТОНОВ КЛАССОВ ПО ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ $C^{12}/_{15}-C^{50}/_{60}$

КАБЫШЕВА ЮЛИЯ КОНСТАНТИНОВНА,

ТКАЧЕВА МАРГАРИТА ИГОРЕВНА,

аспиранты,

АГЕЕВА КАРИНА ЭДУАРДОВНА,

магистрант,

ВАСИЛЬЕВ АЛЕКСАНДР АНАТОЛЬЕВИЧ

к.т.н., доцент

УО «Белорусский государственный университет транспорта»,

г. Гомель

Аннотация: на основании предложенной методики выполнены расчеты предельной величины карбонизации бетона (показателя ПВК) и получены зависимости изменения показателя ПВК от количества использованного цемента и отпускной прочности бетона для бетонов различных классов по прочности на сжатие, бездобавочных смесей марок по удобоукладываемости Ж1...Ж4. Предложена методика упрощенного расчета показателя ПВК и зависимости $PVK = f(C, R)$, полученные на ее основе. Выполнен анализ применения различных зависимостей расчета показателя ПВК.

Ключевые слова: бетон, карбонизация, жесткие смеси, предельная величина карбонизации.

ANALYSIS OF LIMIT VALUE OF CARBONIZATION FOR RIGID MIXTURES OF CONCRETE OF COMPRESSIVE STRENGTH CLASSES $C^{12}/_{15}-C^{50}/_{60}$

Kabysheva Uliya Konstantinovna,

Tkacheva Margarita Igorevna,

Ageeva Karina Eduardovna,

Vasiljev Alexander Anatoljevich

Abstract: Based on the proposed method, calculations of the maximum concrete carbonization level (LVC index) were made and dependencies were obtained from the change in the PVK index from the amount of cement used and the concrete tempering strength for concretes of various classes in terms of compressive strength, non-additive mixtures of R1...R4 grades. The procedure for the simplified calculation of the LVC index and the dependence of $LVC = f(C, R)$, obtained on its basis, is presented. The analysis of the application of personal dependencies for calculating the LVC indicator was performed.

Key words: concrete, carbonization, rigid mixtures, limit value of carbonization.

По результатам многолетних исследований [1-9], убедительно показавших несостоятельность использования существующего метода оценки и прогнозирования карбонизации бетона, основанного на фенолфталеиновом тесте (ФФТ) предложен метод (основанный на определении карбонатной составляющей [3]), позволяющий не только объективно оценивать и прогнозировать развитие карбонизации, но и ее влияние на состояние защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре, техническое состояние железобетона.

Для оценки граничных параметров карбонизации, в [1] предложено понятие предельной величины карбонизации (показатель ПВК). ПВК характеризует содержание карбонатов в бетоне в массовых процентах с учетом полного перехода всего СаО цемента в СаСО₃ ($\alpha = 1$). Значения ПВК определяются составом бетона и рассчитываются по известной массе каждого компонента бетонной смеси.

Показатель ПВК определялся для цементно-песчаной фракции бетонной смеси по известному составу для каждого бетона по прочности на сжатие в соответствии с методикой, представленной в [3]. Подбор составов бетонов классов по прочности на сжатие C^{12/15}–C^{50/60} для жестких смесей марок по удобоукладываемости Ж1...Ж4 осуществляли на основе многофакторного метода, разработанного проф. В. В. Бабицким с использованием вычислительного комплекса «Технолог» [10]. Данный метод позволяет проектировать составы тяжелого бетона с учетом марок бетонных смесей, классов бетона по прочности на сжатие, марок по морозостойкости и водонепроницаемости, модуля упругости в проектном возрасте, коэффициента вариации прочности бетона, условий твердения и величины отпускной прочности бетона в пределах 50...100 %. Учитывает многочисленные характеристики заполнителей и вяжущих.

При расчете компонентов бетонной смеси принимали портландцемент ПЦ 500 Д0 (ОАО «БЦЗ»), для которого: процентное содержание СаО в цементе – 0,66; активность цемента – 50,0 МПа; нормальная густота НГ = 26,5 %.

Значения ПВК рассчитывали для граничных значений отпускных прочностей бетона R = 70, 80, 90 и 100 %. Для всех вышеприведенных классов бетона по прочности на сжатие и значений отпускной прочности получили значения ПВК по 35 составам бездобавочного бетона. Таким образом, показатели ПВК определяли для 1820 составов бетона.

Используя полученные значения ПВК строили зависимости ПВК = f(Ц, R_р). При их построении использовали только крайние (граничные значения Ц, кг/м³ и ПВК, %).

В общем виде, выражение зависимости ПВК от количества использованного цемента (состава бетона) для граничного значения R

$$\text{ПВК} = k_1 \text{Ц} + k_2, \quad (1)$$

где k_1 – коэффициент, определяющий минимальное значение ПВК, $\frac{\% \cdot \text{М}^3}{\text{кг}}$, Ц – содержание цемента, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, k_2 – коэффициент прироста значений ПВК, %.

Полученные зависимости ПВК = f(Ц, R_р) для различных классов бетона по прочности на сжатие (составов) и граничных значений отпускных прочностей бетона 70, 80, 90 и 100 % представлены в таблице 1.

Интерполируя значения коэффициентов k_1 и k_2 для граничных значений отпускной прочности бетона на сжатие 70, 80, 90 и 100 % получили линейные зависимости коэффициентов k_1 и k_2 от отпускной прочности бетона.

В общем виде зависимость коэффициентов k_1 и k_2 от отпускной прочности бетона

$$k_1 = k_3 R + k_4, \quad (2)$$

$$k_2 = k_5 R + k_6, \quad (3)$$

где k_3 – k_6 – коэффициенты, аппроксимирующие линейную зависимость; k_3 , $\frac{\text{М}^3}{\text{кг}}$, k_4 ,

$\frac{\% \cdot \text{М}^3}{\text{кг}}$, k_5 , д. ед.; k_6 , %; R – отпускная прочность бетона, %.

Таблица 1

Зависимости $P_{BK} = f(\sigma, R_{пр})$ для бетонов различных классов по прочности на сжатие (смеси Ж1...Ж4) для различных граничных значений отпускных прочностей бетона

Класс бетона по прочности на сжатие	Предел значений σ , кг/м ³	Зависимость $P_{BK} = f(\sigma)$	Предел значений P_{BK} , %	Предел значений σ , кг/м ³	Зависимость $P_{BK} = f(\sigma)$	Предел значений P_{BK} , %
Отпускная прочность, %						
70			80			
C ¹² / ₁₅	198...170	0,1091 $\sigma - 1,661$	19,94...16,88	214...184	0,1066 $\sigma - 1,425$	21,39...18,19
C ¹⁶ / ₂₀	256...220	0,0985 $\sigma - 0,2436$	24,97...21,43	277...238	0,0948 $\sigma + 0,4097$	26,67...22,97
C ¹⁸ / _{22,5}	284...243	0,0928 $\sigma + 0,8439$	27,19...23,39	307...263	0,0891 $\sigma + 1,594$	28,94...25,02
C ²⁰ / ₂₅	311...266	0,0881 $\sigma + 1,822$	29,23...25,27	336...288	0,0844 $\sigma + 2,675$	31,02...26,97
C ²² / _{27,5}	337...286	0,0827 $\sigma + 3,206$	31,07...26,85	367...313	0,0804 $\sigma + 3,613$	33,14...28,79
C ²⁵ / ₃₀	364...310	0,0803 $\sigma + 3,717$	32,94...28,60	402...336	0,0749 $\sigma + 5,273$	35,36...30,42
C ²⁸ / ₃₅	426...353	0,0719 $\sigma + 6,196$	36,84...31,59	470...390	0,0666 $\sigma + 8,013$	39,34...34,00
C ³⁰ / ₃₇	449...373	0,0695 $\sigma + 6,984$	38,18...32,90	496...412	0,0636 $\sigma + 9,191$	40,72...35,38
C ³² / ₄₀	485...403	0,0649 $\sigma + 8,648$	40,13...34,81	537...446	0,0594 $\sigma + 10,85$	42,76...37,35
C ³⁵ / ₄₅	543...451	0,0585 $\sigma + 11,29$	43,04...37,66	603...501	0,0529 $\sigma + 13,82$	45,70...40,31
C ⁴⁰ / ₅₀	600...499	0,0530 $\sigma + 13,78$	45,56...40,21	667...554	0,0473 $\sigma + 16,70$	48,23...42,89
C ⁴⁵ / ₅₅	656...545	0,0480 $\sigma + 16,33$	47,80...42,47	729...607	0,0427 $\sigma + 19,26$	50,41...45,20
C ⁵⁰ / ₆₀	711...591	0,0437 $\sigma + 18,69$	49,78...44,53	791...659	0,0386 $\sigma + 21,82$	52,35...47,26
Отпускная прочность, %						
90			100			
C ¹² / ₁₅	230...197	0,1031 $\sigma - 0,9028$	22,80...19,40	246...211	0,0999 $\sigma - 0,4353$	24,15...20,65
C ¹⁶ / ₂₀	298...256	0,0911 $\sigma + 1,128$	28,27...24,45	319...274	0,0875 $\sigma + 1,903$	29,81...25,87
C ¹⁸ / _{22,5}	330...283	0,0854 $\sigma + 2,413$	30,61...26,59	355...304	0,0816 $\sigma + 2,413$	32,30...28,14
C ²⁰ / ₂₅	364...310	0,0798 $\sigma + 3,862$	32,91...28,60	396...333	0,0762 $\sigma + 4,863$	35,02...30,22
C ²² / _{27,5}	402...337	0,0756 $\sigma + 4,992$	35,39...30,47	438...363	0,0707 $\sigma + 6,595$	37,55...32,25
C ²⁵ / ₃₀	440...365	0,0702 $\sigma + 6,781$	37,65...32,39	480...398	0,0653 $\sigma + 8,518$	39,87...34,51
C ²⁸ / ₃₅	517...429	0,0613 $\sigma + 10,09$	41,77...36,38	565...469	0,0563 $\sigma + 12,21$	44,05...38,64
C ³⁰ / ₃₇	546...453	0,0580 $\sigma + 11,48$	43,16...37,76	597...496	0,0532 $\sigma + 13,70$	45,45...40,08
C ³² / ₄₀	591...491	0,0538 $\sigma + 13,42$	45,20...39,82	648...538	0,0486 $\sigma + 15,98$	47,49...42,14
C ³⁵ / ₄₅	665...553	0,0473 $\sigma + 16,69$	48,12...42,83	729...607	0,0427 $\sigma + 19,26$	50,41...45,20
C ⁴⁰ / ₅₀	737...613	0,0420 $\sigma + 19,67$	50,66...45,44	810...674	0,0373 $\sigma + 22,72$	52,90...47,84
C ⁴⁵ / ₅₅	807...672	0,0375 $\sigma + 22,56$	52,82...47,76	889...740	0,0328 $\sigma + 25,86$	55,02...50,13
C ¹² / ₁₅	877...730	0,0337 $\sigma + 25,21$	54,74...49,79	967...806	0,0295 $\sigma + 28,39$	56,88...52,14

С учетом зависимостей $k_1 = f(R)$ и $k_2 = f(R)$ получены выражения $P_{BK} = f(\sigma, R)$ для различных классов бетона по прочности на сжатие (таблица 2).

Ранее, в [9], на основании исследования составов бездобавочных бетонов классов по прочности на сжатие C⁸/₁₀–C⁴⁰/₅₀ были получены полиномиальные зависимости 3-ой степени $P_{BK} = f(\sigma, R)$ для марок бетонной смеси по удобоукладываемости Ж1...Ж4 (5...40 с).

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

Для оценки возможности применения зависимостей (1), как менее сложных, при достаточной точности, было выполнено сравнение полученных выражений по анализу граничных значений P_{BK} , определенных по выражениям (1) и (4).

Анализ полученных зависимостей показывает, что разница в значениях P_{BK} составляет до 7,0 %, при этом максимальная разница в абсолютных значениях P_{BK} – до 4,5 %. Такая разница практически соизмерима с точностью отбора проб цементно-песчаной фракции бетона (4 %) [2] и может считаться, таким образом, несущественной.

При производстве наиболее часто применяемых железобетонных изделий массово используются бетонные смеси марок по удобоукладываемости Ж1 и Ж2.

Таблица 2

Зависимости ПВК = $f(\text{Ц}, R)$ для бетонов различных классов по прочности на сжатие (подвижность смеси Ж1...Ж4) и отпускной прочности 70...100 %

Класс бетона по прочности на сжатие	Зависимость ПВК = $f(\text{Ц}, R)$	Класс бетона по прочности на сжатие	Зависимость ПВК = $f(\text{Ц}, R)$
C ¹² / ₁₅	$(-0,0003R + 0,1332)\text{Ц} + 0,0420R - 4,674$ (R = 70...100 %; Ц = 198...211 кг/м³)	C ³⁰ / ₃₇	$(-0,0005R + 0,1074)\text{Ц} + 0,2243R - 8,729$ (R = 70...100 %; Ц = 449...496 кг/м³)
C ¹⁶ / ₂₀	$(-0,0004R + 0,1242)\text{Ц} + 0,0716R - 5,285$ (R = 70...100 %; Ц = 256...274 кг/м³)	C ³² / ₄₀	$(-0,0005R + 0,1030)\text{Ц} + 0,2457R - 8,660$ (R = 70...100 %; Ц = 485...538 кг/м³)
C ¹⁸ / _{22,5}	$(-0,0004R + 0,1189)\text{Ц} + 0,0831R - 5,017$ (R = 70...100 %; Ц = 284...304 кг/м³)	C ³⁵ / ₄₅	$(-0,0005R + 0,0954)\text{Ц} + 0,2680R - 7,516$ (R = 70...100 %; Ц = 543...607 кг/м³)
C ²⁰ / ₂₅	$(-0,0004R + 0,1164)\text{Ц} + 0,1026R - 5,430$ (R = 70...100 %; Ц = 311...333 кг/м³)	C ⁴⁰ / ₅₀	$(-0,0005R + 0,0894)\text{Ц} + 0,2980R - 7,115$ (R = 70...100 %; Ц = 600...674 кг/м³)
C ²² / _{27,5}	$(-0,0004R + 0,112)\text{Ц} + 0,1154R - 5,211$ (R = 70...100 %; Ц = 337...363 кг/м³)	C ⁴⁵ / ₅₅	$(-0,0005R + 0,0834)\text{Ц} + 0,3188R - 6,099$ (R = 70...100 %; Ц = 656...740 кг/м³)
C ²⁵ / ₃₀	$(-0,0005R + 0,1149)\text{Ц} + 0,1591R - 7,453$ (R = 70...100 %; Ц = 364...398 кг/м³)	C ⁵⁰ / ₆₀	$(-0,0005R + 0,0768)\text{Ц} + 0,2950R - 1,296$ (R = 70...100 %; Ц = 711...806 кг/м³)
C ²⁸ / ₃₅	$(-0,0005R + 0,1083)\text{Ц} + 0,2012R - 7,976$ (R = 70...100 %; Ц = 426...469 кг/м³)		

Зависимости ПВК = $f(\text{Ц}, R)$ для бетонов классов по прочности на сжатие C¹²/₁₅–C⁵⁰/₆₀ смесей марок по удобоукладываемости Ж1 (5...10 с) и Ж2 (10...20 с) приведены, соответственно, в таблицах 3 и 4.

Таким образом, по результатам исследований показано, что для расчета (прогнозирования) величин предельной карбонизации бетона можно пользоваться с достаточной точностью, укрупненной зависимостью ПВК = $f(\text{Ц}, R)$, представленной в таблице 2, либо зависимостями, приведенными в таблицах 3 и 4.

Таблица 3

Зависимости ПВК = $f(\text{Ц}_{\text{Ж1}}, R)$ для бетонов различных классов по прочности на сжатие (подвижность смеси Ж1) и отпускной прочности 70...100 %

Класс бетона по прочности на сжатие	Зависимость ПВК = $f(\text{Ц}_{\text{П1}}, R)$	Класс бетона по прочности на сжатие	Зависимость ПВК = $f(\text{Ц}_{\text{П1}}, R)$
C ¹² / ₁₅	$(-0,0003R + 0,1265)\text{Ц} + 0,0368R - 4,011$ (R = 70...100 %; Ц = 198...238 кг/м³)	C ³⁰ / ₃₇	$(-0,0005R + 0,1017)\text{Ц} + 0,2254R - 7,125$ (R = 70...100 %; Ц = 449...574 кг/м³)
C ¹⁶ / ₂₀	$(-0,0003R + 0,1199)\text{Ц} + 0,0633R - 4,227$ (R = 70...100 %; Ц = 256...309 кг/м³)	C ³² / ₄₀	$(-0,0005R + 0,1003)\text{Ц} + 0,2657R - 8,666$ (R = 70...100 %; Ц = 485...622 кг/м³)
C ¹⁸ / _{22,5}	$(-0,0003R + 0,1123)\text{Ц} + 0,0773R - 3,679$ (R = 70...100 %; Ц = 284...342 кг/м³)	C ³⁵ / ₄₅	$(-0,0005R + 0,0920)\text{Ц} + 0,2911R - 7,215$ (R = 70...100 %; Ц = 543...701 кг/м³)
C ²⁰ / ₂₅	$(-0,0004R + 0,1110)\text{Ц} + 0,0937R - 3,974$ (R = 70...100 %; Ц = 311...381 кг/м³)	C ⁴⁰ / ₅₀	$(-0,0005R + 0,0841)\text{Ц} + 0,3059R - 5,485$ (R = 70...100 %; Ц = 600...778 кг/м³)
C ²² / _{27,5}	$(-0,0005R + 0,1192)\text{Ц} + 0,1595R - 8,253$ (R = 70...100 %; Ц = 337...421 кг/м³)	C ⁴⁵ / ₅₅	$(-0,0005R + 0,0785)\text{Ц} + 0,3269R - 4,595$ (R = 70...100 %; Ц = 656...854 кг/м³)
C ²⁵ / ₃₀	$(-0,0006R + 0,1187)\text{Ц} + 0,1984R - 9,817$ (R = 70...100 %; Ц = 364...461 кг/м³)	C ⁵⁰ / ₆₀	$(-0,0004R + 0,0714)\text{Ц} + 0,3249R - 1,644$ (R = 70...100 %; Ц = 711...929 кг/м³)
C ²⁸ / ₃₅	$(-0,0001R + 0,0619)\text{Ц} + 0,0165R + 10,93$ (R = 70...100 %; Ц = 426...543 кг/м³)		

Таблица 4

**Зависимости ПВК = $f(\rho_{ж2}, R)$ для бетонов различных классов по прочности на сжатие
(подвижность смеси Ж2) и отпускной прочности 70...100 %**

Класс бетона по прочности на сжатие	Зависимость ПВК = $f(\rho_{п1}, R)$	Класс бетона по прочности на сжатие	Зависимость ПВК = $f(\rho_{п1}, R)$
C ¹² / ₁₅	$(-0,0005R + 0,1481)\rho + 0,0921R - 8,991$ (R = 70...100 %; $\rho = 190...227 \text{ кг/м}^3$)	C ³⁰ / ₃₇	$(-0,0005R + 0,1029)\rho + 0,2114R - 7,081$ (R = 70...100 %; $\rho = 429...543 \text{ кг/м}^3$)
C ¹⁶ / ₂₀	$(-0,0004R + 0,1241)\rho + 0,0754R - 5,424$ (R = 70...100 %; $\rho = 248...295 \text{ кг/м}^3$)	C ³² / ₄₀	$(-0,0005R + 0,1011)\rho + 0,2389R - 7,712$ (R = 70...100 %; $\rho = 463...589 \text{ кг/м}^3$)
C ¹⁸ / _{22,5}	$(-0,0003R + 0,1163)\rho + 0,0782R - 4,433$ (R = 70...100 %; $\rho = 273...327 \text{ кг/м}^3$)	C ³⁵ / ₄₅	$(-0,0005R + 0,0953)\rho + 0,2805R - 8,004$ (R = 70...100 %; $\rho = 519...663 \text{ кг/м}^3$)
C ²⁰ / ₂₅	$(-0,0004R + 0,1198)\rho + 0,1163R - 6,594$ (R = 70...100 %; $\rho = 299...360 \text{ кг/м}^3$)	C ⁴⁰ / ₅₀	$(-0,0005R + 0,0881)\rho + 0,2975R - 6,516$ (R = 70...100 %; $\rho = 573...737 \text{ кг/м}^3$)
C ²² / _{27,5}	$(-0,0003R + 0,1016)\rho + 0,0915R - 2,200$ (R = 70...100 %; $\rho = 324...398 \text{ кг/м}^3$)	C ⁴⁵ / ₅₅	$(-0,0005R + 0,0850)\rho + 0,3486R - 7,716$ (R = 70...100 %; $\rho = 626...808 \text{ кг/м}^3$)
C ²⁵ / ₃₀	$(-0,0006R + 0,1283)\rho + 0,2147R - 12,95$ (R = 70...100 %; $\rho = 348...436 \text{ кг/м}^3$)	C ⁵⁰ / ₆₀	$(-0,0005R + 0,0758)\rho + 0,3273R - 3,735$ (R = 70...100 %; $\rho = 679...880 \text{ кг/м}^3$)
C ²⁸ / ₃₅	$(-0,0005R + 0,1088)\rho + 0,2121R - 8,350$ (R = 70...100 %; $\rho = 406...513 \text{ кг/м}^3$)		

Необходимо отметить, что полученные зависимости могут быть использованы при известных составах бетонной смеси.

Список источников

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; Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2013. – 303 с.
3. 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.
4. 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.
5. Васильев, А. А. Критерии оценки технического состояния железобетонных элементов по физико-химическим характеристикам бетона / А. А. Васильев // Вопросы внедрения норм проектирования и стандартов Европейского союза в области строительства: сб. науч-техн. статей: В 2 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. Нац. техн. ун-т – Минск: БНТУ, 2012. – Ч. 2. – С. 39–47.
6. Васильев, А. А. Оценка применимости бетонов в железобетонных элементах и конструкциях для различных эксплуатационных условий / А. А. Васильев // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2017. – № 2 (35). – С. 133–135.
7. 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.
8. Анализ предельной величины карбонизации бетона для различных классов бетона по прочности на сжатие / А. А. Васильев [и др.] // Вестник Белорус. гос. ун-та трансп. – Гомель: БелГУТ, 2022. – № 1 (44). – С. 88–90.

9. Васильев, А. А. Оценка предельной величины карбонизации бетона / А. А. Васильев, Ю. К. Кабышева, Н. А. Леонов // SCIENCE AND EDUCATION: PROBLEMS AND INNOVATIONS: сб. ст. VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза: МЦНС «Наука и просвещение», 2021. – С. 22–25.

10. Степанцов, Д. С. Проектирование состава бетона с использованием вычислительного комплекса «Технолог»: учеб.-метод. пособие / Д. С. Степанцов, А. А. Васильев, В. В. Бабицкий; Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2013. – 48 с.