

УДК 691.32:666

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТВЕРДЕНИЯ БЕТОНА НА ЕГО МОРОЗОСТОЙКОСТЬ

к.т.н., доц. Чуб А. А.

Запорожская государственная инженерная академия

Постановка проблемы. При бетонировании монолитных железобетонных сооружений, во многих случаях, необходимо применение ускоренных методов твердения бетона, применение которых во всех случаях уменьшает его морозостойкость.

Анализ последних исследований и публикаций не позволил автору настоящей статьи установить эффективную методику, позволяющую количественно оценить изменение морозостойкости бетона вследствие применения ускоренных методов его твердения, так как они не охватывают современных возможностей исследования бетонных смесей с применением технологических характеристик — концентрации цемента в единице объема бетонной смеси ($C_{ц}$) и коэффициента нормальной плотности цементного теста в бетонной смеси ($K_{НП}$) [1–7].

Целью настоящей статьи является возможность представить исследования влияния технологических условий твердения бетона на его прочность и морозостойкость.

Изложение основного материала. В качестве факторов, оказывающих влияние на свойства бетона, были приняты: время предварительной выдержки бетона перед ускоренным твердением (J , ч), скорость подъема температуры (U , °C/ч) и температура изотермической выдержки (T , °C).

Установлены области их определения: J – меняется от 0 до 4 часов, U – от 10 до 30 °C/час, T – от 50 до 90°C. Скорость охлаждения изделий для всех технологических режимов была идентичной. Чтобы избежать разногласий о "зрелости" бетона, прошедшего тот или иной режим обработки, было принято решение, что все испытания бетона будут проходить в марочном, 28 суточном возрасте. Исследовались параметры структуры бетона, его прочность и морозостойкость. По каждому из запланированных режимов прогрева бетона дополнительно контролировали его деформации.

Характеристики исследуемых составов бетонных смесей представлены в таблице 1.

Матрица планирования эксперимента и характеристики свойств бетонов, представлены в таблице 2.

Характеристики пористости, прочности и морозостойкости бетона представлены в таблице 3.

Исследованиями установлено, что деструктивный процесс в бетоне характеризуется необратимым приращением его объема. Следовательно, линейные деформации бетона, в процессе его ускоренного твердения и остаточные деформации, после остывания бетона, являются достаточно надежными критериями оценки деструкции бетона в различные периоды его

твердения. Остаточные деформации бетона позволяют судить о степени деструкции капиллярно-пористого строения бетона.

Таблица 1

Характеристики исследуемых составов бетонных смесей

№ состава	$K_{НГ}$	B/C	C , кг	$Щ$, кг	$П$, кг	$Ж_{Ф}$, кг	$V_{воз}$, %	m_v , кг	K_y
1	1,0	0,845	200	1296	712	169	1,55	2378	0,98
2	1,0	0,445	400	1176	627	178	2,0	2381	0,98
3	1,0	0,342	600	1055	470	205	3,35	2331	0,97
Составы с комплексной химической добавкой: С – 3, ГКЖ – 11К, СКС-65ГП									
4	1,0	0,845	200	1293	715	169	1,56	2378	0,98
5	1,0	0,445	400	1173	630	178	2,0	2381	0,98
6	1,0	0,342	600	1052	473	205	3,36	2331	0,97

В результате реализации матрицы планирования эксперимента разработаны трехфакторные математические модели, позволяющие оценить влияние параметров режима твердения бетона на его прочность, морозостойкость и остаточные деформации.

Прочность бетона с комплексной химической добавкой, при расходе цемента 400 кг/м^3 ($R_a^{дд}$, кг/см²):

$$R_a^{дд} = 446,7 + 6,3 \times J - 0,7647 \times U - 1,22 \times T + 0,0064 \times (T)^2 ; \quad (1)$$

Морозостойкость бетона с комплексной химической добавкой, при расходе цемента 400 кг/м^3 ($M_6^{дд}$, циклы):

$$M_6^{дд} = 275,6 + 4,7 \times J - 0,5346 \times U - 0,9579 \times T - 0,9167 \times (J)^2 + ; \\ + 0,0262 \times J \times U - 0,0167 \times (U)^2 + 0,0046 \times (T)^2 ; \quad (2)$$

Морозостойкость бетона без химических добавок, при расходе цемента 600 кг/м^3 ($M_{рз}$, циклы):

$$M_{дс} = 303 - 0,7244 \times T - 1,11 \times (J)^2 + 0,3125 \times J \times U + 0,05 \times J \times T - ; \\ - 0,0294 \times (U)^2 - 0,01 \times U \times T + 0,0026 \times (T)^2 ; \quad (3)$$

Морозостойкость бетона с комплексной химической добавкой, при расходе цемента 600 кг/м^3 ($M_{рз}^{дд}$, циклы):

$$M_{дс}^{дд} = 436 - 1,06 \times T - 1,5833 \times (J)^2 + 0,45 \times J \times U + 0,0688 \times J \times T - ; \\ - 0,0383 \times (U)^2 - 0,015 \times U \times T + 0,0042 \times (T)^2 ; \quad (4)$$

Анализ разработанных зависимостей показывает, что прочность и морозостойкость бетона снижаются при сокращении времени предварительной выдержки, увеличении скорости подъема температуры и температуры изотермической выдержки, при использовании ускоренных методов твердения бетона. Разработанные математические модели позволяют количественно оценить это снижение и прогнозировать снижение прочности и морозостойкости бетона при использовании ускоренных методов твердения бетона после укладки бетонной смеси.

При анализе ускоренных методов твердения бетонной смеси и набора прочности бетона следует использовать "эталонные" образцы, которые готовятся из тех же исходных материалов, по той же технологии, но

условия твердения их нормальные или в воде, при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Эталонные образцы бетона могут быть приготовлены из бетонной смеси, отобранной с места ее укладки при бетонировании конструкций или сооружений.

Таблица 2

Матрица планирования эксперимента и характеристики свойств бетона

№ Режи- ма	J, ч (X ₁)	U, °C/ч (X ₂)	T, °C (X ₃)	Расход цемента на 1 м ³ бетона, кг						
				200		400		600		
				R _б , МПа	M _{рзс} , ц/кг	R _б , МПа	M _{рзс} , ц/кг	C _{ост} , мм ³ /м	R _б , МПа	M _{рзс} , ц/кг
1	4	30	90	<u>17,07</u>	<u>40</u>	<u>38,3</u>	<u>155</u>	<u>1,06</u>	<u>53,9</u>	<u>255</u>
				17,12	55	38,6	220	1,04	54,2	365
2	4	30	90	<u>17,67</u>	<u>40</u>	<u>39,6</u>	<u>165</u>	<u>0,63</u>	<u>55,7</u>	<u>270</u>
				17,70	60	40,0	235	0,62	56,1	390
3	4	10	50	<u>17,57</u>	<u>40</u>	<u>39,4</u>	<u>160</u>	<u>0,7</u>	<u>55,4</u>	<u>270</u>
				17,60	60	39,7	235	0,68	55,8	385
4	4	10	90	<u>18,04</u>	<u>45</u>	<u>40,5</u>	<u>170</u>	<u>0,37</u>	<u>56,9</u>	<u>280</u>
				18,08	65	40,8	245	0,34	57,2	400
5	0	30	50	<u>15,21</u>	<u>30</u>	<u>34,1</u>	<u>125</u>	<u>2,67</u>	<u>48,0</u>	<u>205</u>
				15,25	45	36,5	190	2,64	48,3	300
6	0	30	90	<u>16,34</u>	<u>35</u>	<u>36,7</u>	<u>140</u>	<u>1,65</u>	<u>51,6</u>	<u>235</u>
				16,38	50	37,0	205	1,64	51,9	340
7	0	10	50	<u>16,9</u>	<u>40</u>	<u>37,9</u>	<u>150</u>	<u>1,23</u>	<u>53,3</u>	<u>250</u>
				16,95	55	38,2	220	1,22	53,6	360
8	0	10	90	<u>17,50</u>	<u>40</u>	<u>39,3</u>	<u>160</u>	<u>0,72</u>	<u>55,2</u>	<u>265</u>
				17,54	60	39,6	230	0,7	55,5	380
9	4	20	50	<u>17,62</u>	<u>40</u>	<u>39,5</u>	<u>165</u>	<u>0,65</u>	<u>55,6</u>	<u>270</u>
				17,66	60	39,8	235	0,63	55,9	385
10	0	20	70	<u>16,57</u>	<u>35</u>	<u>37,2</u>	<u>145</u>	<u>1,47</u>	<u>52,3</u>	<u>240</u>
				16,61	50	37,5	210	1,46	52,6	345
11	2	30	70	<u>16,81</u>	<u>40</u>	<u>37,7</u>	<u>150</u>	<u>1,26</u>	<u>53,0</u>	<u>245</u>
				16,85	55	38,0	215	1,25	53,3	355
12	2	10	70	<u>17,51</u>	<u>40</u>	<u>39,3</u>	<u>160</u>	<u>0,71</u>	<u>55,3</u>	<u>265</u>
				17,56	60	39,6	230	0,7	55,6	380
13	2	20	90	<u>17,01</u>	<u>40</u>	<u>38,2</u>	<u>155</u>	<u>1,14</u>	<u>53,6</u>	<u>250</u>
				17,05	55	38,5	220	1,12	53,9	360
14	2	20	50	<u>17,63</u>	<u>40</u>	<u>39,5</u>	<u>165</u>	<u>0,64</u>	<u>55,6</u>	<u>270</u>
				17,67	60	39,5	235	0,62	55,9	385
15	2	20	70	<u>17,30</u>	<u>40</u>	<u>38,8</u>	<u>160</u>	<u>0,87</u>	<u>54,6</u>	<u>260</u>
				17,35	55	39,1	230	0,85	54,9	375
16	Твердение в воде при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 28 суток (эта лонный образец)			<u>18,4</u>	<u>45</u>	<u>41,0</u>	<u>175</u>	-	<u>58,0</u>	<u>290</u>
				18,5	65	41,5	250		58,5	410

Примечания: Над чертой – характеристики бетона без химических добавок;
под чертой – характеристики бетона с комплексной химической добавкой.

Таблица 3

Характеристики пористости, прочности и морозостойкости бетона

№ Режи ма	Расход цемента на м ³ бетона, кг											
	200				400				600			
	$\Pi_{0,}$ %	Δ $\Pi_{0,}$ %	$\frac{R''}{\bar{b}}$ $\frac{M''}{pз}$ $\frac{R^3}{M^p}$ \bar{b} pз	$\frac{R''}{\bar{b}}$ $\frac{M''}{pз}$ $\frac{R^3}{M^p}$ pз	$\Pi_{0,}$ %	Δ $\Pi_{0,}$ %	$\frac{R''}{\bar{b}}$ $\frac{M''}{pз}$ $\frac{R^3}{M^p}$ \bar{b} pз	$\frac{R''}{\bar{b}}$ $\frac{M''}{pз}$ $\frac{R^3}{M^p}$ pз	$\Pi_{0,}$ %	Δ $\Pi_{0,}$ %	$\frac{R''}{\bar{b}}$ $\frac{M''}{pз}$ $\frac{R^3}{M^p}$ \bar{b} pз	$\frac{R''}{\bar{b}}$ $\frac{M''}{pз}$ $\frac{R^3}{M^p}$ pз
1	<u>17</u> <u>62</u> 17, 58	<u>1,2</u> <u>7</u> 1,2 8	<u>0</u> <u>93</u> 0, 92	<u>0,8</u> <u>9</u> 0,8 5	<u>17</u> <u>07</u> 16, 93	<u>1,2</u> <u>3</u> 1,1 8	<u>0</u> <u>93</u> 0, 93	<u>0,8</u> <u>9</u> 0,8 8	<u>19</u> <u>66</u> 19, 56	<u>1,4</u> <u>1</u> 1,4 2	<u>0</u> <u>93</u> 0, 93	<u>0,8</u> <u>8</u> 0,8 9
2	<u>17</u> <u>03</u> 17, 0	<u>0,6</u> <u>8</u> 0, 0,7	<u>0</u> <u>96</u> 0, 96	<u>0,8</u> <u>9</u> 0,9 2	<u>16</u> <u>5</u> 16, 37	<u>0,6</u> <u>6</u> 0, 2	<u>0</u> <u>97</u> 0, 96	<u>0,9</u> <u>4</u> 0,9 4	<u>19</u> <u>01</u> 18, 9	<u>0,7</u> <u>6</u> 0,7 6	<u>0</u> <u>96</u> 0, 96	<u>0,9</u> <u>3</u> 0,9 5
3	<u>17</u> <u>12</u> 17, 08	<u>0,7</u> <u>7</u> 0,7 8	<u>0</u> <u>96</u> 0, 95	<u>0,8</u> <u>9</u> 0,9 2	<u>16</u> <u>59</u> 16, 46	<u>0,7</u> <u>5</u> 0,7 1	<u>0</u> <u>96</u> 0, 96	<u>0,9</u> <u>1</u> 0,9 4	<u>19</u> <u>11</u> 19, 00	<u>0,8</u> <u>6</u> 0,8 6	<u>0</u> <u>96</u> 0, 96	<u>0,9</u> <u>3</u> 0,9 4
4	<u>16</u> <u>68</u> 16, 64	<u>0,3</u> <u>3</u> 0,3 4	<u>0</u> <u>98</u> 0, 98	<u>1,0</u> <u>1,0</u> 1,0 1,0	<u>16</u> <u>16</u> 16, 03	<u>0,3</u> <u>2</u> 0,2 8	<u>0</u> <u>99</u> 0, 98	<u>0,9</u> <u>7</u> 0,9 8	<u>18</u> <u>62</u> 18, 51	<u>0,3</u> <u>7</u> 0,3 7	<u>0</u> <u>98</u> 0, 98	<u>0,9</u> <u>7</u> 0,9 8
5	<u>19</u> <u>78</u> 19, 74	<u>3,4</u> <u>3</u> 0,4 4	<u>0</u> <u>83</u> 0, 82	<u>0,6</u> <u>7</u> 0,6 9	<u>19</u> <u>16</u> 19, 0	<u>3,3</u> <u>2</u> 3,2 5	<u>0</u> <u>83</u> 0, 88	<u>0,7</u> <u>1</u> 0,7 6	<u>22</u> <u>07</u> 21, 96	<u>3,8</u> <u>2</u> 3,8 2	<u>0</u> <u>83</u> 0, 83	<u>0,7</u> <u>1</u> 0,7 3
6	<u>18</u> <u>41</u> 18, 37	<u>2,0</u> <u>6</u> 2,0 7	<u>0</u> <u>89</u> 0, 89	<u>0,7</u> <u>8</u> 0,7 7	<u>17</u> <u>84</u> 17, 7	<u>2,0</u> <u>1,9</u> 1,9 5	<u>0</u> <u>89</u> 0, 89	<u>0,8</u> <u>0</u> 0,8 2	<u>20</u> <u>55</u> 20, 44	<u>2,3</u> <u>3</u> 2,3 2,3	<u>0</u> <u>89</u> 0, 89	<u>0,8</u> <u>1</u> 0,8 3
7	<u>17</u> <u>8</u> 17, 75	<u>1,4</u> <u>5</u> 1,4 5	<u>0</u> <u>92</u> 0, 92	<u>0,8</u> <u>9</u> 0,8 5	<u>17</u> <u>24</u> 17, 1	<u>1,4</u> <u>1,3</u> 1,3 5	<u>0</u> <u>92</u> 0, 92	<u>0,8</u> <u>6</u> 0,8 8	<u>19</u> <u>86</u> 19, 75	<u>1,6</u> <u>1</u> 1,6 1	<u>0</u> <u>92</u> 0, 92	<u>0,8</u> <u>6</u> 0,8 8
8	<u>17</u> <u>19</u> 17, 15	<u>0,8</u> <u>4</u> 0,8 5	<u>0</u> <u>95</u> 0, 95	<u>0,8</u> <u>9</u> 0,9 2	<u>16</u> <u>65</u> 16, 52	<u>0,8</u> <u>1</u> 0,7 7	<u>0</u> <u>96</u> 0, 95	<u>0,9</u> <u>1</u> 0,9 2	<u>19</u> <u>18</u> 19, 07	<u>0,9</u> <u>3</u> 0,9 3	<u>0</u> <u>95</u> 0, 95	<u>0,9</u> <u>1</u> 0,9 3
9	<u>17</u> <u>08</u> 17, 17	<u>0,7</u> <u>3</u> 0,7 0,7	<u>0</u> <u>96</u> 0, 96	<u>0,8</u> <u>9</u> 0,9 0,9	<u>16</u> <u>55</u> 16, 16	<u>0,7</u> <u>1</u> 0,6 0,6	<u>0</u> <u>96</u> 0, 96	<u>0,9</u> <u>4</u> 0,9 0,9	<u>19</u> <u>07</u> 18, 18	<u>0,8</u> <u>2</u> 0,8 0,8	<u>0</u> <u>96</u> 0, 96	<u>0,9</u> <u>3</u> 0,9 0,9

	04	4	96	2	42	7	96	4	96	2	96	4
10	<u>18</u> ,	<u>1,8</u>	<u>0</u> ,	<u>0,7</u>	<u>17</u> ,	<u>1,7</u>	<u>0</u> ,	<u>0,8</u>	<u>20</u> ,	<u>2,0</u>	<u>0</u> ,	<u>0,8</u>
	<u>16</u>	<u>1</u>	<u>90</u>	<u>8</u>	<u>59</u>	<u>5</u>	<u>91</u>	<u>3</u>	<u>26</u>	<u>1</u>	<u>90</u>	<u>3</u>
	18,	1,8	0,	0,7	17,	1,7	0,	0,8	20,	2,0	0,	0,8
	11	1	90	7	45	5	90	4	16	1	90	4
11	<u>17</u> ,	<u>1,5</u>	<u>0</u> ,	<u>0,8</u>	<u>17</u> ,	<u>1,5</u>	<u>0</u> ,	<u>0,8</u>	<u>19</u> ,	<u>1,7</u>	<u>0</u> ,	<u>0,8</u>
	<u>9</u>	<u>5</u>	<u>91</u>	<u>9</u>	<u>34</u>	<u>1,4</u>	<u>92</u>	<u>6</u>	<u>98</u>	<u>3</u>	<u>91</u>	<u>5</u>
	17,	1,5	0,	0,8	17,	1,4	0,	0,8	19,	1,7	0,	0,8
	86	6	91	5	2	5	92	6	87	3	91	7
12	<u>17</u> ,	<u>0,8</u>	<u>0</u> ,	<u>0,8</u>	<u>16</u> ,	<u>0,8</u>	<u>0</u> ,	<u>0,9</u>	<u>19</u> ,	<u>0,9</u>	<u>0</u> ,	<u>0,9</u>
	<u>18</u>	<u>3</u>	<u>95</u>	<u>9</u>	<u>64</u>	<u>0,7</u>	<u>96</u>	<u>1</u>	<u>17</u>	<u>2</u>	<u>95</u>	<u>1</u>
	17,	0,8	0,	0,9	16,	0,7	0,	0,9	19,	0,9	0,	0,9
	13	3	95	2	51	6	95	2	06	2	95	3
13	<u>17</u> ,	<u>1,3</u>	<u>0</u> ,	<u>0,8</u>	<u>17</u> ,	<u>1,3</u>	<u>0</u> ,	<u>0,8</u>	<u>19</u> ,	<u>0</u> ,	<u>0,8</u>	
	<u>69</u>	<u>4</u>	<u>92</u>	<u>9</u>	<u>14</u>	<u>1,2</u>	<u>93</u>	<u>9</u>	<u>75</u>	<u>1,5</u>	<u>92</u>	<u>6</u>
	17,	1,3	0,	0,8	17,	1,2	0,	0,8	19,	1,5	0,	0,8
	65	5	92	5	00	5	93	8	64		92	8
14	<u>17</u> ,	<u>0,7</u>	<u>0</u> ,	<u>0,8</u>	<u>16</u> ,	<u>0,7</u>	<u>0</u> ,	<u>0,9</u>	<u>19</u> ,	<u>0,8</u>	<u>0</u> ,	<u>0,9</u>
	<u>07</u>	<u>2</u>	<u>96</u>	<u>9</u>	<u>54</u>	<u>0,6</u>	<u>96</u>	<u>4</u>	<u>06</u>	<u>1</u>	<u>96</u>	<u>3</u>
	17,	0,7	0,	0,9	16,	0,6	0,	0,9	18,	0,8	0,	0,9
	03	3	96	2	41	6	96	4	95	1	96	4
15	<u>17</u> ,	<u>1,0</u>	<u>0</u> ,	<u>0,8</u>	<u>16</u> ,	<u>1,0</u>	<u>0</u> ,	<u>0,9</u>	<u>19</u> ,	<u>1,1</u>	<u>0</u> ,	<u>0,9</u>
	<u>38</u>	<u>3</u>	<u>94</u>	<u>9</u>	<u>84</u>	<u>0,9</u>	<u>95</u>	<u>1</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>94</u>	<u>0</u>
	17,	1,0	0,	0,8	16,	0,9	0,	0,9	19,	1,1	0,	0,9
	34	4	94	5	71	6	94	2	25	5	94	1
16	<u>16</u> ,				<u>15</u> ,				18,			
	<u>35</u>	-	-	-	<u>84</u>	-	-	-	25	-	-	<u>4</u>
	16,				15,				18,			
	3				75				14			

Примечания: Над чертой – характеристики бетона без химических добавок; под чертой – характеристики бетона того же состава с комплексной химической добавкой

Морозостойкость бетона, прошедшего ускоренный метод твердения, можно прогнозировать по формуле:

$$M_{дс}^{oi} = \frac{R_{a,oi}}{d} \left(\frac{1,36 \cdot \omega \cdot \dot{O}}{\dot{A}_{сдo} + V_{aic} + \dot{A}_{енп}^{oi} - \dot{A}_{енп}^{yo}} \right), \quad (5)$$

где: $R_{\sigma,ym}$ – прочность бетона, достигнутая ускоренным способом твердения ($\text{кг}/\text{см}^2$); d – атмосферное давление, в условиях которого происходят испытания бетона на морозостойкость ($\text{кг}/\text{см}^2$); ω – количество химически связанной воды в бетоне, в долях от расхода цемента ($\omega=0+0,25$); \dot{O} – расход цемента на 1м^3 (кг); $B_{зат}$ – объем воды (жидкой фазы) затворения на 1м^3 (л , кг); $V_{воз}$ – остаточный объем воздуха в уплотненной бетонной смеси; $B_{исп}^{ym}$ – объем испаряемой воды из бетона, прошедшего ускоренный метод твердения, на

момент испытаний (л, кг); $B_{исп}^{эт}$ – объем испаряемой воды из эталонного образца бетона, на момент испытаний.

Количество химически связанной воды в бетоне, подверженном ускоренному методу твердения, составит:

$$\omega = \frac{\hat{A}_{с\grave{a}o} + V_{\acute{a}c} - \hat{A}_{\acute{e}n\grave{i}}^{o\grave{i}}}{0,64 \cdot \hat{O}}, \quad (6)$$

где: ω – количество химически связанной воды в бетоне ($\omega=0\div 0,25$); $B_{исп}^{ум}$ – объем испаряемой воды из бетона, подверженного ускоренному методу твердения (л,кг); $B_{зат}$ – объем жидкой фазы затворения бетонной смеси (л, кг).

Вывод. Проведенные исследования и установленные закономерности влияния параметров режима ускоренных условий твердения бетона на его структуру, прочность и морозостойкость показывают, что они в полной мере могут быть оценены путем использования технологических характеристик бетонных смесей: концентрации цемента (C_{II}), определяемой расходом цемента на 1 м^3 бетона и коэффициента нормальной густоты цементного теста в бетонной смеси ($K_{НГ}$), в пределах 0,876–1,65.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Баженов Ю. М. Технология бетона / Ю. М. Баженов. – М. : Издательство ассоциации строительных вузов, 2003. – 500 с.
2. Серия «Строитель». Бетоны. Материалы. Технологии. Оборудование. — М.: Стройинформ, Ростов н/Д: Феникс, 2006. — 424 с.
3. Ушеров-Маршак А. В. Методология бетоноведения: научный, образовательный и прикладной аспекты / А. В. Ушеров-Маршак // Калориметрия цемента : сб. тр. – Х. : Факт, 2002. – С. 9–11.
4. Брандт А. М. Заметки о долговечности бетонных конструкций. Дороги и мосты / А. М. Брандт. – 2004. – №3 – С. 5–14.
5. Ушаков В. В. Применение новых видов бетонов для строительства и ремонта автомобильных дорог / Ушаков В. В, Васильев Ю. Э., Каменев В. В. // Проблемы современного бетона и железобетона: сб. тр. В 2 ч. Ч.2. Технология бетона. – Минск: Стринко, 2007. – 348 с.
6. Герасимова К. В. Властивості бетонної суміші, що містить полімери, в умовах дії знако-змінних температур / Герасимова К. В., Шишкін О. О., Мельниченко Н. П. // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. научн. тр., № 37. –Днепропетровск : ПГАСА, 2006. – С.97–102.
7. Хаюгин Ю. Г. Монолитный бетон: Технология производства работ / Ю. Г. Хаюгин. – Стройиздат, 1991. – 576 с.