

Совершенствование технологии приготовления бетонных смесей за счет применения суперпластификатора С-3

В статье представлены современные методы и технологии приготовления бетонных смесей, обладающих наилучшими технико-экономическими показателями для возведения монолитных зданий. Рассмотрен метод использования добавок (суперпластификатора С-3), улучшающих технологические параметры, механические свойства бетона и качество работ. Автор предлагает за счет применения добавки суперпластификатора С-3 в бетонную смесь в количестве 0,4% от массы цемента увеличить прочность на сжатие на 10–15 МПа, а также улучшить технологические параметры. Более эффективной оказалась пропорциональная загрузка барабана сразу всеми составляющими смеси, при подаче сухих компонентов «слоеным пирогом» на ленту конвейера и одновременной заливке воды (15% воды, в конце загрузки).

Ключевые слова: бетон, суперпластификатор С-3, пропорциональная загрузка, приготовление бетона, технологические показатели, однородность, удобоукладываемость, текучесть.



Wardak M. A.

Improvement of the technology of preparation of concrete mixtures through the use of superplasticizer C-3

The article discusses modern methods and technology for the preparation of concrete mixtures with the best technical and economic indicators for the construction of monolithic buildings. We have considered methods, technologies and additives (superplasticizer C-3), due to providing technological parameters, mechanical properties of concrete and good quality of work. As a result, the author proposes that, due to the use of the addition of superplasticizer C-3 to concrete mixtures in the amount of 0.4% by weight of cement, it increases the compressive strength by 10 Map as well as improving technological parameters, and more effective was the proportional loading of the drum with all the components of the mixture at once when the dry components were fed in a «layer pie» on the conveyor belt and at the same time pouring water (15% water, at the end of the load).

Keywords: concrete, superplasticizer C-3, proportional loading, concrete preparation, technological indicators, uniformity, workability, fluidity.

**Вардак
Мохаммад
Алем**

аспирант,
Санкт-Петербургский
государственный архи-
тектурно-строительный
университет (СПбГАСУ),
преподаватель,
Кабульский политехниче-
ский университет,
Санкт-Петербург,
Российская Федерация
e-mail:
alem.wardak@yahoo.com

Введение

Бетон — один из древнейших строительных материалов, который появился более тысячи лет назад. Он использовался еще во II в. до н. э. Анализ научно-технической литературы показывает, что русские специалисты еще в 1802 г. применяли армированный бетон, но тогда они не думали, что получили новый строительный материал, поэтому не патентовали его. В С.-Петербурге в 1861 г. построили первое здание Госбанка из монолитного железобетона. К началу XX в. был накоплен значительный опыт строительства из монолитного бетона и железобетона во всем мире [1, 3, 5].

Параллельно развивались и исследования бетона, частью которых является данная статья. В 1885 г. немецкий профессор И. Баушингер и инженер Вайс впервые проводили испытания по определению прочности и огнестойкости бетонных конструкций, положения арматуры

в бетоне и их защите от коррозии. В 1886 г. М. Кенен впервые предложил метод расчета бетонных и железобетонных конструкций. После этого более широкое распространение железобетон получил в Германии и Австро-Венгрии. В 1845 г. профессор И. Г. Малюгин провел исследование бетона. Результат работы опубликован под заголовком «Составы и способы приготовления цементного раствора (бетона) для получения наибольшей крепости». В 1904 г. в г. Николаеве по проекту русских инженеров Н. Пятницкого и А. Барышникова построен первый в мире морской маяк из монолитного железобетона высотой 36 м со стенами толщиной 10 см в верхней части и до 20 см в нижней [1, 2, 5].

В 1965 г. в Москве построена башня телецентра высотой 522 м, которая до высоты 385 м выполнена из монолитного предварительно напряженного железобетона. Она считается



Иллюстрация 1. Дворец Дарламан в г. Кабул, Афганистан. 1925–1927 гг. Источник: <http://en.darul-aman.net/>



Иллюстрация 2. Чехелстонский дворец в г. Кабул, Афганистан. 1796–1880 гг. Источник: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Hendaki_Palace,_the_Emír%27s_residence,_Kabul_Wellcome_L0025004.jpg

образом третьего этапа развития монолитного домостроения. В Советском Союзе и в современной России велись и ведутся обширные исследования бетона и железобетона, в результате которых появились новые методы и гипотезы для теоретических расчетов, а также практических применений бетона и железобетона, решения общих проблем, улучшения его физико-механических свойств. Можно упомянуть в этой связи теорию ползучести бетона (увеличение деформации со временем), расчет устойчивости бетонных конструкций против динамического воздействия (землетрясение, ветер) и статического воздействия, расчет нелинейности железобетона [1, 2, 11, 13].

Анализ научно-технической литературы показывает, что в Афганистане бетон использовался при строительстве зданий с древних времен. Лучшим примером может служить Чехелстонский дворец, построенный в 1796–1880 гг. В 1920 г. во времена правления шаха Аманулла-Хана при сотрудничестве с Германией построен дворец Дарламан, в котором использовались бетон и железобетон, а также глина и кирпич (Иллюстрации 1, 2). Можно сказать, что некоторые части этих дворцов монолитны.

Технология приготовления бетонных смесей

Для дальнейшей работы необходимо коротко остановиться на технологической стороне вопроса о свойствах бетона, получаемых за счет различных добавок. На сегодняшний день в Афганистане при приготовлении бетонной смеси для эффективного регулирования ее технологических характеристик и улучшения физико-механических свойств затвердевшего бетона применяется большое количество химических добавок. В процессе исследований нами изучены добавки к бетону, которые разделяют на две группы — минеральные и химические (Иллюстрация 3).

Минеральные добавки в процесс изготовления бетонной смеси используются с целью снижения затрат на строительство, уменьшения водонепроницаемости бетона, повышения его прочности. Они влияют на другие качественные и функциональные характеристики бетона.

В данном исследовании мы добавляли в бетонную смесь суперпластификатор С-3. Влияние этой добавки на механические и технологические свойства бетона изучалось в ходе лабораторных испытаний. Суперпластификатор — специальная добавка, используемая в бетонных смесях для специальных конструкций, таких как плиты, панели перекрытий, массивные густоармированные конструкции, бетонные полы и покрытия [2, 5, 10, 11]. При добавлении суперпластификатора С-3 в количестве 0,25–0,70% от массы цемента можно получить высокоподвижные, удобнораскладываемые бе-

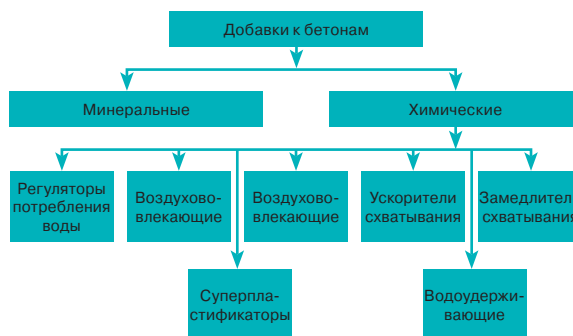


Иллюстрация 3. Классификация добавок к бетону. Автор А. М. Вардак. 2022 г.

тонные смеси, что упрощает их укладку и уплотнение. За счет добавки улучшаются и механические свойства бетона. Возможны промежуточные варианты: более высокая, чем обычно, удобнораскладываемость бетонной смеси при ее меньшей водопотребности с выраженным приростом прочности или снижение расхода цемента в подвижных или малоподвижных бетонных смесях при обеспечении требуемой прочности бетона. При применении суперпластификатора С-3 в количестве 0,25–0,70% от массы цемента можно улучшить следующие технологические и прочностные параметры смеси: до 15–18% — экономия цемента, на 18–23% — снижение водопотребления бетонной смеси для получения равноподвижного бетона. Прочность бетона увеличивается на 10–15 МПа. Происходит увеличение пластичности бетонных и растворных смесей по показателю удобнораскладываемости до П5. Это позволяет бетонировать густоармированные и обычные конструкции. Кроме того, происходит увеличение морозостойкости до F300 и снижение трудозатрат при укладке бетонной смеси [1, 5, 10].

Требования безопасности при работе с добавкой:

1 Суперпластификатор С3 — это добавка, которая является относительно опасным веществом и относится к третьему классу опасности по ГОСТ 12.1.007. При хранении он не выделяет вредных веществ или паров. Введение добавки в бетонную смесь не изменяет токсиколого-гигиенических характеристик бетона. Затвердевший бетон с добавкой в воздушную среду токсичных веществ не выделяет.

2 В отделениях приготовления растворов добавок и бетонных смесей необходимо предусматривать приточно-вытяжную вентиляцию.

Таблица 1. Техничко-экономические показатели бетона. Авторы: Ю. Г. Барабанщиков, М. В. Комаринский

Наименование технико-экономических показателей бетона	Сравнение технико-экономических показателей бетона с добавками с составом без добавки	
	При В/Ц = const	ОК = const
Сокращение вибрации	в 3–5 раз	в 1,3–1,5 раза
Сокращение продолжительности формования изделий, конструкций	в 2,5–3 раза	в 1,2–1,3 раза
Снижение затрат электроэнергии при укладке бетонной смеси	в 2,5–3,5 раза	в 1,1–1,3 раза
Снижение трудозатрат при изготовлении изделий	в 2–3 раза	в 1,2–1,4 раза
Улучшение поверхности строительных конструкций и изделий, уменьшение количества пор (при горизонтальном формовании)	в 1,1–1,3 раза	в 1,05–1,15 раза
Сокращение режима твердения бетона	—	на 2–4 часа
Снижение температуры изотермического прогрева	на 10–15 °С	на 15–20 °С
Снижение температуры изотермического прогрева	на 15–20%	на 15–20%
Увеличение производительности труда (выпуска продукции)	на 10–20%	на 20–30%

Таблица 2. Компоненты бетонной смеси и их количество. Автор М. А. Вардак

№	Проведены испытания бетонной смеси (испытание № 01)	Количественные данные		Спецификация
1	Минимальное количество цемента	453,4 кг		Минимум 450 кг/м³
2	Подвижность смеси	65 мм		Балки и плиты: 50~75 мм
3	Максимальный размер заполнителя	20 мм		Максимум 20 мм
4	Уменьшение массы из-за уплотнения 19 мм заполнителя металлическим стержнем (г/см³) (ASTM C-29/AASHTO T-19)	1,506 г/см³	1,372 г/см³	—
5	Уменьшение массы из-за уплотнения 9,5 мм заполнителя металлическим стержнем (г/см³) (ASTM C-29/AASHTO T-19)	1,544 г/см³	1,374 г/см³	—
6	Уменьшение массы из-за уплотнения мелкозернистого заполнителя металлическим стержнем (г/см³) (ASTM C-29/AASHTO T-19)	1,718 г/см³	1,600 г/см³	—
7	Удельный вес заполнителя 19 мм (ASTM C 127/AASHTO T-85)	2,659 г/см³		—
8	Удельный вес 9,5 мм заполнителя (ASTM C 127/AASHTO T-85)	2,637 г/см³		—
9	Удельный вес мелкозернистого заполнителя (ASTM C 128/AASHTO T-84)	2,746 г/см³		—
10	Поглощение % заполнителя 19 мм (ASTM C 127/AASHTO T-85)	0,51%		Макс. 2,5%
11	Поглощение % 9,5 мм заполнителя (ASTM C 127/AASHTO T-85)	0,66		Макс. 2,5%
12	Поглощение % мелкозернистого заполнителя (ASTM C 128/AASHTO T-84)	3,16		—
13	Испытание на истирание в Лос-Анджелесе (ASTM C 131/AASHTO T-96)	10%		< 35%
14	Эквивалентное значение песка для мелкозернистого заполнителя ASTM D 2491%	95%		—
15	Водно-цементное соотношение: согласно ACI 211	0,44		—
16	Крупный заполнитель (19 мм)	42,3%		—
17	Крупный заполнитель (9,5 мм)	22,8%		—
18	Песок	35,0%		—
19	Суммарное значение воздействия крупного заполнителя 19 мм (BS 812–112)	15,1%		≤ 30%
20	Суммарное значение воздействия крупного заполнителя 9,5 мм (BS 812–112)	0,23%		Потери не более 12%
21	Прочность мелкозернистого заполнителя, % (ASTM C-88/AASHTO T-104)	1,03		—
22	Индекс шелушения крупного заполнителя, % (ASTM–D 4791)	21,40%		< 35%
23	Удлинение крупного заполнителя, % (ASTM–D 4791)	18,24%		—
24	Разрушение двух сторон частицами при раздавливании, % (ASTM–D5821)	100,00%		—
25	Глинистые комки и рыхлые частицы крупного заполнителя, % (ASTM C-142)	12,00%		—
26	Глиняные комки и сыпучие частицы мелкого заполнителя, % (ASTM C-142)	2,3		—
27	Типичный процент вовлеченного воздуха для максимального размера заполнителя	2		В соответствии с таблицей 9–5

Таблица 3. Данные по прочности бетона на сжатие. Автор М. А. Вардак

№	Дата проведения испытания	Нагрузка, кН	Диаметр образцов для испытаний, мм			Площадь, см²	Прочность, МПа	Сила, кг/см²	Процент, %
			Высота	Диам. 1	Диам. 2				
1	15 мая 2021 г.	570,25	300,0	150,0	150,0	176,625	32,93	329,22	90,2
2	15 мая 2021 г.	544,82	300,0	150,0	150,0	176,625	31,46	314,54	86,2
3	15 мая 2021 г.	534,27	300,0	150,0	150,0	176,625	30,85	308,45	84,5

Набрано прочность через 7 дней без суперпластификаторов С-3

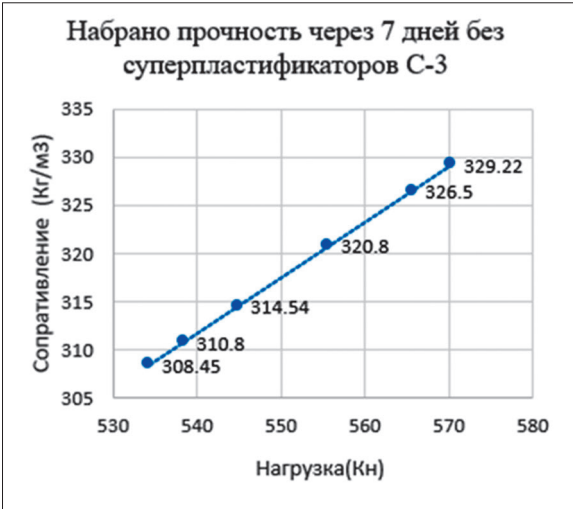


Иллюстрация 4. Набранная прочность бетона через 7 дней без суперпластификатора С-3. Автор М. А. Вардак

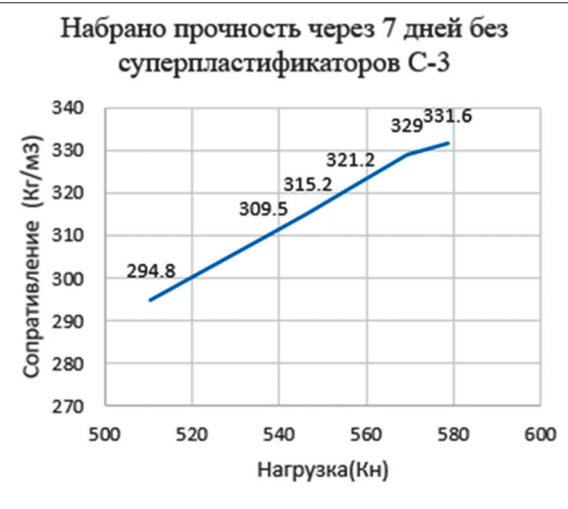


Иллюстрация 5. Пропорциональная загрузка сухих компонентов «слоеным пирогом» без суперпластификаторов С-3. Автор М. А. Вардак

3 Если бетон смешивается с этой добавкой, в закрытом помещении необходимо предусматривать приточно-вытяжную вентиляцию.

4 В помещении, где проводятся работы с порошкообразным суперпластификатором, не рекомендуется пользоваться открытым огнем, в том числе не рекомендуется производить электросварочные работы.

В Таблице 1 рассмотрено влияние суперпластификатора на некоторые технико-экономические показатели бетона.

Технология приготовления смеси

Смесь приготавливалась следующим образом. Сначала суперпластификатор С-3 в количестве 0,25–0,70% от массы цемента смешивался с песком и цементом при приготовлении сухих растворных смесей. После этого производилось растворение в воде до 15–39% концентрации. Затем приготовленный раствор добавлялся в бетоносмеситель после введения основной массы воды затворения.

Во время лабораторных работ было проведено исследование с целью получения однородной бетонной смеси, для этого предложены несколько схем загрузки компонентов бетона в барабан смесителя. Более эффективной оказалась пропорциональная загрузка барабана сразу всеми составляющими смеси при подаче сухих компонентов «слоеным пирогом» на ленте конвейера и одновременной заливке воды (15% воды, подавали в конце загрузки). При пропорциональной загрузке компонента после 30 оборотов получается однородная бетонная смесь и ее прочность увеличивается на 2–3 МПа. В данном исследовании были рассмотрены разные составы бетонной смеси, с суперпластификатором С-3 и без добавки. Из каждой смеси было отобрано несколько образцов для испытаний, в Таблице 2 приведены компоненты и их количество.

Заключение

Испытания показывают, что применение добавки суперпластификатора С-3 в бетонную смесь в количестве 0,4% от массы цемента увеличивает прочность на сжатие на 10 МПа, улучшает следующие технологические параметры: увеличение текучести смеси в 5–7 раз, снижение водопроницаемости на 10–15%, увеличение удобоукладываемости и увеличение адгезионных свойств. Более эффективной оказалась пропорциональная загрузка барабана сразу всеми составляющими смеси при подаче сухих компонентов «слоеным пирогом» на ленту конвейера и одновременной заливке воды (15% воды, в конце загрузки). При пропорциональной загрузке компонентов после 30 оборотов получается однородная бетонная смесь и ее прочность увеличивается на 2–3 МПа.

Список использованной литературы

[1] Авренюк А. М. Восстановление бетонных и железобетонных конструкций. — М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2011. — 184 с.

[2] Алексеева А. А. Технологии возведения монолитных бетонных и железобетонных конструкций: учеб.-метод. пособие. — М.: Изд-во БГУТ, 2018. — 107 с.

[3] Абелев К. М., Шерозия З. И., Щерба В. Г. Особенности устройства монолитных бетонных фундаментов реконструируемых и пристраиваемых зданий: учеб. пособие. — М.: ГАСИС, 2019. — 280 с.

[4] Баженов Ю. М. Технология бетона. — М.: АСВ, 2002. — 500 с.

[5] Баженов Ю. М. Технология бетона: учебник. — М.: АСВ, 2018. — 500 с.

[6] Головнев С. Г. Технология бетонных работ в зимнее время. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2020. — 70 с.

- [7] Красный Ю. М., Красный Д. Ю. Монолитное домостроение: учеб. пособие. — Екатеринбург: АСВ, УГТУ, 2003. — 448 с.
- [8] Комаринский М. В. Производительность поршневого бетононасоса // Строительство уникальных зданий и сооружений. — 2013. — № 6 (11). — С. 43–49.
- [9] Молодых С. А. Возведение зданий и сооружений из монолитного железобетона: учеб. пособие. — М.: Изд-во АСВ, 2005. — 192 с.
- [10] Несветаев Г. В. Бетоны. — М.: Феникс, 2013. — 384 с.
- [11] Пирадов А. Б. Конструктивные свойства легкого бетона и железобетона. — М.: Стройиздат, 1979. — 136 с.
- [12] Рамачандрана В. Добавки в бетон. — М.: Книга по Требованию, 2012. — 572 с.
- [13] Совалов И. Г. Бетонные и железобетонные работы. — М.: Книга по Требованию, 2012. — 336 с.
- [14] Суздальцева А. Я. Бетон в архитектуре XX в. — М.: Книга по Требованию, 2012. — 208 с.
- [15] Туманов А. Бетонные и железобетонные конструкции. — М.: Palmarium Academic Publishing, 2015. — 104 с.
- [16] Щерба В. Г. Особенности технологии возведения высотных монолитных жилых зданий в условиях Московской области: дис. ... канд. тех. наук: 05.23.08: защищена 22.01.03: ГАСИС, 2003. — 198 с.
- [17] Юань Юай, Ван Лин, Тянь Пе. Высококачественный цементный бетон с улучшенными свойствами. — М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2014. — 448 с.
- [18] Ayoobi A. W. An evaluation of architectural monuments in Afghanistan as in the capital city // J. of design for resilience in architecture & planning. — 2021. — Vol. 2, Iss. 1. — P. 64–85.
- [19] Barabanshchikov Y. G., Komarinskiy M. V. Influence of superplasticizer S-3 on the technological properties of concrete mixtures // Advanced Materials Research. Magazine of civil engineering. — 2019. — Vol. 941–944. — P. 780–785.
- [20] Golaszewski J., Szwabowski J. S. Influence of air entraining agents on workability of fresh high-performance concrete // Proceedings of the International Conference on Admixtures. Enhancing Concrete Performance Research. — 2019. — P. 171–182.
- [21] Toy S. Poole, Guide for Curing of Portland Cement Concrete Pavements, Volume II. — McLean, VA: Turner-Fairbank Highway Research Center, Engineer Research and Development Center (U. S.). Structures Laboratory, 2006. — 170 p.
- [7] Krasnyj Yu. M., Krasnyj D. Yu. Monolitnoe domostroenie: ucheb. posobie. — Ekaterinburg: ASV, UGTU, 2003. — 448 s.
- [8] Komarinskiy M. V. Proizvoditel'nost' porshneвого betononasosa // Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij. — 2013. — № 6 (11). — S. 43–49.
- [9] Molodyh S. A. Vozvedenie zdaniy i sooruzhenij iz monolitnogo zhelezobetona: ucheb. posobie. — M.: Izd-vo ASV, 2005. — 192 s.
- [10] Nesvetaev G. V. Betony. — M.: Feniks, 2013. — 384 c.
- [11] Piradov A. B. Konstruktivnye svojstva legkogo betona i zhelezobetona. — M.: Strojizdat, 1979. — 136 c.
- [12] Ramachandrana V. Dobavki v beton. — M.: Kniga po Trebovaniyu, 2012. — 572 c.
- [13] Sovalov I. G. Betonnye i zhelezobetonnye raboty. — M.: Kniga po Trebovaniyu, 2012. — 336 c.
- [14] Suzdal'ceva A. Ya. Beton v arhitekture XX v. — M.: Kniga po Trebovaniyu, 2012. — 208 c.
- [15] Tumanov A. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. — M.: Palmarium Academic Publishing, 2015. — 104 c.
- [16] Shcherba V. G. Osobennosti tekhnologii vozvedeniya vysotnyh monolitnyh zhilyh zdaniy v usloviyah Moskovskoj oblasti: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.08: zashchishchena 22.01.03: GASIS, 2003. — 198 s.
- [17] Yuan' Yuaj, Van Lin, Tyan' Pe. Vysokokachestvennyy cementnyy beton s uluchshennymi svojstvami. — M.: Izd-vo Associacii stroitel'nyh vuzov, 2014. — 448 c.
- [18] Ayoobi A. W. An evaluation of architectural monuments in Afghanistan as in the capital city // J. of design for resilience in architecture & planning. — 2021. — Vol. 2, Iss. 1. — P. 64–85.
- [19] Barabanshchikov Y. G., Komarinskiy M. V. Influence of superplasticizer S-3 on the technological properties of concrete mixtures // Advanced Materials Research. Magazine of civil engineering. — 2019. — Vol. 941–944. — P. 780–785.
- [20] Golaszewski J., Szwabowski J. S. Influence of air entraining agents on workability of fresh high-performance concrete // Proceedings of the International Conference on Admixtures. Enhancing Concrete Performance Research. — 2019. — P. 171–182.
- [21] Toy S. Poole, Guide for Curing of Portland Cement Concrete Pavements, Volume II. — McLean, VA: Turner-Fairbank Highway Research Center, Engineer Research and Development Center (U. S.). Structures Laboratory, 2006. — 170 p.

Статья поступила в редакцию 23.03.2022.

Опубликована 30.06.2022.

Wardak Mohammad Alem

Postgraduate Student, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU), Lecturer, Kabul Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation

e-mail: alem.wardak@yahoo.com

References

- [1] Avrenyuk A. M. Vosstanovlenie betonnyh i zhelezobetonnyh konstrukcij. — M.: LAP Lambert Academic Publishing, 2011. — 184 c.
- [2] Alekseeva A. A. Tekhnologii vozvedeniya monolitnyh betonnyh i zhelezobetonnyh konstrukcij: ucheb.-metod. posobie. — M.: Izd-vo BGUT, 2018. — 107 s.
- [3] Abelev K. M., Sheroziya Z. I., Shcherba V. G. Osobennosti ustrojstva monolitnyh betonnyh fundamentov rekonstruiruemym i pristraivaemym zdaniy: ucheb. posobie. — M.: GASIS, 2019. — 280 s.
- [4] Bazhenov Yu. M. Tekhnologiya betona. — M.: ASV, 2002. — 500 s.
- [5] Bazhenov Yu. M. Tekhnologiya betona: uchebnik. — M.: ASV, 2018. — 500 s.
- [6] Golovnev S. G. Tekhnologiya betonnyh rabot v zimnee vremya. — Chelyabinsk: Izd-vo YUUGU, 2020. — 70 s.