

## РАЗДЕЛ V. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

УДК 621.762; 691.002(032)

### ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ СОСТАВОВ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ БЕТОНИРОВАНИЯ МАССИВНОЙ ФУНДАМЕНТНОЙ ПЛИТЫ

*БОНДАРОВИЧ А. И., РЯБЧИКОВ П. В., КАЛИНОВСКАЯ Н. Н.*  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

**Введение.** В статье приведены результаты разработки составов самоуплотняющегося тяжелого конструкционного бетона для бетонирования с их использованием крупнейшей на территории Беларуси фундаментной плиты (объемом бетона  $\sim 9100 \text{ м}^3$ ) высотного здания на объекте «Строительство многофункционального комплекса в г. Минске в границах ул. Филимонова – просп. Независимости – ул. Макаенка». Отражены результаты исследований, обеспечившие получение самоуплотняющегося бетона класса С35/45, водонепроницаемостью марки до W20 (при требуемой по проекту W12) из бетонных смесей предельной по расплыву конуса марки РК6 для трех разных по степени армирования зон фундаментной плиты: нижней, средней и верхней, при общей высоте конструкции в 3,5 м и размерах в плане  $\sim 83 \times 34 \text{ м}$ .

С учетом проектируемой схемы и степени (коэффициента) армирования разных зон по высоте плиты и общих задач по ее бетонированию обосновано решение о необходимости разработки 3-х составов бетона класса С35/45. Для нижней части – с крупностью заполнителя не более 10 мм, для среднего – до 20 мм, для верхней (финишной) – до 20 мм с введением в состав бетонной смеси композитной (эластичной) фибры для ограничения (восприятия фиброй) деформаций усадки твердеющего бетона.

Для всех составов бетона подобраны оптимальные соотношения компонентов, обеспечивающие условия самоуплотнения за счет повышенной формуемости смеси.

При разработке и исследованиях были использованы как стандартизированные так и оригинальные методики испытаний кинетики твердения и свойств затвердевшего бетона. Контрольные испытания физико-механических свойств и характеристик бетона, осуществленные в БНТУ совместно с контролирующими ход строительства уполномоченными организациями, а также в независимых (сторонних) организациях, подтвердили их соответствие проектным требованиям.

**Результаты исследований.** На основании анализа проектной документации на монолитную железобетонную фундаментную плиту высотного административного здания в части ее армирования по высоте сечения (3,5 м) было предложено разработать три состава самоуплотняющегося бетона, заявленного в проектной документации класса по прочности на сжатие С35/45, для непрерывного (бесшовного) бетонирования фундаментной плиты. Каждый состав должен соответствовать особенностям бетонирования нижнего, среднего и финишного участков (слоев) по высоте плиты. Во всех вариантах состава бетона его смесь должна обеспечивать формуемость на уровне марки РК-6 (расплыв конуса не менее 62 см).

С учетом особенностей армирования нижнего слоя плиты было необходимо ограничить крупность зерна заполнителя размером 8...10 мм. Для среднего слоя бетона крупность зерна заполнителя (с учетом особенностей подачи бетона нагнетательным методом и наибольшим распространением на рынке Беларуси смеси фракций гранитного щебня размерами 5...20 мм) составила до 20 мм, с соответствующим соотношением других компонентов бетона.

С учетом подбора условий бетонирования средней и верхней части плиты рационально, чтобы крупность заполнителя бетона финишного слоя соответствовала размеру зерна до 20 мм, а также в его состав была введена композитная фибра, с целью восприятия усадочных и температурных деформаций твердеющего бетона.

Исходя из изложенного, были определены виды и установлены необходимые для подбора составов бетона характеристики его компонентов.

В проектом решении конструкции плиты не предусматривалось искусственных мер по снижению температуры саморазогрева бетона. В этой связи было предложено решить задачу по снижению температуры саморазогрева бетона за счет, во-первых, использования цемента с пониженной экзотермией в сочетании с минимально необходимым содержанием его в бетоне, а, во-вторых, за счет применения комплексной химической добавки – пластификатора, характеризующейся тормозящим гидратацию клинкерной части цемента эффектом и снижения за ее счет начального водосодержания бетона.

Приведенным условиям отвечало вяжущее, выпускаемое ОАО «Белорусский цементный завод», в виде шлакопортландцемента марки ЦЕМ II/В-Ш 42,5Н по ГОСТ 31108 [1].

В качестве крупного заполнителя для бетона всех составов апробирован щебень гранитный производства РУП «Гранит» с прочностью, соответствующей марке по дробимости  $\geq 1400$ .

Для бетона нижнего слоя плиты использовался щебень кубовидный фракции 5...10 мм II-го класса по СТБ 1311-2002 [2].

Для бетона среднего и верхнего (финишного) слоя плиты использовался щебень гранитный традиционный фракции 5...20 мм 1-ой группы по ГОСТ 8267-93 [3] с содержанием пылевидных и глинистых фракций не более 1 % массы.

Песок – природный (мытый) по ГОСТ 8736-2014 [4], применяемый в качестве мелкого заполнителя для бетона нижнего, среднего и финишного слоев плиты, с модулем крупности 2,0...2,5.

Одной из задач являлось обеспечение «самоуплотнения» разрабатываемых составов бетона. То есть, получение на начальном этапе бетонной смеси, способной укладываться и формировать плотную, слитную структуру бетона без дополнительного механического побуждения (например, вибрирования). При этом обязательным условием снижения последующих усадочных и температурных деформаций при твердении бетона является минимальный расход цемента и его начального водосодержания, что естественно ухудшает (снижает) формуемость (удобоукладываемость) бетонной смеси.

С этой целью в состав бетона была применена тонкодисперсная минеральная добавка – микрокремнезем – в соответствии с требованиями СТБ EN 13263-1-2012 [5] с содержанием аморфного диоксида кремния не менее 85 % по массе; потери при прокаливании не

более 4,0 %; удельная поверхность (по методу БЭТ) ~15,0 м<sup>2</sup>/г. Микрокремнезем способствует формированию более плотной и прочной структуры цементного камня и бетона в целом, что одновременно предопределяет необходимость его использования для получения бетона водонепроницаемости на уровне W12 и более.

Получение самоуплотняющегося бетона высокого класса по прочности (С35/45) затруднительно без применения суперпластификаторов и замедлителей потери подвижности на основе поликарбоксилатов.

Предложен к использованию поликарбоксилатный суперпластификатор «Динамикс ПК», представляющий собой смесь двух типов поликарбоксилатов, в которую в качестве замедлителей потери подвижности (схватывания) дополнительно вводились натриевые соли лигносульфанатов и гидроксикарбоновых кислот. Краткая характеристика суперпластификатора Динамикс ПК: коричневая жидкость, концентрация 30 %, плотность 1080 г/см<sup>3</sup>. Не содержит хлоридов и иных агрессивных по отношению к арматуре веществ.

С целью предотвращения трещинообразования на поверхности верхнего (финишного) слоя бетона плиты в его состав вводилась фибра. С учетом нагнетательного (с помощью бетононасосов) метода подачи бетона в опалубку необходимо использовать ее эластичные виды. В частности, производимую в Российской Федерации и широко используемую в строительной отрасли Беларуси полипропиленовую фибру ТУ 2272-006-13429727-2007 [6] марки ВСМ-II-12. Эффект сдерживания трещинообразования поверхностного слоя бетона за счет волокон фибры базируется на эффекте дисперсного «армирования» его структуры при хаотичном, равномерном и разнонаправленном расположении волокон фибры в объеме цементного камня и бетона в целом.

Для затворения бетонных смесей использовалась водопроводная питьевая вода по СТБ 1188-99 [7].

С учетом изложенного были разработаны три состава (таблица 1) самоуплотняющегося бетона заявленного в проектной документации класса по прочности на сжатие С35/45, для непрерывного (бесшовного) бетонирования фундаментной плиты.

Таблица 1

## Номинальные составы бетона

Участок плиты	Расходы составляющих бетона (с допуском в процессе исследований) в кг на м <sup>3</sup>						
	Цемент	Щебень (вид, крупность, мм)	Песок	МК, % от МЦ	Фибра, кг	Пластификатор, % от МЦ+МК	Вода
Нижний (~2600 м <sup>3</sup> )	400±50	890 фр. 5–10 кубовидный	890	11	–	0,8...1,0	180
Средний (~5400 м <sup>3</sup> )	400±40	930 5–20, 2 группа	930	11	–	0,8...0,9	165... ...170
Верхний (~1100 м <sup>3</sup> )	400±40	980 5–20, 2 группа	880	11	0,6	0,9...1,0	165... ...170

Ускоренная проверка по критерию прочности показала, что установленные по критерию формуемости номинально-оптимальные составы обеспечивают требуемый уровень прочности затвердевшего бетона (см. таблицу 2).

Дальнейшие исследования проводили с учетом результатов этих экспериментов на выявленных в них номинальных составах бетона.

Исследования и испытания по оценке кинетики роста прочности на сжатие бетона разработанных составов выполнены по ГОСТ 18105-2018 [8] и ГОСТ 10180-2012 [9].

В таблице 2 приведены данные о кинетике роста прочности бетона составов № 1 (нижний слой), № 2 (средний слой) и № 3 (верхний финишный слой). Образцы серии I твердели в нормально-влажностных условиях (температура 20±3 °С); влажность более 90 %; образцы серии II подвергались прогреву при температуре 40...50 °С по режиму, имитирующему условия твердения бетона в массиве плиты, выдержка – 4 ч, нагрев от 10...15 °С до 45...50 °С за 6...8 часов, выдержка при этой температуре до 48 ч и испытания через 12 ч, то есть, в возрасте ~3 суток. Температура прогрева в ~50 °С принята на базе данных экспериментов с бетоном разработанных составов по тепловыделению цемента и температуре разогрева бетона (в статье не приведены). Количество образцов в серии 4...6 шт.

## Кинетика роста прочности бетона

Номер состава бетона	Прочность бетона на сжатие (МПа) в возрасте, сут				
	3	7	14	28	56
Серия I. Нормально-влажностное твердение образцов					
1	35,0	57,9	68,0	72,3	75,1
2	30,9	55,0	67,8	70,5	71,6
3	34,6	54,6	66,7	72,5	73,0
Серия II. Прогрев бетона (48 часов)					
3	31/52/61***	65,0	67,0	68,0	69,3
3*	–	–	–	61,8	63,5
3**	–	–	–	67,9	69,0

**Примечания:** 1) 3\* – образцы (после распалубки на 3 сут) твердели на воздухе в помещении лаборатории. 2) 3\*\* – образцы (после распалубки на 3 сут) твердели в воде в течение 7 сут., затем на воздухе до испытаний. 3) \*\*\* прочность составила через 24 ч – 30...33 МПа; через 48 ч – 51...53 МПа; к 3 суткам – 60...63 МПа.

Анализ совокупности экспериментальных данных показывает следующее.

Во всех приведенных случаях к возрасту в 14 и более суток прочность бетона оцениваемых составов соответствует классу С35/45. Так по СТБ 1544-2006 [10] и ГОСТ 18105-2018 при коэффициенте вариации  $V_m = 13,5 \%$  уровень обеспечиваемой (требуемой) прочности, определенной на образцах-кубах для класса С35/45 равен 57,8 МПа, а по действующему на территории Беларуси СТБ EN 206-1-2016 [11] уровень характеристической прочности на сжатие для данного класса составляет:  $f_{c,cube}^G \geq 45 + 4 = 49$  МПа.

Следует отметить, что фактический коэффициент вариации прочности на сжатие бетона, рассчитанный для объединенной совокупности всех трех составов бетона по результатам испытаний всех серий образцов (как по данным таблицы 2, так и по другим данным оценки прочности), изготовленных в разное время и испытанных в возрасте 28 и 56 суток составил величину:  $V_{m28} \sim 7,8 \%$ ;  $V_{m56} \sim 5,7 \%$ .

Влияние температуры прогрева (имитирующего саморазогрев бетона в массиве) вполне предсказуемо отражается в кинетике роста его прочности.

Естественен ее рост в начальные сроки твердения и замедление к 28...56 суткам последующего твердения образцов в нормально-влажностных условиях (№ 3); в воздушно-сухих условиях в помещении лаборатории (№ 3\*); Твердение после прогрева в воде (№ 3\*\*) в течение 7 суток (имитация ухода за бетоном «бассейновым» методом) практически сблизило значения прочности образцов бетона нормально-влажностного твердения и после прогрева.

*Прочность бетона на осевое растяжение при раскалывании* определена по общепризнанной методике проф. Ахвердова И. Н. – Ицковича С. М. [12]

Определение прочности бетона на осевое растяжение при раскалывании осуществили на образцах-кубах квадратного сечения со стороной  $a = 100$  мм с приложением нагрузки по схеме приведенной на рис. 1.

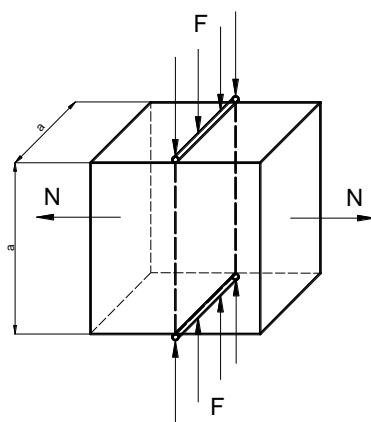


Рис. 1. Схема испытания на растяжение при раскалывании образцов

Испытательная нагрузка передавалась на образец через 2 стержня цилиндрической формы ( $\varnothing 6$  мм), расположенные в одной плоскости и обеспечивавшие передачу усилия на бетон по всему сечению образца. В результате в перпендикулярном этой плоскости направлении в сечении образца возникало растягивающее усилие, нараставшее до момента хрупкого разрушения бетона.

Прочность бетона на одноосное (осевое) растяжение рассчитывали по формуле:

$$f_{ct.sp} = K_{cm} \cdot \frac{2F}{\pi a^2},$$

где  $K_{cm}$  – коэффициент сжатия, равный для тяжелого бетона  $K_{cm} = 1,1$ ;

$F$  – разрушающая нагрузка, Н;

$\pi = 3,14$ ;

$a$  – размер стороны сечения, мм.

Прочность бетона на растяжение при изгибе определена по ГОСТ 10180-2012 на образцах-балках размерами 100×100×400 мм (серия из 3-х образцов), твердевших в нормально-влажностных условиях.

Результаты всего комплекса испытаний (приведены в виде средних значений) сведены в табл. 3.

Таблица 3

### Прочностные характеристики бетона

Состав бетона для части плиты по высоте	Прочностные характеристики бетона (МПа) в возрасте 28 и 56 суток					
	на сжатие		на растяжение (раскалывание)		на растяжение при изгибе	
	28	56	28	56	28	56
нижней	72,3	75,1	4,2	4,50	5,20	5,30
средней	70,5	71,6	4,0	4,30	5,15	5,20
верхней (финишный)	72,5	73,0	4,4	4,80	5,65	5,65

Установленные значения на осевое растяжение (раскалыванием образцов) соответствующие 4,5 МПа, превышают критические значения данной прочности, соответствующие 3...3,6 МПа, что установлено при оценке термонапряженного состояния бетона в процессе твердения (в статье не приведено). Тем самым обеспечивается условие устойчивости конструкции плиты по отношению к трещинообразованию.

Оценка прочности бетона (на примере состава № 2 для средней части плиты, как наибольшего по объему) уложенного слоями, на сжатие и растяжение при раскалывании образцов выполнена путем испытаний по ранее изложенным соответствующим методикам.



Особенностью являлось изготовление образцов-кубов с ребром 100 мм.

Одну серию образцов изготавливали с заливкой бетона 2-мя слоями (по 50 мм) по высоте формы, с укладкой 2-го слоя после выдержки 1-го в помещении лаборатории ( $t \sim 20 \dots 23 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\phi \sim 65 \%$ ) в течение 6; 12 и 18 ч. Далее образцы до испытаний твердели в нормально-влажностных условиях.

Вторую серию образцов также изготавливали послойно, но форму наклоняли под углом  $45^\circ$  и бетон 1-го слоя (в течение указанного ранее времени) твердел в этом положении имитируя формирование наклонной поверхности в зоне последующего контакта со 2-ым слоем бетона.

На рисунке 2 приведены схемы испытаний на сжатие (а; б) и осевое растяжение при раскалывании (в; г) «2-хслойных» образцов бетона испытанных после 28 суток нормально-влажностного твердения.

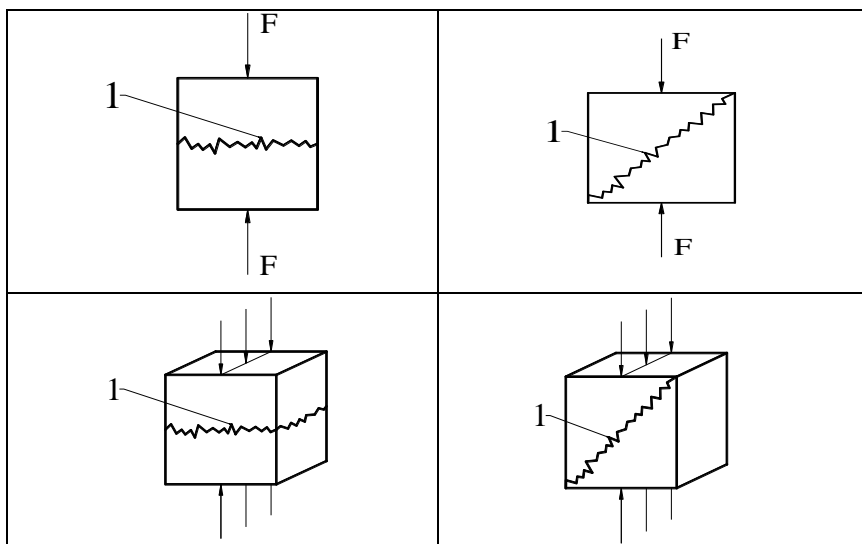


Рис. 2. Схемы испытаний образцов бетона

В таблице 4 приведены данные о результатах испытаний «2-хслойных» образцов бетона по приведенным на рисунке 2 схемам.

Таблица 4

Результаты испытаний образцов бетона «2-хслойной» укладки

Прочность на сжатие, МПа		Прочность на осевое растяжение при раскалывании, МПа	
Схема а)	Схема б)	Схема в)	Схема г)
6 часов	62,7	4,1	4,2
70,0			
12 часов	61,0	4,05	4,2
71,0			
18 часов	60,2	4,53	4,0
70,6			

Сопоставление результатов испытаний «2-хслойных» образцов бетона (таблица 4) и изготовленных за один прием (таблица 3) с соблюдением правила «прочих равных условий» показало, что прочность на сжатие при горизонтальном расположении «шва слоев» практически равна в обоих случаях. При наклонном ( $45^\circ$ ) расположении шва она ниже на (6...12 %) для «2-хслойных» образцов, но во всех случаях была выше требуемого значения (~58 МПа). При раскалывании образцов прочность на растяжение оказалась практически равной в обоих случаях.

Определение модуля упругости провели согласно ГОСТ 24452-80 [13] путем постепенного (ступенями) нагружения образцов-призм осевой сжимающей нагрузкой с измерением в процессе нагружения образцов их деформаций. Результаты испытаний приведены в таблице 5.

Таблица 5

Модуль упругости бетона

Состав бетона для части плиты по высоте	Модуль упругости бетона, ГПа в возрасте 28 и 56 суток, сут	
	28	56
нижней	44,5	45,5
средней	39,5	40,9
верхней	44,6	45,8

Следует отметить, что модуль упругости бетона разработанных составов, соответствующий  $E_6 = 40...45$  ГПа превышает минималь-

ный расчетный модуль ( $E_0 = 26$  ГПа) бетона, полученного из литой (как это имеет место в нашем случае) бетонной смеси (табл. 6.4, СП 5.03.01-2020 [14]). По существу это прямое свидетельство высокой плотности структуры бетона при прочности в 65...70 МПа.

Водонепроницаемость бетона определена в соответствии с ГОСТ 12730.5-2018 [15] на образцах-цилиндрах диаметром и высотой 150 мм (в серии 6 образцов), твердевших в стандартизованных нормально-влажностных условиях до испытаний в 28 и 56 суток. Результаты испытаний по пункту 4 ГОСТ 12730.5-2018 (выдержка в течение 16 часов при давлении 1,2 МПа) приведены в таблице 6, а в таблице 6.1 приведены данные, полученные по пункту 6 ГОСТ 12730.5-2018 – по глубине проникновения воды при выдержке в течение 72 часов при давлении 0,5 МПа.

Таблица 6

Водонепроницаемость бетона (мокрое пятно)

Состав бетона для части плиты по высоте	Давление воды, МПа в возрасте, сут		Марка бетона по водонепроницаемости, W	
	28	56	28	56
нижней	1,2	1,2	W12	W12
средней	1,2	1,2	W12	W12
верхней	1,2	1,2	W12	W12

*Примечание.* Фильтрация воды через образцы отсутствует.

Таблица 6.1

Водонепроницаемость бетона (по глубине проникания воды под давлением)

Состав бетона для части плиты по высоте	Глубина проникания воды, мм (под давлением 0,5 МПа в течении 72 ч), в возрасте, сут		Марка бетона по водонепроницаемости, W (согласно справочному приложению А ГОСТ 12730-2018)	
	28	56	28	56
нижней	8	9	W16–W20	W16–W20
средней	10	12	W16–W20	W16–W20
верхней	8	9	W16–W20	W16–W20

Очевидно, что все разработанные составы бетона обеспечивают требуемый уровень водонепроницаемости, равный марке «W12».

Морозостойкость бетона определена по ГОСТ 10060.2-95 [16] третьим (ускоренным) методом при замораживании ( $t = -50 \dots 55$  °С), оттаивании при  $t = +20 \pm 5$  °С в 5 %-ом растворе хлористого натрия. Результаты испытаний после 4-х циклов приведены в таблице 7 и после 8 циклов – в таблице 8.

Таблица 7

Морозостойкость бетона в возрасте 28 суток

Состав бетона	Средняя прочность бетона контрольных образцов, МПа	Средняя прочность (МПа) после замораживания-оттаивания	Марка бетона по морозостойкости
нижний	68,4	69,8	Не менее F 150
средний	65,4	67,0	Не менее F 150
верхний	65,0	66,8	Не менее F 150

Таблица 8

Морозостойкость бетона в возрасте 56 суток

Состав бетона	Средняя прочность бетона контрольных образцов, МПа	Средняя прочность бетона (МПа) после замораживания-оттаивания	Марка бетона по морозостойкости
нижний	69,3	70,0	Не менее F 300
средний	66,3	66,9	Не менее F 300
верхний	66,7	67,7	Не менее F 300

Все разработанные составы бетона заведомо обеспечивают морозостойкость, заданную в проектной документации на объект строительства – фундаментную плиту, равную марке «F150».

**Заключение.** Были разработаны составы самоуплотняющегося бетона класса С35/45 для стесненных условий формирования 1-го (нижнего) слоя фундаментной плиты, основного (среднего) ее слоя и финишного (верхнего) слоя с ограничением усадочных явлений при общем для плиты понижении градиента температуры по ее сечению.

В процессе исследований выявлено влияние основных составляющих бетона, а также комплекса из химических и минеральной добавок на физико-механические свойства бетона.

Определены эксплуатационные свойства бетона – марки по водонепроницаемости и морозостойкости, удовлетворяющие требованиям проектной документации.

Оценено влияние послойной (с перерывами до 18 ч) укладки бетона на его прочность. Подтверждена возможность перерывов в укладке слоев бетона в течении 12 ч, т. е. до периода схватывания ранее уложенного слоя бетона.

В результате исследований разработаны составы самоуплотняющегося бетона класса С35/45 для зон нижней, средней и финишной части плиты, определены его прочностные, упругие свойства, что обеспечивало необходимые условия для ведения бетонных работ при устройстве фундаментной плиты на объекте.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цементы общестроительные. Технические условия: ГОСТ 31108-2016. – Введ. 01.04.2018. – Минск: Госстандарт, 2016. – 14 с.

2. Щебень кубовидный из плотных горных пород. Технические условия: СТБ 1311-2002. – Введ. 05.03.2002. – Минск: Министерство архитектуры и строительства РБ, 2002. – 7 с.

3. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия: ГОСТ 8267-93. – Введ. 10.11.93. – Москва – Минск. МНТКС; Министерство архитектуры и строительства РБ, 1995. – 15 с.

4. Песок для строительных работ. Технические условия: ГОСТ 8736-2014. – Введ. 01.04.2017. – Минск: Госстандарт, 2017. – 10 с.

5. Микрокремнезем для бетона. Часть 1. Определения, требования и критерии соответствия: СТБ EN 13263-1-2012. – Введ. 01.01.2013. – Минск: Госстандарт, 2012. – 22 с.

6. Волокно строительное микроармирующее: ТУ 2272-006-13429727-2007. – Введ. 20.05.2007. – Челябинск, РФ, 2007. – 10 с.

7. Вода для бетонов и растворов. Технические условия: СТБ 1114-98. – Введ. 01.01.99. – Минск: Министерство архитектуры и строительства РБ, 1998. – 12 с.

8. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности: ГОСТ 18105-2018. – Введ. 01.03.2020 – Минск: Госстандарт, 2019. – 19 с.

9. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180-2012. – Введ. 01.02.2016 – Минск: Госстандарт, 2015. – 33 с.

10. Бетоны конструкционные тяжелые. Общие технические условия. СТБ 1544-2005. – Введ. 01.07.2005. – Минск: Министерство архитектуры и строительства РБ, 2005. – 17 с.

11. Бетоны. Требования, показатели, изготовление и соответствие: СТБ EN 206-2016. – Введ. 01.07.2017. – Минск: Госстандарт, 2016. – 105 с.

12. Ахвердов, И. Н. Исследование метода испытания бетона на растяжение посредством раскалывания образцов / И. Н. Ахвердов, С. М. Ицкович // Бетон и железобетон. – 1961. – № 1. – С.19–23.

13. Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуансона: ГОСТ 24452-80. – Введ. 01.01.82. – Москва: Государственный комитет СССР по делам строительства, 1980. – 20 с.

14. Бетонные и железобетонные конструкции: СП 5.03.01-2020. – Введ. 16.11.2020. – Минск: Министерство архитектуры и строительства РБ, 2020. – 244 с.

15. Бетоны. Методы определения водонепроницаемости: ГОСТ 12730.5-84. – Введ. 01.07.85. – Москва: Государственный комитет СССР по делам строительства, 1978. – 15 с.

16. Бетоны. Ускоренные методы определения морозостойкости: ГОСТ 10060.2-95. – Введ. 01.04.97. – Минск: Министерство архитектуры и строительства РБ, 1996. – 6 с.