

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-4-329-337>

УДК 666.031; 693.54

Самоуплотняющийся бетон и технология бетонирования фундаментного массива с использованием 9000 кубических метров бетона

Докт. техн. наук, проф. Э. И. Батыновский¹⁾,
кандидаты техн. наук А. И. Бондарович¹⁾, Н. Н. Калиновская²⁾, П. В. Рябчиков¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь),

²⁾ООО «ПолипластХИМ» (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2021
Belarusian National Technical University, 2021

Реферат. Приведены результаты разработки и реализации технологии самоуплотняющегося тяжелого конструкционного бетона и технологии бетонирования с его использованием крупнейшей на территории Беларуси фундаментной плиты (объем бетона около 9100 м³) 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 до W20 (при требуемой по проекту W12) из бетонных смесей предельной по распылу конуса марки РК6 для трех разных по степени армирования слоев фундаментной плиты (нижнего, среднего и верхнего) при общей высоте конструкции 3,5 м и размерах в плане 83×34 м. Разработаны и реализованы технология непрерывного (бесшовного) бетонирования, позволившая за 42 ч непрерывной работы бездефектно уложить в конструкцию примерно 9100 м³ бетона, а также система технологических мер, предотвратившая температурное трещинообразование бетона. Однородность физико-механических свойств бетона, подтвержденная контрольными испытаниями, обеспечена за счет равномерной подачи бетонной смеси (от шести бетононасосов одновременно) слоями высотой 200–300 мм при расстоянии между точками подачи около 5–6 м и вертикальном расположении «хоботов» бетоноводов в течение подачи бетона в каждую точку, а также тем, что время подачи очередного объема бетона было значительно меньше времени схватывания ранее уложенного бетона (при общей скорости бетонирования ≤0,1 м/ч). При разработке, исследованиях и реализации проекта использовали стандартизированные и оригинальные методики испытаний бетонных смесей, 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.

Ключевые слова: самоуплотняющийся бетон, массивная конструкция, фундаментная плита, высотное здание, бетон, армирование, температура, прочность, морозостойкость, водонепроницаемость

Для цитирования: Самоуплотняющийся бетон и технология бетонирования фундаментного массива с использованием 9000 кубических метров бетона / Э. И. Батыновский [и др.] // *Наука и техника*. 2021. Т. 20, № 4. С. 329–337. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-4-329-337>

Self-Compacting Concrete and Concreting Technology for Foundation Block Using 9000 Cubic Meters of Concrete

E. I. Batyanovskiy¹⁾, A. I. Bondarovich¹⁾, N. N. Kalinovskaya²⁾, P. V. Ryabchikov¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus),

²⁾LLC “PolyplastHIM” (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The paper presents the results of the development and implementation of the technology of self-compacting heavy structural concrete and the technology of concreting with its use of the largest foundation slab in Belarus (concrete volume ~9100 m³) of a high-rise building at the facility “Construction of a multifunctional complex in Minsk within the boundaries of Filimonova Street – Avenue Nezavisimosty – Makayonka Street”. The results of research are shown, which ensured the production of self-compacting concrete of class C35/45 with water resistance up to W20 (with the required W12 according to the project) from concrete mixtures of the maximum cone expansion of the PK6 (RK6) grade for three zones of the foundation slab different in degree of reinforcement: lower, middle and upper, with a total structure height of 3.5 m and plan dimensions ~(83×34) m. The technology of continuous (seamless) concreting has been developed and implemented, which made it possible to lay ~9100 m³ of concrete into the structure without defects within 42 hours of continuous operation, and a system of technological measures that prevented temperature cracking in concrete. The homogeneity of the physical and mechanical

Адрес для переписки

Батыновский Эдуард Иванович
Белорусский национальный технический университет
ул. Я. Коласа, 12,
220113, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 293-96-73
batyanovskij@bntu.by

Address for correspondence

Batyanovskiy Eduard I.
Belarusian National Technical University
12, Ya. Kolasa str.,
220113, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 293-96-73
batyanovskij@bntu.by

properties of concrete, confirmed by control tests, is ensured due to the uniform supply of the concrete mixture (from six concrete pumps at the same time) in layers 200–300 mm high with a distance between the supply points of about 5–6 m and the vertical arrangement of the “trunks” of the concrete pipes during delivery of concrete to each point, as well as the fact that the time for feeding the next volume of concrete was significantly less than the setting time of the previously laid concrete (with a total concreting speed ≤ 0.1 m/h). Standardized and original test methods for concrete mixtures, hardening kinetics and properties of hardened concrete have been used during the development, research and implementation of the project. Control tests of physical and mechanical properties and characteristics of concrete, carried out at BNTU together with authorized organizations controlling the progress of construction, as well as in independent (third-party) organizations, have confirmed their compliance with the design requirements.

Keywords: self-compacting concrete, massive construction, foundation slab, high-rise building, concrete, reinforcing, temperature, strength, frost resistance, water tightness

For citation: Batyanovskiy E. I., Bondarovich A. I., Kalinovskaya N. N., Ryabchikov P. V. (2021) Self-Compacting Concrete and Concreting Technology for Foundation Block Using 9000 Cubic Meters of Concrete. *Science and Technique*. 20 (4), 329–337. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-4-329-337> (in Russian)

Введение

Одним из основных проблемных вопросов бетонирования массивных фундаментных плит и подобных конструктивных элементов зданий и сооружений является недопущение критического термонапряженного состояния конструкции, превышающего предел прочности бетона массива на растяжение, и образования температурных трещин. Причина – саморазогрев бетона за счет аккумуляции в объеме конструкции теплоты от экзотермии (тепловыделения) твердеющего (гидратирующегося) цемента. Опасность представляет градиент температур по сечению конструкции между внутренним (разогретым) объемом бетона и более холодными его объемами по внешнему контуру конструкции. Возникающие при неравномерном расширении касательные напряжения в объеме бетона внешних слоев по контуру конструкции могут привести к их растрескиванию и неконтролируемому ухудшению физико-механических и эксплуатационных свойств бетона.

Задачу снижения уровня термонапряженного состояния массивных конструкций при их возведении (устройстве) решают различными способами, включая создание трубчатых систем искусственного понижения температуры твердеющего бетона за счет отвода выделяющейся теплоты при циркуляции по трубам разных хладагентов. В проектном решении конструкции фундаментной плиты высотного здания (рис. 1) не предусматривалось создание системы искусственного охлаждения, и задача снижения термонапряженного состояния конструкции массива была решена технологическими приемами на стадии разработки составов бетона, при ведении бетонных работ, а также мерами последующего ухода за твердеющим бетоном, что отражено в материале статьи.

Оценка условий бетонирования фундаментной плиты и состава бетона

Анализ проектной документации монолитной железобетонной фундаментной плиты высотного

административного здания № 1 (частично представленной на рис. 1) показал, что максимальная степень армирования соответствует нижнему слою плиты на высоту примерно 850 мм (отметки: –12,950 и –11,950). При этом горизонтальное армирование плиты (нижняя рабочая арматура) взаимосвязывается с вертикальной арматурой (арматурными выпусками) буронабивных свай (глубина заложения до 35 м) свайного поля плиты. В этих зонах, а также в зонах армирования будущих колонн и силового ядра здания в верхнем слое плиты сводится к минимуму просвет между вертикально направленными арматурными элементами этих конструкций и горизонтально направленными арматурными элементами плиты. Согласно проектной документации, минимальный просвет между стержнями арматуры (исключая естественные места их взаимных контактов при вязке) составляет не более 25 мм при толщине защитных слоев ее анкеров 40–50 мм. При этом средний слой по высоте плиты характеризуется относительно низкой степенью армирования, что с позиций ведения бетонных работ не создает существенных помех в их реализации с использованием самоуплотняющегося бетона, а верхняя (или – финишная) зона по высоте плиты занимает промежуточное положение по степени армирования, выполняемого (с учетом толщины верхнего защитного слоя бетона) на отметках –9,850 и –9,450.

Однако в этой части плиты высока степень армирования опорных зон будущих колонн и силового ядра здания. Кроме этого, она наиболее подвержена влиянию внешней среды, поскольку ее поверхность есть зона испарения и развития теплообменных процессов с контактирующей средой, с одной стороны, а с другой – бетон финишного слоя в процессе твердения подвержен сложному сочетанию воздействий от собственных усадочных и температурных деформаций из-за градиента температур по сечению (объему) плиты. С учетом изложенного были разработаны

три состава (табл. 1) самоуплотняющегося бетона, заявленного в проектной документации класса по прочности на сжатие С35/45, для непрерыв-

ного (бесшовного) бетонирования фундаментной плиты (без дополнительного уплотнения механическим воздействием).

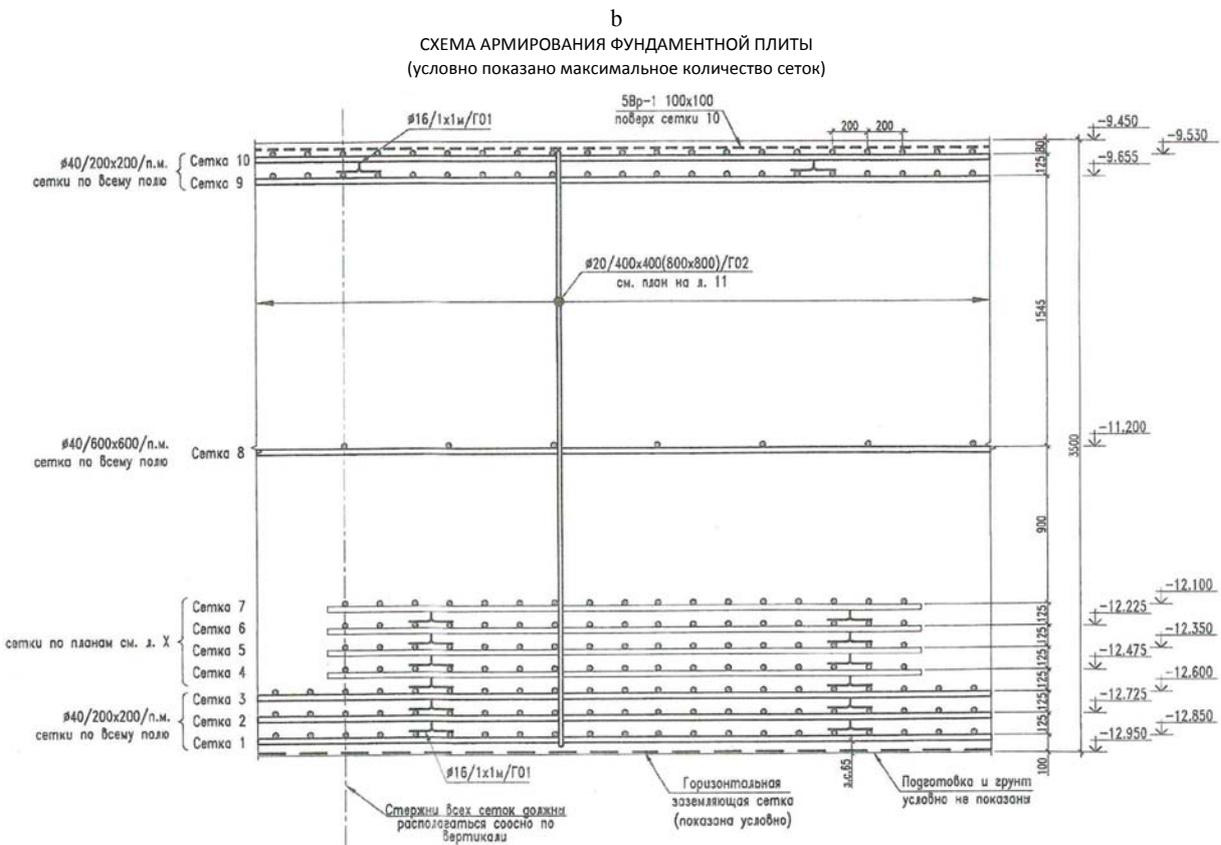
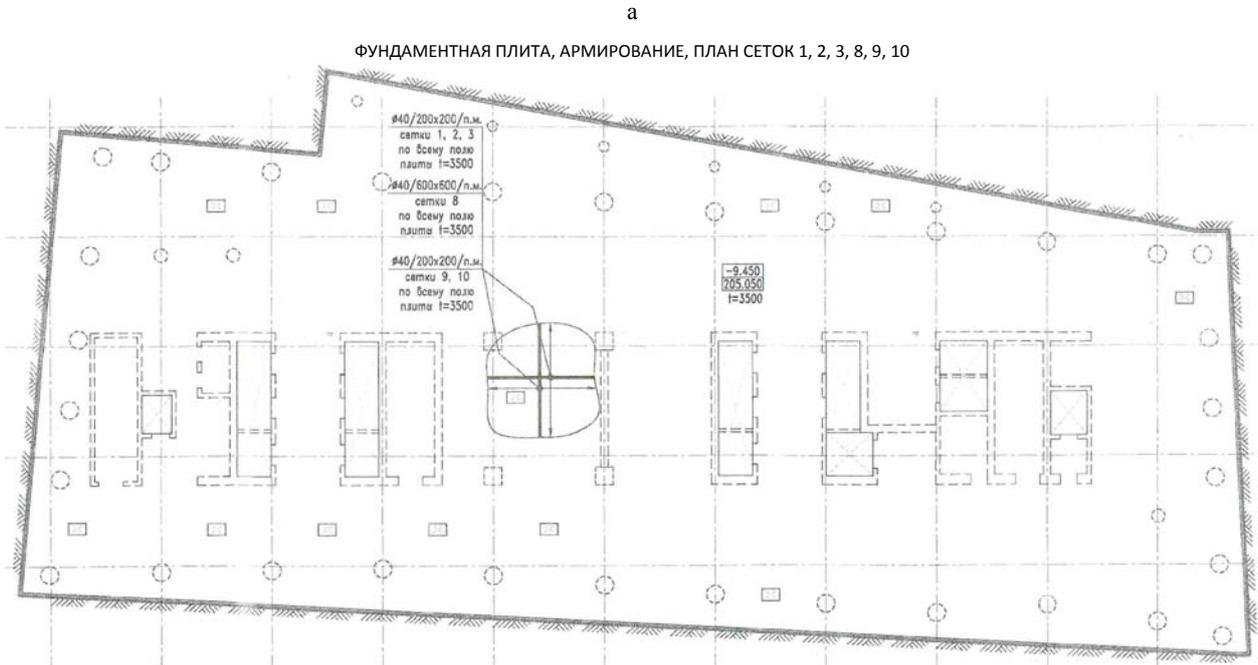


Рис. 1. Монолитная фундаментная плита: а – план плиты; б – фрагмент сечения по высоте плиты

Fig. 1. Monolithic foundation slab: а – slab plan; б – fragment of section along height of slab

Составы бетона
Concrete compositions

Слой плиты, отметка, примерный объем бетона, м ³	Расход* составляющих бетона, кг/м ³						
	Цемент [1, 2]	Щебень (вид, фракция, мм) [3, 4]	Песок [5]	Микро- кремне- зем МКУ-85 [6]	Фибра [7]	Пластифи- катор «Лина- микс ПК» [8]	Вода затво- рения [9]
Нижний, (-12.950)–(-11.950), 2600	450	890 (Кубовид- ный, 5–10)	890	50	–	16,7	180
Средний, (-11.950)–(-9.850), 5400	400	930 (2 группа, 5–20)	930	44	–	10,36	165–170
Верхний (финишный), (-9.850)–(-9.450), 1100	400	980 (2 группа, 5–20)	880	44	0,6	12,58	165–170

* Удовлетворяющий требованиям действующей нормативной технической документации [1–9].
** Дозировка пластификатора (концентрация раствора $C = 30\%$) приведена в расчете от общей массы «цемент + микрокремнезем».

Технологическое решение задачи минимизации термонапряженного состояния фундаментной плиты

Условия бетонирования за один прием (непрерывно, бесшовно) такого массивного сооружения, каким является фундаментная плита с объемом бетона ~9100 м³, ставят задачи минимизации температуры саморазогрева бетона и снижения градиента температур по сечению (объему) конструкции плиты. В проектном решении конструкции плиты, подлежавшей бетонированию, не предусматривалось искусственных мер по снижению температуры саморазогрева бетона. В этой связи задача решалась за счет: во-первых, использования цемента с пониженной экзотермией в сочетании с минимально необходимым содержанием его в бетоне; во-вторых, применения комплексной химической добавки-пластификатора, характеризующейся замедляющим гидратацию клинкерной части цемента эффектом и снижением начального водосодержания бетона; в-третьих, последующего ухода за твердеющим бетоном.

Для реализации проекта был сделан заказ на выпуск 4,5 тыс. т цемента в ОАО «Белорусский цементный завод», который затем распределили по пяти заводам-поставщикам бетона (отобранным предварительно из десяти претендентов). Этот вид цемента соответствует марке ЦЕМ II/B-III 42,5Н по ГОСТ 31108 [1], классу СЕМ II/B-S D (35–40) по СТБ EN 197-1 [2] с активностью 45 МПа и коэффициентом нормальной густоты 0,275. Он характеризуется

содержанием клинкерной части 60–65 % массы (включая 3–4 % добавки гипса для регулирования сроков схватывания) и 40–35 % соответственно введенного в состав при помоле совместно с клинкером и гипсом доменного гранулированного шлака. Согласно данным Белорусского цементного завода о вещественном и минералогическом составе клинкера, следует, что в пересчете на тонну шлакопортландцемента его клинкерная часть составляет 600–650 кг, а клинкерных минералов, характеризующихся наибольшей экзотермией, содержится от ее массы: $C_3S \sim 58,92\%$; $C_3A \sim 6,97\%$. С учетом проектного расхода вяжущего – примерно 400–450 кг/м³ бетона – его клинкерная часть составляет не более 260–290 кг/м³ бетона, а общая доля ($C_3S + C_3A$) ~ 170–190 кг/м³ бетона с содержанием наибольшего по тепловыделению C_3A 17–19 кг/м³ (или 4,0–4,5 % от массы вяжущего). Это обеспечило соответствие выбора данного вида вяжущего цели и задачам по снижению температуры саморазогрева бетона в массиве и снижению сопровождающих это явление температурных деформаций конструкции плиты, подтвержденных результатами контроля ее качества.

Существенную роль в снижении термонапряженного состояния твердеющего массива играет темп тепловыделения при гидратации цемента. Для решения задачи по сдерживанию процесса гидратации цемента, увеличению времени сохранения подвижности бетонной смеси на требуемом уровне и начала схватывания бетона (по техническому заданию до 6–12 ч) был

апробирован и использовался поликарбоксилатный суперпластификатор «Динамикс ПК», представляющий собой смесь двух типов поликарбоксилатов, в которую в качестве замедлителей потери подвижности (схватывания) дополнительно вводились натриевые соли лигносульфонатов и гидроксикарбоновых кислот. В результате совокупного применения вяжущего с пониженной экзотермией и химической добавки с замедляющим процесс гидратации цемента действием был обеспечен (несмотря на достаточно высокую начальную температуру бетонной смеси около (15–20) °С и воздуха до 25 °С в период ведения работ) замедленный темп саморазогрева бетона массива до максимума (65–68) °С при относительно равномерном нагреве по сечению конструкции – наибольший перепад температуры не превышал (30–35) °С между нижним, средним и верхним слоями бетона.

С целью предотвращения трещинообразования верхнего (финишного) слоя бетона плиты в его состав вводили полипропиленовую фибру по ТУ 2272-006-13429727 [7] марки ВСМ-II-12. Минимизация трещинообразования поверхностного слоя бетона базируется на эффекте дисперсного «армирования» его структуры при хаотичном, равномерном и разнонаправленном расположении волокон фибры в объеме цементного камня и бетона в целом.

Для усиления эффекта предотвращения усачного трещинообразования бетона поверхности конструкции организовали бассейновый уход за ним. Через 10–12 ч от момента окончания бетонных работ вся поверхность плиты была залита водой слоем 50–70 мм, и бетон твердел в этих условиях 14 сут. После слива бассейна до проектного возраста (28 сут.) бетон твердел под гидроизолирующим пленочным покрытием (с постоянным поддержанием по-

верхности во влажном состоянии путем подлива воды). Здесь следует отметить, что палуба опалубки была защищена сплошным гидроизолирующим покрытием, предотвращающим любые потери влаги и цементного теста по стыкам щитов.

Особенности ведения бетонных работ по обеспечению качества и однородности свойств бетона в конструкции плиты

Проектные (и превышающие проектные) физико-технические свойства и характеристики бетона фундаментной плиты, подтвержденные контролирующими строительство уполномоченными органами, были обеспечены своевременным (май – сентябрь 2020 г.) выполнением БНТУ научно-исследовательских работ по договору № 2917/20кбр с Rizzani de Eccher S.p.A – их заказчиком, на основании которых разрабатывались составы бетона и технологический регламент на ведение бетонных работ. Кроме того, этому способствовала четкая организация технологического процесса непосредственно бетонирования фундаментной плиты со стороны Rizzani de Eccher S.p.A, обеспечившей укладку ~9100 м³ бетона за 42 ч ведения работ.

Важной составляющей успешного бетонирования фундаментной плиты был постоянный (сплошной) контроль за качеством как поставляемой от пяти производителей бетонной смеси, так и подачи и укладки бетона в опалубку. Оценка нужной формуемости (удобоукладываемости) бетонной смеси по распылу конуса осуществляли на объекте по каждому рейсу автобетоносмесителей с учетом требований табл. 2.

Таблица 2

Свойства бетонной смеси
Concrete mix properties

Номер состава бетона по табл. 1	Плотность бетонной смеси $\rho_{см}^0$, кг/м ³	Воздухововлечение, %	Удобоукладываемость по растеканию конуса*, см	Вязкость, с	Растворотделение, %	Сохранность свойств (текучести)
1	2440 ± 20	2–3	>62 (до 75)	5–7	~2,0	>360
2	2460 ± 20	2–3	>62 (до 72)	5–7	~3,0	>360
3	2460 ± 20	3–4	>62 (до 70)	7–10	~2,0	>360

*Уменьшение растекаемости за 6 ч составляет 10–15 % (при нормируемом значении ≤50 %).

Данные требования получены при оценке результатов исследований, частично представленных на рис. 2, 3.



Рис. 2. Примеры оценки подвижности бетонной смеси в процессе разработки составов бетона: а – нижний слой (кубовидный щебень фр. 5–10 мм); б – средний слой (традиционный щебень фр. 5–20 мм);

с – верхний слой (традиционный щебень фр. 5–20 мм, фибра)

Fig. 2. Examples of assessing mobility of concrete mixture in the process of developing concrete compositions: а – bottom layer (cuboid crushed stone fraction 5–10 mm); б – middle layer (traditional crushed stone fraction 5–20 mm); с – top layer (traditional crushed stone fraction 5–20 mm, fiber)

Одновременно на объекте отбирали пробы и изготавливали контрольные образцы (кубы

с ребрами 100 и 150 мм, цилиндры высотой и диаметром 150 мм, призмы 100×100×400 мм) для оценки кинетики роста и уровня прочности бетона, морозостойкости, водопоглощения, водонепроницаемости и модуля упругости бетона в разных частях конструкции плиты (табл. 3).

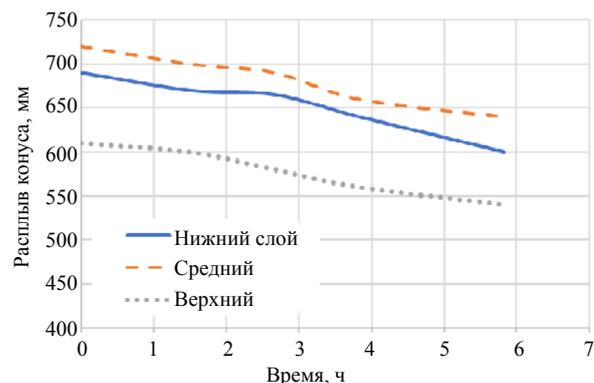


Рис. 3. Изменение расплыва конуса во времени
Fig. 3. Time variation of cone spreading

На рис. 4 частично представлены данные о кинетике роста прочности бетона, установленные на стадии разработки технологического регламента и подтвержденные последующими испытаниями контрольных образцов, изготовленных на объекте в процессе ведения бетонных работ, а в последующем – при испытании кернов, отобранных из конструкции (рис. 5), и методом неразрушающего контроля (отрыва со скалыванием).

Таблица 3

Физико-технические характеристики бетона фундаментной плиты [10–14]
Physical and technical characteristics of concrete foundation slab [10–14]

Состав бетона для слоя плиты	Физико-технические характеристики бетона* в возрасте 28 сут.						Прочность на сжатие бетонных кернов***, МПа
	Прочность, МПа			Модуль упругости, ГПа	Марка по водонепроницаемости**	Морозостойкость, марка**	
	на сжатие	на растяжение (раскалывание)	на растяжение при изгибе				
Нижнего	72,3	4,2	5,20	44,5	W20 (W12)	Не менее F300 (F150)	74,4
Среднего	70,5	4,0	5,15	39,5	W20 (W12)	Не менее F300 (F150)	68,9
Верхнего (финишного)	72,5	4,4	5,65	44,6	W20 (W12)	Не менее F300 (F150)	72,1

* Определены по образцам, изготовленным при подборе составов бетона конструкции плиты.
 ** При значении по проекту W12 и F150.
 *** Определена по образцам-кернам, отобранным из конструкции плиты.

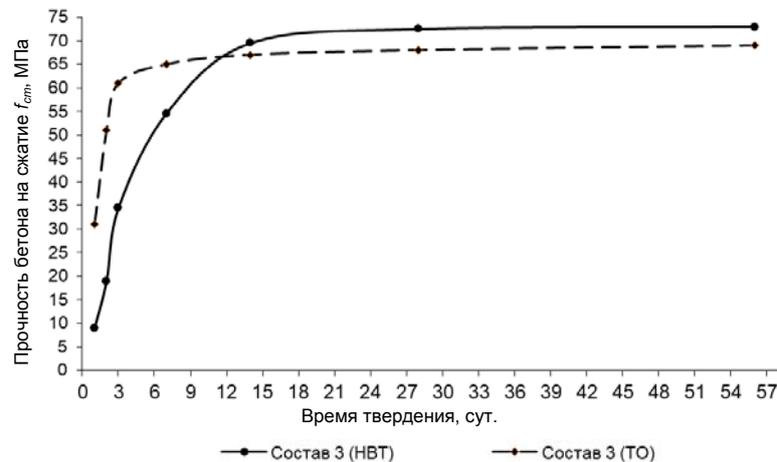


Рис. 4. Кинетика роста прочности бетона состава № 3 (табл. 2) (традиционный щебень фр. 5–20 мм с фиброй)

Fig. 4. Strength development kinetics of concrete of composition No 3 (Tab. 2) (traditional crushed stone fraction 5–20 mm size with fiber)



Рис. 5. Фотографии ядра (а) и образцов из него (b)

Fig. 5. Photos of core (a) and samples from it (b)

Во всех приведенных случаях к возрасту 14 сут. и более прочность бетона оцениваемых составов соответствовала классу С35/45. Так, по СТБ 1544 [15] и ГОСТ 18105 [16] при коэффициенте вариации $V_m = 13,5\%$ уровень обеспечиваемой (требуемой) прочности, определенной на образцах-кубах для класса С35/45: $f_{cm} = 45 / (1 - 1,64 \cdot 0,135) = 57,8$ МПа. А по действующему на территории Беларуси СТБ EN 206 [17] уровень характеристической прочности на сжатие для данного класса: $f_{c.cube}^G \geq 45 + 4 = 49$ МПа.

Следует отметить, что фактический коэффициент вариации прочности на сжатие бетона, рассчитанный для объединенной совокупности

трех составов бетона по результатам испытаний всех серий образцов (как по данным табл. 3, так и по другим данным оценки прочности), изготовленных в разное время и испытанных в возрасте 28 и 56 сут., составил соответственно: $V_{m28} \sim 7,8\%$; $V_{m56} \sim 5,7\%$.

Обеспечение качественных характеристик затвердевшего бетона массива достигнуто за счет умеренно равномерного распределения температуры в его объеме в период твердения (рис. 6). Показания регулярного контроля по 99 датчикам (в 33 точках конструкции с тремя датчиками: в центре по высоте сечения плиты и в 100 мм от ее низа и верха) подтвердили замедление интенсивности тепловыделения цемента и саморазогрева бетона, растянувшееся на 5–7 сут. после бетонирования. При этом максимальный перепад температуры по сечению конструкции высотой 3,5 м не превысил (30–35) °С, т. е. составлял не более 2 °С на 10 см слоя бетона между центральной частью и периферией массива, что не представляет опасности с позиций температурного трещинообразования в его объеме. Затем перепад температуры закономерно снижался и к проектному возрасту бетона составил около (15–12) °С. Как следствие, результаты оценки прочности бетона по отобраным (на глубину 3,2–3,4 м) из конструкции плиты образцам-кернам (рис. 6) полностью подтвердили соответствие ее значений проектным требованиям и результатам, полученным при разработке составов бетона для нижнего, среднего и верхнего слоев плиты (табл. 3).

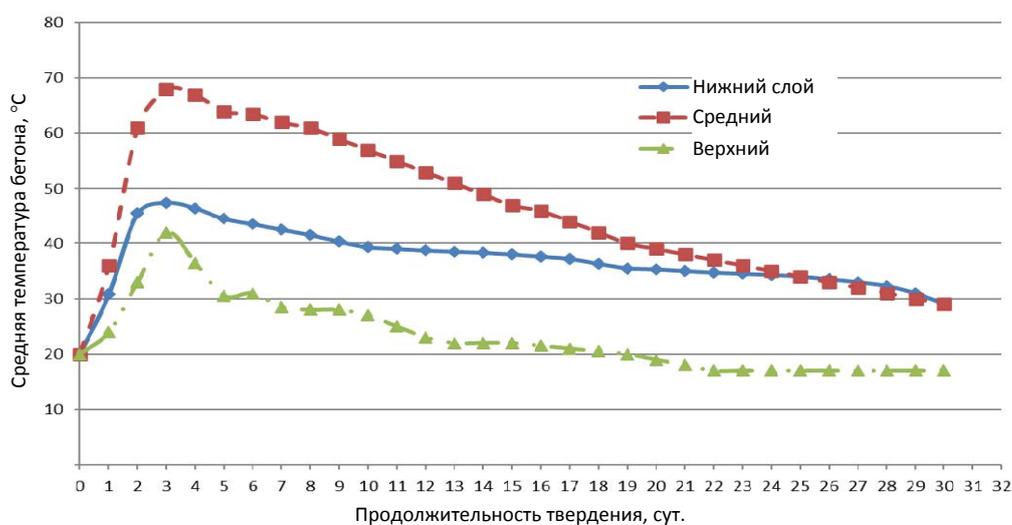


Рис. 6. Данные контроля изменений температуры твердеющего бетона за период с 16.09.2020 по 16.10.2020 (до момента ее стабилизации)

Fig. 6. Data from monitoring changes in temperature of hardening concrete for the period from 16.09.2020 to 16.10.2020 (until it stabilizes)

ВЫВОДЫ

1. Бетонные работы по возведению конструкции фундаментной плиты высотного здания на объекте «Строительство многофункционального комплекса в г. Минске в границах ул. Филимонова – просп. Независимости – ул. Макаенка» выполнены с соблюдением соответствующих требований действующей нормативной технической документации, регламентирующей производство бетонных работ при возведении монолитных бетонных и железобетонных конструкций, включая требования СН 1.03.01.

2. Качество бетона возведенной конструкции фундаментной плиты подтверждено совокупностью данных контроля прочности на сжатие разрушающим (контрольные образцы и образцы-керны, отобранные вертикально из конструкции плиты) и неразрушающим методами (отрывом со скалыванием, осуществленным по боковым граням конструкции), подтвердившими соответствие прочности классу С35/45, а также оценкой водонепроницаемости (марка W20) и морозостойкости (марка F300), что превышает соответствующие проектные требования к бетону конструкции.

3. Белорусский национальный технический университет готов к сотрудничеству с заинтере-

ресованными предприятиями и организациями по отраженному в статье и другим направлениям деятельности в области строительного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цементы общестроительные. Технические условия: ГОСТ 31108–2016. Введ. 01.03.2017. Минск: Госстандарт, 2016. 18 с.
2. Цемент. Часть 1. Состав, технические требования и критерии соответствия общестроительных цементов: СТБ EN 197-1–2015. Введ. 01.01.2016. Минск: Госстандарт, 2016. 40 с.
3. Щебень кубовидный из плотных горных пород. Технические условия: СТБ 1311–2002. Введ. 01.07.2002. Минск: Минстройархитектуры, 2002. 24 с.
4. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия: ГОСТ 8267–93. Введ. 01.01.1995. М.: Госстрой, 1995. 11 с.
5. Песок для строительных работ. Технические условия: ГОСТ 8736–2014. Введ. 01.04.2015. М.: Госстрой, 2017. 12 с.
6. Микрокремнезем для бетона. Часть 1. Определения, требования и критерии соответствия: СТБ EN 13263-1–2012. Введ. 01.01.2013. Минск: Госстандарт, 2012. 26 с.
7. Волокно строительное микроармирующее: ТУ 2272-006-13429727–2007. Введ. 20.05.2007. Челябинск, Россия, 2007. 10 с.
8. Добавки для бетонов. Общие технические условия: СТБ 1112–98. Введ. 01.01.1099. Минск: Минстройархитектуры, 1998. 40 с.

9. Вода для бетонов и растворов. Технические условия: СТБ 1114–98. Введ. 01.01.1999. Минск: Минстройархитектуры, 1998. 40 с.
10. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180–2012. Введ. 01.07.2013. М.: Стандартинформ, 2018. 36 с.
11. Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести: ГОСТ 24544–81. Введ. 01.01.1982. М.: Госстрой, 1980. 26 с.
12. Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуансона: ГОСТ 24452–80. Введ. 01.01.1982. М.: Госстрой, 1980. 20 с.
13. Бетоны. Методы определения водонепроницаемости: ГОСТ 12730.5–84. Введ. 01.07.1985. М.: Госстрой, 1978. 15 с.
14. Бетоны. Ускоренные методы определения морозостойкости при многократном замораживании и оттаивании: ГОСТ 10060.2–95. Введ. 01.09.1996. М.: МНТКС, 1996. 8 с.
15. Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия. СТБ 1544–2005. Введ. 01.07.2005. Минск: Минстройархитектуры, 2005. 36 с.
16. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности: ГОСТ 18105–2018. Введ. 01.03.2020. М.: Стандартинформ, 2019. 20 с.
17. Бетон. Требования, показатели, изготовление и соответствие: СТБ EN 206–2016. Введ. 01.07.2017. Минск: Госстандарт, 2016. 108 с.
18. Возведение строительных конструкций зданий и сооружений: СН 1.03.01–2019. Введ. 16.08.2020. Минск: Минстройархитектуры, 2019. 131 с.
5. State Standard 8736–2014. *Sand for Construction Works. Technical Specifications*. Moscow, Gosstroj, 2017. 12 (in Russian).
6. STB EN 13263-1–2012. *Microsilica for Concrete. Part 1. Definitions, Requirements and Compliance Criteria*. Minsk, Gosstandart Publ., 2012. 26 (in Russian).
7. TU [Technical Specifications] 2272-006-13429727–2007. *Building Micro-Reinforcing Fiber*. Chelyabinsk, Russia, 2007. 10 (in Russian).
8. STB 1112–98. *Concrete Admixtures. General Technical Specifications*. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction, 1998. 40 (in Russian).
9. STB 1114–98. *Water for Concrete and Mortar. Technical Specifications*. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction, 1998. 40 (in Russian).
10. State Standard 10180–2012. *Concrete. Methods for Determining the Strength of Control Samples*. Moscow, Standartinform Publ., 2018. 36 (in Russian).
11. State Standard 24544–81. *Concrete. Methods for Determining Shrinkage and Creep Deformations*. Moscow, Gosstroj Publ., 1980. 26 (in Russian).
12. State Standard 24452–80. *Concrete. Methods for Determining Prismatic Strength, Modulus of Elasticity and Poisson Ratio*. Moscow, Gosstroj Publ., 1980. 20 (in Russian).
13. State Standard 12730.5–84. *Concrete. Methods for Determining Water Resistance*. Moscow, Gosstroj Publ., 1978. 15 (in Russian).
14. State Standard 10060.2–95. *Concrete. Accelerated Methods for Determining Frost Resistance with Repeated Freezing and Thawing*. Moscow, Publishing House of Interstate Scientific and Technical Commission for Standardization, 1996. 8 (in Russian).
15. STB 1544–2005. *Structural Heavyweight Concrete. Technical Specifications*. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction, 2005. 36 (in Russian).
16. State Standard 18105–2018. *Concrete. Rules for Control and Assessment of Strength*. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 20 (in Russian).
17. STB EN 206–2016. *Concrete. Requirements, Performance, Manufacture and Compliance*. Minsk, Gosstandart Publ., 2016. 108 (in Russian).
18. SN [Construction Code] 1.03.01–2019. *Construction of Building Structures for Buildings and Structures*. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction, 2019. 131 (in Russian).

Поступила 06.04.2021

Подписана в печать 08.06.2021

Опубликована онлайн 30.07.2021

REFERENCES

1. State Standard 31108–2016. *Cements for General Construction. Technical Specifications*. Minsk, Gosstandart Publ., 2016. 18 (in Russian).
2. STB EN 197-1–2015. *Cement. Part 1. Composition, Technical Requirements and Conformity Criteria for General Cement*. Minsk, Gosstandart Publ., 2016. 40 (in Russian).
3. STB 1311–2002. *Cuboid Crushed Stone from Dense Rocks. Technical Specifications*. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction, 2002. 24 (in Russian).
4. State Standard 8267–93. *Crushed Stone and Gravel from Dense Rocks for Construction Work. Technical Specifications*. Moscow, Gosstroj Publ., 1995. 11 (in Russian).

Received: 06.04.2021

Accepted: 08.06.2021

Published online: 30.07.2021