

УДК 666.97.03

© А. Ю. Ковалева, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)
E-mail: kovalevaau@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2024-21-5-66-75

© A. Yu. Kovaleva, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)
E-mail: kovalevaau@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ НА ОДНОРОДНОСТЬ СВОЙСТВ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ И БЕТОНА

INFLUENCE OF MIXING TIME ON THE HOMOGENEITY OF PROPERTIES OF CONCRETE MIXTURES AND CONCRETE

В исследовании приведены испытания промышленных бетонных смесей по определению стандартных показателей (удобоукладываемость, объем вовлеченного воздуха) и бетонов, изготовленных из них, для оценки однородности по показателям прочности в зависимости от времени перемешивания. Экспериментально установлено, как время перемешивания влияет на свойства бетонных смесей и определяет однородность бетонных композитов.

Ключевые слова: бетонная смесь, самоуплотняющаяся бетонная смесь, бетон, однородность, удобоукладываемость, прочность, время перемешивания.

The study presents tests of industrial concrete mixtures to determine standard indicators (workability, volume of air involved) and concretes made from them to assess homogeneity in terms of strength as a function of mixing time. It is experimentally established how the assignment of mixing time affects the properties of concrete mixtures and determines the homogeneity of concrete composites.

Keywords: concrete mix, self-compacting concrete mix, concrete, homogeneity, workability, strength, mixing time.

Введение

Получение однородных бетонных смесей является одним из наиболее важных технологических переделов в их производстве и в значительной степени обеспечивает прочность и долговечность бетонных и железобетонных конструкций. В качестве оценки однородности бетона на практике широко применяют статистическую обработку результатов испытаний прочности образцов. Стабильность этих показателей определяется расчетом коэффициента вариации стандартными методами¹, что в определенной степе-

ни гарантирует надежность и безопасность бетонных и железобетонных конструкций. В свою очередь, коэффициент вариации зависит от множества факторов: изменчивости свойств сырья, технологии производства бетонных смесей и изготовления бетонных и железобетонных конструкций (формования, обеспечения условий твердения и т. д.), состояния нормативной базы (своевременная актуализация нормативно-технической документации, разработка программ испытаний и т. д.), квалификации сотрудников и др. Влияние качества сырьевых компонентов на прочность и долговечность бетонных композитов отражено во многих современных

¹ ГОСТ 18105–2018. Бетоны. Правила контроля прочности. Введен 01.01.2020. М.: Стандартинформ, 2019.

исследованиях, которые направлены на изучение формирования их структуры, ее улучшение, что непосредственно способствует повышению однородности. Влияние качества заполнителей на однородность бетона по прочности при производстве бетонных смесей представлено в работе [1]. В исследовании [2] изучено влияние однородности керамзитового гравия на долговечность керамзитобетона. Оптимизация структуры цементных композитов, изменение порового пространства, снижение пористости, повышение прочности и долговечности бетонов на цементных вяжущих за счет применения пластифицирующих добавок отражены в работах [3, 4]. Влияние наномодификаторов на структуру, свойства цементных композитов широко представлено в работах [5–7]. Вместе с тем проведенные исследования позволяют лишь косвенно ответить на вопрос повышения однородности бетонов. В этой связи следует отметить исследования, связанные с влиянием условий уплотнения, назначением времени вибрации на формирование структуры, повышение прочности и однородности бетона, которые отражены в работе [8].

Обеспечение однородности бетонных смесей в производственных условиях следует осуществлять в соответствии с действующим стандартом² и технологическим регламентом на производство бетонных смесей, разработанным на предприятии. Исходя из классического определения, бетонной смесью называется многокомпонентная тщательно перемешанная смесь точно отдозированных вяжущих, заполнителей, воды, химических и минеральных добавок. Однородность бетонной смеси в соответствии с ГОСТ 7473–2010 (Приложение А) может быть обеспечена временем перемешивания, указанным в таблице в зависимости от В/Ц-отношения, удобоукладываемости, типа бетоносмесителя (гравитационный или прину-

дительного действия) и его объема. Однако действующий стандарт не в полной мере отвечает современным условиям, поскольку не учитывает появления новых перспективных материалов (продукты строительной химии, наномодификаторы, воздухововлекающие добавки, тонкомолотые активные минеральные добавки, ультрадисперсные наполнители), позволяющих изготавливать бетонные смеси с улучшенными характеристиками, и поэтому требует внесения корректировок в технологию их изготовления. Несовершенство требований данного стандарта, необходимость его пересмотра рассмотрена в работе [9], что подтверждает актуальность внесения дополнений по работе с данным документом и соответственно обеспечением однородности перемешивания. Следует также отметить, что действующим стандартом совершенно не учтено влияние типа применяемых бетоносмесителей на однородность бетонных смесей. Так, в современной практике приготовление бетонных смесей все чаще осуществляют в смесителях принудительного действия разных конструкций: с горизонтальным или вертикальным расположением одного или двух валов; роторных и др., и соответственно время перемешивания, рекомендованное и указанное стандартом, не может быть одинаковым. Об этом свидетельствуют сравнительные данные об эффективности перемешивания бетонных смесей, изготовленных в роторно-вибрационных смесителях с вибрацией и без, приведенные в работе [10].

Время перемешивания производители могут назначить в технологическом регламенте, но при его составлении необходимо вновь обратиться к стандартам, поэтому на современном уровне применения новых знаний о бетонных смесях необходимо проводить дополнительные экспериментальные исследования в рамках их изготовления с использованием существующих технологий. Так, например, изготовление современных самоуплотняю-

² ГОСТ 7473–2010. Смесей бетонные. Технические условия. Введен 01.01.2012. М.: Стандартинформ, 2011.

щихся бетонных смесей требует более детального подхода к обеспечению их однородности при перемешивании. Таким образом, в отсутствие универсальных требований по назначению времени перемешивания в современной технической документации необходимость его определения экспериментальным путем для высокотехнологичных бетонных смесей с целью обеспечения их однородности становится весьма актуальной.

Методы

При проведении исследований на предприятии по производству бетонных смесей для монолитного строительства изготавливались бетонные смеси следующих марок: бетонная смесь для дорожного строительства БСКД В35П1 (ОК 1–4 см) F₂₀₀W12 (ОК 1–4 см) ГОСТ Р 59300–2021; самоуплотняющаяся бетонная смесь БСТ В60РК1 (55–65 см) F₂₀₀W12 ГОСТ Р 59714–2021. Действующие стандарты, применяемые при производстве самоуплотняющихся бетонных смесей³, для обеспечения однородности перемешивания дают ссылку на ГОСТ 7473–2010, а при производстве бетонных смесей для устройства слоев оснований и покрытий⁴ копируют ГОСТ 7473–2010. Следова-

тельно, производство высокотехнологичных разновидностей бетонных смесей не учитывает обеспечение однородности при назначении времени перемешивания в современных нормативно-технических документах. В представленной работе время перемешивания указанных бетонных смесей устанавливалось экспериментально.

Бетонные смеси изготавливались из гранитного щебня фракций 5–10 мм, 10–20 мм и 5–20 мм; кварцевого песка с модулем крупности, равным 2,3; цемента класса ЦЕМ I 42,5Н Сланцевского цементного завода. В качестве добавок, модифицирующих структуру композита, применялись пластификаторы на основе поликарбоксилатов, воздухововлекающие компоненты, ультрадисперсный наполнитель — микрокремнезем. Составы исследуемых бетонных смесей приведены в таблице.

Производство бетонных смесей осуществлялось на промышленной установке, оснащенной бетоносмесителем принудительного действия с горизонтально расположенными валами объемом по загрузке 2,25 м³. Время перемешивания для бетонной смеси БСТ В60РК1 (55–65 см) F₂₀₀W12 ГОСТ Р 59714–2021 было назначено экспериментально — 120, 150, 180 с, для бетонной смеси БСКД В35П1 (ОК 1–4 см) F₂₀₀W12 ГОСТ Р 59300–2021 соответственно 60, 90, 120 с. Отбор проб, оценка основных показателей бетонной смеси и изготовленных из нее об-

³ ГОСТ Р 59714–2021. Смеси бетонные самоуплотняющиеся. Технические условия. Введен 01.01.2022. М.: Российский институт стандартизации, 2021.

⁴ ГОСТ 59300–2021. Смеси бетонные для устройства слоев оснований и покрытий. Введен 01.08.2021. М.: Российский институт стандартизации, 2021.

Исследуемые составы бетонных смесей

Вид материала	Расход, кг	
	БСКД В35П1 F ₂₀₀ W12	БСТ В60РК1 F ₂₀₀ W12
ЦЕМ I 42,5Н	375	435
Кварцевый песок, фракция 0–2,5 мм	815	786
Гранитный щебень фракции 5–20 мм	1030	–
Гранитный щебень фракции 5–10 мм	–	336
Гранитный щебень фракции 10–20 мм	–	634
Вода	139	170
Добавка пластифицирующая	1,83	8
Добавка воздухововлекающая	0,36	–
Микрокремнезем, МКУ	–	62

разцов производились стандартными методами⁵ в течение анализируемого периода, обозначенного ГОСТ 18105–2018 для оценки однородности бетона по прочности.

Результаты

Удобоукладываемость бетонных смесей оценивалась по осадке конуса и по распылу конуса в соответствии со стандартами^{1,3,5}, объем вовлеченного воздуха — в соответствии со стандартом⁵. Показатели оценивались при проведении отпускного контроля на предприятии-изготовителе бетонной смеси и входного контроля на строительной площадке потребителя, при изменении времени перемешивания. Характер изменения показателей удобоукладываемости на заводе и на строительной площадке в произвольных пробах, отобранных в течение анализируемого периода, в зависимости от назначенного времени перемешивания для смеси марки БСКД В35П1 (ОК 1–4 см) F₂200W12 ГОСТ Р 59300–2021, показан на рис. 1.

Анализируя полученные данные, следует отметить, что необходимым и достаточным временем перемешивания данной бетонной смеси следует принять 90 с, так как полученное время обеспечивает стабильность показателей удобоукладываемости в рамках допустимых значений, обозначенных стандартом⁴, как при проведении отпускного контроля на заводе, так и при проведении входного контроля на строительной площадке. Времени перемешивания 60 с недостаточно из-за нестабильности показателей, а 120 с, как и 90 с, обеспечивают стабильность, но время 120 с приведет к снижению производительности бетоносмесительной установки, что нецелесообразно для завода. Для дорожных бетонов характерно высокое требование по морозостойкости, для достижения которого в бетонные смеси вводятся воздухововлекающие добавки, создающие мелкие воздушные замкнутые поры, распределение

которых по объему должно быть равномерным. Следовательно, время перемешивания бетонных смесей с использованием воздухововлекающих добавок не может быть таким же, как для традиционных бетонных смесей, поэтому необходимость экспериментального назначения времени перемешивания также актуальна.

Результаты определения объема вовлеченного воздуха для бетонной смеси БСКД В35П1 (ОК 1–4 см) F₂200W12 ГОСТ Р 59300–2021 в зависимости от времени перемешивания на заводе и строительной площадке приведены на рис. 2.

Полученные результаты подтверждают, что назначенное время 90 с является оптимальным для перемешивания исследуемой бетонной смеси. Показатели объема вовлеченного воздуха, как и показатели удобоукладываемости, стабилизируются и соответствуют требованиям нормативно-технической документации. Дальнейшее подтверждение правильности назначения времени перемешивания было получено при определении коэффициента вариации прочности бетона по образцам, изготовленным из исследуемой бетонной смеси. Результаты оценки прочности приведены на рис. 3.

Значения коэффициентов вариации бетона по прочности, полученные в результате расчетов, составили 13,3; 5,6; 5,4 % при времени перемешивания соответственно 60, 90, 120 с. Разброс прочности и высокое значение коэффициента вариации при недостаточном времени перемешивания подтверждают необходимость его экспериментального назначения для бетонных смесей, применяемых в дорожном строительстве.

Аналогичные исследования были проведены для определения оптимального времени перемешивания самоуплотняющейся бетонной смеси. Самоуплотняющиеся бетонные смеси в значительной степени отличаются от традиционных в первую очередь изме-

⁵ ГОСТ 10181–2014. Смеси бетонные. Методы испытаний. Введен 01.07.2015. М.: Стандартинформ, 2014.

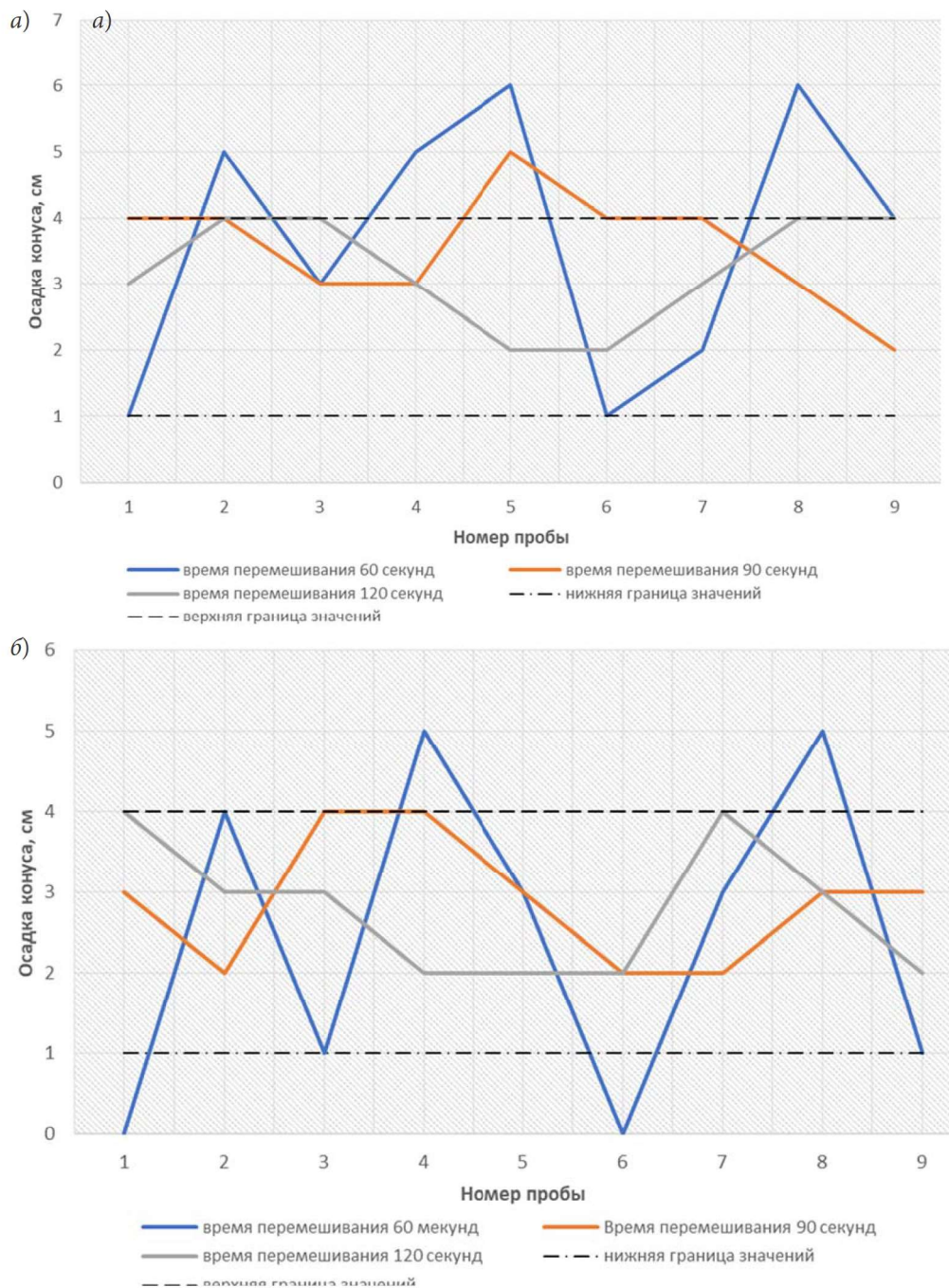


Рис. 1. Изменение удобоукладываемости бетонной смеси БСКД В35П1 F_{200W12}:
а — на заводе; б — на строительной площадке

нением реологических свойств, что отмечено во многих работах [11, 12]. Применение современных продуктов строительной химии для производства самоуплотняющихся бетонных смесей совместно с тонкомолотыми и ультрадисперсными наполнителями тре-

бует более детального подхода к назначению времени перемешивания. В рамках проводимого эксперимента для самоуплотняющейся бетонной смеси БСТ В60РК1 (55–65 см) F_{200W12} ГОСТ Р 59714–2021 было экспериментально назначено время перемешивания

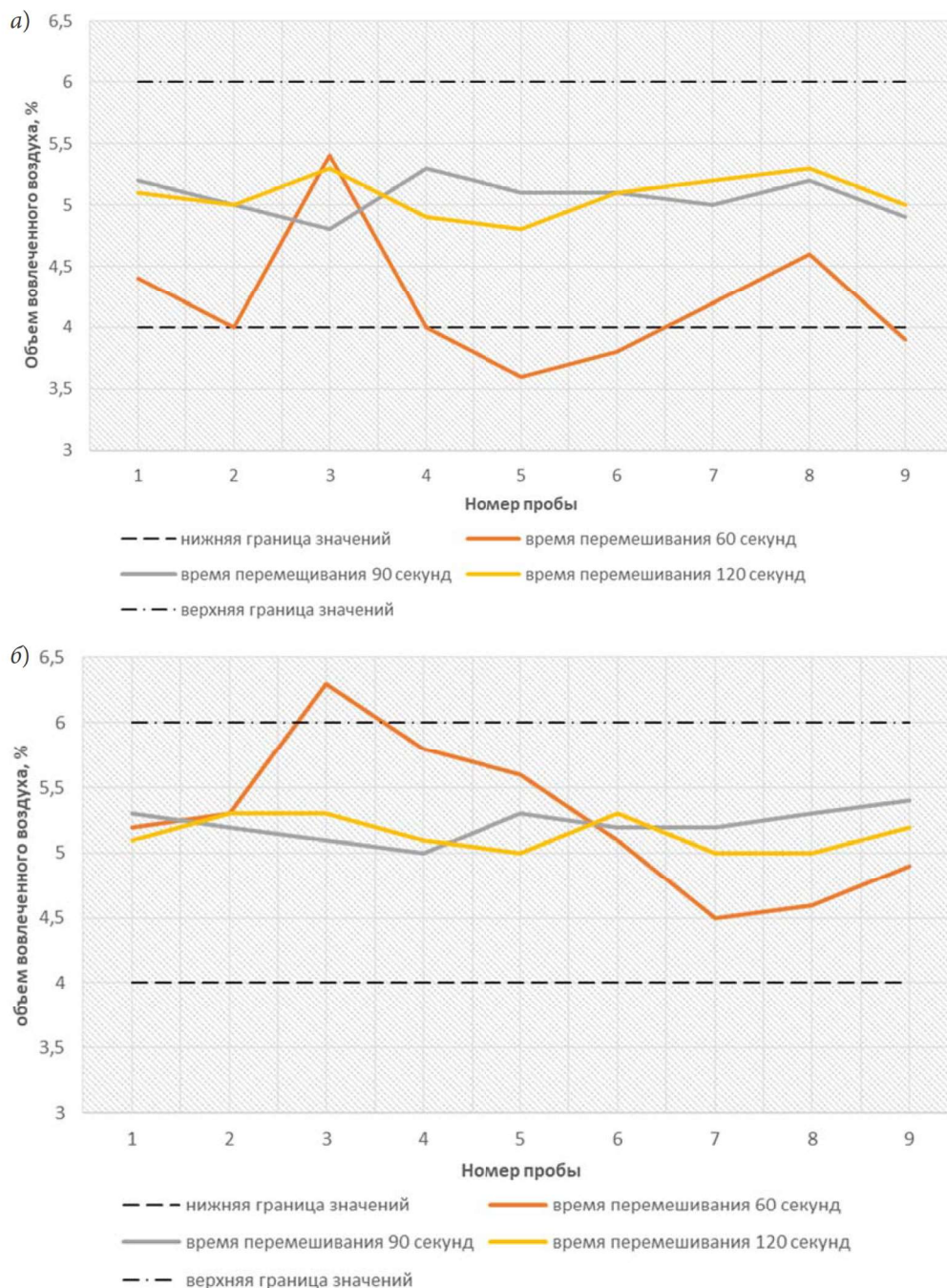


Рис. 2. Изменение объема вовлеченного воздуха в бетонной смеси БСКД В35П1 F₂200W12: а — на заводе; б — на строительной площадке

120, 150 и 180 с. Производилась оценка значений расплыва конуса на заводе и на строительной площадке в пробах, отбираемых в течение анализируемого периода. Результаты изменения удобоукладываемости (расплыва конуса) представлены на рис. 4.

Как и в случае с бетонной смесью для дорожного строительства, можно отметить нестабильность показателей самоуплотняющейся бетонной смеси, полученных сразу после перемешивания в заводских условиях. При испытании на строительной площадке

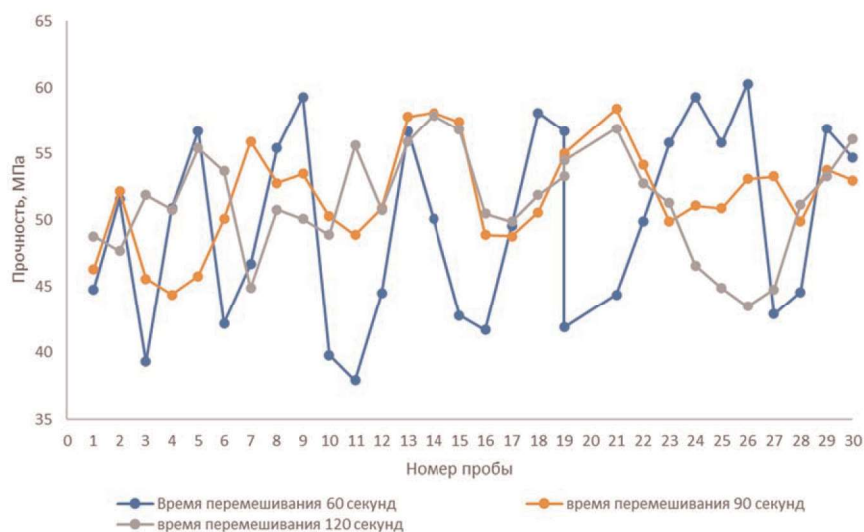


Рис. 3. Изменение прочности бетона БСКД В35П1 F₂200W12 для дорожного строительства

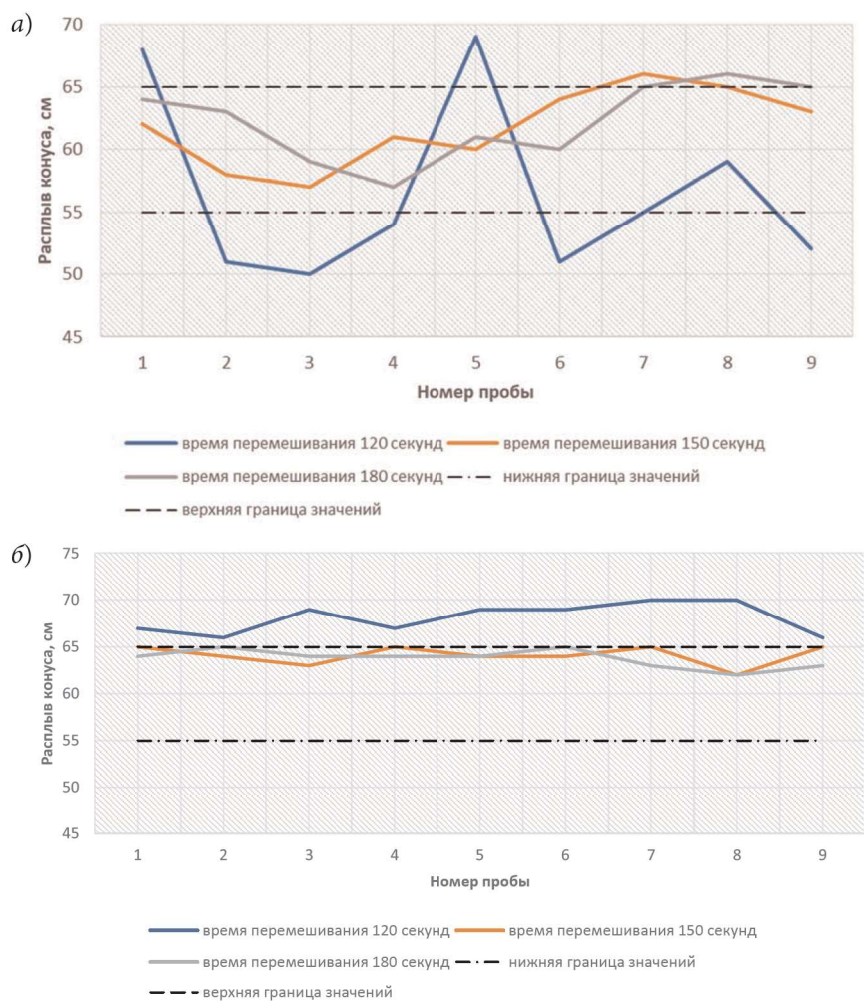


Рис. 4. Изменение удобоукладываемости (распада конуса) бетонной смеси БСТ В60РК1 F₁200W12: а — на заводе; б — на строительной площадке



Рис. 5. Изменение прочности бетона самоуплотняющейся бетонной смеси бетонной смеси БСТ В60РК1 F₂₀₀W12

удобоукладываемость самоуплотняющейся бетонной смеси заметно улучшается, что можно объяснить эффектом дополнительных воздействий, возникающих в процессе транспортирования. Стабилизация значений расплыва конуса как на заводе, так и на строительной площадке достигается при увеличении времени перемешивания до 150 с, что подтверждают данные по контролю прочности, представленные на рис. 5.

Анализ коэффициента вариации прочности бетона, полученного при расчетах и равного 9,07; 3,54, 3,3 %, при времени перемешивания соответственно 120, 150, 180 с также позволяет сделать вывод о достижении однородности свойств при времени перемешивания 150 с.

Выводы

Современная нормативно-техническая документация на бетонные смеси в части назначения времени перемешивания не обеспечивает ее однородность и требует актуализации, что подтверждается результатами исследований. Так, согласно требованиям

стандартов, перемешивание дорожной бетонной смеси должно составлять 60 с, самоуплотняющейся бетонной смеси — 80 с, в то время как представленные экспериментальные данные демонстрируют необходимость увеличения продолжительности процесса соответственно до 90 и 150 с.

Результаты проведенных испытаний свидетельствуют о необходимости экспериментального определения времени перемешивания бетонных смесей для конкретных условий их производства, а также внесения этих значений в технологический регламент.

Библиографический список

1. Ковалева А. Ю., Аубакирова И. У. Влияние качества крупного заполнителя на однородность свойств бетонной смеси и бетона // *Жилищное строительство*. 2024. № 1–2. С. 109–113. DOI 10.31659/0044-4472-2024-1-2-109-113.
2. Хвастунов В. Л., Махамбетова К. Н., Колесников И. В., Телегин Я. И., Лавров И. Ю. Влияние однородности свойств гранул керамзита при осевом и объемном сжатии на долговечность керамзитобето-

на // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. 2020. № 2 (11). С. 80–85.

3. Дергунов С. А., Орехов С. А., Сатюков А. Б., Сериков С. В. Оценка однородности структуры камня на основе минеральных систем, модифицированных пластифицирующими добавками // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 11. С. 39–44.

4. Макридин Н. И., Максимова И. Н. О структурообразовании цементных композитов в присутствии пластифицирующих химических добавок // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов: сб. материалов XVI Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, посв. 80-летию со дня рождения профессора В. И. Калашникова. Пенза, 20–22 октября 2021 г. Пенза: ПГУАС, 2021. С. 4–17.

5. Пухаренко Ю. В., Рыжов Д. И., Староверов В. Д. Особенности структурообразования цементных композитов в присутствии углеродных наночастиц фуллероидного типа // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12, № 7 (106). С. 718–723.

6. Шведова М. А., Артамонова О. В., Ракитянская А. Ю. Нано- и микромодифицирование цементного камня комплексными добавками на основе SiO_2 // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 6 (89). С. 105–114.

7. Пухаренко Ю. В., Аубакирова И. У., Староверов В. Д., Гюннер Т. В., Кудобаев М. К. Коррозионностойкие наномодифицированные цементные бетоны // Технологии бетонов. 2010. № 7–8 (48–49). С. 24–27.

8. Ганина А. А., Яновская А. В., Мозговая А. С., Каченко Д. И., Онищук М. И., Скуч М. С. Исследование влияния технологических факторов на формирование слитной структуры и свойства тяжелого бетона // Вестник Евразийской науки. 2019. Т. 11, № 6. Статья 68.

9. Ковалева А. Ю., Коноплев С. Н., Староверов В. Д. Проблемы и практика применения стандартов на бетонные смеси // Технологии бетонов. 2024. № 3 (194). С. 17–22.

10. Ефремов И. М., Лобанов Д. В. Исследование процесса перемешивания в роторно-вибрационном смесителе // Механизация строительства. 2012. № 7 (817). С. 40–43.

11. Водолад М. Н., Егорова Е. В., Лахтарина С. В., Петрик И. Ю., Ченченко А. М. Оптимизация состава самоуплотняющихся бетонных смесей, стойких к сегрегации, и бетонов на их основе // Современное промышленное и гражданское строительство. 2022. Т. 18, № 3. С. 117–125.

12. Касторных Л. И., Скиба В. П., Елсуфьев А. Е. Об эффективности использования модификатора вязкости в самоуплотняющихся бетонах // Инженерный вестник Дона. 2017. № 3 (46). Статья 111.

References

1. Kovaleva A. Yu., Aubakirova I. U. *Vliyanie kachestva krupnogo zapolnitelya na odnorodnost' svoystv betonnoy smesi i betona* [Impact of the quality of coarse aggregate on homogeneity of concrete mixture and concrete properties]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo – Housing Construction*, 2024, no. 1–2, pp. 09–113. DOI 10.31659/0044-4472-2024-1-2-109-113.

2. Khvastunov V. L., Makhambetova K. N., Kolesnikov I. V., Telegin Ya. I., Lavrov I. Yu. *Vliyanie odnorodnosti svoystv granul keramzita pri osevom i ob'emnom szhatii na dolgovechnost' keramzitobetona* [The influence of homogeneity of properties of expanded clay granules at axial and volumetric compression on durability of expanded clay concrete]. *Vestnik PGUAS: stroitel'stvo, nauka i obrazovanie – Vestnik Bulletin of PSUAS: Construction, Science and Education*, 2020, no. 2 (11), pp. 80–85.

3. Dergunov S. A., Orekhov S. A., Satyukov A. B., Serikov S. V. *Otsenka odnorodnosti struktury kamnya na osnove mineral'nykh sistem, modifitsirovannykh plastifitsiruyushchimi dobavkami* [Estimation of stone structure homogeneity on the basis of mineral systems modified by plasticizing additives]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo – Industrial and Civil Engineering*, 2017, no. 11, pp. 39–44.

4. Makridin N. I., Maksimova I. N. *O strukturoobrazovanii tsementnykh kompozitov v prisutstvii plastifitsiruyushchikh khimicheskikh dobavok* [About structure formation of cement composites in the presence of plasticizing chemical additives]. «*Teoriya i praktika povysheniya effektivnosti stroitel'nykh materialov*». Sb. mat-lov XVI Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. molodykh uchenykh, posvyashchennoy 80-letiyu so dnya rozhdeniya professora V. I. Kalashnikova [«Theory and practice of increasing the efficiency of construction materials». Proceedings of the XVI Intern. sci.-tech. conf. of young scientists, devoted to the 80-th anniversary of the birth of Prof. V. I. Kalashnikov]. Penza, 20–22 oktyabrya 2021 g. Penza, PGUAS Publ., 2021, pp. 4–17.

5. Pukharenko Yu. V., Ryzhov D. I., Staroverov V. D. *Osobennosti strukturoobrazovaniya tsementnykh kompozitov v prisutstvii uglerodnykh nanochastits fulleroidnogo tipa* [Features of structure formation of cement composites in the presence of carbon nanoparticles of fulleroid type]. *Vestnik MGSU – Bulletin of MSCU*, 2017, vol. 12, no. 7 (106), pp. 718–723.

6. Shvedova M. A., Artamonova O. V., Rakityanskaya A. Yu. *Nano- i mikromodifitsirovanie tsementnogo kamnya kompleksnymi dobavkami na osnove SiO_2* [Nano- and micromodification of cement stone by complex additives based on SiO_2]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2021, no. 6 (89), pp. 105–114.

7. Pukhareno Yu. V., Aubakirova I. U., Staroverov V. D., Gyunner T. V., Kudobaev M. K. *Korroziionnostoykie nanomodifitsirovannye tsementnye betony* [Corrosion-resistant nanomodified cement concretes]. *Tekhnologii betonov – Technologies of Concretes*, 2010, no. 7–8 (48–49), pp. 24–27.
8. Ganina A. A., Yanovskaya A. V., Mozgovaya A. S., Tkachenko D. I., Onishchuk M. I., Skuch M. S. *Issledovanie vliyaniya tekhnologicheskikh faktorov na formirovanie slitnoy struktury i svoystva tyazhelogo betona* [Investigation of the influence of technological factors on the formation of fusion structure and properties of heavy concrete]. *Vestnik Evraziyskoy nauki – Bulletin of Eurasian Science*, 2019, vol. 11, no. 6, paper 68.
9. Kovaleva A. Yu., Konoplev S. N., Staroverov V. D. *Problemy i praktika primeneniya standartov na betonnye smesi* [Problems and practice of applying standards for concrete mixtures]. *Tekhnologii betonov – Technologies of Concretes*, 2024, no. 3 (194), pp. 17–22.
10. Efremov I. M., Lobanov D. V. *Issledovanie protsessa peremeshivaniya v roturno-vibratsionnom smesitele* [Investigation of mixing process in rotary-vibration mixer]. *Mekhanizatsiya stroitel'stva – Mechanization of Construction*, 2012, no. 7 (817), pp. 40–43.
11. Vodolad M. N., Egorova E. V., Lakhtarina S. V., Petrik I. Yu., Chenchenko A. M. *Optimizatsiya sostava samouplotnyayushchikhsya betonnykh smesey, stoykikh k segregatsii, i betonov na ikh osnove* [Optimization of composition of self-compacting concrete mixtures resistant to segregation and concretes on their basis]. *Sovremennoe promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo – Modern Industrial and Civil Engineering*, 2022, vol. 18, no. 3, pp. 117–125.
12. Kastornykh L. I., Skiba V. P., Elsuf'ev A. E. *Ob effektivnosti ispol'zovaniya modifikatora vyazkosti v samouplotnyayushchikhsya betonakh* [On the effectiveness of viscosity modifier in self-compacting concrete]. *Inzhenerniy vestnik Dona – Bulletin of the Don*, 2017, no. 3 (46), paper 111.