

ТОШИН Д. С.
РОВЕНСКАЯ Е. А.

Влияние условий длительного твердения на прочность тяжелого бетона



Тошин
Дмитрий
Сергеевич

кандидат технических наук, доцент, доцент Центра архитектурных, конструктивных решений и организации строительства ФГБОУ ВО Тольяттинский государственный университет, Российская Федерация

e-mail: D.Toshin@titsu.ru



Ровенская
Екатерина
Андреевна

магистр по специальности 08.04.01 «Строительство», ФГБОУ ВО Тольяттинский государственный университет, Российская Федерация

e-mail:
zinkevich-kate@mail.ru

В статье представлены результаты экспериментальных исследований длительного набора прочности тяжелого бетона в зависимости от условий хранения опытных образцов. В эксперименте назначены благоприятные условия твердения, характеризующиеся влажностью около 70% и температурой 22–24 °С, и условия твердения, приближенные к строительной площадке, с хранением на улице без защиты от внешних природных воздействий. До 28 суток все образцы находились в нормальных условиях, последующее хранение в течение одного года осуществлялось раздельно по двум сериям. Исследования позволили получить зависимости набора прочности бетона при благоприятных факторах и в условиях строительной площадки, оценить влияние отрицательных температур на динамику набора прочности и ее конечное значение.

Ключевые слова: длительный набор прочности, прочность бетона, кубиковая прочность, условия строительной площадки, образцы-кубы.

TOSHIN D. S., ROVENSKAYA E. A.

INFLUENCE OF LONG-TERM HARDENING CONDITIONS ON THE STRENGTH OF HEAVY CONCRETE

The article presents the results of experimental studies of a long-term set of strength of heavy concrete depending on the storage conditions of prototypes. The experiment assigned favorable conditions for hardening, characterized by a humidity of about 70% and a temperature of 22–24 °C, and conditions for hardening, close to the construction site, with storage on the street without protection from external natural influences. Up to 28 days, all samples were kept in normal conditions, and subsequent storage for one year was carried out separately in two series. The research allowed us to obtain the dependences of the strength set of concrete under favorable factors and in the conditions of the construction site, to assess the influence of negative temperatures on the dynamics of the strength set and its final value.

Keywords: long-term strength development, the strength of concrete, cubic strength, conditions of the construction site, samples-cubes.

Известным и неопровержимым фактом является длительный процесс набора прочности бетона, который при благоприятных условиях может исчисляться годами и даже десятилетиями. Конечная прочность бетона к определенному возрасту существенно зависит от температуры и влажности твердения при других равных факторах. При этом опыт монолитного строительства показывает, что условия набора прочности бетона в конструкции может существенно отличаться от условий хранения контрольных образцов-кубов, особенно в условиях зимнего бетонирования. В итоге прочность бетона, полученная в образцах, в большинстве случаев считается

достигнутой в конструкции к тому же возрасту, что часто не соответствует действительности. Такие подходы к оценке прочностных свойств бетона являются массовыми в монолитном строительстве, способствуют потенциальному повреждению конструкций в дальнейшем при эксплуатационных нагрузках и воздействиях, сохраняют риск наступления предельного состояния и отказа конструкции. Совершенствование технологии отбора, хранения, испытания контрольных образцов, а также выявление закономерностей длительного набора прочности бетона в условиях строительной площадки является актуальной задачей современного строительства, направленной на повышение

надежности и долговечности зданий и сооружений в целом.

Первоначально проектную прочность тяжелого бетона определяют состав бетонной смеси, условия приготовления, транспортировки, укладки и твердения [5, 7, 8, 11, 13]. Вопрос кинетики набора прочности бетона или ее уменьшения в процессе деградаций достаточно широко исследован применительно к различным условиям строительства и эксплуатации [3–6, 9, 10, 12, 14–17]. Нормы на проектирование железобетонных конструкций [2] жестко не устанавливают проектный возраст бетона и позволяют назначать «при проектировании, исходя из возможных реальных сроков загрузки конструкций проектными нагрузками» (лишь при отсутствии точных данных проектная прочность должна быть обеспечена в возрасте 28 суток). Однако сложившаяся практика по оценке и прогнозированию прочностных свойств бетона в монолитных конструкциях не является гарантом обеспечения требований проекта, требуется дальнейшее совершенствование процедуры контроля прочности бетона на объекте строительства.

Известно, что при хранении в благоприятных условиях (положительная температура твердения, высокая влажность) увеличение прочности бетона может быть описано зависимостью

$$R_t = R_{28} \frac{\lg t}{\lg 28}, \quad (1)$$

где R_t , R_{28} — временное сопротивление бетонных кубов в возрасте t и 28 суток соответственно.

В действительности после монтажа сборных элементов и особенно после изготовления монолитных конструкций условия набора прочности со временем меняются, что определяется суточными и сезонными колебаниями температуры и влажности. Условия выдержки железобетонных конструкций в период строительства могут существенно изменяться даже за непродолжительный период, например, от высоких положительных температур и низкой влажности до отрицательных температур, в том числе с возможным замачиванием конструкций в построечных условиях с их замораживанием и оттаиванием. Влияние изменяющихся во времени условий набора прочности в значительной степени зависит от календарного периода изготовления монолитной конструкции, не прогнозируется при разработке проектной документации и не поддается точной оценке

при определении конечной прочности бетона к моменту загрузки конструкций проектной нагрузкой.

Получение данных об изменении прочности бетона в построечных условиях возможно проведением экспериментальных исследований в условиях, приближенных к строительной площадке. В данной работе представлен сравнительный анализ изменения прочности тяжелого бетона в образцах при наборе прочности в условиях положительной температуры и повышенной влажности (условно «благоприятные условия», далее б. у.), а также при хранении образцов на улице без проведения защитных мероприятий (условно «строительная площадка», далее с. п.).

В качестве исследуемого принят тяжелый бетон на цементном вяжущем. При планировании экспериментальных исследований предполагалась оценка набора прочности бетона в течение одного года. Предусматривалось последовательное испытание образцов в возрасте 7 и 28 суток, далее 6 и 12 месяцев. Испытания проводились на образцах $100 \times 100 \times 100$ мм с последующим учетом масштабного коэффициента при приведении получаемых значений к кубиковой прочности в стандартных образцах. В каждой серии образцов предусматривалось испытание 2 кубов (в возрасте 7 и 28 суток) или 3 кубов (в возрасте 6 и 12 месяцев). Всего было испытано 16 образцов-кубов.

Образцы, подготовленные к проведению исследования, первые 28 суток хранились в нормальных условиях (далее н. у.) в соответствии с ГОСТ [1]. Далее образцы серии б. у. были помещены в условия, благоприятные для длительного набора прочности (влажность около 70%, температура 22–24 °C), образцы серии с. п. хранились непосредственно на улице без защиты от суточных и сезонных температурных колебаний, солнечного света, дождя и снега. Таким образом, в экспериментальном исследовании оценивалось влияние условий твердения на скорость набора прочности тяжелого бетона и непосредственно значение прочности в возрасте 6 месяцев (фактически оказалось 185 суток) и 12 месяцев (369 суток).

Для анализа результатов набора прочности бетона после 28 суток твердения в условиях строительной площадки важным является календарный период выдерживания образцов серии с. п. непосредственно на улице. Бетонные кубы были изготовлены 28.08.2018 и достигли 28-су-

точного возраста к 25.09.2018, после чего в соответствии с программой экспериментальных исследований были разделены на серии и направлены на хранение в различные условия твердения. Для образцов серии б. у. календарная привязка условий твердения не имеет принципиального значения. Образцы серии с. п. в период хранения с 28 суток до 6 месяцев находились преимущественно при отрицательной температуре (около 70% времени хранения), в период с 6 до 12 месяцев преобладала положительная температура хранения (более 90% времени).

Результаты проведенных экспериментальных испытаний представлены в Таблице 1, а также для наглядности проиллюстрированы на Иллюстрации 1.

В течение всего периода исследований прочность тяжелого бетона серии б. у., выдерживавшегося в благоприятных условиях, оказалась ниже значений, вычисленных по формуле (1), но в целом по очертанию график соответствует теоретической кривой. Характер зависимости изменения прочности бетона во времени, построенной для серии с. п., имеет принципиальные отличия от теоретической кривой. В период с 28 суток до 6 месяцев хранения прирост прочности оказался ниже, чем в период с 6 до 12 месяцев. Подобный результат объясняется условиями хранения образцов и длительным периодом отрицательной температуры до 6 месяцев.

Скорость набора прочности (МПа/сут) можно представить как $\Delta R_b / \Delta t$ (здесь ΔR_b — изменение прочности бетона за исследуемый период времени Δt). При этом рационально скорость набора прочности $R_{b,28} / 28$ (здесь $R_{b,28}$ — прочность бетона к 28 суткам твердения в нормальных условиях, $\Delta t = 28$ сут) принять за базовое значение, а изменение прочности бетона в другие периоды устанавливать относительно этой величины. В этом случае для образцов серии б. у. скорость набора прочности бетона составила в среднем 7% от базового значения в период с 28 суток до 6 месяцев и 4,2% в период с 6 до 12 месяцев. Для образцов серии с. п. эти значения составили 2,6% и 4,1% соответственно, т. е. в условиях строительной площадки с переменчивыми температурными и влажностными условиями возможно резкое падение прироста прочности на ранних стадиях твердения и увеличение скорости набора прочности бетона в более поздние периоды. При этом скорость

Таблица 1. Характеристики опытных образцов и результаты экспериментальной оценки кубиковой прочности

Дата изготовления образца	Размеры образца-куба, мм	Серия образца	Дата испытания	Возраст образца при испытании, сут	Масса образца, г	Прочность, МПа	Среднее значение прочности в серии, МПа
28.08.2018	100×100×100	н. у.	04.09.2018	7	2505	35,5	34,6
					2495	33,9	
		н. у.	25.09.2018	28	2500	44,0	45,5
					2490	46,9	
		с. п.	01.03.2019	185	2500	53,6	52,2
					2485	53,8	
					2485	49,1	
		б. у.	01.03.2019	185	2500	69,7	63,4
					2480	57,5	
					2463	62,9	
		с. п.	31.08.2019	369	2460	65,0	64,6
					2475	63,8	
					2470	65,0	
		б. у.	31.08.2019	369	2477	79,9	76,2
					2480	72,2	
					2450	76,4	

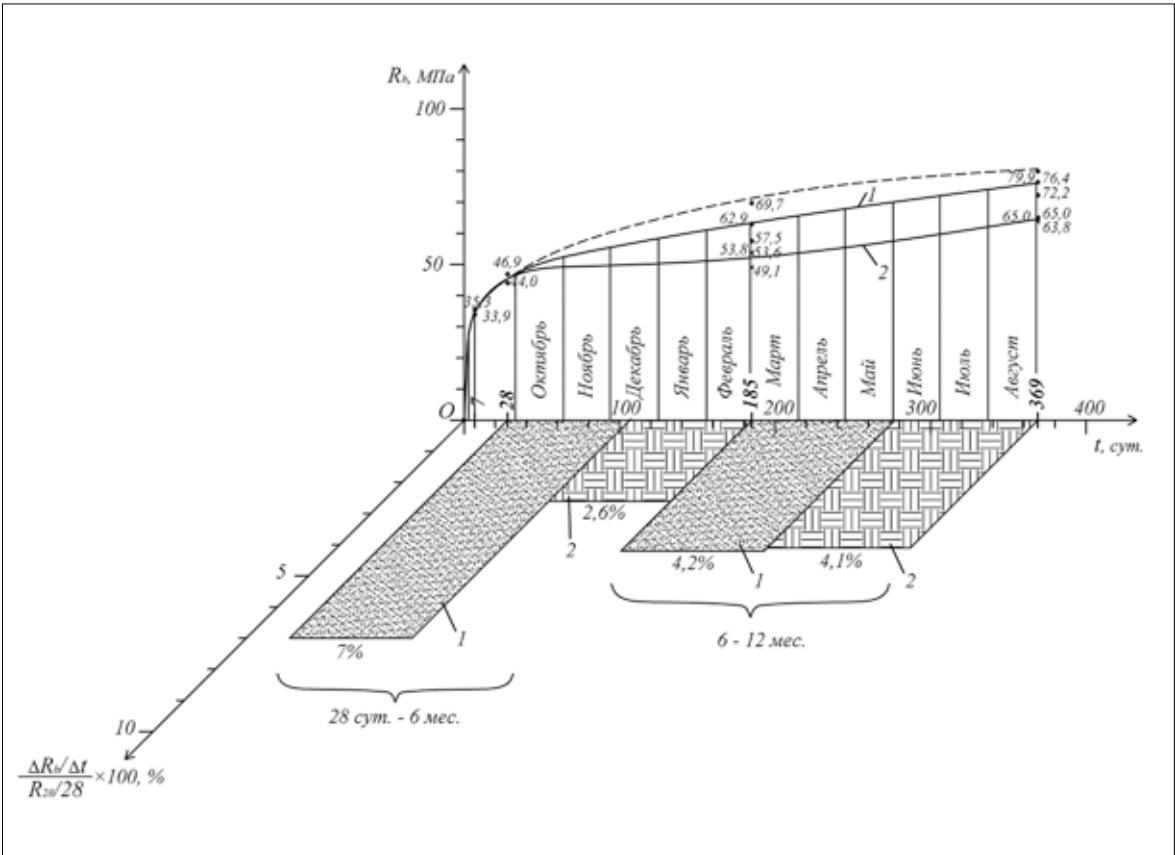


Иллюстрация 1. Изменение прочности бетона во времени: зависимости, построенные по усредненным экспериментальным данным (1 — при хранении в благоприятных условиях; 2 — при хранении в условиях, приближенных к строительной площадке); теоретическая зависимость, полученная по формуле (1); × 49,1 и × 62,9 — экспериментальные данные для образцов серии б. у. и с. п. соответственно с указанием значений прочности бетона в МПа. Автор Д. С. Тошин

набора прочности бетона в период с 6 до 12 месяцев в двух сериях оказалась сопоставимой (серия б. у. — 4,2%, серия с. п. — 4,1%), компенсации «недобора» прочности за период отрицательных температур при последующем улучшении условий твердения ожидать не следует. Прочность бетона серии с. п. к возрасту 12 месяцев достигла 64,6 МПа. В бетоне серии б. у. та же прочность соответствует возрасту 200 суток.

Проведенные исследования позволили количественно оценить изменение прочности бетона в различных условиях хранения только для тяжелого бетона одной прочности и требуют проведения дополнительных экспериментов, однако выявленные закономерности позволяют сформулировать основные выводы по работе.

Заключение

- 1 В условиях проведенного экспериментального исследования к 369 суткам твердения тяжелый бетон серии б. у. и с. п. набрал прочность 167% и 142% от $R_{b,28} = 45,5$ МПа соответственно.
- 2 При благоприятных условиях прочность тяжелого бетона во времени в целом удовлетворительно описывается известной логарифмической зависимостью (формула (1)), точное прогнозирование возможно при введении поправочных коэффициентов. В условиях строительной площадки с переменчивыми температурными и влажностными условиями указанную зависимость применять не допускается.
- 3 Конечная прочность бетона в конкретном возрасте в условиях строительной площадки ниже, чем при выдерживании в нормальных или благоприятных условиях.
- 4 В условиях строительной площадки при знакопеременных температурных колебаниях возможны ситуации, при которых скорость набора прочности с возрастом увеличивается.
- 5 При отрицательных температурах скорость набора прочности тяжелого бетона замедляется и приостанавливается, при дальнейшем повышении температуры до положительных значений скорость набора прочности повышается лишь до уровня, сопоставимого со скоростью набора прочности в образцах, выдерживаемых исключительно в благоприятных условиях, в аналогичный отрезок времени.

Список использованной литературы

- 1 ГОСТ 10180–2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
- 2 СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.
- 3 Анваров Б. Р., Латыпова Т. В., Латыпов В. М., Крамар Л. Я. К вопросу о механизме повреждения железобетона при коррозии выщелачивания // Изв. высш. учеб. заведений. Строительство. — 2015. — № 2 (674). — С. 12–26.
- 4 Анисимов С. Н., Минаков Ю. А., Семагин Д. А., Смирнов А. О. Управление кинетикой набора прочности бетона при возведении монолитных конструкций в экстремальных условиях // Вестн. Поволж. гос. технол. ун-та. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. — 2018. — № 1. — С. 84–89.
- 5 Артамонова О. В., Славчева Г. С., Крестина В. Н., Гущина Е. Ю. Влияние вида суперпластификатора в составе наномодифицирующей добавки на кинетику набора прочности цементного камня // Науч. вестн. Воронеж. гос. арх.-строит. ун-та. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. — 2017. — № 1 (14). — С. 3–6.

- 6 Баженов Ю. М., Мурашкин В. Г. Учет изменения прочности бетона при проектировании железобетонных конструкций // Вестн. Волж. регион. отд-ния Рос. акад. арх. и строит. наук. — 2017. — № 20. — С. 244–251.
- 7 Воронин В. В., Шувалова Е. А., Одинцов А. А., Архангельский Е. А. Применение добавок для ускорения набора прочности как альтернатива тепловлажностной обработке бетона // Транспортные сооружения. — 2018. — Т. 5. — № 2. — С. 10.
- 8 Гасиев А. А., Беппаев З. У., Хасаев Ю. М. Исследование динамики и уровня набора прочности бетона, уложенного в стальную несъемную опалубку // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. — 2015. — № 6. — С. 70–76.
- 9 Кудайбергенова Н. А., Чумадова Л. И., Ватин Н. И. и др. Кинетика набора прочности бетона при раннем замораживании // Строительство уникальных зданий и сооружений. — 2016. — № 2 (41). — С. 7–17.
- 10 Свищ И. С. Исследование набора прочности во времени в агрессивной среде тяжелого бетона с использованием сульфатостойкого цемента, крымских заполнителей и добавки на основе эфиров поликарбонатов // Строительство и техногенная безопасность. — 2018. — № 13 (65). — С. 63–68.
- 11 Adamtsevich A., Eremin A., Pustovgar A. et al. Research on the effect of prehydration of portland cement stored in normal conditions // Applied Mechanics and Materials. — 2014. — Vol. 670–671. — P. 376–381.
- 12 Anvarov A. R., Fedorov P. A., Latypova T. V. et al. Carbonization of concrete: worried about durability? // The 5th Asia Conference on Earthquake Engineering (5ACEE), October 16–18. — Taipei, Taiwan, 2014. — P. 151.
- 13 El-mahadi A. Rheological properties, poss of workability and strength development of high-strength concrete. — London: MSc. University of London, 2002. — 144 p.
- 14 Fu X. P., Liu X. X., Sun Y. Z. et al. Experimental study of mechanical properties of concrete after freeze-thaw exposures // International Conference on Frontiers of Advanced Materials and Engineering Technology. — 2014. — P. 131–135.
- 15 Gourri E., Ez-Zahery M., Elalem N. Study and characterization of the concrete and influence of the temperature on its compressive strength // Альтернативная энергетика и экология (междунар. науч. журн.). — 2008. — № 6 (62). — С. 209–213.
- 16 Min Wua, Bjorn Johannesson, Mette Geiker. A review: Self-healing in cementitious materials and engineered cementitious composite as a self-healing material // Construction and Building Materials. — 2012. — № 28. — P. 571–583.
- 17 Pashkevich S., Pustovgar A., Adamtsevich A., Eremin A. Pore structure formation of modified cement systems, hardening over the temperature range from +22 °C to –10 °C // Applied Mechanics and Materials. — 2014. — Vol. 584–586. — P. 1659–1664.

References

- 1 GOST 10180–2012 Betony. Metody opredeleniya prochnosti po kontrol'nym obrazcam.
- 2 SP 63.13330.2018 Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovnye polozheniya.
- 3 Anvarov B. R., Latypova T. V., Latypov V. M., Kramar L. Ya. K voprosu o mekhanizme povrezhdeniya zhelezobetona pri korrozii vyshchelachivaniya // Izv. vyssh. ucheb. zavedenij. Stroitel'stvo. — 2015. — № 2 (674). — S. 12–26.
- 4 Anisimov S. N., Minakov Yu. A., Semagin D. A., Smirnov A. O. Upravlenie kinetikoj nabora prochnosti

- betona pri vozvedenii monolitnyh konstrukcij v ekstremal'nyh usloviyah // Vestn. Povolzh. gos. tekhnol. un-ta. Seriya: Materialy. Konstrukcii. Tekhnologii. — 2018. — № 1. — S. 84–89.
- 5 Artamonova O.V., Slavcheva G.S., Kretinina V.N., Gushchina E.Yu. Vliyanie vida superplastifikatora v sostave nanomodificiruyushchej dobavki na kinetiku nabora prochnosti cementnogo kamnya // Nauch. vestn. Voronezh. gos. arh.-stroit. un-ta. Seriya: Fiziko-himicheskie problemy i vysokie tekhnologii stroitel'nogo materialovedeniya. — 2017. — № 1 (14). — S. 3–6.
 - 6 Bazhenov Yu.M., Murashkin V.G. Uchet izmeneniya prochnosti betona pri proektirovanii zhelezobetonnyh konstrukcij // Vestn. Volzh. region. otd-niya Ros. akad. arh. i stroit. nauk. — 2017. — № 20. — S. 244–251.
 - 7 Voronin V.V., Shuvalova E.A., Odincov A.A., Arhangel'skij E.A. Primenenie dobavok dlya uskoreniya nabora prochnosti kak al'ternativa teplovlazhnostnoj obrabotke betona // Transportnye sooruzheniya. — 2018. — T. 5. — № 2. — S. 10.
 - 8 Gasiev A.A., Beppaev Z.U., Hasauov Yu.M. Issledovanie dinamiki i urovnya nabora prochnosti betona, ulozhennogo v stal'nuyu nes'emnyuyu opalubku // Stroitel'naya mekhanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij. — 2015. — № 6. — S. 70–76.
 - 9 Kudajbergenova N.A., CHumadova L.I., Vatin N.I. i dr. Kinetika nabora prochnosti betona pri rannem zamorazhivanii // Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij. — 2016. — № 2 (41). — S. 7–17.
 - 10 Svishch I.S. Issledovanie nabora prochnosti vo vremeni v agressivnoj srede tyazhelogo betona s ispol'zovaniem sul'fatostojkogo cementa, krymskih zapolnitelej i dobavki na osnove efirov polikarboksilatov // Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. — 2018. — № 13 (65). — S. 63–68.
 - 11 Adamtsevich A., Eremin A., Pustovgar A. et al. Research on the effect of prehydration of portland cement stored in normal conditions // Applied Mechanics and Materials. — 2014. — Vol. 670–671. — P. 376–381.
 - 12 Anvarov A.R., Fedorov P.A., Latypova T.V. et al. Carbonization of concrete: worried about durability? // The 5th Asia Conference on Earthquake Engineering (SACEE), October 16–18. — Taipei, Taiwan, 2014. — P. 151.
 - 13 El-mahadi A. Rheological properties, poss of workability and strength development of high-strength concrete. — London: MSc. University of London, 2002. — 144 r.
 - 14 Fu X.P., Liu X.X., Sun Y.Z. et al. Experimental study of mechanical properties of concrete after freeze-thaw exposures // International Conference on Frontiers of Advanced Materials and Engineering Technology. — 2014. — P. 131–135.
 - 15 Gourri E., Ez-Zahery M., Elalem N. Study and characterization of the concrete and influence of the temperature on its compressive strength // Al'ternativnaya energetika i ekologiya (mezhdunar. nauch. zhurn.). — 2008. — № 6 (62). — S. 209–213.
 - 16 Min Wua, Bjorn Johannesson, Mette Geiker. A review: Self-healing in cementitious materials and engineered cementitious composite as a self-healing material // Construction and Building Materials. — 2012. — № 28. — P. 571–583.
 - 17 Pashkevich S., Pustovgar A., Adamtsevich A., Eremin A. Pore structure formation of modified cement systems, hardening over the temperature range from +22 °C to –10 °C // Applied Mechanics and Materials. — 2014. — Vol. 584–586. — P. 1659–1664.

Dmitry Toshin

Candidate of technical Sciences, associate Professor, associate Professor of the Center for Architectural, Structural Solutions and Construction Organization of the Tolyatti state University, Russian Federation
e-mail: D.Toshin@tltsu.ru

Ekaterina Rovenskaya

Master's degree in construction 08.04.01. of the Tolyatti state University, Russian Federation
e-mail: zinkevich-kate@mail.ru

Статья поступила в редакцию в марте 2020 г.
Опубликована в июне 2020 г.