

Научная статья

УДК 699.822

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-2024-16-2-170-179>

CC BY 4.0

Исследование физико-механических свойств бетона с добавлением многофункциональной добавки

Анна Николаевна Перевощикова* , Игорь Викторович Вальцифер , Наталья Борисовна Кондрашова ,
Наталья Сергеевна Воронина 

Институт технической химии Уральского отделения Российской академии наук, Пермь, Россия

* Автор, ответственный за переписку: e-mail: annper87@gmail.com

АННОТАЦИЯ

Введение. Известно, что основным строительным материалом, несмотря на внедрение новых технологий, является бетон. Сочетание прочности и долговечности делает его незаменимым материалом при возведении объектов гражданской и промышленной инфраструктуры. Тем не менее, воздействие на бетонные конструкции агрессивных внешних факторов, таких как кислые и щелочные среды, температурные «качели», присутствие воды в условиях низких температур и др. приводит к значительному снижению прочностных характеристик. Введение в состав бетонов различных добавок на основе органических и неорганических соединений позволяет регулировать эксплуатационные свойства и защищать бетонные конструкции от негативного влияния окружающей среды. Поэтому исследовательские работы, направленные на улучшение физико-механических показателей и повышение качества бетонных конструкций, являются актуальными. **Методы и материалы.** В качестве объектов исследования в работе рассматривались образцы бетонов, приготовленные на основе бетонных смесей как с использованием разработанной сотрудниками «Института технической химии УрО РАН» многофункциональной добавки «Бетомикс-ИТХ Гель», так и без ее применения. Физико-химические свойства сравниваемых образцов были исследованы в соответствии с российскими и межгосударственными нормативными документами в аккредитованных лабораториях РФ и Турецкой республики. **Результаты и обсуждение.** В результате проведенных исследований установлено, что введение многофункциональной добавки «Бетомикс-ИТХ Гель» в состав бетонной смеси приводит к увеличению водонепроницаемости бетона на 4 ступени, повышению показателей по морозостойкости и прочности бетона по сравнению с образцами без добавки. Показано, что «Бетомикс-ИТХ Гель» придает бетону свойство «самозалечивания» с раскрытием трещин до 0,5 мм и повышает устойчивость стальной арматуры к коррозии. **Выводы.** В работе экспериментально доказана эффективность добавки «Бетомикс-ИТХ Гель» для улучшения качественных характеристик бетонов различных классов, что позволяет использовать данную добавку в составе бетонных смесей при строительстве железобетонных сооружений, находящихся в агрессивных условиях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бетон, добавка в бетон, водонепроницаемость, самозалечивание, прочность на сжатие.

БЛАГОДАРНОСТИ: Исследования по стандартам TS EN 12390-3 и TS EN 12390-8 выполнены в лаборатории DSİ Laboratuvarları Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı Beton Laboratuvarı Şube Müdürlüğü г. Анкара, Турция.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Перевощикова А.Н., Вальцифер И.В., Кондрашова Н.Б., Воронина Н.С. Исследование физико-механических свойств бетона с добавлением многофункциональной добавки // Нанотехнологии в строительстве. 2024. Т. 16, № 2. С. 170–179. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2024-16-2-170-179>. – EDN: BFTEZA.

ВВЕДЕНИЕ

Основным материалом для сооружений в гражданском и промышленном строительстве на сегодняшний день и, безусловно, на далекую перспективу, остается бетон. Однако высокая гидрофильность бетона отрицательно сказывается на его

прочностных характеристиках и может приводить к разрушительным процессам. Особенно остро проблема защиты бетона стоит в случае, когда бетонная конструкция находится в непосредственном контакте с водой или же в агрессивных, в том числе, сульфатных грунтах и вода проникает в тело бетона по капиллярно-пористой структуре [1–8].

© Перевощикова А.Н., Вальцифер И.В., Кондрашова Н.Б., Воронина Н.С., 2024

Достижение высоких эксплуатационных характеристик бетона возможно как традиционным способом, когда используется увеличенное содержание цемента в бетонной смеси и/или применяются поверхностные виды гидроизоляции, так и более эффективным способом — когда в бетонную смесь на стадии ее приготовления вводят активные функциональные добавки, способные повысить эксплуатационные свойства всей бетонной конструкции [9–15].

Зачастую [16–21] защитные свойства таких многофункциональных добавок базируются на способности еще на стадиях затворения и твердения в присутствии водной среды вступать в реакцию с компонентами бетона. Данное взаимодействие может вызывать появление новых пространственных структур, таких как кристаллогидраты, которые в процессе роста связывают окружающую воду и, увеличиваясь в объеме, обеспечивают перекрытие пор и закупорку пустот бетона. Как правило, эти соединения не изменяют свой состав [20–24] и проявляют устойчивость в кислых и щелочных средах, а главное — способны подавлять перекристаллизацию этtringита, основной причины сульфатной коррозии бетона. Таким образом, данный вид гидроизоляции обеспечивает высокую защиту бетона на весь срок его службы, а исследование действия таких многофункциональных добавок на бетонные образцы является актуальной задачей.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Аккредитованными российскими и зарубежными лабораториями проводились испытания составов бетонной смеси с применением добавки «Бетомикс-ИТХ Гель» и без ее применения по определению технологических свойств бетонной смеси и физико-механических характеристик бетона.

Добавка в бетон «Бетомикс-ИТХ Гель» изготавливается согласно ТУ 5745-047-04740886-2013,

содержит смесь водорастворимых полимеров и поверхностно активных веществ, которые оказывают водоредуцирующее действие. Расход добавки «Бетомикс-ИТХ Гель»: 1,0% от массы цемента в бетонной смеси. «Бетомикс-ИТХ Гель» совместим с противоморозными, пластифицирующими и другими добавками.

В российских лабораториях прочность бетона на сжатие определялась на образцах-кубах размером 100×100×100 мм согласно ГОСТ 10180-2012. Морозостойкость бетона определялась на образцах-кубах размером 100×100×100 мм согласно ГОСТ 10060-2012. Определение водонепроницаемости проведено по ГОСТ 12730.5-19 на цилиндрических образцах диаметром 150 мм, высотой 150 мм. Испытания на устойчивость стальной арматуры к коррозии в водных средах проводились по ГОСТ 9.908-85. Объект исследований — образцы стальной арматуры длиной 10 мм: проволока из низкоуглеродистой стали холоднотянутая для армирования ЖБК, диаметр 4 мм по ГОСТ 6727-80; продукция 6-А240 ст3сп по ГОСТ 5781-82; продукция 10-А500С по ГОСТ 52544-2006.

Составы образцов бетона приведены в табл. 1.

Лабораторией DSI государственного отдела технических исследований и контроля качества гидротехнических сооружений Турции, г. Анкара проведены испытания на прочность на сжатие согласно стандарту TS EN 12390-3 на образцах в виде куба размером 150×150×150 мм. Твердение образцов проходило в воде при температуре 20±2 °С 7, 28 и 56 дней. Водонепроницаемость образцов была установлена методом определения глубины проникания воды под давлением по стандарту TS EN 12390-8. Образцы-кубы размером 150×150×150 мм твердели в воде при температуре 20±2 °С 7, 28 и 56 дней. Затем образцы были высушены при температуре 20±2 °С, влажности 50±5% в течение 7 дней. Составы образцов представлены в табл. 2.

Таблица 1

Состав бетона на 1 м³ бетонной смеси (на сухие заполнители)

Наименование материала	Расход материала на 1 м ³ , кг	
	Состав без применения добавки	Состав с применением «Бетомикс-ИТХ Гель»
Цемент ЦЕМ I 42,5 Н	255	255
Песок природный	768	768
Щебень гранитный фракции 5–20 мм	1152	1152
Добавка «Бетомикс-ИТХ Гель»	–	2,55
Вода водопроводная	178	178
В/Ц	0,70	0,70
г (доля песка в смеси заполнителей)	0,4	0,4

Таблица 2

Составы бетона на 1 м³ бетонной смеси (на сухие заполнители) для испытаний по международным стандартам

Наименование материала	Расход материала на 1 м ³ , кг					
	C16/20		C20/25		C25/30	
Марка бетона	C16/20		C20/25		C25/30	
Портландцемент СЕМ II/A-M (V-L) 42,5 R	240	240	330	330	375	375
Добавка «Бетомикс-ИТХ Гель»		2,40		3,30		3,75
Вода	221,2	206,8	241,8	224,6	245,4	227,7
В/Ц	0,85	0,79	0,68	0,64	0,61	0,57
Песок 0–4 мм	995,5	1069,7	976,3	995,2	948,4	967,0
Щебень гранитный фракции 7–15 мм	419,6	387,9	354,1	360,9	343,9	350,7
Щебень гранитный фракции 16–22 мм	476,4	465,2	425,0	432,7	412,4	420,5

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Испытания российских лабораторий «ИТХ УрО РАН» и ООО «ИЛ Оргтехстроя», г. Пермь.

При проведении испытаний использовались составы с добавкой «Бетомикс-ИТХ Гель» и без добавки. Технологические свойства бетонных смесей представлены в табл. 3.

Наблюдается увеличение плотности и понижение объема вовлеченного воздуха в образцах с добавкой «Бетомикс-ИТХ Гель».

В табл. 4 представлены результаты прочности образцов бетона.

Наблюдается некоторое увеличение прочности в образцах с применением добавки «Бетомикс-ИТХ Гель».

При добавлении в бетонную смесь вместе с «Бетомикс-ИТХ Гель» известного пластификато-

ра «Полипласт СП-4» (ГК «Полипласт», Россия), наблюдается синергетический эффект. Твердение образцов проходило 7 и 30 суток в нормальных условиях при температуре (20±2) °С и относительной влажности воздуха (95±5)%, далее – в водной среде еще 7 и 28 суток. В табл. 5 представлены результаты испытания образцов на прочность на сжатие на 7, 30, 37 и 58 сутки.

Наблюдается значительный прирост прочности в образцах с применением добавки «Бетомикс-ИТХ Гель». Особо внушительный прирост (32,8%) проявляется после нахождения образцов в воде в течение 28 суток.

Результаты морозостойкости образцов бетона представлены в табл. 6.

Нижняя граница доверительного интервала прочности бетона контрольных образцов с учетом коэффициента 0,9 равна 20,7 МПа (без добавки)

Таблица 3

Результаты испытаний на технологические свойства бетонной смеси

Наименование показателя	Значение	
	Состав без применения добавки	Состав с применением добавки «Бетомикс-ИТХ Гель»
Подвижность по осадке конуса, см	15	15
Средняя плотность, кг/м ³	2384	2398
Объем вовлеченного воздуха, %	1,7	1,5

Таблица 4

Результаты испытания образцов на прочность на сжатие

Возраст, сутки	Условия твердения	Среднее значение предела прочности при сжатии образцов, МПа		Прирост прочности, %
		без добавки	с «Бетомикс-ИТХ Гель»	
3	Нормальные	14,3	14,4	0,7
7	Нормальные	19,2	19,3	0,5
28	Нормальные	25,9	26,2	1,16

Таблица 5

Результаты испытания образцов на прочность на сжатие

Возраст, сутки	Условия твердения	Среднее значение предела прочности при сжатии образцов, МПа		Прирост прочности, %
		«Полипласт СП-4» (1,7%)	«Полипласт СП-4» (1,5%) и «Бетомикс-ИТХ Гель» (1%)	
7	Нормальные	30,45	39,1	22,1
30	Нормальные	39,0	46,1	15,4
37	30 суток нормальные, 7 суток в воде	34,1	43,4	21,4
58	30 суток нормальные, 28 суток в воде	33,8	50,3	32,8

Таблица 6

Результаты испытаний контрольных образцов бетона на морозостойкость

Добавка «Бетомикс-ИТХ Гель»	Контрольные образцы бетона		Основные образцы бетона после 3 циклов замораживания-оттаивания при t минус 50 °C (F ₁₀₀)				
	X _{ср} ’, Средняя прочность бетона, МПа	X _{мин} ’, Нижняя граница доверительного интервала (с коэф. 0,9), МПа	Средняя масса насыщенных образцов, г		Изменение массы образцов, %	X _{ср} ’’, Средняя прочность бетона после испытаний, МПа	X _{мин} ’’, Нижняя граница доверительного интервала, МПа
			До испытаний	После испытаний			
Без добавки	25,8	20,7	2416	2395	–0,87	25,7	22,5
	Среднеквадратическое отклонение – 1,10; коэффициент вариации прочности – 4,30%		Среднеквадратическое отклонение – 1,30; коэффициент вариации прочности – 4,90%				
С добавкой	26,6	21,2	2424	2417	–0,29	26,8	23,2
	Среднеквадратическое отклонение – 1,20; коэффициент вариации прочности – 4,60%		Среднеквадратическое отклонение – 1,40; коэффициент вариации прочности – 5,20%				

и 21,2 МПа (с «Бетомикс-ИТХ Гель»), нижняя граница доверительного интервала прочности бетона основных образцов равна 22,5 МПа (без добавки) и 23,2 МПа (с «Бетомикс-ИТХ Гель»). Соответствует соотношению $X_{\min}' \geq 0,9 X_{\min}''$ ($22,5 > 20,7$ без добавки; $23,2 > 21,2$ с «Бетомикс-ИТХ Гель»). Все образцы выдержали 3 цикла испытаний по третьему (ускоренному) методу без трещин, сколов и шелушения ребер, что соответствует проектной марке морозостойкости F₁₀₀. Образцы с применением добавки «Бетомикс-ИТХ Гель» показали более высокие результаты по сравнению с образцами без добавки.

Также было проведено определение водонепроницаемости бетонных образцов методом «мокрого пятна». Согласно ГОСТ 12730.5-2018, водонепроницаемость серии образцов по данному методу определяют по максимальному давлению воды, при котором не менее чем на четырех из шести образцов

не наблюдается фильтрация воды. Результаты представлены в табл. 7.

Отмечено увеличение марки по водонепроницаемости в составе с применением добавки «Бетомикс-ИТХ Гель» на 4 ступени по сравнению с составом бетона без ее применения.

Проведены исследования на устойчивость стальной арматуры к коррозии в водных средах. Стандартные образцы арматуры выдерживали в течение 10 суток в водных средах следующего состава:

1. Водопроводная вода, pH среды 7.
2. Добавка «Бетомикс-ИТХ Гель», pH среды 9,9.
3. Смесь портландцемента класса 42,5 нормальнотвердеющий ЦЕМ I 42,5 Н ГОСТ 31108-2016 с водопроводной водой в соотношении: 1/2,5, pH среды 11,5
4. Смесь портландцемента класса 42,5 нормальнотвердеющий ЦЕМ I 42,5 Н ГОСТ 31108-2016 с водопроводной водой в соотношении: 1/2,5 с добав-

Таблица 7

Результаты испытаний на водонепроницаемость методом «мокрого пятна»

Просачивание воды через образец		Образцы бетона, шт.	
давление, МПа	ступень	Состав без применения добавки	С добавкой «Бетомикс-ИТХ Гель»
0,2	I	0	0
0,4	II	0	0
0,6	III	0	0
0,8	IV	3	0
1,0	V	–	0
1,2	IV	–	0
1,4	IIV	–	1
1,6	IIIV	–	2
Марка по водонепроницаемости		W6	W14

лением 1% добавки «Бетомикс-ИТХ Гель» от массы цемента, рН среды 11,4

Результаты исследований показали, что в среде № 1 коррозия идет активно на всех образцах арматур. В средах № 2–4 коррозия арматуры не обнаружена. При рН среды 9–12 идет пассивация стали. Таким образом, введение добавки «Бетомикс-ИТХ Гель» в бетонный раствор сохраняет устойчиво-пассивное коррозионное состояние стальной арматуры.

Испытания лаборатории DSI, г. Анкара, Турция.

Сотрудники лаборатории по испытанию бетона государственного отдела технических исследований и контроля качества гидротехнических сооружений Турции также провели ряд испытаний добавки «Бетомикс-ИТХ Гель» по межгосударственным стандартам. В данной системе класс бетона по прочности обозначается как ... С16/20, С20/25, С25/30... и соответствует классу бетона ...В20, В25, В30..., согласно белорусскому нормативному документу СНБ 5.03.01-02 «Бетонные и железобетонные конструкции» (Национальный комплекс нормативно-технических документов в строительстве. Строительные

нормы республики Беларусь). Переход на данные обозначения связан с тем, что некоторые европейские страны для проверки прочности бетона на сжатие используют не куб, а цилиндр, у которого высота в два раза больше диаметра. Показатели у образцов цилиндров будут отличаться от показателей образцов кубической формы.

Для изготовления образцов использовали составы, представленные в табл. 2. Результаты исследования технологических параметров бетонных смесей представлены в табл. 8.

В образцах с добавкой «Бетомикс-ИТХ Гель» наблюдается увеличение плотности и уменьшение подвижности бетонной смеси по сравнению с образцами без добавки. Испытания на прочность на сжатие представлены в табл. 9.

Наблюдается увеличение прочности в образцах с применением добавки «Бетомикс-ИТХ Гель». Поскольку условия твердения играют значительную роль в прочности бетонных конструкций, данные результаты прироста прочности при твердении образцов в воде намного выше, чем результаты твердения на воздухе. Понижение прироста прочности

Таблица 8

Результаты испытаний на технологические свойства бетонной смеси

Наименование показателя	Значение					
	Составы без применения добавки			Составы с применением добавки «Бетомикс-ИТХ Гель»		
Марка бетона	С16/20	С20/25	С25/30	С16/20	С20/25	С25/30
Средняя плотность, кг/м ³	2352,7	2373,2	2326,7	2348,4	2325,0	2346,4
Объем вовлеченного воздуха, %	2~3	2~3	2~3	2~3	2~3	2~3
Подвижность по осадке конуса, см	8	6	14	8	13	9

Таблица 9

Результаты испытания образцов на прочность на сжатие по стандарту TS EN 12390-3

Возраст, сутки	Класс бетона	Среднее значение предела прочности при сжатии образцов, МПа		Прирост прочности, %
		без добавки	«Бетомикс-ИТХ Гель»	
7	C16/20	12,2	14,1	15,57
28	C16/20	17,8	20,1	12,92
56	C16/20	20,1	23,4	16,42
56	C20/25	27,2	34,6	27,20
56	C25/30	32,3	36,1	11,76

Таблица 10

Результаты испытаний на водонепроницаемость методом определения глубины проникания воды под давлением по стандарту TS EN 12390-8

Класс бетона	Возраст, сутки	Наличие добавки «Бетомикс-ИТХ Гель» (1%)	Средняя максимальная глубина проникания воды, мм	Марка по водонепроницаемости W
C16/20	7	–	126	6
		с добавкой	109	6
	28	–	87	6
		с добавкой	32	10–14
	56	–	72	6
		с добавкой	29	10–14
C20/25	56	–	27	10–14
		с добавкой	20	16–20
C25/30	56	–	32	10–14
		с добавкой	19	16–20

для класса C25/30 (B30), вероятно, связано с изначально достаточно высокой прочностью этого класса, поскольку чем выше класс бетона, тем сложнее увеличить его прочность дополнительным вводом добавок.

Также определена водонепроницаемость образцов методом определения глубины проникания воды под давлением. Результаты испытаний представлены в табл. 10.

Марка водонепроницаемости W была отнесена согласно ГОСТ 12730.5-2018. Поскольку соотнесение разных методов неточное в части особо низкой водонепроницаемости, затруднительно судить о количестве ступеней, на которую повысилась марка бетона, особенно для классов C20/25, C25/30. Для класса C16/20 увеличение ступеней водонепроницаемости не менее 2 для бетонов с применением добавки «Бетомикс-ИТХ Гель».

В статье [25] была предпринята попытка самостоятельно установить соотношение марки по водонепроницаемости по ГОСТ 12730.5-2018 и по EN 12390-8. Если исходить из данных статьи [25], то марка водонепроницаемости для бетонов с добавкой

«Бетомикс-ИТХ Гель» также увеличилась минимум на две ступени.

В совокупности с данными исследований российских лабораторий составы с применением добавки «Бетомикс-ИТХ Гель» безоговорочно показывают значительное увеличение водонепроницаемости. Такое повышение водонепроницаемости позволяет использовать группу слабостойких по сульфатостойкости портландцементов с добавкой «Бетомикс-ИТХ Гель» в агрессивных грунтах, содержащих сульфаты, согласно СП 28.13330.2017.

Помимо физико-механических испытаний, с помощью метода оптической микроскопии провели визуальную оценку восстановления предварительно разрушенных образцов бетона различных классов, содержащих добавку «Бетомикс-ИТХ Гель». Твердение образцов происходило в воде при температуре 20 ± 2 °C 7 и 56 дней, далее образцы были высушены при температуре 20 ± 2 °C, влажности $50 \pm 5\%$ в течение 7 дней. Затем образцы механически разрушали и погружали в воду на 26–31 день. Микрофотографии образцов получали до погружения в воду и после 26–31 дня нахождения в воде (рис. 1–4).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

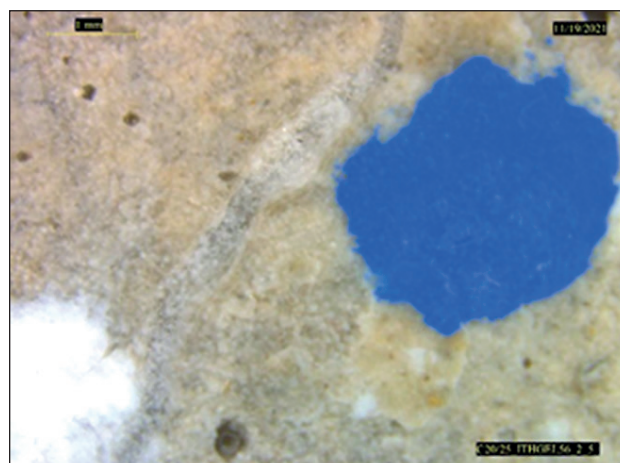
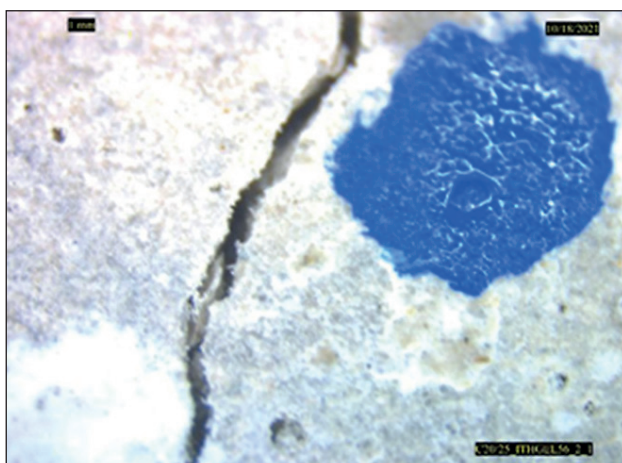


Рис. 1. Микрофотография образца бетона C20/25BG (добавка «Бетомикс-ИТХ Гель», 56 дней твердения) после механического разрушения и нахождения в воде 31 день

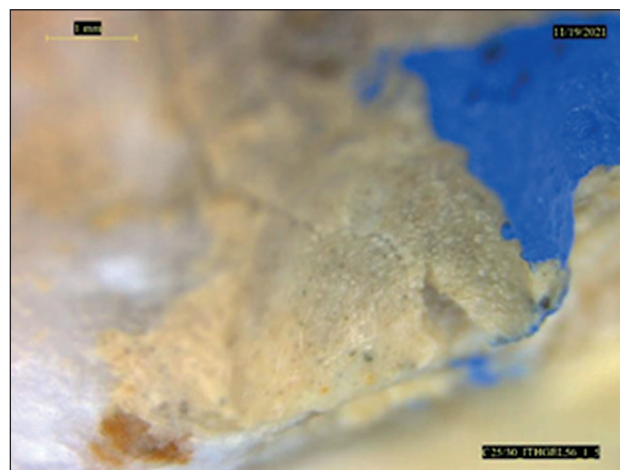
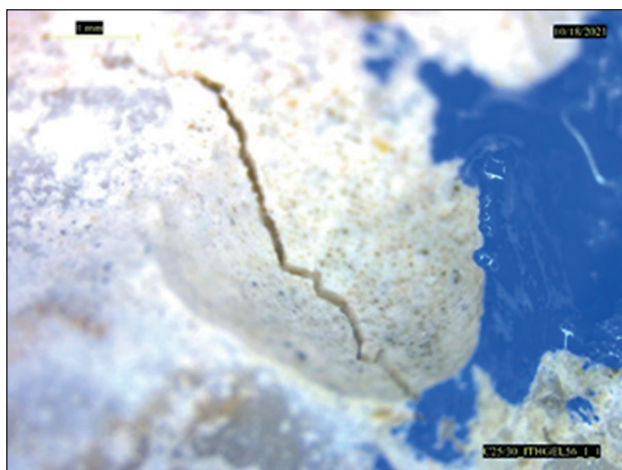


Рис. 2. Микрофотография образца бетона C25/30BG (добавка «Бетомикс-ИТХ Гель», 56 дней твердения) после механического разрушения и нахождения в воде 31 день

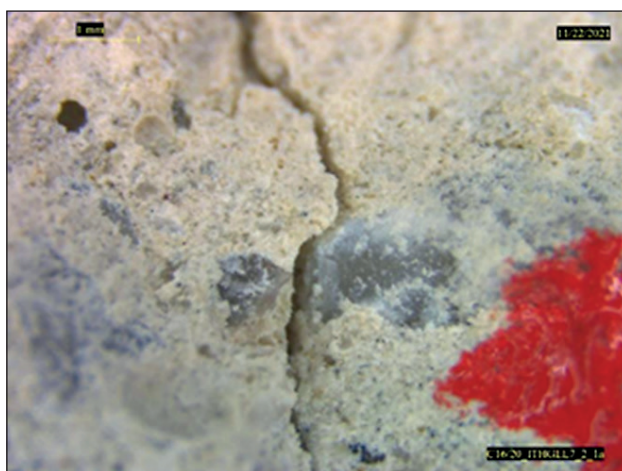


Рис. 3. Микрофотография образца бетона C16/20BG (добавка «Бетомикс-ИТХ Гель», 7 дней твердения) после механического разрушения и нахождения в воде 26 дней

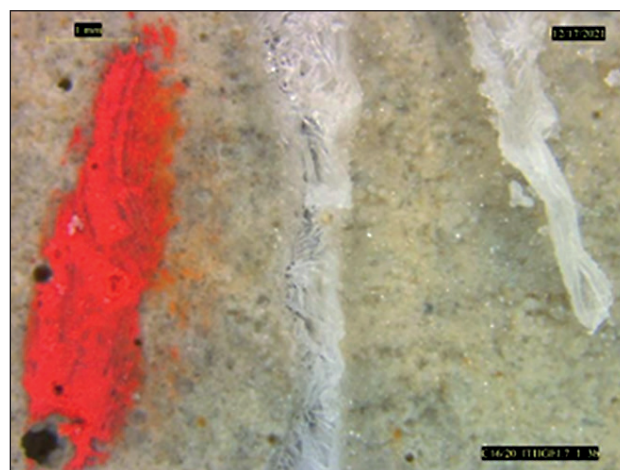
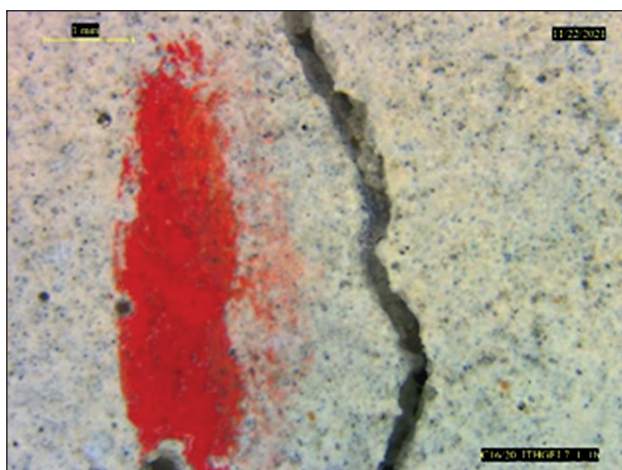


Рис. 4. Микрофотография образца бетона С16/20ВG (добавка «Бетомикс-ИТХ Гель», 7 дней твердения) после механического разрушения и нахождения в воде 26 дней

На микрофотографиях (рис. 1–4) видно, что по истечении месяца выдержки в воде предварительно разрушенных образцов бетона, в состав которых была введена добавка «Бетомикс-ИТХ Гель», происходит «самозалечивание» трещин, их закупорка игольчатыми кристаллами. Такое свойство бетона позволяет увеличивать срок службы бетонных изделий, поскольку в процессе эксплуатации бетона игольчатые кристаллы могут препятствовать диффундированию капель воды по порам и микротрещинам внутрь тела бетона, тем самым улучшая характеристики бетона по водонепроницаемости и морозостойкости. После высыхания тела бетона непрореагировавшие функциональные химические добавки остаются в порах бетона. В случаях появления нового источника жидкости добавки способны переходить в насыщенный солевой раствор и образовывать дополнительные игольчатые структуры (рис. 5), придавая такое свойство бетону, как «самозалечивание».

ВЫВОДЫ

Проведенными исследованиями установлено:

1. При введении добавки «Бетомикс-ИТХ Гель» наблюдается увеличение плотности и уменьшение подвижности бетонной смеси.

2. Добавление «Бетомикс-ИТХ Гель» ведет к увеличению прочности бетона, особенно при нахождении в водной среде.

3. Введение добавки «Бетомикс-ИТХ Гель» в бетонный раствор сохраняет устойчиво-пассивное коррозионное состояние стальной арматуры.

4. Водонепроницаемость бетона с применением добавки «Бетомикс-ИТХ Гель» повышается на 2–4 степени, что позволяет использовать группу

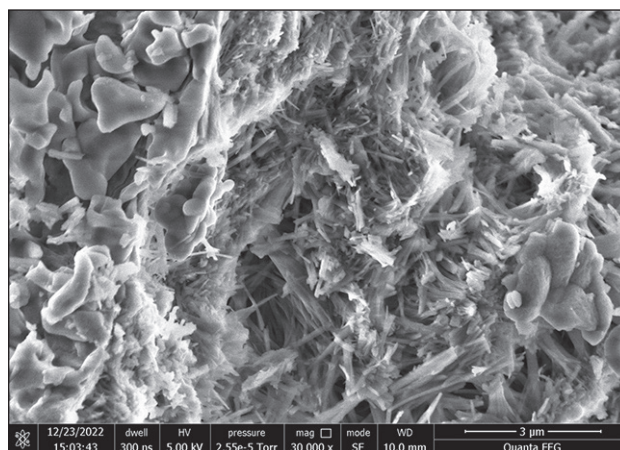


Рис. 5. Образование игольчатой структуры многофункциональной добавки «Бетомикс-ИТХ Гель», увеличение в 30 000 раз

слабостойких по сульфатостойкости портландцементов с добавкой «Бетомикс-ИТХ Гель» в агрессивных грунтах, содержащих сульфаты.

5. Применение добавки «Бетомикс-ИТХ Гель» придаёт бетону такое свойство, как «самозалечивание».

Таким образом, бетоны с применением добавки «Бетомикс-ИТХ Гель» показали, помимо прочих улучшенных качеств, ощутимый прирост марки по водонепроницаемости как минимум на 2 степени, а для некоторых классов бетона увеличение водонепроницаемости произошло на 4 степени. Такие результаты позволяют использовать добавку при строительстве широкого ряда жилищных и промышленных объектов, а также использовать группу слабостойких по сульфатостойкости портландцементов в грунтах, содержащих сульфаты. Также было обна-

ружено исключительное свойство «Бетомикс-ИТХ Гель» – способность трещин к «самозалечиванию». Это означает, что данная добавка также может применяться для получения непротекаемых «холодных» швов в бетонах. Кроме того, введение в бетонную смесь вместе с «Бетомикс-ИТХ Гель» пластифици-

рующей добавки на основе нафталинсульфокислоты способствует синергетическому эффекту и значительному увеличению прочности на сжатие бетонных образцов, что открывает широкие возможности для использования добавки «Бетомикс-ИТХ Гель» с другими пластифицирующими добавками.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: АСВ, 2002. 500 с.
2. Мощанский Н.А. Повышение стойкости строительных материалов и конструкций, работающих в условиях агрессивных сред. М.: Госстройиздат, 1962. 89 с.
3. Акрамов А.А., Муминов А.К., Низиров Я.Г. Водонепроницаемость бетона с одинарными и комплексными добавками // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. 2021. № 1(53). С. 107–111.
4. Янахметов М.Р., Чуйкин А.Е., Массалимов И.А. Модифицирование поровой структуры цементных бетонов пропиткой серосодержащими растворами // Нанотехнологии в строительстве. 2015. Том 7, № 1. С. 63–72. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-1-63-72>
5. Корнюхин А.В., Князев Н.В. Защита бетона от воздействия влаги с помощью гидрофобных средств // Образование и наука в современном мире, инновации. 2022. № 2(39). С. 161–165.
6. Никишин В.А. Микроструктура цементного камня как фактор, определяющий водонепроницаемость и прочность бетона // Технологии бетонов. 2015. № 5-6. С. 32–36.
7. Добщиц Л.М. Пути повышения долговечности бетонов // Строительные материалы. 2017. № 10 С. 4–9.
8. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Красильников И.В., Коновалова В.С., Караваев И.В. Определение ресурса безопасной эксплуатации конструкций из бетона, содержащего гидрофобизирующие добавки // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. 2017. № 6(372). С. 268–276.
9. Кудяков А.И., Симакова А.С., Кондратенко В.А., Штешенко А.Б., Латыпов А.Д. Влияние органических добавок на свойства цементного теста и камня // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20 (6). С.138–147.
10. Алтайская Е.В. Гидроизоляция // Colloquium-Journal. 2019. №13-3(37). С. 8–10.
11. Галяев А.П. Пути повышения водостойкости бетона // Техника и технологии строительства. 2018. №1(13). С. 21–24.
12. Шишкина Д.А. Гидроизоляция подземных зданий и сооружений // Научный электронный журнал Меридиан. 2020. № 8(42). С. 375–377.
13. Шейнфельд А.В., Артамонова О.В. Влияние дозировки комплексного органоминерального модификатора на процессы структурообразования цементного камня // Известия вузов. Строительство. 2023. № 9. С. 36–45. <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2023-777-9-36-45>
14. Мельниченко М.С., Ильичев В.А. Современные способы гидроизоляции подземных конструкций // Universum: Технические науки. 2022. №7–2(100). С. 5–7. <https://doi.org/10.32743/UniTech.2022.100.7.14038>
15. Муртазаев С-А.Ю., Саламанова М.Ш., Сайдумов М.С. Разработка составов водонепроницаемых бетонов с использованием комплексной полифункциональной добавки // Системные технологии. 2018. № 26. С. 93–98.
16. Насырева Л.И., Изотов В.С., Лыгина Т.З., Шинкарев А.А. Водонепроницаемость бетона после обработки гидроизоляционными пропиточными системами // Известия КазГАСУ. 2010. № 1 (13). С. 319–324.
17. Леонович С. Н., Полейко Н. Л., Темников Ю. Н., Журавский С. В. Физико-механические свойства бетона с добавлением системы проникающего действия «Кальматрон» // Вестник ВГАСУ. Сер.: Стр-во иarchit. Ч. 2. Строительные науки. 2013. № 31(50). С. 124–131.
18. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Коновалова В.С., Караваев И.В., Евсяков А.С. К вопросу о повышении сцепления композитной арматуры с цементными бетонами // Вестник ПГТУ. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2020. № 1(13). С. 95–102. <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2020.1.95>
19. Добщиц Л.М. Физико-математическая модель разрушения бетонов при попеременном замораживании и оттаивании // Жилищное строительство. 2017. № 12. С. 30–36.

20. Никишин В.А. Микроструктура цементного камня и ее влияние на водонепроницаемость бетона // Технологии бетонов. 2012. № 5–6. С. 6–9.
21. Антонян А.А. Водонепроницаемость бетона с суперпластификаторами // Технологии бетонов. 2017. № 3–4. С. 36–39.
22. Коротких Д.Н., Чернышов Е.М. Наноармирование структуры цементного камня кристаллами этрингита как средство повышения трещиностойкости бетонов // Науч. вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. 2008. № 1(9). С. 67–75.
23. Самченко С.В., Макаров Е.М. Образование и рост кристаллов этрингита в присутствии полимерных функциональных добавок // Успехи современной науки и образования. 2016. № 12(5). С. 118–122.
24. Матюхина О.Н., Евдокимова И.В. Кристаллизация этрингита в присутствии функциональных добавок для сухих строительных смесей // Сухие строительные смеси. 2016. № 1. С. 15–18.
25. Антонян А.А. О некоторых особенностях современных методов определения водонепроницаемости бетона // Технологии бетонов. 2017. № 9–10. С. 29–33.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Первощикова Анна Николаевна – кандидат химических наук, научный сотрудник, Институт технической химии Уральского отделения Российской академии наук, Пермь, Россия, Cylisa@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4111-2602>

Вальцифер Игорь Викторович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт технической химии Уральского отделения Российской академии наук, Пермь, Россия, valtsifer.i@itcras.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9135-2487>

Кондрашова Наталья Борисовна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, Институт технической химии Уральского отделения Российской академии наук, Пермь, Россия, Kondrashova_n_b@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8535-8033>

Воронина Наталья Сергеевна – кандидат химических наук, научный сотрудник, Институт технической химии Уральского отделения Российской академии наук, Пермь, Россия, voronina.n@itcras.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2370-7610>

ВКЛАД АВТОРОВ

Первощикова А.Н. – обработка и анализ экспериментальных данных; литературный обзор; написание исходного текста статьи; составление итоговых выводов.

Вальцифер И.В. – научное руководство; разработка концепции исследования; анализ результатов исследования, доработка текста статьи.

Кондрашова Н.Б. – написание исходного текста статьи; составление итоговых выводов; корректировка текста статьи.

Воронина Н.С. – проведение экспериментальной работы; табличное представление результатов исследования; анализ результатов исследования.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 04.03.2024; одобрена после рецензирования 03.04.2024; принята к публикации 09.04.2024.