

УДК: 691.545  
DOI: 10.52409/20731523\_2023\_2\_27  
EDN: LCQWVC



## Свойства бетона на цеолитсодержащем вяжущем

Н.Н. Морозова<sup>1</sup>, Е.Г. Гуляков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Казанский государственный архитектурно-строительный университет  
г. Казань, Российская Федерация

**Аннотация:** Улучшение технических свойств цементов и бетонов на их основе, как из наиболее широко применяемых строительных материалов, обуславливает их постоянное совершенствование. Одним из способов повышения качества цементов является разбавление его другими материалами, что позволяет при этом управлять свойствами и структурообразованием бетонов, снижать их стоимость, повышать экологичность и долговечность. К таковым материалам относятся цеолитсодержащие минеральные вещества. В Республике Татарстан находится одно из крупнейших в России промышленно разрабатываемых месторождений природных цеолитсодержащих пород. Их сочетание с цементом расширяет сырьевую базу и снижает клинкерозависимость региона. Цель исследований – выявление и обоснование эффективного применения природных цеолитсодержащих пород в качестве активной минеральной добавки в цементных бетонах, замещающей часть цемента и положительно влияющей на долговечность и физико-механические свойства бетона. Задачи: - определить характеристики цеолитсодержащих пород; - оценить контракцию цеолитсодержащего вяжущего; - исследовать влияние цеолитсодержащих пород на сульфатостойкость бетона на основе цеолитсодержащего вяжущего; - оценить показатели прочности на сжатие и водопоглощения тяжелого бетона на цеолитсодержащем вяжущем, с твердением при тепловой обработке, с оптимальной дозировкой цеолитсодержащей породы совместно с химическими добавками и без них.

**Результаты.** В результате исследований была определена активность цеолитсодержащих пород двух месторождений. Оценена удельная поверхность размолотых цеолитсодержащих пород. Проведены испытания образцов цементного камня с добавлением цеолитсодержащих пород на сульфатостойкость, по результатам которых установлено, что образцы с цеолитсодержащей породой месторождения 1 имеют меньшие значения относительных деформаций, чем у контрольных и образцов с добавкой цеолитсодержащей породы месторождения 2. С целью выявления закономерности применения цеолитсодержащих пород в составе цементосодержащих материалов целесообразно оценить составы на контрактционную усадку. В результате были разработаны составы бетонов на цеолитсодержащем цементном вяжущем, испытания которых показали, что применение цеолитсодержащей породы месторождения 1 является эффективным способом экономии основного компонента в бетоне – цемента.

**Выводы.** Ценность выявленных результатов заключается в обосновании применения цеолитсодержащих пород в качестве замены части цемента в составе бетона, что способствует эффективному использованию самого дорогостоящего компонента. При этом сохраняются физико-механические свойства материалов и повышается стойкость к сульфатной коррозии.

**Ключевые слова:** бетон, активная минеральная добавка, цеолит, цемент, пуццолановая активность, сульфатостойкость, контракция.

**Для цитирования:** Морозова Н.Н., Гуляков Е.Г. Свойства бетона на цеолитсодержащем вяжущем // Известия КГАСУ, 2023 № 2 (64), с. 27-39, DOI: 10.52409/20731523\_2023\_2\_27, EDN: LCQWVC

# Properties of concrete based on zeolite-containing binder

N.N. Morozova<sup>1</sup>, E.G. Gulyakov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kazan State University of Architecture and Engineering  
Kazan, Russian Federation

**Abstract:** The improvement of the technical properties of cements and concretes based on them, as the most widely used building materials, leads to their continuous improvement. One of the ways to improve the quality of cements is to dilute it with other materials, which at the same time allows controlling the properties and structure formation of concretes, reduce their cost, increase environmental friendliness and durability. These materials include zeolite-containing minerals. The Republic of Tatarstan has one of the largest industrially developed deposits of natural zeolite-containing rocks in Russia. Their combination with cement expands the raw material base and reduces the clinker dependence of the region. The purpose of the research is to identify and justify the effective use of natural zeolite-containing rocks as an active mineral additive in cement concrete, replacing part of the cement and positively affecting the durability and physical and mechanical properties of concrete.

**Results.** As a result of the research, the activity of zeolite-containing rocks deposit 1 and the deposit 2 was determined. The specific surface of ground zeolite-containing rocks has been estimated. Tests of cement stone samples with the addition of zeolite-containing rocks for sulfate resistance were carried out, according to the results of which it was found that samples with zeolite-containing rock of the deposit 1 have lower values of relative deformations than control and samples with the addition of zeolite-containing rock of the deposit 2. In order to identify patterns in the use of zeolite-containing rocks in the composition of cement-containing materials, it is advisable to evaluate the compositions for contraction shrinkage. As a result, concrete compositions based on a zeolite-containing cement binder were developed, the tests of which showed that the use of the zeolite-containing rock of the deposit 1 is an effective way to save the main component in concrete - cement.

**Conclusions.** The value of the revealed results lies in the justification for the use of zeolite-containing rocks as a replacement for part of the cement in the concrete composition, which contributes to the effective use of the most expensive component. At the same time, the physical and mechanical properties of the materials are preserved and the resistance to sulfate corrosion is increased.

**Keywords:** concrete, active mineral additive, zeolite, cement, pozzolanic activity, sulfate resistance, contraction.

**For citation:** Morozova N.N., Gulyakov E.G. Properties of concrete based on zeolite-containing binder//News KSUAE, 2023 № 2 (64).p. 27-39, DOI: 10.52409/20731523\_2023\_2\_27, EDN: LCQWVC

## 1. Введение

Улучшение свойств цементных материалов является актуальным направлением для многих исследователей. Известно множество способов повышения характеристик и увеличения долговечности материалов на основе цемента, и наиболее простые из них, применение модифицирующих добавок [1], например, активных минеральных.

Активные минеральные добавки (АМД) имеют широкое распространение и применение в производстве цементных вяжущих, сухих строительных смесей и цементных бетонах различной структуры [2-5]. Они позволяют регулировать свойства портландцемента и бетонов на их основе в процессе структурообразования и эксплуатации [6-8]. АМД способствуют улучшению технических свойств портландцемента, таких как водостойкость, сульфатостойкость, а также понижению экзотермии в процессе гидратации [9]. Степень влияния АМД на бетоны на основе минеральных вяжущих, в особенности традиционного портландцемента, различная, поскольку АМД по химическим свойствам могут быть кислые, щелочные и амфотерные,

а по пуццоланической активности, согласно ГОСТ Р 56592-2015, высокой, средней и низкой. Проведено немало исследований по изучению свойств цементов модифицированных АМД, выявлена существенная эффективность тех или иных добавок, однако, ряд минеральных добавок имеют полиминеральный состав [10,11], что требует дополнительного их изучения в составе портландцемента, тоже полиминерального материала. Цеолитсодержащие породы (ЦСП) также являются полиминеральными. В составе цементных систем ЦСП интенсивно вступает в реакцию с СаО [12]. Это обусловлено высокой адсорбционной активностью минералов, входящих в состав ЦСП [13-15]. Замена части цемента ЦСП в количестве до 30% повышает прочность образцов цементно-песчаного раствора [16].

Важными сведениями являются следующие процессы гидратации цементов: вначале образуются гидросиликаты и гидроалюминаты кальция с повышенным содержанием воды, которые с течением времени переходят в гидраты с пониженным числом молекул воды. Этот переход сопровождается значительным уменьшением абсолютных объемов твердых фаз при одновременном выделении воды в жидком состоянии. Несомненно, такое явление приводит к снижению напряжений расширения в твердеющей системе. В результате происходит контракция (стяжение) системы. Вяжущие с высокой контракцией придают цементному камню, а, следовательно, и бетону повышенную пористость и проницаемость для воды, газов и т. п. При образовании пор в системе возникает вакуум, под влиянием которого они заполняются водой или воздухом в зависимости от условий твердения цементного камня или бетона [17]. Микропористость цеолитсодержащих пород, являющихся сорбентами по природе, оказывает влияние на процессы контракции [12], возникающие при гидратации. В нашей работе следует детально изучить контракцию цементных систем с цеолитсодержащими породами.

Долговечность бетона снижается при действии на цементный камень агрессивной внешней среды. В результате взаимодействия составных частей цементного камня с кислотами и солями, находящимися в окружающей бетон среде, и обменных реакций образуются продукты в виде аморфной массы, которые растворяются и выносятся из тела бетона. Так начинаются коррозионные процессы.

Коррозия возникает также при действии на бетон сульфата натрия, который вступает во взаимодействие с гидроксидом кальция по реакции:  $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{NaOH}$ , при этом образующийся гипс повышает кристаллизационное давление в порах и капиллярах цементного камня.

Полагают, что основной причиной разрушения при сульфатной коррозии служат не только физические силы кристаллизации, а сколько осмотические, связанные с усадкой и набуханием в цементе алюминатов. В связи с этим сульфатостойкость можно повысить снижением осмотического давления поровой жидкости путем связывания максимально большого количества извести в период ранней гидратации. Растворы сульфата алюминия и аммония оказывают аналогичное действие [18].

Цель данного исследования – определить влияние цеолитсодержащих пород на контракцию цеолитсодержащих вяжущих и свойства бетонов на их основе.

Для достижения цели исследования были поставлены следующие задачи:

- определить характеристики цеолитсодержащих пород (химический и минералогический составы, дисперсность);
- оценить контракцию цеолитсодержащего вяжущего;
- исследовать влияние цеолитсодержащих пород на сульфатостойкость бетона на основе цеолитсодержащего вяжущего;
- оценить показатели прочности на сжатие и водопоглощения тяжелого бетона на цеолитсодержащем вяжущем, с твердением при тепловой обработке, с оптимальной дозировкой ЦСП совместно с химическими добавками и без них.

## 2. Материалы и методы

Для исследования были использованы следующие материалы:

- портландцемент ПЦ 500-Д0 (ЦЕМ I 42,5Н АО «Мордовцемент»);

- цеолитсодержащие породы месторождения 1 (далее ЦСП-1) и месторождения 2 (далее ЦСП-2);
- суперпластификатор на основе поликарбоксилатных эфиров Sika ViscoCrete 5 New (водный раствор плотностью – 1,08 г/см<sup>3</sup>);
- ускоритель твердения цемента – нитрит натрия (азотнокислый натрий);
- песок строительный ( $M_{кр}=2,2$ ) и щебень фракции 5-10 мм (лещадность – 7,9%, марка по дробимости – 1400).

Главным материалом в настоящем исследовании была природная цеолитсодержащая порода месторождения 1. Производится ЦСП-1 по принятой нормативной документации (ТУ 2163-001-27860096-2016) различных фракций. В данном эксперименте применяли ЦСП-1 фракции 0-40 мкм. Породообразующий минерал - клиноптилолит. Химический и минеральный составы породы приведены в табл. 1 и 2 соответственно.

Для сравнения, но с большим содержанием породообразующего минерала, выбрана природная цеолитсодержащая порода месторождения 2. Породообразующий минерал – тоже клиноптилолит. Химический и минеральный составы породы приведены в табл. 1 и 2 соответственно.

Таблица 1

Химический состав цеолитсодержащих пород разных месторождений [19]

Наименование показателя	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Прочее
ЦСП-1							
Значение показателя, %	54,48-62,39	4,64-7,99	1,44-2,19	12,25-19,29	0,06-0,15	0,96-1,34	16,80-22,37
ЦСП-2							
Значение показателя, %	65-71,3	11,5-13,1	0,7-1,9	2,7-5,2	0,2-1,3	2,2-3,4	3,8-17,7

Таблица 2

Минеральный состав цеолитсодержащих пород разных месторождений [19]

Наименование показателя	Цеолит (клиноптилолит)	Кварц	Кальцит	Монтмориллонит	Слюда	Глинист. материалы	Полевой шпат
ЦСП-1							
Значение показателя, %	14-28	13-19	18-28	16	5	24-26	1±0,5
ЦСП-2							
Значение показателя, %	Более 70	до 10	3	24	1-3	-	5-10

По минеральному составу ЦСП-1 имеет наименьшее содержание клиноптилолита и наибольшее количество кварца и кальцита, чем в ЦСП-2. Существенные отличия ЦСП-2 от ЦСП-1 по химическому составу. Наличие большего количества CaO в составе ЦСП-1 является признаком возможной большей активности данной породы в составе цементных композиций.

Распределение частиц по размерам исходных образцов исследуемых пород проводили на универсальном лазерном анализаторе распределения частиц Horiba LA-950. Для выявления наличия агрегатов измерения размера частиц проведена ультразвуковая обработка в течение 60 сек.

Пуццолановая активность цеолитсодержащих пород определялась по поглощению CaO из насыщенного раствора извести с pH=12-15. Добавки в количестве 1 г затворяли насыщенным раствором CaO в количестве 100 мл, тщательно перемешивали колбы и ставили на хранение. Через двое суток после смешивания из раствора с добавкой отбирали 50 мл раствора и титровали. В качестве титра использовали 0,05 Н раствор соляной кислоты. Затем один раз в сутки колбу со 100 мл раствора встряхивали, и

раствор через каждые двое суток отбирался для титрования. Отфильтрованная смесь насыщенного раствора в количестве 50 мл использовалась для титрования. После каждого титрования в колбу добавляли 50 мл нового насыщенного раствора извести. Таким образом, раствор титровали 15 раз в течение 30 суток. Общее количество СаО, поглощаемое 1 г минеральной добавки определяли путем суммирования всех замеров.

Оценка контракции производили по методике В. В. Некрасова в обыкновенном стеклянном сосуде с резиновой пробкой, через которую устанавливали узкой частью бюретки емкостью от 25 до 50 мл с ценой деления 0,1 мл. Стеклянный сосуд изнутри покрывали тонким слоем битума. Для контрольного состава навеска цемента в 350 г затворяется 175 г воды (В/Ц=0,5) и после тщательного перемешивания полученное тесто в количестве 450 г вводили в сосуд через воронку. Исследовали составы с 5, 10 и 15% замены цемента порошками цеолитсодержащих пород.

В работе анализируются составы тяжелого бетона, приведенные в табл. 3. Количество суперпластификатора Sika Viscocrete 5 New (для составов №2-6) и нитрита натрия (для составов №4 и №6) принималось в количестве 1% от массы цемента. Бетонная смесь – жесткая, марка Ж2 (11-13 с), запроектирован класс бетона В30. Условия твердения – тепловлажностная обработка, температура 40°C, общее время - 16 часов.

Таблица 3

Составы тяжелого бетона

№	Расход материалов, кг/м <sup>3</sup>							В/Ц
	Цемент	Песок	Щебень	Вода	ЦСП	Sika Viscocrete 5 New	Нитрит натрия	
1	430	645	1208	170	-	-	-	0,39
2	387	625	1208	147	43	4,3	-	0,38
3	366	818	1220	151	65	3,66	-	0,41
4	366	818	1220	151	65	3,66	3,66	0,41
5	344	604	1208	162	86	3,44	-	0,47
6	344	604	1208	162	86	3,44	3,44	0,47

Образцы бетона испытывали на сульфатостойкость по ГОСТ Р 56687-2015 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Метод определения сульфатостойкости бетона». Метод заключается в испытании образцов бетона на исследованном цементе, в том числе с вводимыми дополнительно минеральными и химическими добавками, определении группы сульфатостойкости цемента и оценке сульфатостойкости бетона с учетом водопоглощения бетона. Оценку сульфатостойкости осуществляли измерением деформаций через 7, 14 и 28 сут после изготовления и подготовки образцов к испытаниям. Образцы размером 25×25×254 мм устанавливаются в устройство – металлическую скобу для измерения линейных деформаций с помощью индикатора часового типа ИЧ-10, с точностью 0,01 мм.

Для оценки прочности бетона на основе цеолитсодержащих вяжущих образцы с размерами 10x10x10 см испытывали на сжатие на испытательном прессе МС-500 согласно ГОСТ 10180-2019. Для определения водопоглощения в соответствии с ГОСТ 12730.3-78 «Бетоны. Метод определения водопоглощения» применялись образцы 7,07x7,07x7,07 см.

### 3. Результаты

Результаты измерения среднего размера частиц порошков ЦСП-1 и ЦСП-2 приведены в табл. 4.

Таблица 4

Средний размер частиц ЦСП

Наименование порошка	Удельная поверхность, см <sup>2</sup> /г	Средний размер частиц, мкм	
		без УЗ обработки	с УЗ обработкой - 60 сек.
ЦСП-1	10 050	16,3	3,6
ЦСП-2	16 539	26,14	24,9

Общее количество CaO, поглощаемое 1 г порошка цеолитсодержащей породы определяли путем суммирования всех замеров. Результаты приведены на рисунке 1.

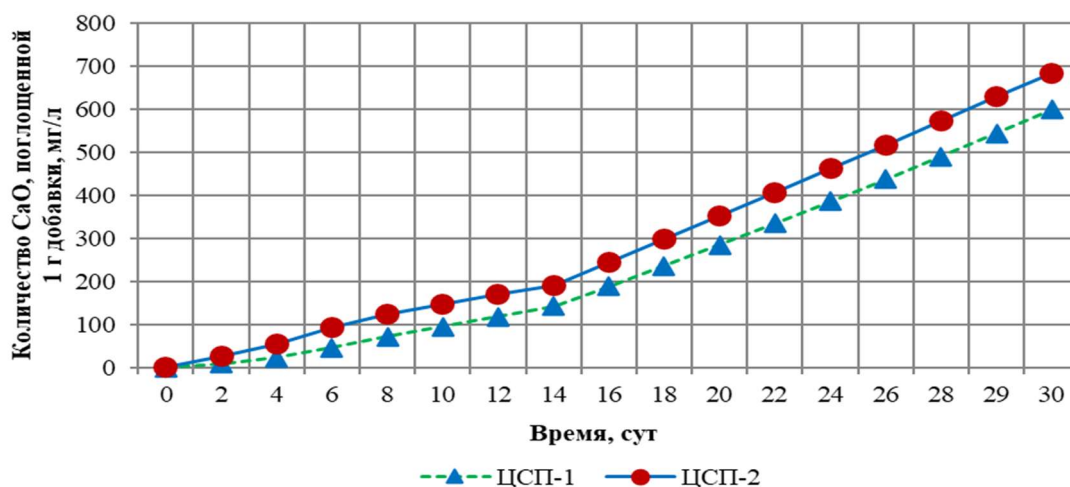


Рис. 1. Активность ЦСП по поглощению CaO из насыщенного раствора извести (иллюстрация авторов)

Fig. 1. The activity of ZCR in the absorption of CaO from a saturated solution of lime (illustration by the authors)

Результаты измерений деформаций образцов бетона, выдержанных в среде 5%-ного раствора сульфата натрия, представлены в табл. 5.

Таблица 5

Результаты испытания на сульфатостойкость бетона на основе цеолитсодержащего вяжущего

Количество ЦСП, %	Средние относительные деформации, %, через		
	7 сут	14 сут	28 сут
Контрольный			
0	0,078	0,078	0,085
ЦСП-1			
5	0,013	0,000	0,002
10	0,039	0,000	0,003
15	0,039	0,013	0,008
ЦСП-2			
5	0,039	0,026	0,048
10	0,085	0,013	0,027
15	0,000	0,039	0,052

В целях корреляции показателей сульфатостойкости и контракционной усадки составов с содержанием ЦСП было принято решение оценить величину изменения объема камня на основе цеолитсодержащего вяжущего в результате стяжения системы. Результаты измерений контракционной усадки приведены на рисунке 2.

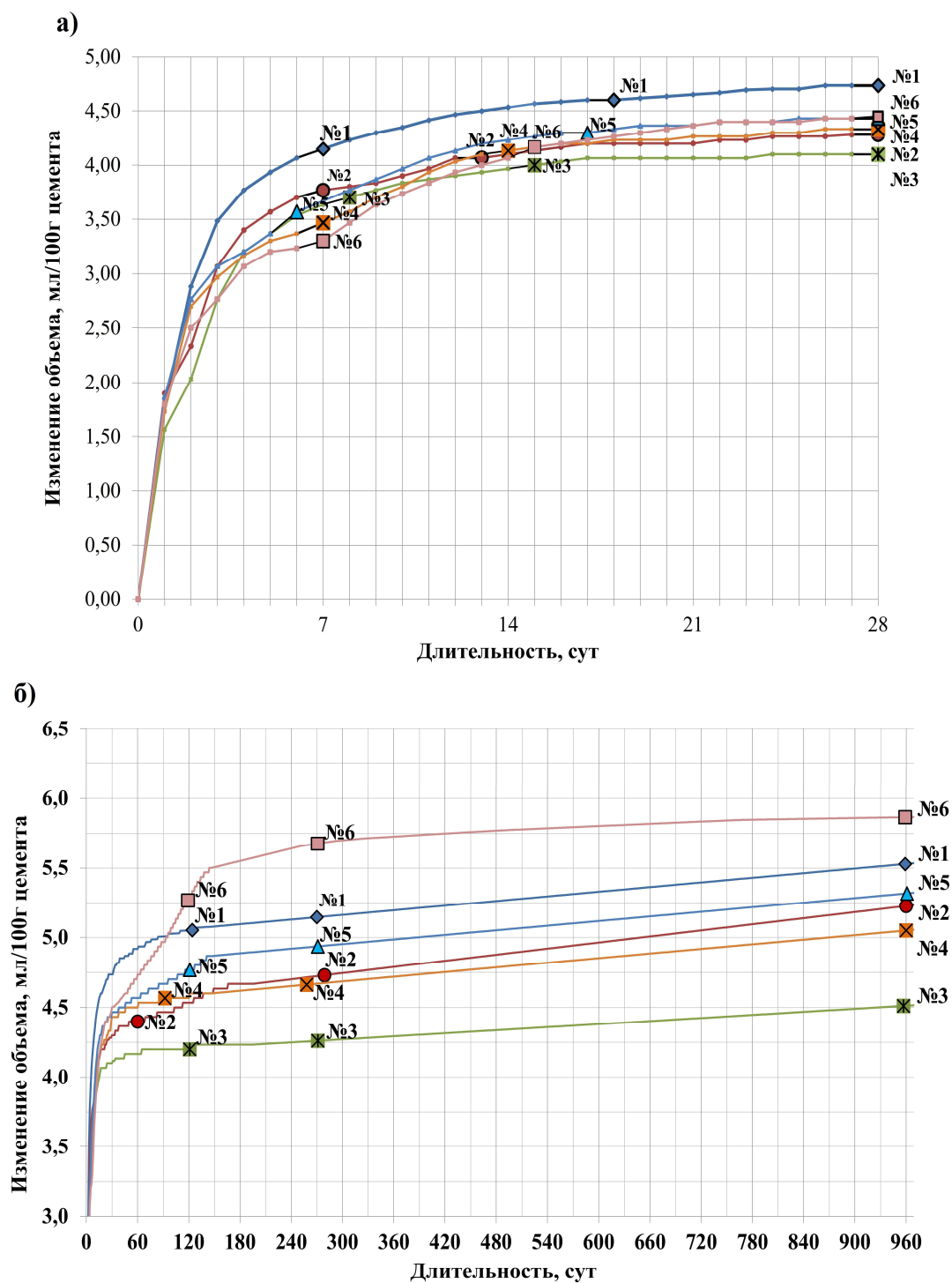


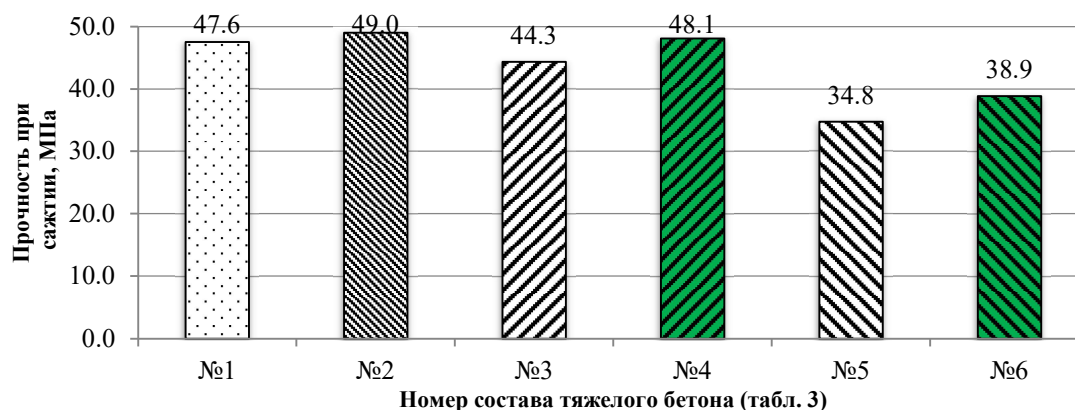
Рис. 2. Контракционная усадка цеолитсодержащего вяжущего за 28 сут (а) и за 960 сут (б) твердения в зависимости от количества ЦСП (составы: №1 – контрольный, №2 – с 5% ЦСП-1, №3 – с 15% ЦСП-1, №4 – с 5% ЦСП-2, №5 – с 10% ЦСП-2, №6 – с 15% ЦСП-2) (иллюстрация авторов)

Fig. 2. Contraction shrinkage of zeolite-containing binder for 28 days (a) and for 960 days (b) of hardening depending on the amount of ZCR (compositions: №1 - control, №2 - with 5% ZCR-1, №3 - with 15% ZCR-1, №4 - with 5% ZCR-2, №5 - with 10% ZCR-2, №6 - with 15% ZCR-2) (illustration by the authors)

Таблица 6

Относительные изменения объема составов при измерении контракционной усадки

Составы	Относительное изменение объема, мл/100г цемента	Отклонение от контрольного образца	
		мл/100г цемента	%
15% ЦСП-2	5,87	+0,34	+6,1
Контрольный	5,53	0	0
10% ЦСП-2	5,32	-0,21	-3,8
5% ЦСП-1	5,23	-0,3	-5,4
5% ЦСП-2	5,05	-0,48	-9,5
15% ЦСП-1	4,52	-1,01	-18,3



Номер состава тяжелого бетона (табл. 3)

Рис. 3. Влияние различного содержания ЦСП-1 на прочность тяжелого бетона с суперпластификатором Sika ViscoCrete 5 New, марка по удобоукладываемости смеси - Ж2 (\* - дополнительно с ускорителем твердения «нитрит натрия») (иллюстрация авторов)

Fig. 3. Influence of different content of ZCR-1 on the strength of heavy concrete with superplasticizer Sika ViscoCrete 5 New, grade for mix workability - thick "level 2" (\* - additionally with hardening accelerator "sodium nitrite") (illustration by the authors)

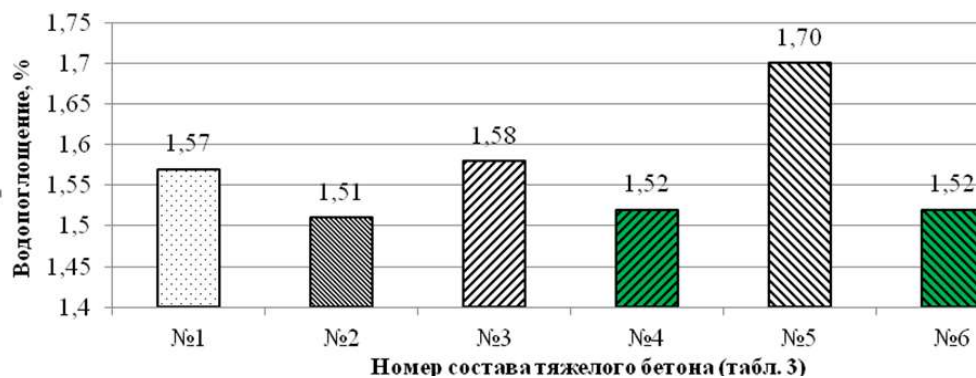


Рис. 4. Водопоглощение бетонов с различным содержанием ЦСП-1 и с суперпластификатором Sika ViscoCrete 5 New (\* - дополнительно с ускорителем твердения «нитрит натрия») (иллюстрация авторов)

Fig. 4. Water absorption of concretes with different content of ZCR-1 and with superplasticizer Sika ViscoCrete 5 New (\* - additionally with hardening accelerator "sodium nitrite") (illustration by the authors)

#### 4. Обсуждение

Как видно из результатов измерений среднего размера частиц порошков (табл. 4), при ультразвуковой обработке агрегаты ЦСП-1 разбиваются на более мелкие частицы, уменьшение происходит в 4,5 раза (с 16,3 мкм до 3,6 мкм), тогда как частицы ЦСП-2 не поддаются диспергации ультразвуком.

Минеральные добавки с активностью по поглощению оксида кальция более 200 мг/л принято называть активными (АМД). По результатам (рисунок 1) ЦСП-1 и ЦСП-2



уже на 17 сутки имеют показатели поглощения СаО больше 200 мг/л, что предопределяет их как активные минеральные добавки и согласуются с результатами исследований [20]. Сравнение порошков ЦСП-2 с ЦСП-1 показало, что первый более активный, чем второй, и превышение составляет 12%.

Сульфатостойкость портландцемента с минеральными добавками регламентируется в ГОСТ 22266-2013. Так, содержание трехкальциевого алюмината  $C_3A$  должно быть не более 5%, оксида алюминия  $Al_2O_3$  не более 5%, и оксида магния  $MgO$  - не более 5%.

Для испытания образцов бетона на основе цеолитсодержащих вяжущих на сульфатостойкость были подобраны составы с 5, 10 и 15% содержанием цеолитовых материалов ЦСП-1 и ЦСП-2. Результаты приведены в табл. 5. По результатам испытаний можно заключить, что все составы на 21 сут испытаний обладают сульфатостойкостью, но контрольный состав без ЦСП обладает наибольшим средним значением относительной деформации. Наименьшей интенсивностью изменений относительных деформаций на 28 сут обладают образцы с ЦСП-1: на 90,5% меньше значение средних относительных деформаций (у состава с 15% ЦСП-1) по сравнению с контрольным составом и на 84,6% меньше, чем состав с 15% ЦСП-2.

Сопротивление бетона проникновению агрессивных веществ, зависящее от плотности, имеет большое значение при эксплуатации разного вида бетона. Вода и агрессивные среды проникают в тело бетона через капиллярные и другие открытые поры (седиментационные, поры в контактной зоне цементного камня и заполнителя и др.), а также через микротрещины, вызванные усадочными деформациями [21,22].

Из рисунка 2 видно, что на седьмые сутки исследования контрольный состав имеет наибольшие показатели стяжения или контракции. Среди исследуемых составов смесь цемента и 15% ЦСП-2 имеет наименьшее снижение абсолютного объема, тогда как с 5% ЦСП-1 – наибольшие показатели среди цеолитсодержащих вяжущих.

Исследования цеолитсодержащего вяжущего в интервале от 7-ми до 28-ми суток (рисунок 2) показывают, что в составе на основе ЦСП-1 снижается интенсивность контракции, а с ЦСП-2 наоборот – сохраняется рост контракции и наблюдаются наибольшие изменения абсолютных объемов, кроме контрольного. В период после 30-и по 100-ые сутки темп изменений контракции сохраняется. Самое низкое значение контракции имеет цеолитсодержащее вяжущее с 15% ЦСП-1. Контрольный состав на всем протяжении исследования имеет наибольшее значение контракции, но после 100-ых суток твердения контракция в составе с 15% ЦСП-2 становится больше, чем у остальных составов. Величины относительного изменения объема цеолитсодержащих составов по сравнению с контрольным прописаны в табл. 6. По результатам испытаний можно заключить, что наименьшей интенсивностью изменений относительных деформаций обладают образцы с наличием в составе 15% ЦСП-1. По сравнению с контрольным составом наличие 15% ЦСП-1 позволяет снизить изменение относительных деформаций на 18,3%.

По результатам, которые приведены на рисунке 3, можно сделать следующий вывод, что наиболее эффективен по техническим показателям состав №4 с 15%-ым содержанием ЦСП-1 от массы цемента при наличии 1% от цемента – добавок Sika ViscoCrete 5 New и нитрита натрия. При этом достигнута 100% отпускная прочность для класса В30. В случае требования 90% отпускной прочности после ТВО, либо класса бетона В25 количество ЦСП-1 может быть увеличено до 20%. Основные образцы внешне имеют гладкую поверхность с четкими гранями, тогда как на поверхности контрольных образцов имеются поры, раковины и каверны.

Было исследовано водопоглощение образцов этих же составов. На водопоглощение бетона на основе цеолитсодержащего вяжущего существенное влияние должно оказывать наличие в составе бетонной смеси ЦСП-1 (фракция 0-0,4 мкм) и химических добавок Sika VC 5 New и нитрита натрия. Для испытания изготовили образцы тех же составов на основе цеолитсодержащих вяжущих, которые испытывали на прочность при сжатии. Результаты приведены на рисунке 4. В результате, минимальные значения в 1,5% характерно для составов с 10, 15 и 20% содержанием ЦСП-1, в двух последних – комплексная химическая добавка. Судя по рисунку 4 можно сделать вывод, что состав с

15% содержанием ЦСП-1 обладает оптимальными показателями водопоглощения и прочности среди других составов.

## 5. Заключение

1. По результатам измерения контракции материалов на основе цеолитсодержащих вяжущих наименьшей усадкой обладает состав с 15% ЦСП-1, затем с 5% ЦСП-2 и на третьей позиции состав с 5% ЦСП-1. Примененные цеолитсодержащие породы оказались эффективными в абсолютном изменении объема цементных систем по сравнению с контрольным составом.
2. Разработаны составы тяжелого бетона с использованием ЦСП-1 с 90% и 100% отпускной прочностью через 1 сутки при твердении в условиях гидротермальной обработки при температуре 40°C, характеризуются классами по прочности В25, В30.
3. Проведены испытания образцов бетона на основе цеолитсодержащего вяжущего на сульфатостойкость, по результатам которых ЦСП-1 имеет меньшие значения относительных деформаций по сравнению с контрольным составом и составами с добавкой ЦСП-2. Сульфатостойкость коррелируется с измерениями показателей контракционной усадки приведенных составов.
4. И так, цеолитсодержащая порода месторождения 1 по определенной в работе гидравлической активности относится к активным минеральным добавкам для бетонов, способствует повышению сульфатостойкости, уменьшению водопоглощения и клинкероёмкости бетонов, а также сокращению контракционных усадок в цементных системах.

## Список литературы / References

1. Рахимов, Р. З. Строительство и минеральные вяжущие прошлого, настоящего, будущего / Р. З. Рахимов, Н. Р. Рахимова // Строительные материалы. – 2013. – № 5. – С. 57-59. – EDN QBDWAR.  
[Rakhimov, R. Z. Construction and mineral binders of the past, present, future / R. Z. Rakhimov, N. R. Rakhimova // Building materials. - 2013. - № 5. - P. 57-59. – EDN QBDWAR]
2. Трофимов Б.Я., Шульдяков К.В. Регулирование сульфатостойкости цементов и бетонов добавками микрокремнезёма // в сборнике: Строительство и экология: теория, практика, инновации. Сборник докладов I Международной научно-практической конференции. 2015. С. 160-168.  
[Trofimov B.Ya., Shuldyakov K.V. Regulation of sulfate resistance of cements and concretes with microsilica additives // in the collection: Construction and ecology: theory, practice, innovations. Collection of reports of the I International Scientific and Practical Conference. 2015, P. 160-168.]
3. Коваль И.В., Калиновская Н.Н., Аль-Мусави К.С. Использование минеральных добавок в технологии монолитного бетона и производстве сборного железобетона // Технологии бетонов. 2020. № 11-12 (172-173). С. 25-31.  
[Koval I.V., Kalinovskaya N.N., Al-Musavi K.S. The use of mineral additives in the technology of monolithic concrete and the production of prefabricated reinforced concrete // Concrete technologies. 2020. № 11-12 (172-173). P. 25-31.]
4. Кузнецова Г.В., Морозова Н.Н. Добавка для автоклавного газобетона на быстрогасящейся извести // Строительные материалы. 2020. № 9. С. 4-8.  
[Kuznetsova G.V., Morozova N.N. Additive for autoclaved aerated concrete on quick-extinguishing lime // Construction materials. 2020. № 9. P. 4-8.]
5. Качко, М. С. Шлаки металлургического производства как активные минеральные добавки цементных систем / М. С. Качко, О. В. Хохряков, В. Г. Хозин // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов : Сборник материалов XVI Международной научно-технической конференции молодых учёных, посвященной 80-летию со дня рождения профессора В.И. Калашникова, Пенза, 20–22

- октября 2021 года / Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. – Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2021. – С. 82-88. – EDN MEUCHN.  
[Kachko, M. S. Slags of metallurgical production as active mineral additives for cement systems / M. S. Kachko, O. V. Khokhryakov, V. G. Khozin // Theory and practice of improving the efficiency of building materials: Proceedings of the XVI International Scientific and Technical conference of young scientists dedicated to the 80<sup>th</sup> anniversary of the birth of Professor V.I. Kalashnikova, Penza, October 20–22, 2021 / Penza State University of Architecture and Construction. - Penza: Penza State University of Architecture and Construction, 2021. - P. 82-88. – EDN MEUCHN.]
6. Мухаметрахимов Р.Х. Цементно-волокнистые композиции модифицированные флокулирующими добавками // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 10 (73). С. 28-37.  
[Mukhametrahimov R.Kh. Cement-fiber compositions modified with flocculating additives // Construction of unique buildings and structures. 2018. No. 10 (73). P. 28-37]
  7. Коровкин М.О., Короткова А.А., Ерошкина Н.А. Эффективность комплексной минеральной добавки в мелкозернистом самоуплотняющемся бетоне // Региональная архитектура и строительство. 2021. № 3 (48). С. 114-122.  
[Korovkin M.O., Korotkova A.A., Eroshkina N.A. Efficiency of a complex mineral additive in fine-grained self-compacting concrete // Regional architecture and construction. 2021. № 3 (48). P. 114-122.]
  8. Зазнаева Е.П., Демиденко Е.И. Роль тонкодисперсных минеральных добавок в составе сухих строительных смесей // Техника и технологии строительства. 2018. № 3 (15). С. 8-12.  
[Zaznaeva E.P., Demidenko E.I. The role of finely dispersed mineral additives in the composition of dry building mixtures // Construction Engineering and Technologies. 2018. № 3 (15). P. 8-12.]
  9. Мохонько Я.Ю., Яковлева К.С., Маштакова К.В. Искусственные минеральные добавки для производства цементов // Научный альманах №10-3(12), 2015. С. 174-177.  
[Mokhonko Ya.Yu., Yakovleva K.S., Mashtakova K.V. Artificial mineral additives for the production of cements // Scientific almanac № 10-3 (12), 2015. P. 174-177.]
  10. Буров А.И., Тюрин А.Н., Якимов А.В., Ишкаев Т.Х., Изотов В.С. и др. Цеолитсодержащие породы Татарстана и их применение. – Казань: Изд-во «ФЭН» АН РТ, 2001. – 176 с.  
[Burov A.I., Tyurin A.N., Yakimov A.V., Ishkaev T.Kh., Izotov V.S. et al. Zeolite-containing rocks of Tatarstan and their application. - Kazan: Publishing house "FEN" of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, 2001. - 176 p.]
  11. Изотов В.С. Особенности формирования прочности бетона с повышенными дозировками золы и гипса. // Строительные материалы, 1998, № 2. – С. 16.  
[Izotov V.S. Features of the formation of the strength of concrete with increased dosages of ash and gypsum. // Building materials, 1998, № 2. - P. 16.]
  12. Изотов В.С., Ибрагимов Р.А. Исследование продуктов гидратации портландцемента, модифицированного комплексной добавкой / Неорганические материалы. - 2015. - № 2(51). - С. 228. [Izotov, V. S. Ibragimov R.A. Study of hydration products of portland cement modified with a complex additive / Inorganic materials. - 2015. - № 2(51). - P. 228.]
  13. Изотов В.С., Морозова Н.Н. Смешанное вяжущее для бетонов, твердеющих при пропаривании. // Строительные материалы, 1998, № 12. – С. 19-20.  
[Izotov V.S., Morozova N.N. Mixed binder for concrete hardening during steaming. // Building materials, 1998, № 12. - P. 19-20.]
  14. Изотов В.С., Кириленко О.Б. Оптимизация состава смешанного вяжущего и особенности процессов его твердения. // Цемент и его применение, 2001, № 6. – С. 25-26.  
[Izotov V.S., Kirilenko O.B. Optimization of the composition of the mixed binder and features of its hardening processes. // Cement and its application, 2001, № 6. - P. 25-26.]

15. Герасимов В.В., Кириленко О.Б., Изотов В.С. Бетоны на смешанном вяжущем для теплофикационного строительства. // Известия вузов. Строительство, 2004, № 1. – С. 24-27.  
[Gerasimov V.V., Kirilenko O.B., Izotov V.S. Mixed binder concretes for heating construction. // News of universities. Construction, 2004, № 1. - P. 24-27.]
16. Ланкин, С. В. Использование цеолитсодержащих пород и серы в производстве бетона / С. В. Ланкин // . – 2012. – Т. 14. – С. 61-66. – EDN TQORJT.  
[Lankin, S.V. The use of zeolite-containing rocks and sulfur in the production of concrete / S.V. Lankin // - 2012. - Vol. 14. - P. 61-66. – EDN TQORJT.]
17. Волженский А. В. Минеральные вяжущие вещества: (технология и свойства). Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 464 с.  
[Volzhensky A. V. Mineral binders: (technology and properties). Textbook for high schools. – 4th ed., revised and supplemented - M.: Stroyizdat, 1986. - 464 p.]
18. Кузнецова Т.В., Кудряшов И.В., Тимашев В.В. Физическая химия вяжущих материалов: Учебник для хим.-технол. спец. вузов. – М: Высш. шк., 1989. – 384с.  
[Kuznetsova T.V., Kudryashov I.V., Timashev V.V. Physical chemistry of binders: Textbook for chemical-technol. specialist. universities. - M: Higher. school, 1989. - 384p.]
19. Кайс, Х. А. Природные цеолиты разных стран в цементных бетонах / Х. А. Кайс, Е. Г. Гуляков, Н. Н. Морозова // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. – 2019. – № 11. – С. 235-239. – EDN LMPCTM.  
[Kais, H. A. Natural zeolites from different countries in cement concrete / H. A. Kais, E. G. Gulyakov, N. N. Morozova // Resource and energy efficient technologies in the construction complex of the region. - 2019. - № 11. - P. 235-239. – EDN LMPCTM.]
20. Кайс Х. А. Сравнительные свойства цементного вяжущего с цеолитовыми и цеолитсодержащими породами разных месторождений / Х. А. Кайс, Е. Г. Гуляков, Н. Н. Морозова // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов : Материалы XIV Международной научно-технической конференции молодых ученых, посвященной памяти профессора В.И. Калашникова, Пенза, 23–25 октября 2019 года / Под общей редакцией М.О. Коровкина. – Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2019. – С. 49-53. – EDN SYNHPO.  
[Kais, H. A. Comparative properties of a cement binder with zeolite and zeolite-containing rocks from different deposits / H. A. Kais, E. G. Gulyakov, N. N. Morozova // Theory and practice of improving the efficiency of building materials: Proceedings of the XIV International scientific and technical conference of young scientists dedicated to the memory of Professor V.I. Kalashnikov, Penza, October 23-25, 2019 / Under the general editorship of M.O. Korovkin. - Penza: Penza State University of Architecture and Construction, 2019. - P. 49-53. – EDN SYNHPO.]
21. Borovskikh I.V., Khozin V.G., Khokhryakov O.V., Makarenko S.V. Resistance Of Basalt Fiber To Alkaline Environment Of Hydrated Portland Cement// IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. "International Baikal Investment and Construction Forum "Spatial Restructuring of Territories"" 2021. С. 012115.
22. Изотов В.С., Морозова Н.Н. Коррозионная стойкость бетонов на смешанном вяжущем// Известия высших учебных заведений. Строительство. 1997. № 12. С. 50.  
[Izotov V.S., Morozova N.N. Corrosion resistance of concretes based on a mixed binder// News of higher educational institutions. Construction. 1997. № 12. P. 50.]

#### Информация об авторах

**Морозова Нина Николаевна**, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация.

Email: ninamor@mail.ru

**Гуляков Евгений Геннадьевич**, аспирант, инженер, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация.

Email: steepsam17@gmail.com

**Information about the authors**

**Nina N. Morozova**, candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.

Email: ninamor@mail.ru

**Evgeny G. Gulyakov**, post-graduate student, engineer, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.

Email: steepsam17@gmail.com