

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.41>**ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ МИКРОКРЕМНЕЗЁМА НА УДОБОУКЛАДЫВАЕМОСТЬ И ПЛОТНОСТЬ РАВНО ПОДВИЖНЫХ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ И ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА**

Научная статья

Пермяков М.Б.¹, Воронин К.М.², Трубкин И.С.³, Ильин А.Н.⁴, Краснова Т.В.^{5,*}¹ORCID : 0000-0002-8015-7897;⁵ORCID : 0000-0002-1213-9005;^{1, 2, 3, 4, 5} Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (toma.krasnova.70[at]mail.ru)

Аннотация

В статье рассматривается возможность усовершенствования состава бетона, путем введения составляющей микрокремнезёма, с целью снижения расхода цемента в бетоне и, следовательно, его себестоимости. Описывается результат использования смеси на основе цемента шлакопортландского (М 400) Магнитогорского цементно-огнеупорного завода. В состав бетона также включены: щебень порфириновый ГОП ПАО ММК фракции 10 – 20 мм; песок речной фракции 0,16 – 5 мм; вода затворения из городского водопровода и микрокремнезем Челябинского электрометаллургического комбината с содержанием SiO₂ 65-83.38%. Авторами рассмотрено влияние микрокремнезема на прочность равно подвижного бетона и влияние микрокремнезема на свойства равно подвижных смесей и бетона. Установлено, что при добавке микрокремнезема в количестве 5...15 % от массы цемента плотность равно подвижных, в том числе бетонов снижается на 80...85 кг/м³; удобоукладываемость смеси снижается с 5 до 0 см; прочность же бетона повышается на 45...90 % – для пропаренных бетонов; и на 19...40 % – для бетонов, твердеющих в нормальных условиях.

По результатам работы экономия цемента в бетонах класса В15...В25 за счет введения микрокремнезема может составить от 41 до 183 кг/м³ в зависимости от условий твердения и свойств бетонных смесей. Авторы приходят к выводу, что существуют реальные предпосылки для системной организации промышленного производства новых теплоизоляционных материалов в промышленных масштабах с использованием региональных ресурсов.

Ключевые слова: микрокремнезём, бетонные смеси, цемент, прочность, подвижность.**EFFECT OF MICROSILICA SUPPLEMENT ON WORKABILITY AND DENSITY OF EQUALLY MOVEABLE FLOW CONCRETE AND CONCRETE STRENGTH**

Research article

Permyakov M.B.¹, Voronin K.M.², Trubkin I.S.³, Ilin A.N.⁴, Krasnova T.V.^{5,*}¹ORCID : 0000-0002-8015-7897;⁵ORCID : 0000-0002-1213-9005;^{1, 2, 3, 4, 5} Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation

* Corresponding author (toma.krasnova.70[at]mail.ru)

Abstract

The article examines the possibility of improving the concrete composition, by introducing the component of microsilica, in order to reduce the consumption of cement in concrete and, consequently, its cost. The result of using a mixture based on Portland slag cement (M 400) of Magnitogorsk Cement and Refractory Plant is described. The composition of concrete also included the following: porphyritic gravel GOP MMK fraction 10 - 20 mm; sand river fraction 0,16 - 5 mm; mixing water from the municipal water supply system and microsilica of the Chelyabinsk electrometallurgical plant with SiO₂ content of 65-83.38%. The authors reviewed the effect of microsilica on the strength of equally moveable concrete and the effect of microsilica on the properties of equally moveable mixtures and concrete. It was found that the addition of microsilica in an amount of 5 ... 15% of the weight of cement density of equally mobile, including concrete decreases by 80 ... 85 kg/m³; mix workability decreases from 5 to 0 cm; the strength of the concrete increases by 45 ... 90% – for steamed concrete; and by 19 ... 40% – for concrete hardening in normal conditions.

According to the work results, saving of cement in concrete of B15...B25 class due to the introduction of microsilica may amount to 41 to 183 kg/m³, depending on curing conditions and the properties of concrete mixtures. The authors conclude that there are real prerequisites for the systematic organization of industrial production of new thermal insulation materials on an industrial scale using regional resources.

Keywords: microsilica, concrete mixes, cement, strength, mobility.**Введение**

Поиском новых материалов и технологий бетонирования занимаются многие зарубежные исследователи [1], [2], [3]. Ряд зарубежных исследователей, руководствуясь идеей вторичной переработки сырья, заняты поиском вариантов использования несвойственных материалов в качестве добавок. Предлагается, например, вводить в состав смеси золу рисовой шелухи Хайбер-Пахтунхвы (RHA) для улучшения механических свойств цемента [4], использовать резиновые заполнители [5] и так далее. Направлением перспективных исследований является использование новых

композиционных материалов порошкового типа в процессе аддитивного строительства жилых и общественных зданий [6]. Прочностные свойства материалов являются одним из основных показателей качества и надежности, а расчет риска аварий и выхода из строя частей конструкций на производстве помогает предугадать и избежать негативных последствий [7].

Актуальность исследования обусловлена развитием строительных технологий, поиском оптимальных экономических вложений и необходимостью их усовершенствования в соответствии с условием использования доступных региональных материалов.

Основная часть

Минерально-сырьевая база производства современных огнеупоров в Уральском регионе представлена таким сырьём, как: графит, магнезит, высокоглиноземистое сырьё (в частности на основе минералов группы силлиманита, содержащих 62,9% Al_2O_3 и 37,1% SiO_2), высококачественное природное магнезиальносиликатное сырьё (например, серпентиниты), доломит (более 15 месторождений), хромиты, циркон (более 10 месторождений и рудопроявлений, содержащих циркон в качестве основного полезного минерала или в виде минерала-спутника в комплексных рудах), пиррофилит, алюмотермические шлаки [8], [9]. Существуют реальные предпосылки для системной организации промышленного производства новых теплоизоляционных материалов в промышленных масштабах с использованием региональных ресурсов.

В последнее время возрастает интерес к проблеме снижения расхода цемента в бетоне и, следовательно, его себестоимости. Одним из путей снижения расхода цемента в бетоне является модификация его микрокремнезёмом.

Российскими исследователями установлено положительное влияние микрокремнезема на формирование структуры керамзитобетона [10], использование микрокремнезема позволяет получать из рядовых материалов бетон с высокими эксплуатационными характеристиками и уникальными конструкционными возможностями [11]. Например, использование микрокремнезема обеспечивает возможность создания высокоэффективной теплоизоляции с применением, в том числе, технологии торкретирования, что положительно влияет на сокращение экономических затрат [12], [13].

Ранее определена эффективность добавки микрокремнезёма в бетонах классов В15...В25 с маркой по удобоукладываемой П1, полученных на основе шлакопортландцемента (ШПЦ) [14], [15], [16].

В работе были использованы следующие материалы:

Цемент шлакопортландский ЦЕМ III/A-Ш 32,55 (М 400, ШПЦ 400) Магнитогорского цементно-огнеупорного завода, характеризующийся содержанием в клинкере С3S, С2S, С3А и С4АF – 62,5, 9,4, 8,2 и 13,2 %, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 31108-2020. Строительные свойства ШПЦ 400 представлены в таблице (табл. 1).

Таблица 1 - Строительные свойства ШПЦ 400

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.41.1>

Остаток на сите № 008, %	Нормальная густота теста, %	Сроки схватывания, 2 - минуты		Предел прочности, МПа, в возрасте 28 сут.	
		начало	конец	при изгибе	при сжатии
6,6	26,5	3-50	4-30	6,0	39,8

Щебень порфировый ГОП ПАО ММК фракции 10 - 20 мм.

Песок речной фракции 0,16 – 5 мм. Физико-механические характеристики заполнителей представлены в таблицах (табл. 2,3). Свойства щебня определены по методике ГОСТ 8269.0-97, песка – по методике ГОСТ 8735-88.

Таблица 2 - Физико-механические свойства заполнителей

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.41.2>

Вид заполнителя	Средняя плотность, кг/м ³	Насыпная плотность, кг/м ³	Пустотность, %	Водопотребность, %	Содержание лежачих зерен, %	Марка по прочности
Щебень	2190	1440	50,5	-	30	1000
Песок	2630	1535	41,7	12,1	-	-

Таблица 3 - Гранулометрический состав песка

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.41.3>

Полные остатки, % на ситах с размером отверстий, мм					Прошло через сито 0,16 мм, %	Модуль крупности
2,5	1,25	0,63	0,315	0,16		

22,0	37,5	60,5	82,5	97,5	2,5	3,00
------	------	------	------	------	-----	------

Вода затворения из городского водопровода, соответствует требованиям ГОСТ 23732-2011.

Микрокремнезем Челябинского электрометаллургического комбината с содержанием SiO₂ 65-83.38 %.

В исследованиях использовались составы бетонов с исходными составами, представленными в таблице (табл.4).

Таблица 4 - Исходные составы бетонных смесей

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.41.4>

Класс бетона по прочности и на сжатие	Удобоукладываемость, см	Расход материалов на 1 м ³ смеси, кг				Ц/В	Плотность бетонной смеси, кг/м ³
		Ц	В	П	Щ		
B15	3-5	286	209	848	1207	1,37	2550
B25	3-5	407	209	734	1200	1,95	2550

Исследования влияния микрокремнезема на удобоукладываемость, плотность бетонных смесей и прочность бетона проводились по двум схемам:

- в исходные составы бетонных смесей вводили микрокремнезем в количестве 0; 5; 10 и 15% от массы цемента;
- в исходные составы бетонных смесей вводили микрокремнезем, а также добавляли воду и цемент (при сохранении водоцементного отношения на постоянных уровнях) для поддержания удобоукладываемости на заданном уровне (осадка конуса 3-5 см).

Бетонная смесь приготавливалась вручную. Микрокремнезем и цемент предварительно смешивали в круглодонной чаше до видимой однородности. Продолжительность смешивания компонентов бетонной смеси составляла не менее 5 минут.

Удобоукладываемость и плотность бетонной смеси определялась по ГОСТ 10181-2014.

Из каждого состава бетонной смеси формовались шесть образцов-кубов с ребром 10 см. Уплотнение производилось на стандартной виброплощадке по стандартному режиму в течение 15...20 секунд (в зависимости от удобоукладываемости бетонной смеси). Предел прочности на сжатие определяли по ГОСТ 10180-2012 на испытательном прессе ПГМ-500.

Для поддержания заданных параметров удобоукладываемости и водоцементного отношения с повышением добавки микрокремнезема увеличивали расход воды затворения и цемента. Фактические составы бетонных смесей с различным содержанием микрокремнезема и их свойства приведены в таблице (табл.5).

Таблица 5 - Влияние микрокремнезема на свойства равно подвижных смесей и бетона

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.41.5>

Класс бетона		Расход материалов на 1 м ³ смеси, кг					Осадка конуса, см	Плотность, кг/м ³	Прочность, МПа	
		Ц	МК	В	П	Щ			пропаривание	норм. условия
B15	0	286	-	209	848	1207	5	2550	9,1	20,0
	5	290	14,5	212	822	1182	4	2520	13,1	23,9
	10	296	29,6	216	786	1162	4	2490	16,1	26,4
	15	304	45,5	222	750	1153	3,5	2475	17,8	29,4
B25	0	407	-	209	734	1200	4	2550	16,5	32,8
	5	419	21,0	215	686	1168	4	2510	24,0	37,5
	10	427	42,7	219	657	1134	4	2480	28,0	40,6
	15	433	65,0	222	630	1120	4	2470	32,0	45,0

Графические зависимости плотности и удобоукладываемости бетонной смеси, а также прочность бетона от содержания микрокремнезема приведены на рисунках (рис. 1,2,3).

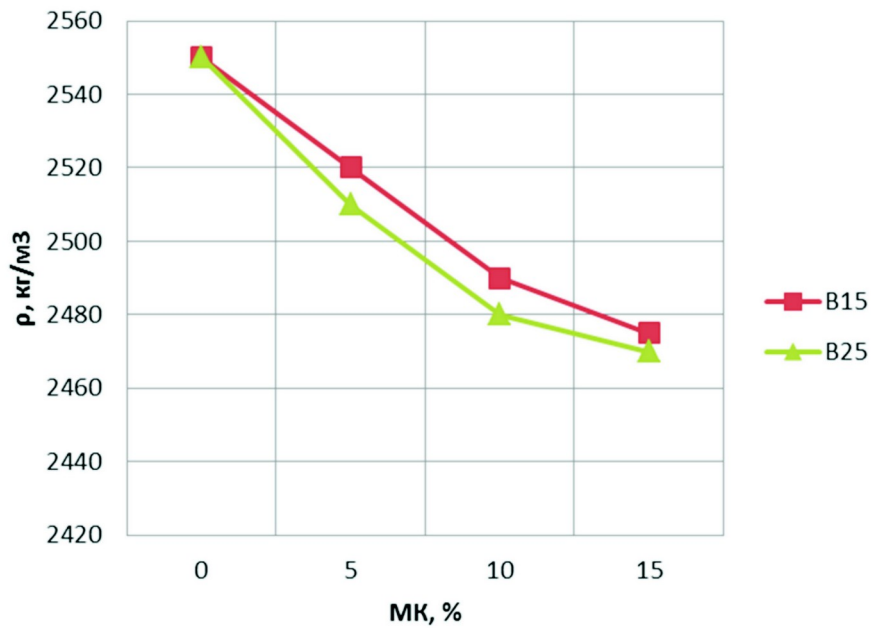


Рисунок 1 - Влияние микрокремнезема на плотность равно подвижных бетонных смесей:

■ – бетон класса В15; ▲ – бетон класса В25
 DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.41.6>

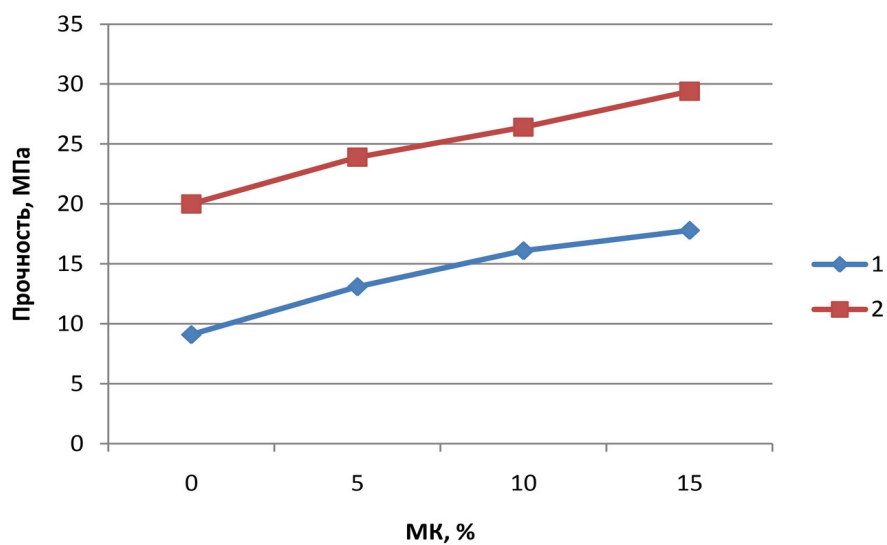


Рисунок 2 - Влияние микрокремнезема на прочность равно подвижного бетона класса В15:
 1 – прочность пропаренного бетона; 2 – прочность бетона, твердеющего в нормальных условиях
 DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.41.7>

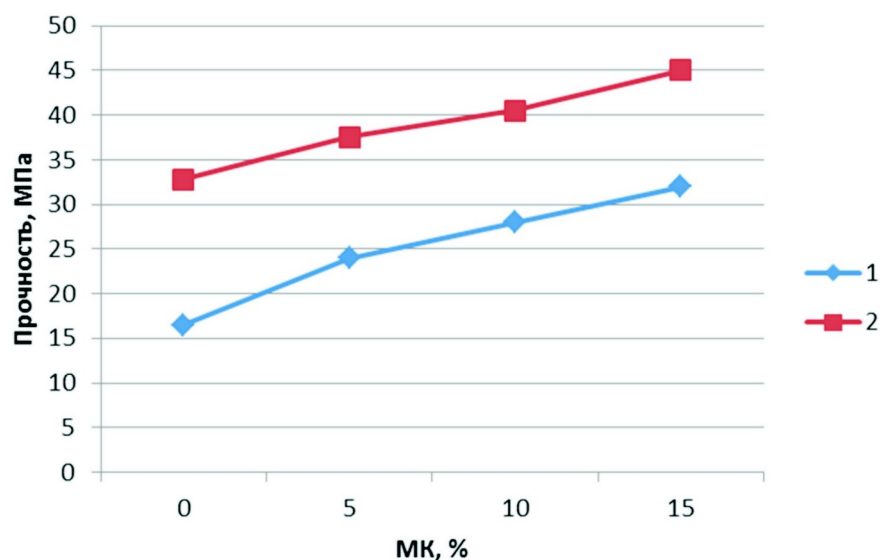


Рисунок 3 - Влияние микрокремнезема на прочность равно подвижного бетона класса В25:
1 – прочность пропаренного бетона; 2 – прочность бетона, твердеющего в нормальных условиях
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.41.8>

Прогнозируемые расходы цемента и прогнозируемая экономия цемента в равно подвижных и равнопрочных бетонах привели в таблице (табл. 6) и на рисунке (рис. 4).

Таблица 6 - Прогнозируемые расходы и экономия цемента в равно подвижных и равнопрочных бетонах

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.41.9>

Класс бетона (условия твердения)	Добавка микрокремнезема, % от Ц	Фактический расход цемента, кг/м ³	Фактическая прочность бетона, МПа	ЦФ/РФ, кг/МПа	Прогнозируемый расход цемента,* кг/м ³	Прогнозируемая экономия цемента, кг/м ³
В15 (пропаривание)	0	286	9,1	31,4	286	-
	5	290	13,1	22,1	201	85
	10	296	16,1	18,4	168	118
	15	304	17,8	17,1	156	130
В15 (нормальные условия)	0	286	20,0	14,3	286	-
	5	290	23,9	12,1	243	43
	10	296	26,4	11,2	224	62
	15	304	29,4	10,3	207	79
В25 (пропаривание)	0	407	16,5	24,6	407	-
	5	419	24,0	17,5	288	119
	10	427	28,0	15,2	251	156
	15	433	32,0	13,6	224	183
В25 (нормальные условия)	0	407	32,8	12,4	407	-
	5	419	37,5	11,2	366	41
	10	427	40,6	10,5	345	62
	15	433	45,0	9,6	316	91

Примечание: * - согласно ГОСТ 26633-2015 расход шлакопортландцемента в конструкциях из тяжелого неармированного бетона, эксплуатирующего при атмосферных воздействиях, не должен быть ниже 170 кг/м³, а в обычных армированных – не ниже 240 кг/м³

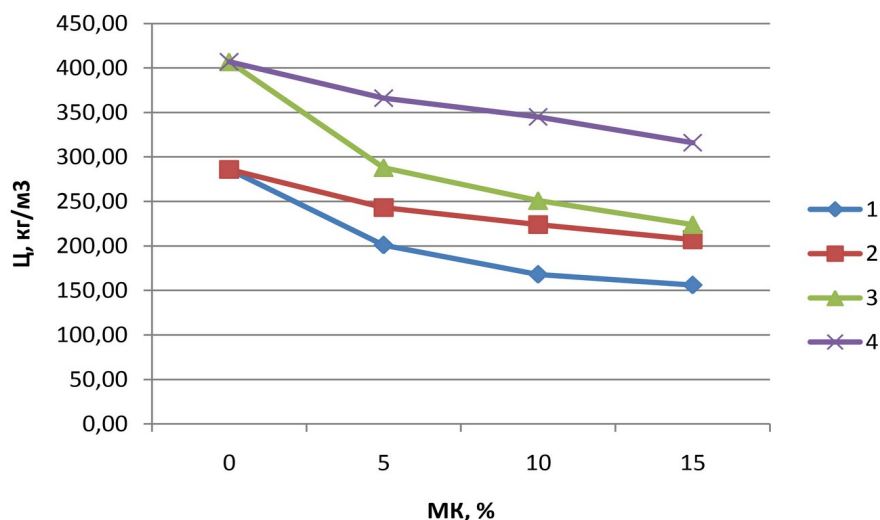


Рисунок 4 - Прогнозируемые расходы цемента в равно подвижных и равнопрочных бетонах с различным содержанием микрокремнезема:

1, 2 – бетоны класса В15; 3, 4 – бетоны класса В25; 1, 3 – расходы цемента в пропаренных бетонах; 2, 4 – расходы цемента в бетонах, твердеющих в нормальных условиях

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.41.10>

Из приведенных данных видно:

- введение в бетонную смесь микрокремнезема сопровождается снижением ее плотности на 80- 85 кг/м³. Чем больше абсолютное содержание микрокремнезема в бетонной смеси, тем ниже ее плотность. Это объясняется воздухововлечением и низкой зерен микрокремнезема;

- введение в бетонную смесь микрокремнезема сопряжено с некоторой потерей удобоукладываемости. Так, для бетонов класса В15...В25 с осадкой конуса 5 см с введением 40 кг/м³ микрокремнезема снижается подвижность до 0 см. Это связано с возрастанием водопотребности бетонных смесей за счет увеличения содержания супертонких частиц в смеси;

- введение в бетонную смесь микрокремнезема вызывает рост прочности бетона. Прочность пропаренного бетона с содержанием микрокремнезема 5...15% от массы цемента возрастает на 45...90 %, а прочность бетона, твердеющего в нормальных условиях, на 19...40%. Более интенсивный прирост прочности при пропаривании, связан с более высокой температурой твердения (с большей реакционной способностью микрокремнезема при повышенных температурах).

- прогнозируемые расходы цемента в равно подвижных и равнопрочных бетонах снижаются на 85...183 кг/м³ – для пропаренных бетонов и на 41...91 кг/м³ – для бетонов, твердеющих в нормальных условиях. Ввиду снижения расхода цемента в бетонах класса В15 ниже допустимых значений введение микрокремнезема в пропаренные бетоны низких классов не целесообразно.

Заключение

- Установлено, что при добавке микрокремнезема в количестве 5...15% от массы цемента плотность равно подвижных, в том числе бетонов снижается на 80...85 кг/м³; удобоукладываемость смеси снижается с 5 до 0 см; прочность же бетона повышается на 45...90 % – для пропаренных бетонов; и на 19...40 % – для бетонов, твердеющих в нормальных условиях.

- По результатам работы, экономия цемента в бетонах класса В15...В25 за счет введения микрокремнезема может составить от 41 до 183 кг/м³ в зависимости от условий твердения и свойств бетонных смесей.

Существуют реальные предпосылки для системной организации промышленного производства новых теплоизоляционных материалов в промышленных масштабах с использованием региональных ресурсов.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Рецензия

Сообщество рецензентов Международного научно-исследовательского журнала
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.41.11>

Review

International Research Journal Reviewers Community
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.41.11>

Список литературы / References

1. Kim D.J. Characteristics of Limited Shrinkage During Drying of Arched Steel Fiber Concrete / D.J. Kim, S.X. Kim, V.K. Choi // Applied Sciences. — 2021. — 11(16). — p. 7537. — DOI: 10.3390/app11167537.
2. Yun H.D. The Effect of the Strength of the Reinforcing Fiber on the Mechanical Properties of High-Strength Concrete. Fibers / H.D. Yun, S.H. Lim, V.K. Choi. — 2019. — 7(10). — p. 93. — DOI: 10.3390/fib7100093.

3. Yun H.D. Microstructure and Mechanical Properties of Cement Mortar Containing Phase Transition Materials / H.D. Yun, J.V. Lee, Y.Y. Jang [et al.] // *Applied Sciences*. — 2019. — 9(5). — p. 943. — DOI: 10.3390/app9050943.
4. Khan U. Evaluation of the Effectiveness of Khyber-Pakhtunkhwa Rice Husk Ash (RHA) in Improving the Mechanical Properties of Cement / U. Khan, K. Shehzada, T. Bibi [et al.] // *Building and Construction Materials*. — 2018. — Vol. 176. — p. 89-102.
5. Barichevich A. The Effect of Polymer Fibers Recycled from Used Tires on the Properties of Wet-Coated Concrete / A. Barichevich, M. Pezer, M.J. Rukavina [et al.] // *Building Materials*. — 2018. — Vol. 176. — p. 135-144. — DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.04.229.
6. Permyakov M.B. Creating a Comfortable Environment in Small-Sized Housing / M.B. Permyakov, T.V. Krasnova // *International Research Journal*. — 2021. — 1(103). — Pt 1. — p. 165-169. — DOI: 10.23670/IRJ.2021.103.1.025.
7. Udodov S. Mechanical and Physical Properties of Fine-Grained Concrete for Concrete Additive Manufacturing / S. Udodov, Y. Galkin, P. Belov // *E3S Web of Conferences*. — 2019. — 02041(2019). — DOI: 10.1051/e3sconf/20199102041
8. Permyakov M.B. Assessment of Reliability and Accident Risk for Industrial Buildings / M.B. Permyakov, A.N. Ilyin, V.M. Andreev [et al.] // *MATEC Web of Conferences*. — 2018. — p. 02007. — DOI: 10.1051/mateconf/201825102007
9. Перепелицын В.А. Высококачественное природное огнеупорное сырьё Урала / В.А. Перепелицын, И.В. Юксеева, Л.В. Остряков // *Минеральное сырьё Урала*. — 2008. — 3. — с. 14-30. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11699376> (дата обращения: 12.01.2023).
10. Перепелицын В.А. Минерально-сырьевая база производства современных огнеупоров (продолжение) / В.А. Перепелицын, И.В. Юксеева, Л.В. Остряков // *Огнеупоры и техническая керамика*. — 2008. — 6. — с. 53-64. — URL: [tps://www.elibrary.ru/download/elibrary_15288902_33279702.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_15288902_33279702.pdf) (дата обращения: 14.01.2023).
11. Кононова О.В. Исследование влияния микрокремнезема на свойства самоуплотняющегося керамзитобетона / О.В. Кононова, А.В. Лоскутов // *Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия: Технологическая*. — 2015. — 3. — с. 193-198.
12. Андреевская Т.С. Микрокремнезем, механизм его образования и области применения / Т.С. Андреевская // *Роль инноваций в трансформации современной науки: сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции*. — 2018. — с. 9-11.
13. Пашков Е.И. Современные технологии футеровки газоходов тепловых агрегатов огнеупорными материалами / Е.И. Пашков, М.Б. Пермяков, Т.В. Краснова // *Международный научно-исследовательский журнал*. — 2021. — 6-1(108). — с. 95-99.
14. Пашков Е.И. Защита теплотехнических агрегатов в агрессивной высокотемпературной среде строительными теплоизоляционными материалами / Е.И. Пашков, М.Б. Пермяков, Т.В. Краснова // *Вестник евразийской науки*. — 2021. — Т. 13. — 2. — с. 30.
15. Крамар Л.Я. Влияние добавки микро кремнезёма на гидратацию алита и сульфатостойкость цементного камня / Л.Я. Крамар, Б.Я. Трофимов, Л.С. Талисман [и др.] // *Цемент*. — 1989. — 6. — с. 14-17.
16. Гамалий Е.А. Структура и свойства цементного камня с добавками микро кремнезёма и поликарбоксилатного пластификатора / Е.А. Гамалий, Б.Я. Трофимов, Л.Я. Крамар // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура*. — 2009. — 16(149). — с. 29-35.
17. Шулдяков К.В. Влияние добавки «микрокремнезем-поликарбоксилатный супер пластификатор» на гидратацию цемента, структуру и свойства цементного камня / К.В. Шулдяков, Л.Я. Крамар, Б.Я. Трофимов [и др.] // *Цемент и его применение*. — 2013. — 2. — с. 114-118.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kim D.J. Characteristics of Limited Shrinkage During Drying of Arched Steel Fiber Concrete / D.J. Kim, S.X. Kim, V.K. Choi // *Applied Sciences*. — 2021. — 11(16). — p. 7537. — DOI: 10.3390/app11167537.
2. Yun H.D. The Effect of the Strength of the Reinforcing Fiber on the Mechanical Properties of High-Strength Concrete. Fibers / H.D. Yun, S.H. Lim, V.K. Choi. — 2019. — 7(10). — p. 93. — DOI: 10.3390/fib7100093.
3. Yun H.D. Microstructure and Mechanical Properties of Cement Mortar Containing Phase Transition Materials / H.D. Yun, J.V. Lee, Y.Y. Jang [et al.] // *Applied Sciences*. — 2019. — 9(5). — p. 943. — DOI: 10.3390/app9050943.
4. Khan U. Evaluation of the Effectiveness of Khyber-Pakhtunkhwa Rice Husk Ash (RHA) in Improving the Mechanical Properties of Cement / U. Khan, K. Shehzada, T. Bibi [et al.] // *Building and Construction Materials*. — 2018. — Vol. 176. — p. 89-102.
5. Barichevich A. The Effect of Polymer Fibers Recycled from Used Tires on the Properties of Wet-Coated Concrete / A. Barichevich, M. Pezer, M.J. Rukavina [et al.] // *Building Materials*. — 2018. — Vol. 176. — p. 135-144. — DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.04.229.
6. Permyakov M.B. Creating a Comfortable Environment in Small-Sized Housing / M.B. Permyakov, T.V. Krasnova // *International Research Journal*. — 2021. — 1(103). — Pt 1. — p. 165-169. — DOI: 10.23670/IRJ.2021.103.1.025.
7. Udodov S. Mechanical and Physical Properties of Fine-Grained Concrete for Concrete Additive Manufacturing / S. Udodov, Y. Galkin, P. Belov // *E3S Web of Conferences*. — 2019. — 02041(2019). — DOI: 10.1051/e3sconf/20199102041
8. Permyakov M.B. Assessment of Reliability and Accident Risk for Industrial Buildings / M.B. Permyakov, A.N. Ilyin, V.M. Andreev [et al.] // *MATEC Web of Conferences*. — 2018. — p. 02007. — DOI: 10.1051/mateconf/201825102007
9. Perepelicyн V.A. Vysokokachestvennoe prirodnoe ognеupornoе syr'jo Urala [High Quality Natural Refractory Raw Materials of the Urals] / V.A. Perepelicyн, I.V. Jukseeva, L.V. Ostrjakov // *Mineral'noe syr'jo Urala [Mineral Raw Materials of the Urals]*. — 2008. — 3. — P. 14-30. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11699376> (accessed: 12.01.2023). [in Russian]

10. Perepelicyn V.A. Mineral'no-syr'evaja baza proizvodstva sovremennyh ogneporov (prodolzhenie) [Mineral and Raw Material Base of Modern Refractories Production (continued)] / V.A. Perepelicyn, I.V. Jukseeva, L.V. Ostrjakov // Ogneupory i tehničeskaja keramika [Refractories and Technical Ceramics]. — 2008. — 6. — с. 53-64. — URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_15288902_33279702.pdf (accessed: 14.01.2023). [in Russian]
11. Kononova O.V. Issledovanie vlijanija mikro kremnezema na svojstva samouplotnjajushhegosja keramzitobetona [Study of the Effect of Microsilica on the Properties of Self-Compacting Claydite Concrete] / O.V. Kononova, A.V. Loskutov // Trudy Povolzhskogo gosudarstvennogo tehnologičeskogo universiteta. Serija: Tehnologičeskaja [Proceedings of the Volga Region State Technological University. Series: Technological]. — 2015. — 3. — p. 193-198. [in Russian]
12. Andreevskaja T.S. Mikro kremnezem, mehanizm ego obrazovanija i oblasti primenenija [Microsilica, Its Mechanism of Formation and Applications] / T.S. Andreevskaja // Rol' innovacij v transformacii sovremennoj nauki: sbornik statej po itogam Mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencii [The Role of Innovation in the Transformation of Modern Science: A Collection of Articles from the International Scientific and Practical Conference]. — 2018. — p. 9-11. [in Russian]
13. Pashkov E.I. Sovremennye tehnologii futerovki gazohodov teplovyh agregatov ognepornymi materialami [Modern Refractory Technology for Lining Heat Trains with Refractory Materials] / E.I. Pashkov, M.B. Permjakov, T.V. Krasnova // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. — 2021. — 6-1(108). — p. 95-99. [in Russian]
14. Pashkov E.I. Zashhita teplotehničeskikh agregatov v agresivnoj vysokotemperaturnoj srede stroitel'nymi teploizoljacionnymi materialami [Protection of Heating Units in Aggressive High-Temperature Environments with Building Thermal Insulation Materials] / E.I. Pashkov, M.B. Permjakov, T.V. Krasnova // Vestnik evrazijskoj nauki [Journal of Eurasian Science]. — 2021. — Vol. 13. — 2. — p. 30. [in Russian]
15. Kramar L.Ja. Vlijanie dobavki mikro kremnezjoma na gidraciju alita i sul'fatostojkost' cementnogo kamnja [Effect of Microsilica Additive on Alite Hydration and Sulphate Resistance of Cement Cake] / L.Ja. Kramar, B.Ja. Trofimov, L.S. Talisman [et al.] // Cement. — 1989. — 6. — p. 14-17. [in Russian]
16. Gamalij E.A. Struktura i svojstva cementnogo kamnja s dobavkami mikro kremnezjoma i polikarboksilatnogo plastifikatora [Structure and Properties of Cement Stone with Microsilica Additives and Polycarboxylate Plasticizer] / E.A. Gamalij, B.Ja. Trofimov, L.Ja. Kramar // Vestnik Južno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Stroitel'stvo i arhitektura [Bulletin of South Ural State University. Series: Construction and Architecture]. — 2009. — 16(149). — p. 29-35. [in Russian]
17. Shuldjakov K.V. Vlijanie dobavki «mikro kremnezem-polikarboksilatnyj super plastifikator» na gidraciju cementa, strukturu i svojstva cementnogo kamnja [Effect of the Additive "Microsilica-Polycarboxylate Super Plastifier" on Cement Hydration, Structure and Properties of Cement Stone] / K.V. Shuldjakov, L.Ja. Kramar, B.Ja. Trofimov [et al.] // Cement i ego primenenie [Cement and Its Applications]. — 2013. — 2. — p. 114-118. [in Russian]