

Соискатель **К.Н. Пуценко**  
(Иркутский национальный исследовательский  
технический университет)  
Конт. информация: Putsenko-kseniya@mail.ru;  
8 (904) 131-56-13

---

*В настоящее время одним из наиболее перспективных направлений в разработке новых видов бетона является комплексное использование побочных продуктов промышленного производства и латекса. Целями статьи являются анализ опыта применения кремнезема и латекса в бетонном строительстве и представление результатов научно-исследовательской работы по разработке мелкозернистого бетона, модифицированного ультрадисперсной добавкой – кремнеземом и латексом.*

**Ключевые слова:** кремнезем, цементобетон, бетон, мелкозернистый бетон, латекс, строительство, автомобильные дороги.

---

## **ВВЕДЕНИЕ**

В современном и постоянно развивающемся мире, в котором возрастающие потребности к строительным материалам пропорциональны росту научно-технического прогресса, возникает острая необходимость создания бетонов нового поколения, которые бы удовлетворяли необходимым требованиям строительной индустрии.

Бетон является самым распространенным строительным материалом: он используется при строительстве различных зданий, мостов, эстакад, виадуков, путепроводов, автомагистралей и других ответственных сооружений, к которым предъявляются повышенные требования из-за постоянной транспортной нагрузки, суровых климатических условий и т.д.

В связи с этим, актуальностью данного научного исследования является разработка бетона с улучшенными технико-эксплуатационными характеристиками посредством комплексного использования местных материалов – ультрадисперсной добавки (кремнезема) и латекса.

## *История применения кремнезема в бетонных технологиях*

*Кремнезем* (далее МК) – это побочный продукт кремниевого производства в результате окисления в газовой фазе SiO, который образуется при выплавке кремнийсодержащих сплавов в электродуговых печах посредством конденсации микрочастиц SiO<sub>2</sub> из газовой фазы и их экстракции из печных газов. После окисления и конденсации некоторая часть SiO<sub>2</sub> образует мелкие шарообразные частички с повышенным содержанием аморфного кремнезёма [1-3].

Сажу, которая возникает в результате работы электропечи, собирают из рукавных фильтров, циклонов и других улавливающих систем, и если она соответствует требованиям, предъявляемым к материалам такого типа, то ее применяют в качестве добавки. Если сажа не соответствует требованиям, то ее отправляют в шламовый отвал. В связи с этим возникает новая проблема, решение которой на данный момент находится на стадии разработки – утилизация микрокремнезема, который отправляется на захоронение.

Наибольшее распространение МК как строительный материал получил при производстве бетона путем его добавления в бетонную смесь с целью улучшения технико-эксплуатационных характеристик конечного продукта. Это возможно благодаря тому, что частицы МК имеют размер менее 1 мкм с удельной поверхностью  $\geq 12000 \text{ м}^2/\text{кг}$ , что позволяет ему заполнять пространство между зёрнами цемента и песка, тем самым делая бетон более плотным. Кроме того, МК богат высоким содержанием SiO<sub>2</sub> и обладает такой же высокой реакционной способностью, как и пуццолан.

Следует отметить, что работы по изучению микрокремнезема в качестве строительного материала ведутся достаточно давно.

Так, в 1950 г. на норвежском заводе «Fiskaa» приступили к разработке и установке систем, улавливающих кремнезем. В тот же период учеными «Университета технических и естественных наук» Норвегии начались работы по изучению свойств бетона с применением кремнезема. Итогом данных исследовательских работ стал выпуск стандартов по использованию кремнезема в цементах и бетонах. В 1990 г. мировым сообществом кремнезем признан как эффективная добавка для бетонов, а с 2000 г. кремнезем получает широкое распространение во всех европейских странах [4].

В 1993 г. американская международная организация «ASTM International» (American Society for Testing and Materials – Американское общество по испытанию материалов) разработала стандарты по использованию кремнезема, которые используются в настоящее время [5].

С использованием кремнезема были построены такие сооружения, как: высотные здания в Чикаго (311 South Wacker Drive , 1988-1990 гг.), тоннель под Ла-Маншем (1994 г.), норвежские морские буровые платформы «Troll-A» в Северном море (1996 г.), мост Конфедерации через пролив Нортумберленд в Канаде (Confederation Bridge, 1997 г.) и т.д. С начала 2000-х годов в России начались исследования по введению кремнезема в бетонные смеси. Через несколько лет были построены следующие сооружения с использованием кремнезема: нефтяные платформы гравитационного типа для проекта «Сахалин-2» (2004 г.), объекты ММДЦ «Москва-Сити» (2010 г.) и т.д.

В настоящее время на территории Российской Федерации находится 10 заводов РУСАЛ по производству алюминия, побочным продуктом которого является кремнезем. Сравнительные данные о химическом составе МК, получаемого на различных заводах приведены в **табл. 1**.

Проанализировав данные можно заключить, что в некоторых составах кремнезема присутствуют примеси металлов, таких как Na, Fe, Mg, что является не совсем благоприятным фактором. Главным фактором выбора кремнезема является количество содержащегося диоксида кремния и минимальный объем железистых примесей.

Проведя литературный обзор исследований по использованию кремнезема в бетонах, можно сделать вывод о том, что в последние несколько десятилетий происходило интенсивное изучение ультрадисперсных минеральных добавок с высоким содержанием диоксида кремния с целью развития бетонных технологий посредством добавления кремнезема в бетонную смесь. Модификацией бетонов посредством кремнезема занимались Баженов Ю.М., Бабков В.В. [6-7] и многие другие.

Проанализировав исследования упомянутых выше ученых, можно сделать вывод о том, что при введении в бетонную смесь кремнезема наблюдается рост физико-механических и технико-эксплуатационных показателей, таких как: снижение расхода цемента на 20 % , увеличение показателя прочности в 2-3 раза, увеличение показателя морозостойкости в 2-4 раза, увеличение показателя износостойкости в 2 раза, увеличение показателя подвижности в 1,5-2 раза, снижение водопроницаемости в 4 раза, повышение сульфатостойкости [8-9].

Кремнезем существует в нескольких формах: суспензия, уплотненный МК (МКУ), неуплотненный МК (МКНУ) и гранулированный МК. Различаются эти формы по плотности, предназначению и особым свойствам. Сравнительные характеристики форм микрокремнезема представлены в **табл. 2**.

Таблица 1

**Сравнительные данные о  
химическом составе кремнезема**

№ п/ п	Наименование завода	Химический состав, %																		
		SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl	CaO	Si	Na <sub>2</sub> O	C	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	K <sub>2</sub> O	TiO	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	Al	Mg	Cr
1	ЗАО «Кремний» (г. Шелехов), «РУСАЛ»	98,99	-	-	0,47	-	0,04	-	0,13	0,14	0,0060	0,0038	0,28	<0,001	0,015	0,034	-	-	-	
2	ООО «Братский завод ферросплавов»	-	-	-	-	63-80	-	0,1	-	-	-	0,02	-	-	-	-	0,04-0,05	2,5-3,0	0,4	0,3-0,4
3	ОАО «Челябинский электрометаллургический комбинат»	90-92			0,4-0,9	-	0,6-0,8	0,9-1,2	0,8-1,0	0,6-0,8	-	0,2-0,3	1,2-1,4	-	-	0,4-0,7			-	
4	ОАО «Кузнецкие ферросплавы»	90-92			0,4-0,9	-	0,6-0,8	0,9-1,2	0,8-1,0	0,6-0,8	-	0,2-0,3	1,2-1,4	-	-	0,4-0,7			-	
5	Elkem Microsilica® Grade 920 ASTM, Норвегия (Norway)	85-90	1-2	0,1-0,3	1,0	0,2-0,4	-	1,5-2,0	-	-	-	-	-	-	-	-			-	

Таблица 2

## Сравнительные характеристики форм кремнезема

<i>№ n/n</i>	<i>Название</i>	<i>Форма МК</i>	<i>Плотность, кг/м<sup>3</sup>/удель- ный вес</i>	<i>Область применения</i>	<i>Особенность применения</i>
<i>1</i>	Неуплотненный МК	порошок	200-350	Строительные цементные растворы	-
<i>2</i>	Уплотненный МК	гранулы	500-600	Сборный ж/б и бетонные смеси	Используется только для совместного измельчения с частицами цемента вплоть до образования смеси однородной консистенции, без измельчения не просеивается
<i>3</i>	Гранулированный МК	гранулы	1000		
<i>4</i>	Суспензия МК	жидкость	Удельный вес – 1,4	Бетоны, тротуарная плитка, ж/б изделия, стеновые блоки и т.д.	Пригодны только для немедленного использования

*Полимерные добавки в бетон: обзор отечественного и зарубежного опыта использования полимеров*

Традиционным бетонам очень сложно конкурировать на строительном рынке с бетонами, модифицированными современными модификаторами, добавками и т.д. Снижение конкурентоспособности традиционных бетонов обусловлено продолжительными сроками схватывания, невысокими показателями при испытаниях на изгиб и сжатие, а также относительно низкой химической стойкостью и трещиностойкостью.

Полимербетон отличается от традиционного бетона, хотя для его изготовления используются одни и те же типы материалов: вода, песок, гравий или щебень в качестве основных компонентов. В целом, полимербетон представляет собой композитный материал, в котором наполнитель связан с полимерным связующим на матричном уровне. Использо-

зуемые композиты не содержат гидратной фазы, хотя портландцемент может использоваться в качестве заполнителя или наполнителя.

Полимербетонные композиты обладают особым сочетанием свойств в зависимости от рецептуры и характеризуются следующим:

- сокращенными сроками твердения при температуре окружающей среды от +18 до + 40 ° С;
- высокими показателями прочности на изгиб, сжатие и растяжение;
- хорошей адгезией к большинству поверхностей;
- высокими показателями морозостойкости;
- низкой проницаемостью для воды и агрессивных растворов;
- хорошей химической стойкостью.

Обычно для затвердения смеси используют эпоксидное связующее, сложный полиэфир, виниловый эфир или обычную эпоксидную смесь. Однако полимерный бетон также может быть изготовлен и из многих других видов полимерных смол, которые позволяют заливать или укладывать бетон, после чего начинается процесс твердения. Твердение бетона происходит путем химической реакции с полимерным материалом.

В зависимости от используемого полимера бетон приобретает различные свойства, например:

- акриловые связующие вещества схватываются очень быстро и обладают устойчивостью к атмосферным воздействиям;
- эпоксидные смолы создают очень прочный материал, который дает малую усадку, а фурановые смолы могут выдерживать высокие температуры;
- полимочевинные смолы могут заменить фенольные или формальдегидные смолы.

Отправной точкой использования модификаторов бетонов является 1923 год, когда Крессон получил первый патент на полимерцемент, в составе которого была акриловая дисперсия [10]. В 1924 г. Лефебр запатентовал идею модифицирования растворов и бетонов посредством природного каучукового латекса, а в 1925 г. Кирпатрик представил свою идею модифицирования латексом. В 1932 г. Бонду был выдан патент на использование синтетических каучуковых латексов. В 1933 г. Родвелл запатентовал идею применения латексов синтетических смол. В 1940 г. были опубликованы несколько патентов о модификации синтетическими латексами - латексы полихлоропренового каучука и полиакрил – эфирные латексы [11].

Новый вид бетонов стал активно использоваться в кораблестроении, мостостроении и просто в качестве антикоррозионных покрытий. В

это же время двумя британцами – Гриффитсом и Стивенсоном, проводятся исследовательские работы по применению природного каучука [11].

В 1953 г. Гэйст и другие исследователи представили итоги своего исследования о поливинилацетатных растворах. 1960-е годы характеризуются активным изучением модификации бетонов посредством полиэтиленвинилацетата и его сополимеров, полиакрилового эфира, метилцеллюлозы, поливинилхлорида и различных видов синтетического каучука [11].

В СССР особо широкое использование полимеры получили в 50-70 гг. XX века Этот период характеризуется активным применением поливинилацетатной дисперсии и синтетических латексов. Пик популярности с тех пор пошел на убыль, но несмотря на это, в настоящее время ведутся исследовательские работы по применению латексов в современных строительных материалах, с учетом вновь появляющихся требований к ним.

Улучшения технико-эксплуатационных свойств бетона, используя полимеры, можно достичь двумя способами: модификацией полимерными соединениями (добавками) или замещением части вяжущего в бетоне. В ходе представленной работы проводилось исследование по улучшению технико-эксплуатационных свойств посредством замены части вяжущего.

### *Методика исследования и обоснование выбора совместного использования ультрадисперсной добавки и полимера*

Целью представленного исследования было изучение влияния комплексного использования ультрадисперсной добавки и полимера на бетонную смесь.

Для получения достоверных результатов был принят комплексный подход к изучению и определению технико-эксплуатационных свойств бетона, а именно составу и структуре цементного камня и свойств бетонных смесей.

Для изучения характеристик и свойств исходных материалов использовались методы испытаний, регламентируемые нормативно-техническими документами, такими как:

- ГОСТ 310.4-81. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии;
- ГОСТ 310.3-76. Цементы. Методы определения нормальной плотности, сроков схватывания и равномерности изменения объема (с Изменением N 1);

- ГОСТ 8735-88. Песок для строительных работ. Методы испытаний (с Изменениями N 1, 2, с Поправкой);
- ГОСТ 10181-2014. Смеси бетонные. Методы испытаний;
- ГОСТ 12730.1-78. Бетоны. Методы определения плотности;
- ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам .

Для того чтобы определить наиболее эффективное количество модифицирующей добавки, необходимо изучить комплексное взаимодействие и влияние этих добавок на свойства цементного теста и цементного камня. Для этого требуется оценить влияние кремнезема, пластифицирующей добавки СП-1 и латекса. Выбор именно этих модифицирующих добавок объясняется тем, что они оказывают положительное влияние на физико-механические свойства цементов [12].

На основе анализа ряда научных работ Баженова Ю.М. [13-15], удалось установить, что кремнезем наиболее эффективен при совместном использовании с СП-1 (С-3). При применении кремнезема происходит увеличение водопотребности, что обусловлено значительным образом дисперсностью МК, т.е. чем больше дисперсность (удельная поверхность) используемого материала, тем больше будет показатель водопотребности. Проблему увеличения водопотребности можно решить путем введения в смесь пластифицирующей добавки СП-1 (С-3). Согласно рекомендациям по применению данной добавки, она предназначена для бетонных смесей и строительных растворов. Введение СП-1(С-3) в бетонную смесь способствует:

- увеличению подвижности и удобоукладываемости;
- увеличению прочностных характеристик;
- снижению расхода цемента и воды;
- повышению трещиностойкости и морозостойкости.

В настоящее время всё большее применение получают бетоны, модифицированные латексами. Преимущества добавления латексов в бетон заключаются в следующем:

- улучшении удобоукладываемости;
- получении оптимального показателя воздухоовлечения;
- обеспечении водоудерживающей способности;
- увеличении сроков схватывания;
- повышении прочностных показателей;
- повышении сопротивления ударным воздействиям и истиранию;
- обеспечении высоких показателей водостойкости и водонепроницаемости;
- повышении морозостойкости.



Таким образом, латексом можно заменить добавку СП-1 (С-3), добиваясь при этом и снижения водопотребности, и приобретения бетонном улучшенных технико-эксплуатационных свойств.

### *Определение реологических свойств цементного теста*

Одним из наиболее важных свойств бетонной смеси является её удобоукладываемость. Данное свойство характеризуется подвижностью, жесткостью и связностью смеси, и является показателем её реологических характеристик.

В рамках рассматриваемой в данной статье научно-исследовательской работы оценивались два показателя реологических свойств цементного теста:

- показатель нормальной густоты цементного теста;
- сроки схватывания с учетом используемых добавок: латекс, кремнезем, СП-1 (С-3).

Исследования по использованию кремнезема, латекса, СП-1 (С-3) ведутся многими учеными уже продолжительное время. В связи с этим, диапазон изменения той или иной добавки в рецептуре цементного теста выбирался на основе опыта таких ученых, как Баженов Ю.М., Дворкин Л.И., Дворкин О.Л., Алимов Л.А., Воронин В.В., Левченко Е.А., Зоткин А.Г. и др.

Состав контрольных образцов был следующим:

- Цемент – 225 гр.
- Песок – 675 гр.
- Вода – 110 мл.

Определение реологических показателей выполняли в соответствии с ГОСТ 310.3-76 . В данном ГОСТе не указаны требования относительно количества контрольных образцов и допустимые погрешности полученных результатов. Поэтому для чистоты эксперимента и достоверности определяемых показателей было принято решение провести несколько контрольных испытаний. После этого была проведена сверка результатов. В ГОСТе указано, что *«Нормальной густотой цементного теста считают такую его консистенцию, при которой пестик прибора Вика, погруженный в кольцо, заполненное тестом, не доходит на 5-7 мм до пластинки, на которой установлено кольцо»*. С учетом этого значения показателя нормальной густоты должны быть в среднем 6 мм, а допустимые погрешности –  $\pm 1$  мм. При определении сроков схватывания цементного теста необходимо каждые 10 мин. проверять образец.

Время, прошедшее от начала затворения до того момента, когда игла не доходит до пластинки на 2-4 мм, считается началом схватывания. Концом схватывания цементного теста считают время от начала затворения до момента, когда игла опускается в тесто не более чем на 1-2 мм. Так как был использован цемент 42.5 Н, то начало схватывания должно наступить не раньше, чем через 45 мин., а конец схватывания не позднее 10 ч. Рецептуры и результаты испытаний представлены в **табл. 3**.

**Таблица 3**

*Определение показателя нормальной густоты цементного теста*

<i>Наименование добавки</i>	<i>Количество добавки от массы ПЦ, %</i>	<i>Показатель нормальной густоты цементного теста:</i>	
		<i>%</i>	<i>отн. ед.</i>
<i>Контрольный образец (далее КО)</i>	-	48,88	100,00
<i>КО + латекс</i>	1,0	51,55	105,46
	1,5	50,89	104,11
	2,0	43,55	89,09
	2,5	37,33	76,37
	3,0	37,33	76,37
	3,5	37,99	77,72
	4,0	37,48	76,67
	4,5	35,01	71,62
	5,0	35,55	72,72
	5,5	36,88	75,45
<i>КО + МК-95</i>	10,0	62,22	127,29
	15,0	57,77	118,18
	20,0	60,60	123,97
	25,0	66,66	136,37
	30,0	71,11	145,47
<i>КО + СП-1 (С-3)</i>	0,5	40,00	81,83
	1,0	35,55	72,72
<i>(КО + МК-95) + СП-1 (С-3)</i>	1,0	44,44	90,91
	1,3	34,66	70,90
	1,6	33,77	69,08

<i>Наименование добавки</i>	<i>Количество добавки от массы ПЦ, %</i>	<i>Показатель нормальной густоты цементного теста:</i>	
		<i>%</i>	<i>отн. ед.</i>
<i>КО + МК-95 + Латекс</i>	1,5	62,22	127,29
	2,0	60,43	123,62
	2,5	59,55	121,82
	3,0	58,66	120,00
	3,5	57,77	118,18
	4,0	65,88	134,77
	4,5	56,00	114,56
<i>(КО + МК-95) + Латекс + СП-1 (С-3)</i>	3,0 / 1,0	57,77	118,18

На основании данных, полученных в результате исследований по определению показателя нормальной густоты цементного теста, можно сделать следующие выводы:

- при добавлении 5,5 % латекса водопотребность снижается на 12 %, при 1,0 % – повышается на 2,67 %. Это обусловлено тем, что повышение водопотребности находится в обратной зависимости от количества латекса;
- при 30,0 % МК водопотребность увеличилась на 22,23 %, а при 10,0 % увеличилась в меньшей степени – на 13,24%. При добавлении МК в количестве 15-20 % достигается самое минимальное количество воды, необходимое для достижения требуемого показателя нормальной густоты;
- при максимальном и минимальном количестве СП-1 водопотребность снижается, но в разной степени: при добавлении 1,0 % снижается на 13,33 %, при 0,5 % – на 8,88 %. Это связано с тем, что снижение водопотребности находится в обратной зависимости от количества добавляемого СП-1;
- при максимальном и минимальном количестве введения СП-1 в состав (МК-95 + КО) водопотребность снижается, но в разной степени: при 1,6 % – снижается на 4,44%, а при 1,0% – на 15,11%;
- при максимальном и минимальном количестве введения латекса в состав (КО+МК-95) водопотребность повышается, но в разной степени: при 4,5% повышается на 7,12%, при 1,5% – 13,34 %. Это связано с тем, что повышение водопотребности находится в обратной зависимости от количества латекса;

- при введении латекса в количестве 3,0% и СП-1 в количестве 1,0 % в состав (КО+МК-95) водопотребность увеличивается на 8,89 %. Увеличение водопотребности происходит за счет совместного использования добавки СП-1 и латекса.

Затем были проведены исследования по определению сроков схватывания с учетом используемых добавок: латекс, кремнезем, СП-1 (С-3). Результаты определения влияния добавок на сроки схватывания представлены в табл. 4.

**Таблица 4**

*Результаты испытаний по определению влияния добавок на сроки схватывания*

<i>Наименование добавки</i>	<i>Количество добавки от массы ПЦ, %</i>	<i>Сроки схватывания, мин.</i>			
		<i>Начало</i>	<i>Δ, мин</i>	<i>Конец</i>	<i>Δ, мин</i>
<i>Контрольный образец</i>	-	225	-	300	-
<i>(КО + МК-95) + Латекс</i>	1,5	250	+25	355	+55
	2,0	240	+15	334	+34
	2,5	230	+5	310	+10
	<b>3,0</b>	<b>215</b>	<b>-10</b>	<b>275</b>	<b>-25</b>
	3,5	190	-35	270	-30
	4,0	185	-40	268	-32
	4,5	180	-45	265	-35
<i>(КО + МК-95) + Латекс + СП-1 (С-3)</i>	3,0 / 1,0	230	+5	310	+10

На основании данных, приведенных в табл. 4, можно сделать следующие выводы:

- совместное использование МК и латекса оказали существенное влияние на сроки схватывания опытных образцов, а именно, абсолютные значения всех опытных образцов с латексом в составе (КО + МК-95) находятся в интервале  $\pm 45$  мин. по сравнению со значениями контрольного образца;
- введение латекса в количестве 3,0 % и более в состав (КО + МК-95) способствует сокращению начала сроков схватывания на 10 мин. и конца сроков схватывания на 25 мин.;

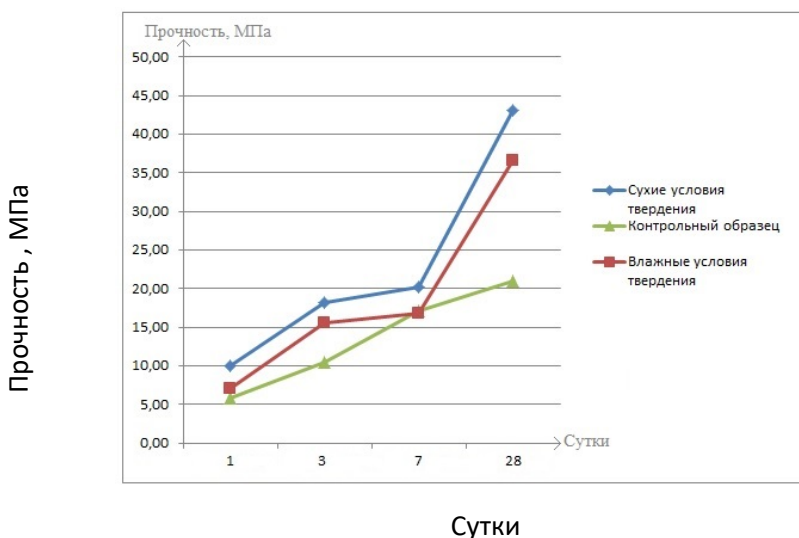
- контрольное время окончания сроков схватывания образцов с содержанием латекса от 3,0% и более уменьшается с 275 до 265 мин.

### *Определение механических характеристик бетона*

Важнейшей механической характеристикой бетона является показатель прочности при изгибе и сжатии. Испытания по определению прочностных характеристик проводились с использованием всех добавок. На основании данных, полученных в ходе исследований по определению показателей прочности при изгибе и сжатии, можно сделать следующие выводы:

- при добавлении латекса от 1,0 % до 3,5 % от массы цемента максимальное увеличение прочности относительно прочности КО составило 10,15 %;
- при добавлении МК от 10,0 до 20,0 % от массы цемента максимальное увеличение прочности относительно прочности КО составило 47,25 %;
- увеличение прочностных показателей при использовании СП-1 относительно прочности КО не наблюдается,
- при добавлении СП-1 в количестве 1,0 % от массы цемента в состав (КО + МК-95) наблюдается увеличение прочности относительно прочности КО на 80,44 %;
- при добавлении латекса в количестве 2,5 % от массы цемента в состав (КО + МК-95) (влажные условия твердения) максимальное увеличение прочности относительно прочности КО составило 74,24%;
- при добавлении латекса в количестве 2,5 % от массы цемента в состав (КО + МК-95) (влажные условия твердения) максимальное увеличение прочности относительно прочности КО составило 105,43 %;
- при добавлении латекса и СП-1 (С-3) в состав (КО + МК-95) (воздушно-сухие условия твердения) увеличение прочности относительно прочности КО не наблюдается.

На основании полученных данных, были разработаны составы бетона и изготовлены опытные образцы бетона. Определение предела прочности на сжатие проводилось в возрасте 28 суток. Данные испытаний представлены на **рис. 1**.



**Рис. 1. График сравнения динамики набора прочности состава смеси КО+МК+латекс (влажные и воздушно-сухие условия твердения)**

Анализируя динамику набора прочности состава смеси (КО+МК+латекс) во влажных и воздушно-сухих условиях твердения, выявлено, что при твердении образцов в воздушно-сухих условиях, которые идентичны по составу с образцами, которые твердели в воде, набор прочности происходит быстрее и значения прочности на сжатие в возрасте 28 суток выше.

### **Определение морозостойкости модифицированного бетона**

Добиться повышения морозостойкости можно разными способами:

- повышением прочности: чем выше марка бетона, тем выше морозостойкость,
- понижением водоцементного отношения,
- изменением характера пористости,
- изменением состава цемента.

Определение морозостойкости образцов бетона осуществлялось согласно *ГОСТ 10060-2012. Бетоны. Методы определения морозостойкости.*

Условия испытаний, которые были приняты для определения прочности опытных образцов, представлены в **табл. 5**.

Таблица 5

*Условия испытаний при определении морозостойкости*

<i>Метод и марка бетона по морозостойкости</i>	<i>Условия испытания</i>			<i>Вид бетона</i>
	<i>Среда насыщения</i>	<i>Среда и температура замораживания</i>	<i>Среда и температура оттаивания</i>	
<i>Ускоренный метод</i>				
Второй	5%-ный водный раствор хлорида натрия	Воздушная, минус (18±2) °С	5%-ный водный раствор хлорида натрия, (20±2) °С	Тяжелый бетон

Анализ результатов испытания на морозостойкость (табл. 6) позволил сделать вывод о том, что образцы выдержали испытание на морозостойкость. Марка по морозостойкости составила F2300.

Таблица 6

*Результаты испытания на морозостойкость*

<i>№ п/п</i>	<i>Основные образцы</i>		<i>Контрольные образцы</i>	
	<i>Разрушающая нагрузка, кН</i>	<i>Прочность, МПа</i>	<i>Разрушающая нагрузка, кН</i>	<i>Прочность, МПа</i>
1	284	26,97	283,83	27,04
2	263	24,98	294,54	27,98
3	294	27,93	289,59	27,51
4	279	26,50	273,49	25,98
5	274	26,03	288,65	27,42
6	278	26,41	304,75	28,95

*Примечание: Прочность контрольных и основных образцов бетона определена в ходе испытания (37 циклов замораживания и оттаивания) по второму ускоренному методу).*

*Результаты исследования по совместному использованию ультрадисперсной добавки и полимера в бетоне*

1. Определение физико-механических характеристик модифицированного цемента показало, что добавками, оказавшими наиболь-

ший эффект, является сочетание МК-95 + латекс. Оптимальное содержание этих добавок составляет 10,0 - 20,0 % МК и до 2,5 % латекса. Увеличение прочности относительно прочности КО составляет:

- при твердении в воздушно-сухих условиях – 43,08 МПа (т.е. увеличение на 22,11 МПа),
  - при твердении во влажных условиях – 36,54 МПа (т.е. увеличение на 15,57 МПа).
2. Проведенное исследование по определению сроков схватывания и прочностных характеристик цементного камня, модифицированного латексом и МК, показывает, что абсолютные значения всех опытных образцов с латексом в составе (КО + МК-95) находятся в интервале  $\pm 45$  мин. по сравнению со значениями контрольного образца. Введение латекса в количестве 3,0 % и более в состав (КО + МК-95) сокращает начало сроков схватывания на 10 мин. и конец сроков схватывания – на 25 мин. Контрольное время окончания сроков схватывания образцов с содержанием латекса от 3,0 % и более уменьшается с 275 до 265 мин.
  3. Обосновано повышение прочности мелкозернистого полимербетона за счет использования кремнезема и латекса. Совместное использование данных добавок способствует повышению степени гидратации цемента.
  4. Определен режим твердения бетона – воздушно-сухой режим.
  5. Класс разработанного бетона увеличился с В15 до В30.
  6. Марка по морозостойкости составляет F2300.
  7. Разработанный бетон относится к тяжелому типу полимербетона.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая полученные результаты, можно сделать вывод о том, что комплексное применение кремнезема и латекса достаточно эффективно с точки зрения увеличения прочностных характеристик и морозостойкости мелкозернистого бетона.

Кроме того, следует отметить, что применение кремнезема Братского завода способствует удешевлению конечного продукта за счет сокращения транспортных расходов на доставку МК до места производства бетона.

На основании анализа информации о химическом составе кремнезема, получаемого на различных заводах России, и зарубежного аналога из Норвегии, удалось дать сравнительную характеристику соответствующих химических составов МК. При этом установлено, что



кремнезем Братского завода не уступает по качеству материалу Норвежского завода ELKEM.

В современных условиях насыщенного рынка строительных материалов при выборе материала требуется учитывать не только его технико-эксплуатационные и ценовые характеристики, но и экологичность. Важно подчеркнуть, что кремнезем является экологически чистым материалом,

Таким образом, можно отметить положительные результаты рассмотренной работы, что дает основание для продолжения исследований в данном направлении.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Gökçea H.S. *Effect of fly ash and silica fume on hardened properties of foam concrete* / H.S. Gökçea, D. Hatungimanab, K. Ramyarb // *Construction and Building Materials*. – 2019. – Vol. 194. – P. 1-11.
2. Holland, T.C. *Silica Fume. User's Manual* // *Silica Fume Association*. – *Technical Report*. – No FHWA-IF-05-016. – 2005. – 183 P.
3. Burroughs J.F. *Influence of High Volumes of Silica Fume on the Rheological Behavior of Oil Well Cement Pastes* / J.F Burroughs, W.J. Weiss, J. E. Had-dock // *Construction and Building Materials*. – 2019. – No 4. – P. 401-407.
4. *Silica Fume In Concrete* // *The Silica Fume Association*. – 2014. – Электрон. данные. – URL: <http://www.silicafume.org/general-concrete.html> (дата обращения 12.02.2019).
5. *ASTM International* // [www.astm.org](http://www.astm.org) : *Стандарты ASTM*. – 1996. – Электрон. данные. – URL: <https://www.astm.org/cis/ru/index.html> (дата обращения 01.02.2019).
6. Баженов Ю.М. *Мелкозернистый бетон, модифицированный комплексной микродисперсной добавкой* / Ю.М. Баженов, Н.П. Лукутцова, Е.Г. Карпиков // *Вестник МГСУ*. – 2013. – №2. – С. 94-100.
7. Бабков В. В., Габитов А. И., Сахибгареев Р. Р., *Аморфный микрокремнезем в процессах структурообразования и упрочнения цементного камня* / В.В. Бабков, А.И. Габитов, Р.Р. Сахибгареев // *Баширский химический журнал*. – 2010. – №3. – Т. 17. – С. 206-210.
8. Крамар Л.Я. *Цементные тяжелые бетоны для строительства скоростных автомобильных дорог* / Л.Я. Крамар, А.И. Кудяков, Б.Я. Трофимов, К.В. Шулдяков // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2017. № 4 (63). – С. 147-157.
9. Копаница Н.О. *Применение нанодисперсного кремнезема в производстве строительных смесей* / Н.О. Копаница, Ю.С. Саркисов, О.В. Демьяненко // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2016. – № 5 (58). – С. 140-150.

10. Изотекс (изоляционные технологии) // [www.izotekh-spb.ru](http://www.izotekh-spb.ru) : сайт компании «Изотекс СПб». 2019. – Электрон. данные. – URL: <http://www.izotekh-spb.ru/services/floors/poli-cement-poli/4> (дата обращения (02.03.2019)).
11. Википедия — свободная энциклопедия // <https://ru.wikipedia.org>: Полимербетон. – Электрон. данные. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Полимербетон> (дата обращения 03.03.2019).
12. Баженов Ю.М. Структура и свойства бетонов с наномодификаторами на основе техногенных отходов, 2-е изд.(эл.) / Ю.М. Баженов, Л.А. Алимов, В.В. Воронин. – М.: МИСИ-МГСУ, 2017. – 206 с.
13. Баженов Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны / Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 368 с.
14. Баженов Ю.М. Бетонovedение: уч. пособие для вузов / Ю.М. Баженов. – М.: Изд-во АСВ, 2015. – 144 с.
15. Баженов Ю.М. Наномодифицированные цементные бетоны / Ю.М. Баженов, Л.А. Алимов, В.В. Воронин. – М.: Изд-во АСВ, 2017. – 197 с.

## L I T E R A T U R A

1. Gökçe H.S. Effect of fly ash and silica fume on hardened properties of foam concrete / H.S. Gökçe, D. Hatungimanab, K. Ramyarb // *Construction and Building Materials*. – 2019. – Vol. 194. – R. 1-11.
2. Holland, T.C. Silica Fume. User's Manual // *Silica Fume Association*. – Technical Report. – No FHWA-IF-05-016. – 2005. – 183 P.
3. Burroughs J.F. Influence of High Volumes of Silica Fume on the Rheological Behavior of Oil Well Cement Pastes / J.F. Burroughs, W.J. Weiss, J. E. Had-dock // *Construction and Building Materials*. – 2019. – No 4. – P. 401-407.
4. Silica Fume In Concrete // *The Silica Fume Association*. – 2014. – Электрон. данные. – URL: <http://www.silicafume.org/general-concrete.html> (дата обращения 12.02.2019).
5. ASTM International // [www.astm.org](http://www.astm.org) : Standarty ASTM. – 1996. – Электрон. данные. – URL: <https://www.astm.org/cis/ru/index.html> (дата обращения 01.02.2019).
6. Bazhenov YU.M. Melkozernistyj beton, modifitsirovannyj kompleksnoj mikrodispersnoj dobavkoj / YU.M. Bazhenov, N.P. Lukutcova, E.G. Karpikov // *Vestnik MGSU*. – 2013. – №2. – S. 94-100.
7. Babkov V. V., Gabitov A. I., Sahibgareev R. R., Amorfnyj mikrokremnezem v processah strukturoobrazovaniya i uprochneniya cementnogo kamnya / V.V. Babkov, A.I. Gabitov, R.R. Sahibgareev // *Bashkirskij himicheskij zhurnal*. – 2010. – №3. – T. 17. – S. 206-210.
8. Kramar L.YA. Cementnye tyazhelye betony dlya stroitel'stva skorostnyh avtomobil'nyh dorog / L.YA. Kramar, A.I. Kudyakov, B.YA. Trofimov, K.V. SHuldya-kov // *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universi-teta*. – 2017. № 4 (63). – S. 147-157.

9. Kopanica N.O. *Primenenie nanodispersnogo kremnezema v proizvodstve stroitel'nyh smesey* / N.O. Kopanica, YU.S. Sarkisov, O.V. Dem'yanenko // *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. – 2016. – № 5 (58). – S. 140-150.
10. *Izoteks (izolyacionnye tekhnologii)* // [www.izotekh-spb.ru](http://www.izotekh-spb.ru) : sajt kompanii «Izotekh SPb». 2019. – Elektron. dannye. – URL: <http://www.izotekh-spb.ru/services/floors/poli-cement-poli/4> (data ob-rashcheniya (02.03.2019).
11. *Vikipediya — svobodnaya enciklopediya* // <https://ru.wikipedia.org>: Polimerbeton. – Elektron. dannye. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Polimerbeton> (data obrashcheniya 03.03.2019).
12. Bazhenov YU.M. *Struktura i svoystva betonov s nanomodifikatorami na osnove tekhnogennyh othodov, 2-e izd.(el.)* / YU.M. Bazhenov, L.A. Alimov, V.V. Voronin. – M.: MISI-MGSU, 2017. – 206 s.
13. Bazhenov YU.M. *Modificirovannye vysokokachestvennye be-tony* / YU.M. Bazhenov, B.C. Dem'yanova, V.I. Kalashnikov – M.: Izd-vo ASV, 2006. – 368 s.
14. Bazhenov YU.M. *Betonovedenie: uch. posobie dlya vuzov* / YU.M. Bazhenov. – M.: Izd-vo ASV, 2015. – 144 s.
15. Bazhenov YU.M. *Nanomodificirovannye cementnye betony* / YU.M. Bazhenov, L.A. Alimov, V.V. Voronin. – M.: Izd-vo ASV, 2017. – 197 s.

---

## **EXPERIENCE OF JOINT USE OF SILICA AND LATEX IN CONCRETE TECHNOLOGIES**

*Doctoral student* **K.N. Putsenko**  
(Irkutsk National Research Technical University)  
Contact information: [Putsenko\\_kseniya@mail.ru](mailto:Putsenko_kseniya@mail.ru);  
8(904)131-56-13

*Currently, one of the most promising directions in the development of new types of concrete is the joint use of by-products of industrial production and latex. The objectives of the article are to analyze the experience of using silica and latex in concrete construction and present the results of research work on the development of fine-grained concrete modified with an ultradispersed additive – silica and latex.*

**Key words:** *silica, cement concrete, concrete, fine-grained concrete, latex, construction, roads.*

---

Рецензент: канд. техн. наук Б.П. Кутько (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию: 06.09.2019 г.