

УДК: 54.148, 666.3.016  
DOI: 10.52409/20731523\_2023\_4\_255  
EDN: SILMPK



## Реологическое поведение формовочных масс из модифицированной кремнезолью глинозольной шихты

С.А. Шахов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Сибирский государственный университет путей сообщений,  
г. Новосибирск, Российская Федерация

**Аннотация:** *Постановка задачи.* Развитие производства строительной керамики связано с необходимостью поиска эффективных технологий замещения при производстве строительной керамики природного сырья производственными и бытовыми отходами. В качестве потенциального многотоннажного источника сырья в последнее время все чаще рассматриваются композиции из низкосортного глинистого сырья и зол различного происхождения. Однако неудовлетворительные реологические свойства формовочных масс из глинозольных шихт затрудняют получение качественной строительной керамики методом пластического формования. *Цель работы* заключается в оценке возможности управления реологическим поведением формовочных масс из глинозольной шихты посредством их модифицирования гидрозолеом оксида кремния. *Задачами исследования* являются изучение структурной организации находящегося в водной суспензии ультрадисперсного кремнезема, а также исследование влияния гидрозоля оксида кремния на реологию глинозольных формовочных масс.

*Результаты.* Посредством инфракрасной спектроскопии, термического и фотоколориметрического анализов, оптической и электронной микроскопии установлено, что содержащийся в водной суспензии песка после ее обработки в шаровой мельнице кремнезоль, выполняет в глинозольной шихте роль поверхностно-активного вещества, способствующего увеличению толщины адсорбционного слоя на поверхности частицы золы и суглинка. Моделирование совместного влияния суглинка, золы и кремнезоля на величину приведенных деформаций показало, что частицы SiO<sub>2</sub> в коллоидном состоянии, обеспечивают изменение соотношения между свободной и связанной водой, что делает формовочную массу более подвижной и деформируемой.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что в процессах структурообразования глинозольных масс содержащийся в водной суспензии песка кремнезоль следует рассматривать как наноструктурированную добавку способную эффективно влиять на реологическое поведение формовочных масс и активировать процессы структурообразования при получении строительной керамики.

**Ключевые слова:** суглинок, зола, строительная керамика, формовочная масса, реология, кремнезоль, фильтрат

**Для цитирования:** Шахов С.А. Реологическое поведение формовочных масс из модифицированной кремнезолью глинозольной шихты // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с. 255-266, DOI: 10.52409/20731523\_2023\_4\_255, EDN: SILMPK

# Rheological behavior of molding compounds from silica modified clay-ash mixture

S.A. Shakhov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Siberian State Transport University, Novosibirsk, Russian Federation

**Abstract:** *Problem statement.* The development of the production of building ceramics is associated with the need to find effective technologies for replacing natural raw materials with industrial and household waste in the production of building ceramics. Compositions made from low-grade clay raw materials and ashes of various origins have recently been increasingly considered as a potential large-scale source of raw materials. However, the unsatisfactory rheological properties of molding compounds from clay-ash mixtures make it difficult to obtain high-quality building ceramics by plastic molding. The purpose of the work is to evaluate the possibility of controlling the rheological behavior of molding compounds from a clay-ash mixture by modifying them with silicon oxide hydrosol. The objectives of the research are to study the structural organization of ultrafine silica in an aqueous suspension, as well as to study the effect of silicon oxide hydrosol on the rheology of clay-ash molding compounds.

*Results.* Through infrared spectrometry, thermal and photocolometric analyses, optical and electron microscopy, it was established that silica sol contained in an aqueous suspension of sand after its processing in a ball mill plays the role of a surfactant in the clay-ash mixture, contributing to an increase in the thickness of the adsorption layer on the surface of ash and loam particles. Modeling of the combined influence of loam, ash and silica sol on the magnitude of the given deformations showed that SiO<sub>2</sub> particles in a colloidal state provide a change in the ratio between free and bound water, which makes the molding mass more mobile and deformable.

*Conclusions.* The significance of the results obtained for the construction industry is that in the processes of structure formation of clay-ash masses, silica sol contained in an aqueous suspension of sand should be considered as a nanostructured additive capable of effectively influencing the rheological behavior of molding masses and activating the processes of structure formation in the production of building ceramics.

**Keywords:** loam, ash, building ceramics, molding mass, rheology, silica sol, filtrate

**For citation:** Shakhov S.A. Rheological behavior of molding compounds from silica modified clay-ash mixture // News KSUAE, 2023, № 4(66), p. 255-266, DOI: 10.52409/20731523\_2023\_4\_255, EDN: SILMPK

## 1. Введение

Ограниченные запасы качественного глинистого сырья, требования по ресурсосбережению и защите окружающей среды приводят к необходимости поиска эффективных технологий замещения при производстве строительной керамики природного сырья производственными и бытовыми отходами. К числу многотоннажных производственных отходов относятся золы. Выполненные в последние годы исследования показывают возможность использования различных зол в качестве сырьевого компонента при получении керамического кирпича методом полусухого прессования [1-3]. Вместе с тем, разработанные составы глинозольных шихт в виду неудовлетворительных реологических характеристик формовочных масс не позволяют получить качественный керамический кирпич методом пластического формования, на который с ориентированы большинство заводов по производству стеновой керамики в Российской Федерации, [4-6].

Реологию формовочных масс можно регулировать с помощью различных модифицирующих добавок [7-9]. Введение в состав шихты таких добавок за счет изменения характера процессов, протекающих на межфазной поверхности частиц, может способствовать улучшению структурно-механических характеристик формовочных масс. Вместе с тем такие добавки зачастую отрицательно влияют на процесс спекания и

структурно-механические свойства керамического материала, что является нежелательным явлением.

Другое направление решения задачи управления реологией формовочных масс развиваемое в последние годы связано с наномодифицированием алюмосиликатов. В литературе имеются сведения о применении для этих целей золей оксидов кремния и алюминия [10-12]. Использование гидрозолей оксидов кремния и алюминия позволяет регулировать структуру глинистых суспензий, корректировать параметры системы и в итоге улучшать структурно-механические характеристики формовочных масс и характеристики керамического материала. В работе [13] в процессе изучения влияния наномодификатора на силикатную систему показано увеличение структурной прочности материала. Полученный эффект авторы связывают с частичным взаимодействием (сополимеризацией) органического (полиэфира) и неорганического (кремнезема) компонентов в контактной зоне. В литературе также описаны эксперименты по улучшения формовочных свойств посредством модификации структуры с помощью высококонцентрированной керамической вяжущей суспензией (ВКВС) [14].

Учитывая вышеприведенные данные, представляется целесообразным проверить действие гидрозолей оксидов кремния, на реологию глинозольных формовочных масс.

**Цель работы:** оценка возможности управления реологическим поведением формовочных масс из глинозольной шихты посредством наномодифицирования гидрозолем оксида кремния.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- изучена структурная организация находящегося в водной суспензии ультрадисперсного кремнезема;
- исследовано влияние гидрозоля оксида кремния на реологию глинозольных формовочных масс.

## 2. Материалы и методы

Для исследований использовались суглинок Камышенского месторождения (Новосибирская область) и зола от сжигания осадка бытовых сточных вод (МУП «Водоканал» г. Новосибирск). Минеральный состав суглинка и золы ОБСВ приведен в табл. 1.

Таблица 1

Состав минеральной части суглинка и золы

Компонент шихты	Содержание основных оксидов, мас.%						Потери при прокаливании сверх 100%
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	
суглинок	68,70	11,78	4,10	4,76	1,68	3,60	5,62
зола ОБСВ	53,9	10,6	5,4	6,2	1,9	3,1	44,7

В качестве наномасштабного модификатора в работе использовали содержащий кремнезоль фильтрат, полученный в лабораторных условиях из речного песка (карьер Марусино, Новосибирская обл.). Характеристики использованного в работе песка представлены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристика используемого песка

Используемый песок	Содержание глинистых и илистых примесей, %	Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Пустотность, %	Модуль крупности M <sub>к</sub>
речной	2,3	2481	1279	48,45	1,305

Дисперсная система из 10 масс. % песка и 90 масс. % дистиллированной воды, обрабатывалась в шаровой мельнице (мельющие тела из оксида алюминия) в течение 3 часов. Для более полного протекания процессов растворения кремнезема, и образования монокремниевой кислоты с последующей ее полимеризацией суспензию выдерживали в течение 3 суток, а затем пропускали через фильтр для отделения фракции с диаметром частиц более 5 мкм. Элементный состав, полученного фильтрата, приведен в табл. 3.

Таблица 3

Элементные состав фильтрата дисперсной системы после измельчения

Элемент						
О	Si	Al	Ca	Mg	Na	К
73%	25,5	0,50%	0,22%	0,53%	0,25%	0,33%

Для изучения совместного влияния соотношения компонентов на структурно-механические свойства формовочной массы использовали математическое планирование эксперимента. Построение матрицы полнофакторного эксперимента и статистическая обработка полученных данных осуществлялась в соответствии с методикой [15]. Значения упругой, эластичной и пластической деформации определялись на установке, работающей по принципу параллельно-сдвигающейся пластинки (прибор Д. М. Толстого). В соответствии с матрицей планирования подготовлено и изучено 9 серий образцов.

### 3. Результаты и обсуждение

Известно, что ультрадисперсный кремнезем представляет собой полидисперсную систему с высокоразвитой межзерновой поверхностью. На присутствие в дисперсионной среде (фильтрате) частиц  $\text{SiO}_2$  в ультрадисперсном состоянии указывает наличие на представленной на рис. 1 ИК-спектрограмме полос с частотой колебаний  $1200 \text{ см}^{-1}$  и  $1090 \text{ см}^{-1}$  характерных связей Si-O.

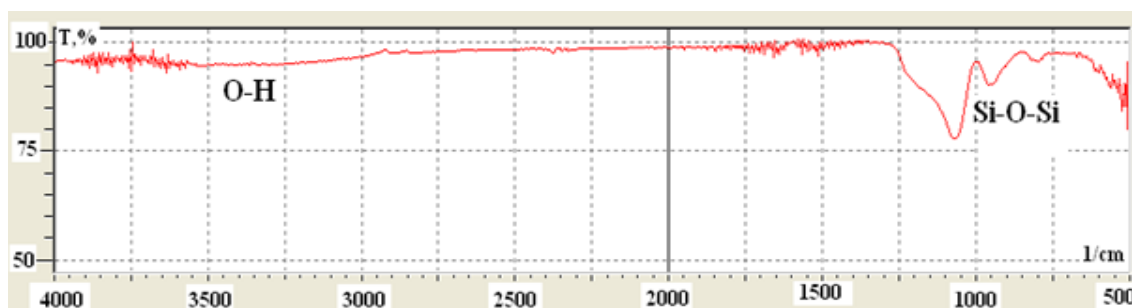


Рис. 1. ИК-спектр фильтрата (иллюстрация автора)  
Fig. 1. IR spectrum of the filtrate (illustration by the author)

С целью установления структурной организации находящегося в водной суспензии песка ультрадисперсного кремнезема была определена оптическая плотность фильтрата после его подкисления или подщелачивания. При добавлении соляной кислоты до pH 4 показатель оптической плотности не отличался от фонового. Рост оптической плотности, обусловленный образованием коллоидного осадка, отмечен при добавлении гидроксида натрия вплоть до pH 10 (рис. 2).

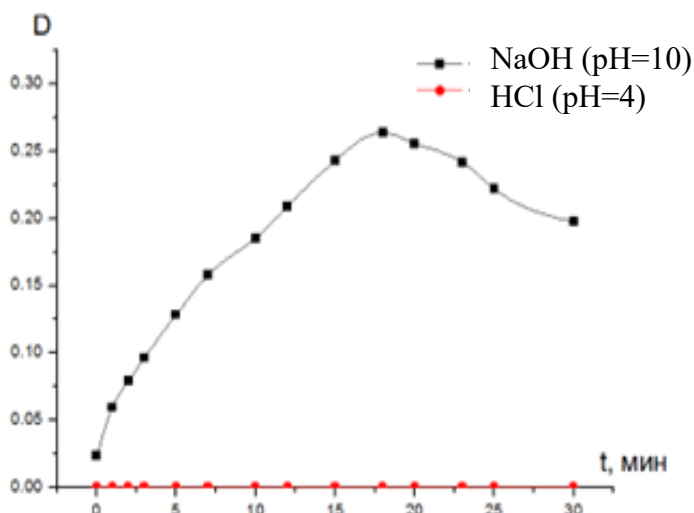


Рис. 2. Нефелометрические кривые после добавления в фильтрат NaOH и HCl (иллюстрация автора)

Fig. 2. Nephelometric curves after adding NaOH and HCl to the filtrate (illustration by the author)

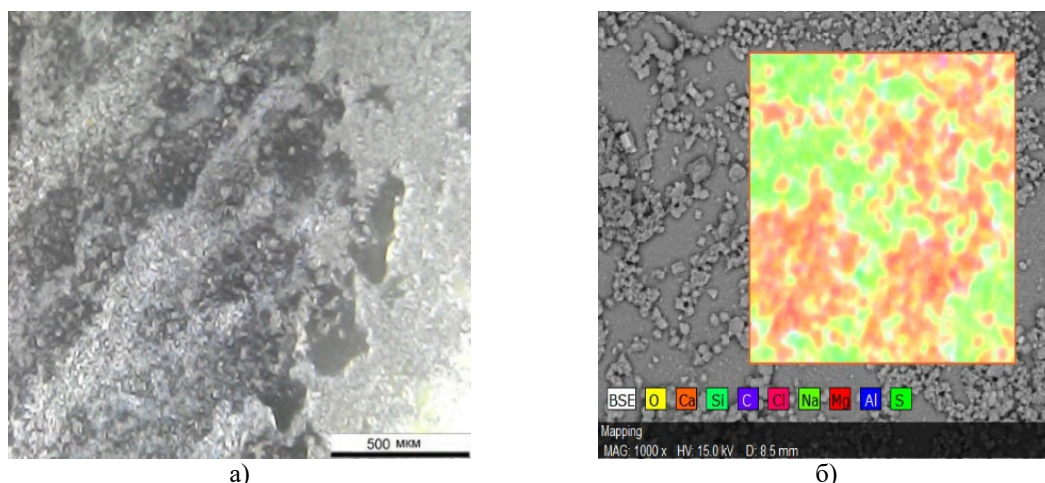
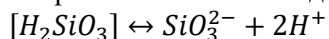


Рис. 3. Оптическая (а) и электронная (б) микроскопия частиц, образующихся после сушки фильтрата (NaOH) при температуре 110°C (иллюстрация автора)

Fig. 3. Optical (a) and electron (b) microscopy of particles formed after drying of the filtrate (NaOH) at a temperature of 110°C (illustration by the author)

В результате сушки фильтрата с NaOH в сушильном шкафу при температуре 110°C на лабораторном стекле, наблюдалось образование белого налета белого (рис. 3), который составлял порядка 0,4% от массы фильтрата и был идентифицирован как силикат натрия.

Известно [16], что при взаимодействии кремнезема с водой на поверхности частиц SiO<sub>2</sub> происходит образование монокремниевой кислоты диссоциирующей на ионы:



Стремление вновь образованной химической системы к снижению поверхностной энергии вызывает «старение» монокремниевой кислоты (H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>), что в свою очередь приводит к образованию новой фазы в виде гидрозоля. Структурированию и образованию неорганического полимера способствует избыток ионов H<sup>+</sup> в дисперсионной среде осадка, как в слабой кислоте (pH 4,0—6).

Строение частицы SiO<sub>2</sub> в коллоидном состоянии в форме мицеллы можно представить в виде следующей схемы (рис. 4).

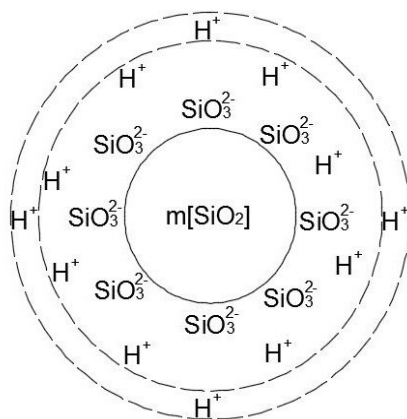


Рис. 4. Схема строения частицы гидрозоля диоксида кремния  $\text{SiO}_2$  (иллюстрация автора)  
 Fig. 4. Scheme of the structure of a particle of silicon dioxide hydrosol  $\text{SiO}_2$  (illustration by the author)

Пленка геля кремнезема в свою очередь способствует связи частиц  $\text{SiO}_2$  с другими частицами и между собой с образованием грубодисперсных агрегатов.

На рис. 5 представлены результаты экспериментальных исследований, показывающие влияние фильтрата на изменение пластической прочности и оптимальной формовочной влажности для формовочных масс из шихты с разным соотношением суглинка и золы.

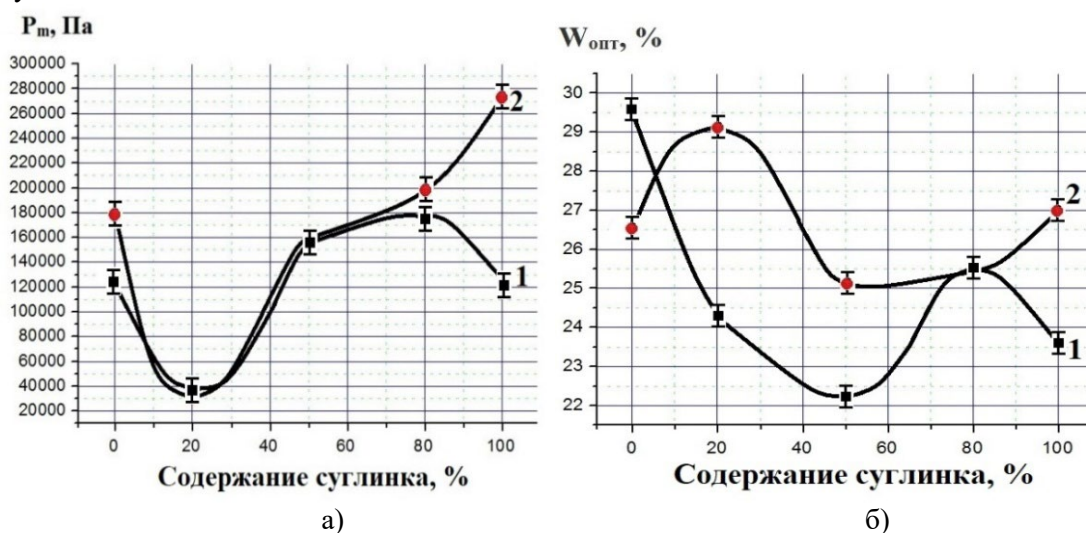


Рис. 5. Зависимость пластической прочности,  $P_m$  Па (а) и оптимальной формовочной влажности  $W_{opt}$  (б) шихт на основе ОБСВ от содержания в шихте суглинка, %: 1 - без добавки фильтрата; 2 - с добавкой фильтрата (0,1 масс.% кремнезоля в пересчете на сухое вещество) (иллюстрация автора)

Fig. 5. Dependence of plastic strength,  $P_m$  Pa (a) and optimal molding moisture content  $W_{opt}$  (b) of charges based on SSWM on the content of loam in the charge, %: 1 - without filtrate addition; 2 - with the addition of filtrate (0.1 wt.% silica sol in terms of dry matter) (illustration by the author)

Анализ полученных результатов позволяет заключить, что добавка фильтрата оказывает заметное влияние на пластическую прочность только для составов с содержанием суглинка в пределах 0-10% и 70-100%. Рост значений пластической прочности у этих формовочных масс, по-видимому, связан с изменением соотношения между находящейся в шихте кинетически свободной и связанной водой. При этом увеличение для большинства составов оптимальной формовочной влажности до 4 % свидетельствует о недостаточном количестве свободной воды в дисперсной системе из-за перевода части воды в связанное состояние.

Для оценки влияния фильтрата на реологию формовочных масс было выполнено в соответствии с ортогональным планом второго порядка моделирование совместного



влияния компонентов шихты на величину приведенных деформаций. В качестве переменных полнофакторного эксперимента (ПФЭ)  $3^2$  были приняты:  $x_1$  – содержание суглинка, %;  $x_2$  – содержание фильтрата осадка промывных вод, масс. %. За параметры оптимизации приняты доли приведенных пластических и эластических деформаций. В соответствии с экспериментальным планом испытано 9 серий образцов. Модели строились в виде уравнений полинома 2 степени.

$$e_{эл} = 19,39 + 9,47 * x_1 + 5,07 * x_2 - 14,55 * (x_1^2 - 0,67) - 7,82 * (x_2^2 - 0,67) \quad (1)$$

$$e_{пл} = 43,45 + 15,53 * x_1 - 4,85 * x_2 + 12,50 * (x_1^2 - 0,67) \quad (2)$$

По результатам статистической обработки на основе математических моделей были построены поверхности отклика приведенных эластических и пластических деформаций (рис. 6).

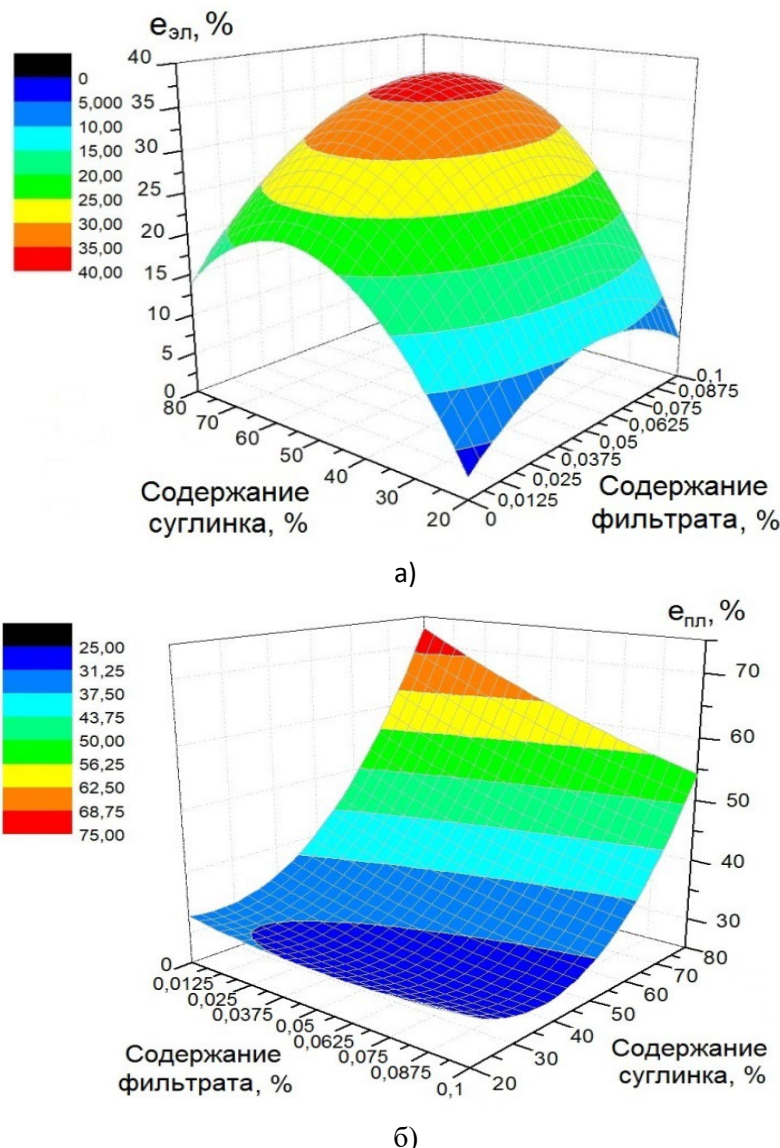
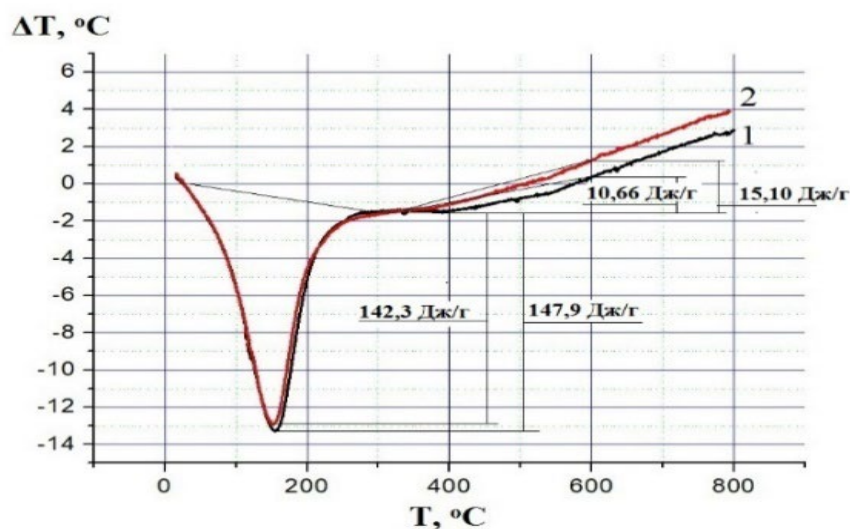


Рис. 6. Поверхности отклика приведенных эластических деформаций формовочных масс ( $e_{эл}$ , %) и приведенных пластических деформаций формовочных масс ( $e_{пл}$ , %) от содержания добавок суглинка и фильтрата, % (иллюстрация автора)

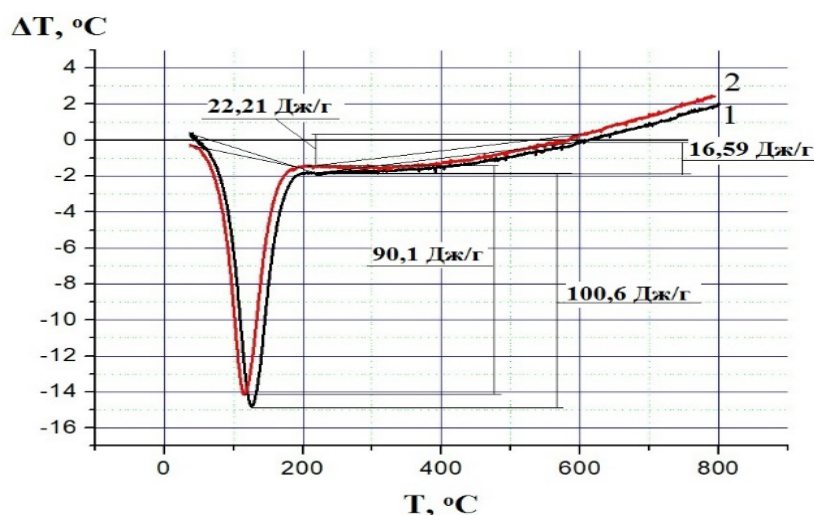
Fig. 6. Response surfaces of the reduced elastic deformations of the molding masses ( $e_{el}$ , %) and the reduced plastic deformations of the molding masses ( $e_{pl}$ , %) on the content of loam and filtrate additives, % (illustration by the author)

Изменения в деформационном поведении формовочных масс, по-видимому, обусловлены образованием, коагуляционной структуры, в которой частицы кремнезола обволакивая более крупные частицы, способствуют не только изменению характера контакта между последними, но и изменению соотношения между кинетически

свободной и кинетически связанной водой. В пользу последнего утверждения свидетельствуют результаты дифференциально-термического анализа представленные на рис. 7. При введении фильтрата, как для суглинка, так и для золы ОБСВ наблюдается некоторое снижение величин эндоэффектов, что свидетельствует об изменении соотношения свободной и связанной воды в сторону последней.



а)



б)

Рис. 7. ДТА-кривые суглинка (а) ДТА-кривые золы ОБСВ (б) затворенных водой (1) и затворенных водой с добавлением фильтрата (2) (иллюстрация автора)

Fig. 7. DTA-curves of loam (a) DTA-curves of ash SSWM (b) mixed with water (1) and mixed with water with the addition of filtrate (2) (illustration by the author)

Известно, что одним из способов управления свойствами шихты является использование поверхностно-активных веществ [5,9,17]. Сорбируясь на поверхности частиц, молекулы ПАВ изменяют гидрофильность такой поверхности и принимают участие в образовании коагуляционных связей, что качественно изменяет характер контактов.

Учитывая вышесказанное было высказано предположение о том, что находящийся в фильтрате кремнезоль применительно к золе и суглинку может выступать в качестве ПАВ, позволяющего модифицировать поверхность усилить или наоборот ослабить гидрофильность поверхности дисперсной фазы. Для проверки этой гипотезы были определены интегральные теплоты смачивания и рассчитаны соответствующие коэффициент фильности у золы и суглинка без добавки и с добавкой кремнезоля.



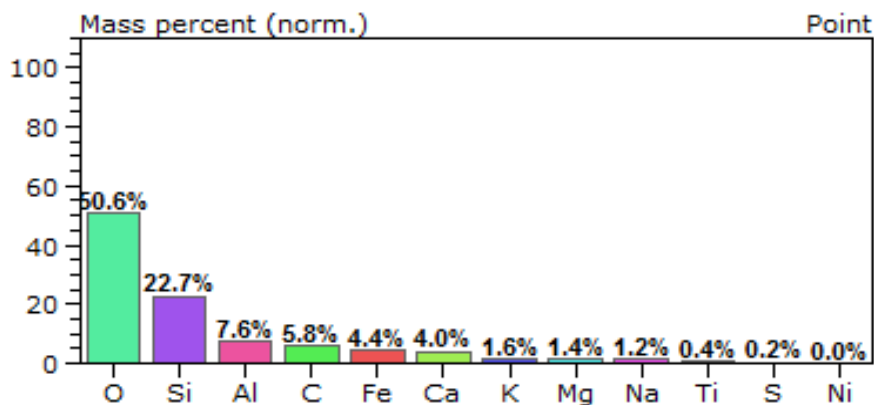
Полученные результаты (табл. 4) подтверждают сделанное предположение: введение кремнезоля действительно дополнительно усиливает гидрофильность поверхности.

Таблица 4

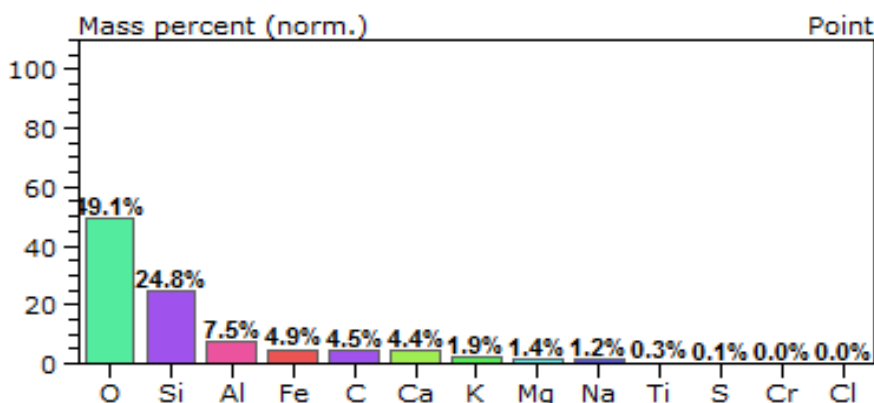
Изменение коэффициентов лиофильности суглинка и золы ОБСВ после модифицирования фильтратом (0,1 масс.% кремнезоля в пересчете на сухое вещество)

Дисперсная фаза	Дисперсионная среда	Разность температур, °С	$Q_{\text{инт}}$ , Дж/г	Коэффициент фильности
Суглинок	Вода	0,2844	9,6187	1,758
Суглинок	Бензол	0,4877	5,47	
Суглинок модифицированный	Вода	0,621	21,003	2,808
Суглинок модифицированный	Бензол	0,66675	7,478	
Зола ОБСВ	Вода	0,2065	6,98	2,912
Зола ОБСВ	Бензол	0,2138	2,39	
Зола ОБСВ модифицированная	Вода	0,03911	1,3227	6,085
Зола ОБСВ модифицированная	Бензол	0,01938	0,2174	

В пользу такого вывода говорят и данные элементного анализа поверхности частиц формовочной массы с 50%-м содержанием золы: наблюдается увеличение количества кремния на поверхности частиц, после введения фильтрата (рис. 8).



а)



б)

Рис. 8. Элементный состав шихты: а - «50% золы ОБСВ:50% суглинка»; б - «50% золы ОБСВ:50% суглинка: фильтрат (0,1 масс.% кремнезоля в пересчете на сухое вещество)» (иллюстрация автора)

Fig. 8. Elemental composition of the charge: а - "50% ash BSV: 50% loam"; б - "50% ash SSV: 50% loam: filtrate (0.1 wt.% silica sol in terms of dry matter)" (illustration by the author)

Кинетика взаимодействий химических систем зависит от величины энергии активации, определяющей свободной энергией частиц твердой фазы [18]. С учетом этого выявить механизм и физико-химическую сущность действия находящегося в составе фильтрата кремнезоля можно посредством оценки его влияния на величину поверхностного натяжения.

Для измерения значений поверхностного натяжения дисперсионной среды (фильтрата) были выбраны: вода, керосин, изопропиловый спирт. Представленные в таблице 5 результаты экспериментов показывают, что дисперсионная среда водной суспензии песка (фильтрат) снижает поверхностное натяжение и тем самым проявляет свойства характерные для поверхностно-активных веществ.

Таблица 5

Значения поверхностных натяжений, эрг/см<sup>2</sup>

Граница	Поверхностное натяжение, эрг/см <sup>2</sup>
Вода-керосин	47,50
Фильтрат - керосин	38,61
Изопропиловый спирт (0,03 моль /л) - керосин	39,98

Таким образом, полученные результаты позволяют заключить, что содержащийся в обработанной в шаровой мельнице суспензии песка кремнезоль выполняет роль поверхностно-активного вещества, облегчающего процесс смачивания водой поверхности частиц золы и суглинка, усиливающего тем самым ее гидрофильные свойства и обеспечивающего изменение соотношения между свободной и связанной воды. При этом преобладание с увеличением содержания кремнезоля коагуляционных связей, приводит к контактированию сорбционных оболочек вокруг частиц, а не непосредственно поверхностей последних. Это делает структуру массы более подвижной и деформируемой, о чём свидетельствуют увеличение значений модулей упругости и эластичности, а также снижение пластической прочности формовочной массы. Поэтому, в процессах структурообразования поверхностно-активные вещества в виде кремнезоля будут интенсифицировать возникновение коагуляционной структуры и обеспечат возможность управления количеством и соотношением свободной и связанной воды. Это позволяет рассматривать содержащую кремнезоль дисперсионную среду суспензии песка как наноструктурированную добавку потенциально способную активировать процессы структурообразования на различных технологических стадиях получения строительной керамики.

#### 4. Заключение

1. Наличие после обработки в шаровой мельнице в дисперсионной среде водной суспензии песка коллоидной составляющей в виде кремнезоля позволяет рассматривать фильтрат такой суспензии как наноструктурированную добавку потенциально способную активировать процессы структурообразования на различных технологических стадиях получения строительной керамики.

2. Находящийся в фильтрате кремнезоль применительно к золе и суглинку

- выполняет роль ПАВ, облегчающего процесс смачивания, что позволяет усилить гидрофильность поверхности дисперсионной фазы;

- обеспечивает образование коагуляционной структуры, в которой частицы SiO<sub>2</sub> в коллоидном состоянии, обволакивая более крупные частицы способствуют увеличению толщины адсорбционного слоя на поверхности таких частиц, что приводит к изменению соотношения между свободной и связанной водой, а соответственно и к изменению в деформационном поведении глинозольных формовочных масс.

#### Список литературы / References

1. Пичугин Е.А. Аналитический обзор накопленного в Российской Федерации опыта вовлечения в хозяйственный оборот золошлаковых отходов теплоэлектростанций. // Проблемы региональной экологии. 2019. №4. С. 75-87. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-14077 [Pichugin E.A. Analytical review of the experience accumulated in

- the Russian Federation of involving ash and slag waste from thermal power plants into economic circulation. // Problems of regional ecology. 2019. No. 4. P. 75-87 DOI: 10.24411/1728-323X-2019-14077]
2. Д.В. Макаров Д.В., Мелконян Р.Г., Суворова О.В., Кумарова В.А. Перспективы использования промышленных отходов для получения керамических строительных материалов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 5. С. 254–281. [D.V. Makarov D.V., Melkonyan R.G., Suvorova O.V., Kumarova V.A. Prospects for the use of industrial waste for the production of ceramic building materials // Mining Information and Analytical Bulletin. 2016. No. 5. P. 254–281.]
  3. Мальчик А.Г., Литовкин С.В., Родионов П.В. Исследование технологии переработки золошлаковых отходов ТЭС при производстве строительных материалов // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 3-1. С. 60-64. [Malchik A.G., Litovkin S.V., Rodionov P.V. Study of technology for processing ash and slag waste from thermal power plants in the production of building materials // Modern science-intensive technologies. 2016. No. 3-1. P. 60-64.]
  4. Rheological properties of sewage sludge ash ceramic masses Shakhov S.A., Nikolaev N.Yu. Journal of Physics: Conference Series. 1. "Advanced Trends in Civil Engineering 2021, ATCE 2021", Vol. 2124. IOP Publishing Ltd. P. 012002
  5. Ильин, А. П. Физико-химическая механика в технологии катализаторов и сорбентов: Монография / Иван. гос. хим.-технол. ун-т. Иваново, 2004. 316 с. [Ilyin A.P., Prokofiev V.Yu. Physical and chemical mechanics in the technology of catalysts and sorbents: Monograph / Ivanovo state chemical technological university. Ivanovo, 2004. 316 p.]
  6. Ozkan N., Oysu C., Briscoe B. J., Aydin I. Rheological analysis of ceramic pastes // J. European Ceramic Society. 1999. Vol. 19, 16. P.2883-2891.
  7. Мавлянов А.С., Сардарбекова Э.К. Улучшение реологических свойств керамических масс путем комплексной активации сырья Вестник СибАДИ Том 16, № 3. 2019. Сквозной номер выпуска 67 С.343-351. [Mavlyanov A.S., Sardarbekova E.K. Improving the rheological properties of ceramic masses through complex activation of raw materials Vestnik SibADI Vol. 16, No. 3. 2019. Continuous issue number 67 P.343-351.]
  8. Шахов С.А. Николаев Н.Ю. Улучшение формуемости керамических масс на основе пылеватых суглинков введением композиционной высокодисперсной добавки Техника и технология силикатов. 2017. Т. 24. № 2. С. 7-13. [Shakhov S.A. Nikolaev N.Yu. Improving the formability of ceramic masses based on silty loams by introducing a highly dispersed composite additive. Engineering and technology of silicates. 2017. T. 24. No. 2. P. 7-13.]
  9. Rehman, M. Ul. Influence of fluxing oxides from waste on the production and physico-mechanical properties of fired clay brick: A review / M. Ul. Rehman, M. Ahmad, K. Rashid // Journal of Building Engineering. – 2020. – № 27. P.79-87.
  10. A. Khantimirov, L. Abdrakhmanova, V. Khozin, R. Nizamov. Modification of Wood-Polymer Composites with Silica Sols of Different Nature // Proceedings of STCCE : International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering 2022 : Lecture Notes in Civil Engineering, Kazan, 21–29 апреля 2022 года. Vol. 291. – Switzerland: Springer Nature, 2022. – P. 201-208. – DOI 10.1007/978-3-031-14623-7\_17. – EDN UNBTYL.
  11. Qian, Y. Enhancing thixotropy of fresh cement pastes with nanoclay in presence of polycarboxylate ether superplasticizer (PCE) / Y. Qian, G. De Schutter // Cem. Concr. Res. – 2018. № 111. P.15–22.
  12. Артамонова О.В. Концепции и основания технологий наномодифицирования структур строительных композитов. Часть 6. Получение наномодифицированных термально-синтезных систем твердения для конструкционной и функциональной керамики специального назначения // Строительные материалы. 2017. № 5. С. 98–104. [Artamonova O.V. Concepts and foundations of technologies for nanomodification of building composite structures. Part 6. Preparation of nanomodified thermal-synthetic

- hardening systems for structural and functional ceramics for special purposes // Construction materials. 2017. No. 5. P. 98–104.]
13. Женжурист, И.А. Перспективные направления наномодифицирования в строительной керамике / И.А. Женжурист // Строительные материалы. 2014. № 4. С. 36-39. [Zhenzhurist, I.A. Perspective directions of nanomodification in building ceramics / I.A. Zhenzhurist // Construction materials. 2014. No. 4. P. 36-39.]
  14. Fonseca, A.S. Process-generated nanoparticles from ceramic tile sintering: Emissions, exposure and environmental release / A.S. Fonseca, A. Maragkidou, M. Viana, X. Querol, K. Hämeri, I. de Francisco, C. Estepa, C. Borrell, V. Lennikov // Science of the Total Environment. 2016. № 565. P.922–932.
  15. Косенко, Е.А. Планирование эксперимента (в машиностроении): учебно-методическое пособие / Е.А. Косенко. // М.: МАДИ, 2023. 56с. [Kosenko, E.A. Planning an experiment (in mechanical engineering): educational and methodological manual / E.A. Kosenko. // М.: MADI, 2023. 56 p.]
  16. Айлер, Р.К. Коллоидная химия кремнезема и силикатов // Р.К. Айлер. Москва: Госстройиздат, 1959. 288 с. [Ayler, R.K. Colloidal chemistry of silica and silicates / R.K. Ayler. Moscow: Gosstroyizdat, 1959. 288 p.]
  17. Kocak, A. Differences Between Dry and Wet Route Tile Production / A. Kocak, B. Karasu // El-Cezeri Journal of Science and Engineering. 2019. №6. P.8-23.
  18. Урьев, Н.Б. Высококонтрированные дисперсные системы / Н.Б. Урьев. Москва: Химия, 1980. 319 с. [Uriev, N.B. Highly concentrated disperse systems / N.B. Uriev. Moscow: Chemistry, 1980. 319 p.]

#### **Информация об авторах**

**Шахов Сергей Александрович**, доктор технических наук, доцент, Сибирский государственный университет путей сообщения, г.Новосибирск, Российская Федерация  
E-mail sashakhov@mail.ru

#### **Information about the authors**

**Sergey A. Shakhov**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Siberian State Transport University, Novosibirsk, Russian Federation  
E-mail sashakhov@mail.ru