

УЛУЧШЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КЕРАМИЧЕСКИХ МАСС ПУТЕМ КОМПЛЕКСНОЙ АКТИВАЦИИ СЫРЬЯ

А.С. Мавлянов¹, Э.К. Сардарбекова^{2*}

¹Бишкекская финансово-экономическая академия «АДАМ»,
г. Бишкек, Кыргызская Республика

²Кыргызско-российский славянский университет (КРСУ),
г. Бишкек, Кыргызская Республика

*elmira2507@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Цель работы: исследование влияния комплексной активации глинозольного сырья на реологические свойства керамической массы. В работе решаются вопросы по созданию рациональных коагуляционных структур на основе суглинков и золы совместно с пластификаторами.

Материалы и методы. В качестве сырьевых материалов были использованы местные лессовидные суглинки месторождения Баш-Карасуу, зола Бишкекской ТЭЦ (БТЭЦ) и пластификатор (нафтенат натрия, полученный из щелочных отходов химического производства). Технологические свойства сырьевых материалов определялись с помощью стандартных лабораторных методик в соответствии с действующими ГОСТами.

Результаты. Для выбора оптимальных составов на приготовленных различных массах определяли пластическую прочность структуры. Результаты показали, что в комплексно активированных составах пластическая прочность увеличивается в сравнении с неактивированным и механически активированным составом. Коэффициент чувствительности увеличивается у механически и комплексно активированных суглинков, а с вводом золы уменьшается, что предопределяет возможность интенсификации процесса сушки образцов на основе комплексно активированной массы.

Заключение. Механическая активация глинистого сырья уменьшает период истинной релаксации и увеличивает число пластичности керамической массы в 1,8–3,4 раза, однако при этом снижается эластичность, увеличивается вязкость и условная мощность на формование, что в целом ухудшает формовочные свойства масс. Комплексная активация глинозольного сырья уменьшает время истинной релаксации и обеспечивает увеличение эластичности, пластичности керамической массы на 46–47%, уменьшение вязкости в 1,5–2 раза, условной мощности на формование на 37–122% в сравнении с исходным суглинком. Керамические массы на основе комплексно активированного глинозольного сырья относятся к I СМТ с улучшенными реологическими свойствами, изделия на их основе проходят через мундштук на 5–7 сек.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: суглинки; зола; глинозольная смесь; комплексная активация; технологические, реологические свойства; деформации; пластичность; эластичность, истинная релаксация.

© А.С. Мавлянов, Э.К. Сардарбекова



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

RHEOLOGICAL PROPERTIES OF CERAMIC MASSES: IMPROVEMENT BY COMPLEX MATERIAL ACTIVATION

A.S. Mavlyanov¹, E.K. Sardarbekova^{2*}
Bishkek Finance and Economic Academy / ADAM
Kyrgyz-Russian Slavic University,
Bishkek, Kyrgyz Republic
*elmira2507@mail.ru

ABSTRACT

Introduction. The objective of the research is to study the effect of the complex activation of the alumina raw material on the rheological properties of the ceramic mass. In addition, the authors investigate solutions for the application of optimal coagulation structures based on loams and ash together with plastic certificates.

Materials and methods. The authors used the local forest like reserves of clay loams at the Bash-Karasu, ash fields of the Bishkek Central Heating Centre (BTEC) and plasticizer (sodium naphthenate obtained from alkaline chemical production wastes) as fibrous materials. Moreover, the authors defined technological properties of raw materials within standard laboratory methodology in accordance with current GOSTs.

Results. The researchers tested plastic durability on variously prepared masses for the choice of optimal structures. The paper demonstrated the plastic durability of complexly activated compounds comparing with non-activated and mechanically activated compounds. The sensitivity coefficient increased the amount of clay loams by mechanically and complexly activated, which predetermined the possibility of intensifying the process of drying samples based on complexly activated masses.

Discussion and conclusions. However, mechanical activation of clay material reduces the period of relaxation and increases the elasticity coefficient of ceramic masses by 1.8–3.4 times, meanwhile decreases elasticity, viscosity and the conventional power during molding, which generally worsens the molding properties of the masses. Complex activation of ash-clay material decreases the period of relaxation and provides an increase in elasticity, plasticity of ceramic masses by 46–47%, reduction in viscosity by 1.5–2 times, conventional power on molding by 37–122% in comparison with MA clay loams. Ceramic masses based on spacecraft alumina raw materials belong to the SMT with improved rheological properties; products based on them pass through the mouthpiece for 5–7 seconds.

KEYWORDS: clay loams, ash, ash-clay compound, complex activation, technological rheological properties, deformation, plasticity, elasticity, relaxation.

© A.S. Mavlyanov, E.K. Sardarbekova



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Принятая в Кыргызстане Государственная программа «Доступное жилье в Кыргызской Республике (КР)» на 2012–2020 гг. включает мероприятия по оснащению строительства стеновыми материалами, к которым относится керамический кирпич.

Заводы по производству керамического кирпича в КР работают в основном по пластической технологии. А основным сырьем являются лессовидные суглинки, относящиеся к типу низкосортного отощенного сырья. Получение качественной строительной керамики из такого сырья требует новых подходов к технологии его переработки.

Для формования изделий при любом способе производства необходимо обеспечить качественную подготовку глинистого сырья – массоприготовление, основной целью которого является разрушение природной структуры глинистого сырья.

Разрушение структуры глинистого сырья производят путем различных методов активации. Практический опыт химической активации суглинков с помощью поверхностно-активных веществ (ПАВ) [1, 2, 3, 4] показывает, что их использование улучшает не только реологические и сушильные свойства масс, но и качество обожженных изделий. Кроме ПАВ, в технологии широко используются электролиты [3], например жидкое стекло, шламы газоочистки, побочные продукты лесохимии – кислоты жирные талловые омыленные [1], щелоче- и алюмосодержащие отходы [5,6], кислотосодержащие добавки-отходы [7].

Смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) [8], отходы нефтехимической [9, 10] и металлообрабатывающей [11, 12] промышленности содержат 3–5% эмульсии «вода-масло», водные растворы органических продуктов с добавками эмульгаторов, ингибиторов коррозии, легирующих и бактерицидных веществ. Использование СОЖ в керамическом производстве возможно в качестве пластификаторов, регулирующих упруго-пластические свойства керамической массы при формовании интен-

сификаторов процесса сушки.

Механоактивация или активация сырья измельчением – способ интенсификации физико-химических процессов. В ее основе лежит изменение реакционной способности твердых веществ под действием механических сил¹.

Трудами таких ученых, как В.В. Болдырев, П.А. Ребиндер, Б.В. Дерягин, Аввакумов, Н.А. Кротов, В.Д. Кузнецов, А.Н. Фрумкин, Г.И. Стороженко, Л.Н. Тацки и др. было положено начало созданию современного научного направления в области изучения и использования тонкодисперсных систем и физико-химических процессов, обусловленных диспергированием.

Основной теоретической предпосылкой для использования методов механической активации является положение о том, что вещества в тонкодисперсном состоянии характеризуются не совсем обычными свойствами: они становятся более химически активными, плавятся при более низких температурах, лучше спекаются, дают более прочные спеки и т. д.^{2,3} [13, 14, 15, 16, 17].

Исследования авторов, изучавших влияние механоактивации при пластическом формовании керамических масс, позволяют заключить, что при этом происходит: снижение чувствительности глиномассы к сушке⁴ [17], снижение термического расширения и резкое увеличение огневой усадки, а также увеличение механической прочности, изменение коллоидно-химических свойств поровой составляющей пылеватых суглинков [13, 14, 18]. Основанные на механической активации технологии переработки применяются не только для глинистого сырья, но и промышленных отходов. Наибольший эффект достигается при изменении физико-химических свойств сырья⁵ [19, 20] вследствие разрушения структуры природных агломератов.

Применение промышленных отходов способствует ресурсо- и энергосбережению в технологии строительной керамики, а также решаются проблемы утилизации. В КР, как и в ряде стран ближнего и дальнего зарубежья,

¹ Молчанов В.И., Селезнева О.Г., Жирнов Е.Н. Активация минералов при измельчении. М. : Недра, 1988. 208 с.

² Там же.

³ Тацки Л.Н., Стороженко Г.И., Машкина Е.В., Кузмичев Н.В. Эффективный способ повышения качества керамического кирпича // Тенденции формирования науки нового времени : сб. статей Междун. научно-практ. конф. (17–28 декабря 2013 г.) / отв. ред. А.А. Сукиасян ; БашГУ. Уфа, 2014. Ч. 4. С. 230–234.

⁴ Там же.

⁵ Евтушенко Е.И. Активационные процессы в технологии строительных материалов. Белгород : БГТУ, 2003. 209 с.

самыми многотоннажными являются отходы зол ТЭЦ, которые могут быть сокращены и в дальнейшем ликвидированы только при рациональном их использовании в производстве строительных материалов, в том числе керамическом производстве.

В технологическом процессе массоподготовки большое значение приобретают вопросы образования коагуляционных структур, представляющих собой коллоидные системы с жидкой средой. Коллоидная система обладает определенными механическими свойствами, характеризующимися следующими не зависящими друг от друга структурно-механическими константами: модулем быстрой (упругой) эластической деформации, модулем медленной эластической деформации, условным статистическим пределом текучести, наибольшей пластической вязкостью. Упруго-пластично-вязкие свойства коагуляционной структуры определяются также показателями – эластичностью, пластичностью, периодом истинной релаксации. Эти свойства связаны со структурой подобных систем, поэтому их называют структурно-механическими или реологическими свойствами.

Основополагающие исследования по реологии дисперсных систем приведены П.А. Ребиндером, С.И. Нечипоренко, Л.М. Толстым, В.И. Воларовичем, И.И. Круглицким, Ф.Л. Овчаренко.

П.А. Ребиндер утверждает⁶, что образование изделий из строительной керамики связано с тремя типами структур: кристаллизационной, конденсационно-кристаллизационной и коагуляционной. Кристаллизационная структура образована силами химических связей атомов, молекул или кристаллических сростков с их упорядоченным расположением. У конденсационно-кристаллизационной структуры связи между частицами образованы за счёт главных валентностей. Коагуляционной

называется структура, образованная межмолекулярным сцеплением беспорядочно расположенных коллоидных частиц (в пасте или суспензии). Эти структуры возникают в результате взаимодействия между твердыми частицами (ван-дер-ваальсовские, электростатические силы), полностью осуществляемые через разделяющие их прослойки жидкости. Особенностью коагуляционной структуры является тиксотропность, т.е. способность к обратному восстановлению после механического разрушения.

Известны исследования^{7,8} [21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29] по формированию коагуляционных структур дисперсных материалов в различных средах и при различных воздействиях.

Так, увеличение дисперсности масс строительной керамики в общем случае снижает их эластичность и период релаксации и повышает пластичность⁹. В исследованиях Г.И. Стороженко [13, 14] механическая активация Назаровского суглинка приводит к снижению эластичности керамической массы на 25–30%, периода истинной релаксации практически в 2 раза и увеличению пластичности по Воларовичу в 3,2 раза за счет роста упруго-эластических свойств системы. В целом увеличение дисперсности сырья ухудшает формовочные свойства массы, поэтому для управления структурно-механическими свойствами формовочных масс рекомендовано¹⁰ вводить в шихту глину с большим содержанием глинозема (Al_2O_3) типа огнеупорных глин или бентонитов в качестве пластификаторов [21, 22, 23] или ПАВ [21, 24, 25].

Регулирование коагуляционных структур осуществляют также введением в глинистые смеси различных наполнителей, таких как золы¹¹ [26], песок [27], которые уменьшают межмолекулярное воздействие между глинистыми частицами, вследствие чего получают

⁶ Ребиндер П.А. Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. М.: Наука, 1979. 382 с.

⁷ Нечипоренко С.П. Физико-химическая механика дисперсных структур в технологии строительной керамики. Киев: Наукова думка, 1971. 72 с.

⁸ Мавлянов А.С. Расчет сырьевых шихт и исследование свойств формовочных смесей и крупноразмерных керамических изделий. Бишкек: изд. «Олимп», 2003. 200 с.

⁹ Нечипоренко С.П. Физико-химическая механика дисперсных структур в технологии строительной керамики. Киев: Наукова думка, 1971. 72 с.

¹⁰ Там же.

¹¹ Мавлянов А.С. Расчет сырьевых шихт и исследование свойств формовочных смесей и крупноразмерных керамических изделий. Бишкек: изд. «Олимп», 2003. 200 с.

преобладающее развитие медленные эластические деформации.

Исследованиями В.З. Абдрахимова и др. [28] установлено, что при добавлении отощителей в виде шлака, пиритных огарков в монтмориллонитовую глину плавно снижается пластическая прочность структуры, что положительно сказывается на процессах их переработки. Кроме того, авторы утверждают, что изменение реологических свойств керамических масс путем добавления отощителей способствует уменьшению процессов разрушения, происходящих во время формовки и сушки керамических изделий.

Значительное влияние на структурно-реологические свойства керамических паст оказывает влажность. Автором [26] установлено, что с увеличением влажности керамической массы на основе шлакового порошка и глины на 1% (по сравнению с формовочной влажностью) пластическая вязкость, условные модуль деформации и статический предел текучести закономерно снижаются соответственно на 8–10%. Это объясняется уменьшением ван-дер-ваальсовых сил межмолекулярного притяжения вследствие развития сольватных слоев и появления в системе значительных количеств свободной воды, а также уменьшением капиллярных сил вследствие увеличения расстояний между частицами, что может привести к нарушению процесса формования и искажению структуры гранул.

Как было сказано выше, введение отощителя облегчает развитие медленных эластических деформаций и в то же время сдерживает развитие пластических [28]. Авторы установили [23], что введение в керамические массы шлака в количестве 20–30% и бентонита в количестве 5% позволяет получить наиболее прочную коагуляционную структуру с пластической прочностью 1,33–1,89 МПа.

Таким образом, для повышения пластичности масс, определяющегося увеличением дисперсности и увеличением количества глинистого вещества может быть рекомендовано введение в шихту высокодисперсных глин с высоким содержанием глинозема или ПАВ; введение в шихту отощителей ослабляют силы межмолекулярного взаимодействия в керамической массе, повышается эластичность и плавно снижается пластическая прочность структуры.

Несмотря на большое количество работ по изучению реологических свойств глинистых масс, вопросы создания оптимальных коагуляционных структур на основе суглинков и золы совместно с пластификаторами мало изучены. Поэтому исследования реологических свойств керамической массы на основе комплексно активированного глинозольного сырья представляют интерес.

Ранее [29, 30] были исследованы влияния совместной механической активации (МА) на технологические свойства глиняных и глинозольных масс. Чтобы усилить эффективность воздействия МА на улучшение реологических и технологических свойств керамических масс в данной работе применялась комплексная активация суглинков с золой и пластифицирующей добавкой.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве сырьевых материалов были использованы местные лессовидные суглинки месторождения Баш-Карасуу и зола Бишкекской ТЭЦ (БТЭЦ), химический и гранулометрический состав которых приведен в таблицах 1,2. В качестве ПАВ применили пластификатор ПО-ПБ-7 (нафтенат натрия, полученный из щелочных отходов химического производства).

Суглинки доставлены с карьера Баш-Карасуу. По данным Кыргызской методической экспедиции геолого-экономических исследований желтовато-серого цвета, плотного строения, мелкопористые, слабозапесоченные. Содержание водорастворимых солей – 0,87% (среднезасоленное сырье), число пластичности – 5,1 (малопластичное), гидрослюдисто-каолинитовые и высококарбонатные. Согласно классификации глин по сушильным свойствам¹² суглинки относятся к классу В – среднечувствительные к сушке, обладают средней воздушной усадкой. Оксиды кальция и магния встречаются в основном в виде кальцита и доломита, обуславливающих отличительную особенность местных суглинков.

Результаты исследований гранулометрического состава (таблица 2) позволили установить, что по ГОСТ 9169–75 суглинки являются грубодисперсным сырьем (менее 0,005 мм – 9,6 %).

В качестве техногенного сырья в работе использовалась зола Бишкекской ТЭЦ (БТЭЦ), кристаллическая составляющая которой включает слабоизмененные зерна минералов

¹² Федорова Т.П., Иванова Л.И., Герасимов В.И. Систематизация кирпичных глин // Промышленность керамических стеновых материалов и пористых заполнителей: сб. науч. тр. М. : ВНИИЭСМ, 1981. Вып. 11. С. 27–32.

кварца, полевого шпата, карбоната кальция и магния, а также новообразования, выделившиеся из расплава: двухкальциевый силикат, моноалюминат кальция, муллит и др.¹³

По химическому составу (см. таблицу 1) зола характеризуется высоким содержанием кремнезема и глинозема.

Частицы золы в основном характеризуются шероховатой поверхностью, что способствует их плотной агрегации¹⁴. Также присутствуют частицы, представляющие собой шарообразные агрегаты с наклонностью к глобулизации.

Удельная поверхность и гранулометрический состав зол зависят от вида сжигаемого топлива, условия сжигания и способа удаления золы за пределы котельной или ТЭС. Так как зола является продуктом обжига минеральной части топлива, то состав последнего в первую очередь и обуславливает свойства золы. Исследуемая зола БТЭЦ представляет собой рыхлый материал черно-серого цвета средней плотностью 870 кг/м³, удельной поверхностью 2240 см²/г, что относит ее к среднедисперсным. Содержание водорастворимых солей – 0,28% (незасоленное сырье)¹⁵.

В качестве поверхностно-активного вещества использована пластифицирующая добавка «ПО-ПБ-7», изготовленная по ТУ 0258-001-57548485-2003. ПАВ представляет собой

водный раствор наftenата натрия (мыло-нафт) $C_5H_9(CH_2)_nCOONa$ и модифицирующей добавки. По основным показателям ПО-ПБ-7 относится к пластифицирующе-воздухововлекающему и гидрофобизирующему виду добавок. Наftenат натрия получают из щелочных отходов нефтехимического производства. По внешнему виду реагент представляет собой легкоподвижную жидкость темно-коричневого цвета плотностью 1,01–1,03 г/см³, массовая доля, %: нефтяных кислот – 42; минеральных масел – 56; натриевых солей – 2.

Комплексную активацию (КА) проводили в следующем порядке: смесь из суглинистого сырья и золы БТЭЦ (0 до 75%) подвергали совместной механической активации (МА) в смесителе-активаторе в течение 3 мин. Время активации было принято на основе проведенных ранее исследований [29,30]. Затем затворяли водой с формовочной влажностью (22–24%) с пластифицирующей добавкой в количестве 0,1%. Данная дозировка обусловлена тем, что введение более 0,1% ПАВ будет способствовать вовлечению в смесь более 5% воздуха, что может увеличить пластичность, но снизить при этом пластическую прочность структуры. После вылеживания в течение 10 суток масс различного состава были определены их реологические характеристики.

Таблица 1
Химический состав сырья

Table 1
Chemical composition of raw materials

Сырьевые компоненты	Химический состав, % по массе									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Ппп	Σ
Суглинок	55,45	11,88	3,30	9,42	3,35	0,82	3,1	1,86	10,64	99,82
Зола БТЭЦ	51,57	21,87	3,70	3,09	1,24	1,47	0,52		16,54	100

Таблица 2
Гранулометрический состав сырья

Table 2
Granulometric composition of raw materials

Сырьевые компоненты	Фракции, мм					
	менее 0,005	0,005–0,01	0,01–0,25	0,25–0,5	0,5–1	1–2
Суглинок	9,6	41,5	42,65	2,05	1,2	3,0
Зола БТЭЦ	6,6	11,48	51	7,36	15,36	8,2

¹³ Мавлянов А.С. Расчет сырьевых шихт и исследование свойств формовочных смесей и крупноразмерных керамических изделий. Бишкек : изд. «Олимп», 2003. 200 с.

¹⁴ Там же.

¹⁵ Мавлянов А.С. Расчет сырьевых шихт и исследование свойств формовочных смесей и крупноразмерных керамических изделий. Бишкек : изд. «Олимп», 2003. 200 с.

Таблица 3
Технологические характеристики составов

Table 3
Technological characteristics of the compositions

Состав	Шифры	Добавка золы, %	Форм. влажн. W_{ϕ} , %	Пласт. прочн. P_m , МПа	$ctg\beta$	Коэфф. чувств. K_{χ}
Исходные	I	0	24	1,52	1,7	1,4
	II	15	24,3	1,4	1,2	0,9
	III	30	24,5	1,1	1	0,73
	IV	45	25	0,6	0,8	0,49
	V	60	26	0,53	0,7	0,4
	VI	75	28	0,4	0,6	0,37
МА	I'	0	25	1,7	1,5	1,5
	II'	15	23	1,59	1,9	1,08
	III'	30	23,5	1,5	2	0,88
	IV'	45	24	1,28	2,2	0,55
	V'	60	25	1	2	0,5
	VI'	75	26	0,8	1,7	0,45
КА	I''	0	19	1,87	2,1	1,5
	II''	15	19,6	1,87	2,2	0,89
	III''	30	20	1,8	2,4	0,6
	IV''	45	20,6	1,68	2,5	0,44
	V''	60	22,5	1,36	2	0,35
	VI''	75	23	1,2	1,8	0,3

Механическую активацию проводили в смесителе-активаторе, работающем по принципу центробежно-ударной мельницы при скорости 800 оборотов в мин.

Структурно-механические свойства глиняных, зологлиняных масс до и после комплексной активации определялись с помощью пластометра конического портативного ПЛ-1 и на приборе Д.М. Толстого с параллельно смещающейся пластинкой и индикаторным отсчетом.

Эксперименты проводили следующим образом: из керамических масс на основе исходных, механоактивированных глиняных и глинозольных, а также комплексно активированных глинозольных смесей формовали образцы в форме параллелепипедов, несколько больше размера пластин. Пластинки с массой помещались под ручной пресс и сжимались до тех пор, пока толщина массы между пластинками становилась равной 6 мм. Излишки массы срезались вровень с краями пластинок.

Технологические свойства сырьевых материалов определялись с помощью стандартных лабораторных методик в соответствии с действующими ГОСТами.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для выбора оптимальных составов на приготовленных массах из механоактивированного (МА), комплексно активированного (КА) и неактивированного (исходного) суглинка с золой (в количестве от 0 до 75%) определяли пластическую прочность структуры P_m . Составы смесей и технологические свойства приведены в таблице 3.

P_m определяли графическим путем как точку пересечения кривых зависимостей от абсолютной влажности W (рисунок 1). На первом участке, где P_m выше значения P_m от оптимальной влажности W_{opt} недостаточно развиты гидратные оболочки из-за содержания в дисперсной системе преимущественно связанной воды. На втором участке происходит полное развитие гидратных оболочек. Увеличивает-

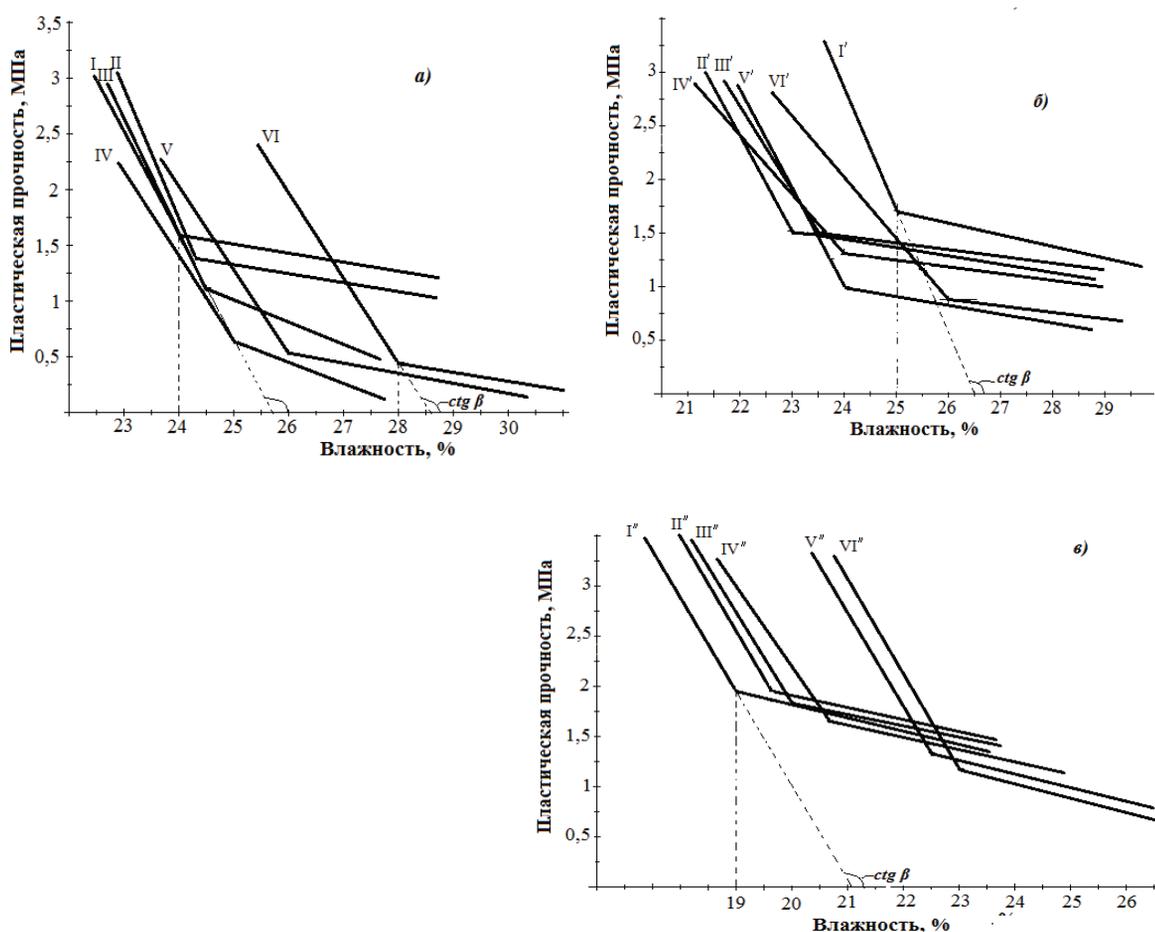


Рисунок 1 – Влияние формовочной влажности на пластическую прочность: а – исходных, б – МА, в – КА зологлиняных масс

Figure 1 – Effect of molding moisture on the plastic strength: a – initial; б – MA; в – KA clay-ashes masses

ся число контактов, по которым действуют ван-дер-ваальсовы силы, что улучшает деформационные свойства массы. Здесь масса приобретает так называемое рабочее состояние. Дальнейшее увеличение влажности приводит к резкому изменению свойств массы, обусловленное большим количеством иммобилизованной воды, масса теряет связность и перестает формоваться.

Для выбора оптимальных составов за критерий формуемости было принято значение угла β верхнего прямолинейного участка кри-

вой P_m к оси абсцисс (см. рисунок 1). Из данных заводской практики максимально допустимый предел колебаний давления, передаваемого массе ленточным прессом, выражающийся как предел колебаний P_m и соответствующий ему максимально допустимый предел колебаний влажности W , приняты равными 0,1 МПа и 2% соответственно, поэтому $ctg \beta$ не должен быть меньше 2^{16} .

Исследованиями установлено, что P_m и угол $ctg \beta$ у исходных масс (рисунок 1, а) уменьшаются, формовочная влажность W_{ϕ} увеличи-

¹⁶ Нечипоренко С.П. Физико-химическая механика дисперсных структур в технологии строительной керамики. Киев : Наукова думка, 1971. 72 с.

вается с увеличением добавки золы. Это связано с уменьшением ван-дер-ваальсовых сил межмолекулярного притяжения.

На твердых частицах развиваются гидратные оболочки, в системе появляется свободная вода и ослабляется действие капиллярных сил. Кроме того, добавка золы играет пептизирующую (дезагрегирующую) роль, увеличивающую степень гидратации частиц. В МА составах (рисунок 1, б) уменьшение P_m и увеличение W_ϕ с увеличением количества добавки золы происходит незначительно вследствие ослабления пептизирующей роли золы и увеличения сил межмолекулярного притяжения частиц за счет МА. Предел колебаний влажности колеблется от 1,5–2,2% (см. таблицу 3).

В КА составах (см. рисунок 1, в, таблицу 1) увеличивается $\text{ctg } \beta$, что позволяет массе с пониженной влажностью хорошо формоваться на ленточном прессе. Наибольший угол наклона $\text{ctg } \beta = 2,5$ имеет КА глинозольная масса с 45% добавкой золы (IV' состав). P_m при этом увеличивается в сравнении с неактивированным и МА составом. Это происходит по следующим причинам: при совместной МА измельченные частицы суглинка и золы, в том числе несгоревшие угольные, сферолитовые, аморфизированные глинистые и др., соударяясь и перетираясь друг с другом и частицами суглинка способствовали образованию реакционноспособных участков частиц. А при КА (последующей активации ПАВ) полностью устранилось пептизирующее действие золы: межмолекулярные силы увеличились за счет интенсивного адсорбирования ПАВ на реакционноспособных участках, обусловленные измельчением частиц. Как известно, измельченные порошки всегда являются более активными адсорбентами, чем крупные зерна, т.е. данная КА обладает гидрофобно-пластифицирующим эффектом. Кроме того, введение ПАВ способствовало улучшению процессов распределения влаги в глинозольной смеси.

Коэффициент чувствительности K_ϕ увеличивается у МА и КА суглинков, а с вводом золы уменьшается, что предопределяет возможность интенсификации процесса сушки образцов на основе КА массы.

С помощью прибора Д.М. Толстого определили величины деформаций по соответствующим кривым деформации от времени нагружения $\varepsilon = f(t)$ масс оптимальных составов: I, I', IV', IV''.

С помощью этих кривых графическим путем рассчитаны: быстрая эластическая (упру-

гая) деформация ε_0 , медленная эластическая (эластическая) деформация ε и градиент скорости деформации $d\varepsilon/dt$ при фиксированных значениях нагрузки (P) для оптимальных составов: I, I', IV', IV'' (рисунок 2).

Общую деформацию $\varepsilon_{\text{общ}}$ определяли, восстанавливая на ось ординат перпендикуляр из конечной точки кривой при 900 с. Упругая деформация ε_0 соответствует данным на оси ординат при = 0,05-1 с., т.е. почти на самой оси.

Эластическую деформацию ε_2 определяли по отрезку на оси ординат, отсекаемой касательной, проведенной к кривой соответствующей нагрузки данной величины.

Пластическая деформация $\Delta\varepsilon_1$ соответствует разности между величиной общей и суммой величин упругой и эластической деформацией

$$\Delta\varepsilon_1 = \varepsilon_{\text{общ}} - (\varepsilon_0 + \varepsilon_2). \quad (1)$$

Градиент скорости деформации $d\varepsilon'/dt$ вычисляли как отношение отрезка $\Delta\varepsilon_1$ ко всему времени нагружения и толщине образца – а = 0,6 см.

Так, для первого нагружения образца из чистого суглинка градиент скорости деформации (см. рисунок 1) вычисляли следующим образом:

$$\frac{\partial \varepsilon'}{\partial t} = \frac{10^{-5}}{900 \cdot 0,6} = 0,009 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}. \quad (2)$$

Аналогичный расчет производили и на всех остальных ступенях нагружения.

Напряжение сдвига вычисляли по формуле

$$P = \frac{Fg}{10} = 0,1 \text{ Па} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ МПа}, \quad (3)$$

где F – нагрузка, г; g – ускорение свободного падения 9,81 см/с²; 10 – площадь пластинок, см².

Полученные экспериментальные данные показывают, что у керамических масс на основе МА суглинка (см. рисунок 2, б) наблюдается понижение упругой и эластической деформаций и увеличение скорости деформаций, а также испытывают нагрузку 1850–1950 г и не разрушаются в сравнении с чистым суглинком (см. рисунок 2, а). У МА и КА золокерамических масс происходит интенсивное развитие деформаций и разрушение при нагрузке 2850 г.

По полученным данным для всех нагрузок строили вспомогательные графики $\varepsilon_0 = f_1(P)$, $\varepsilon_2 = f_2(P)$ и $d\varepsilon'/dt = f_3(P)$ для получения величин модулей упругого, условно-мгновенного E_1 изэластического E_2 , а также наибольшей пла-

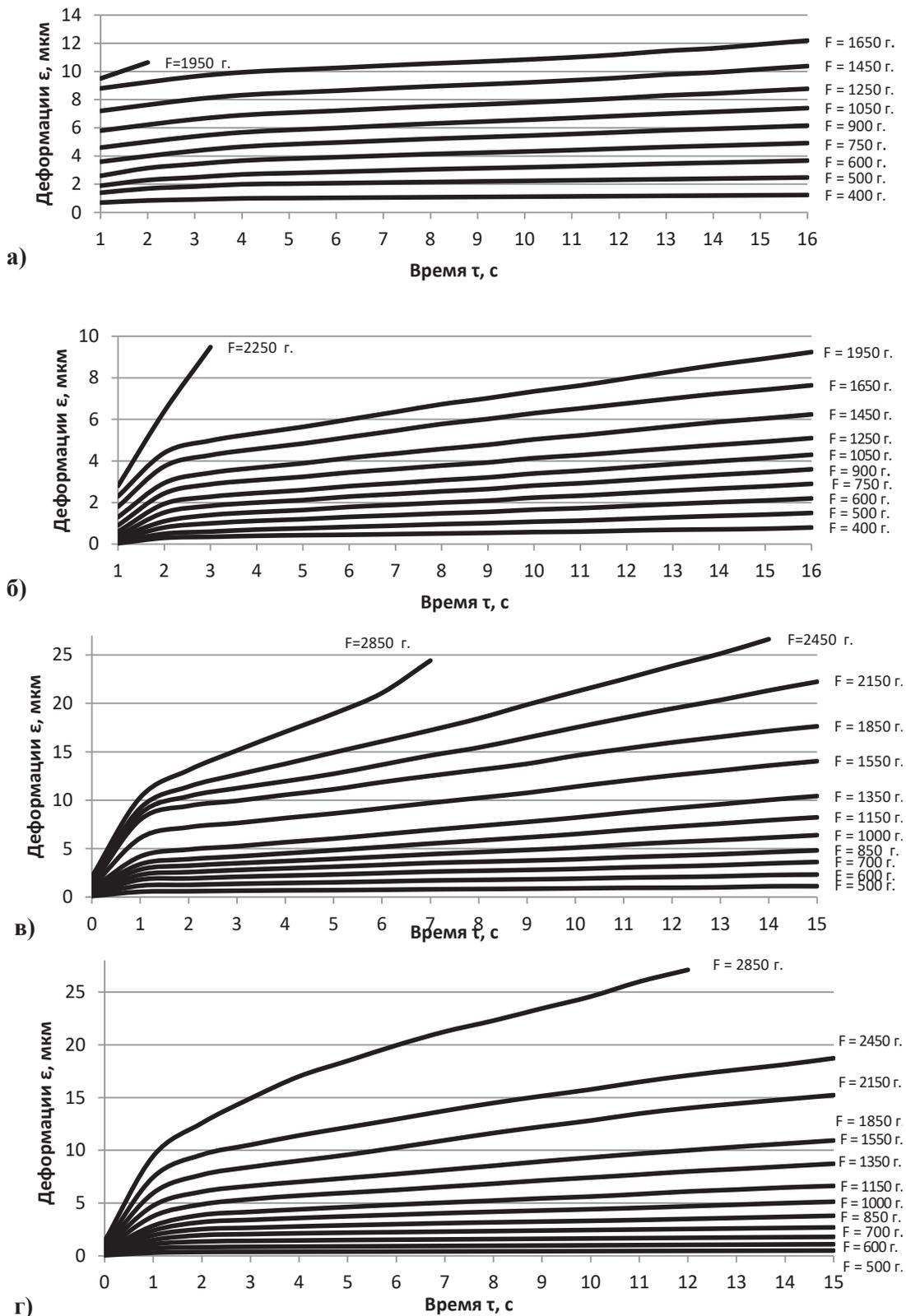


Рисунок 2 – Кривые зависимости $\epsilon(t)$ при различных величинах нагружения образцов на основе составов: а) – I; б) – I'; в) – IV'; г) – IV'' и 3,2 кПа соответственно для составов I, I', IV', IV'' (рисунок 3)

Figure 2 – Dependency curves $\epsilon(t)$ of loading samples based on compositions: а) – I; б) – I'; в) – IV'; г) – IV'' and 3.2 kPa respectively for I, I', IV', IV'' compositions (figure 3)

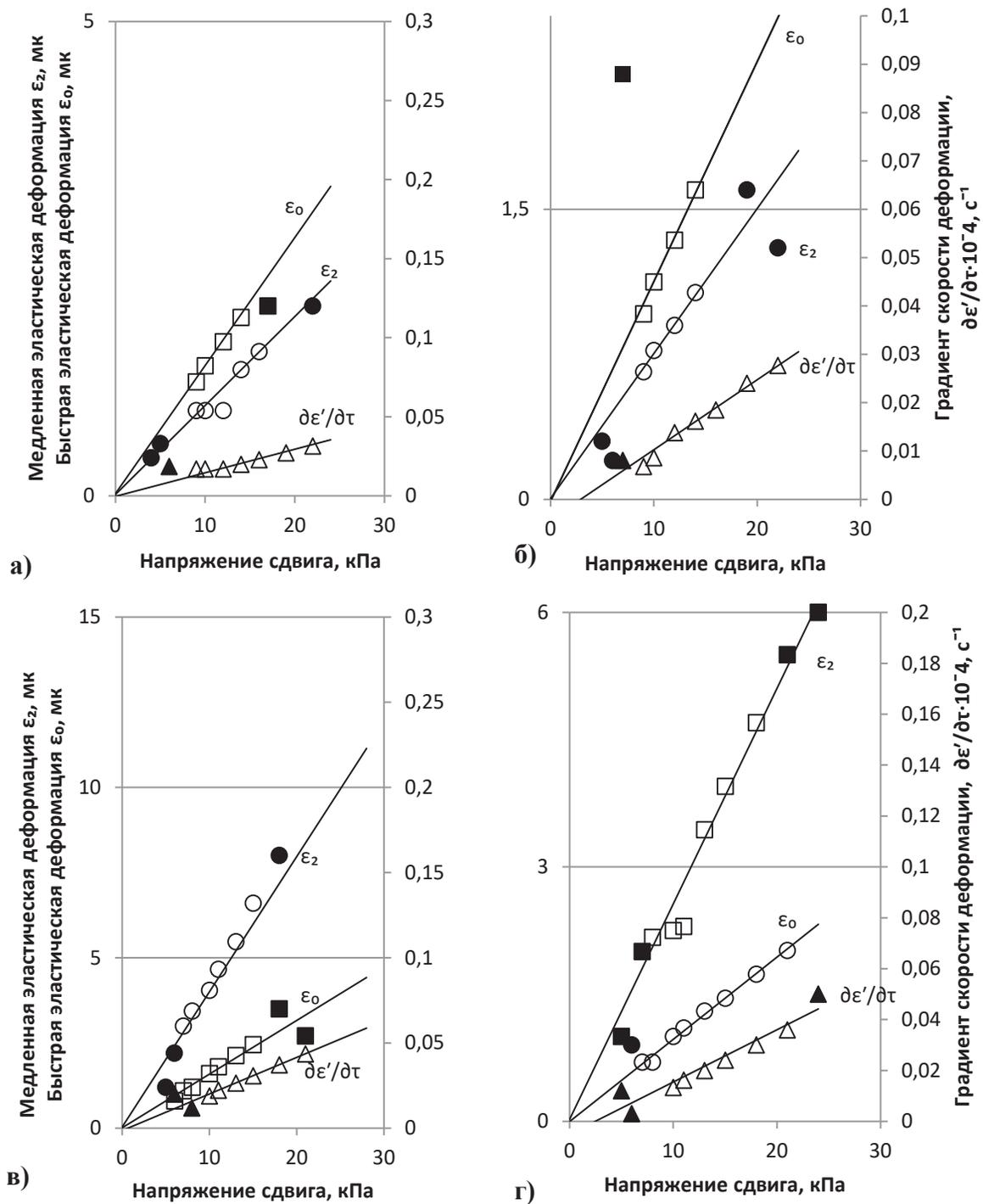


Рисунок 3 – Зависимости упругой (ϵ_0); эластической (ϵ_2) и градиента скорости ($\partial\epsilon'/\partial\tau$) деформации от напряжения сдвига массы на основе составов: а – I; б – I'; в – IV'; г – IV''

Figure 3 – Dependences of elastic (ϵ_0); elastic (ϵ_2) and velocity gradient ($\partial\epsilon'/\partial\tau$) strain on the mass shear stress based on compositions: а – I; б – I'; в – IV'; г – IV''

стической вязкости η_1 . Значение условного статистического предела текучести $P_{к1}$, необходимое для расчета наибольшей пластической вязкости, определяли из графика $d\varepsilon'/dt = f_3(P)$ как отрезок, отсекаемый прямой на оси: 0,7; 3; 1,2.

При построении графиков и расчете структурно-механических констант имелось в виду, что они характеризуют только практически неразрушенные структуры, у которых процессы разрушения и восстановления при нагружениях находятся в равновесии. Только в этом случае возможно постоянство величин модулей быстрой и медленной эластических деформации E_1 и E_2 и η_1 . Поэтому на графиках $\varepsilon_0 = f_1(P)$, $\varepsilon_2 = f_2(P)$ и $d\varepsilon_1/dt = f_3(P)$ (см. рисунок 3) четко определены области напряжений P (незакрашенные точки), в которых константы E_1 , E_2 и η_1 постоянны¹⁷.

Полученные независимые друг от друга структурно-механические константы: E_1 и E_2 , η_1 и $P_{к1}$, а также вычисленные на их основе деформации и реологические характеристики приведены в таблице 4.

Эластичность масс и период релаксации определены по формулам:

$$\lambda = E_1/(E_1 + E_2); \quad (4)$$

$$\Theta = 1/(E_1 + E_2). \quad (5)$$

Расчет деформаций для определения структурно-механического типа (СМТ) составов производили при условии $P = 20 \cdot 10^4$ МПа и $t = 1000$ с. Для I состава, например, следующим образом:

$$\varepsilon'_0 = \frac{20 \cdot 10^4}{E_1} = \frac{20 \cdot 10^4}{42,3 \cdot 10^5} = 0,047; \quad \varepsilon'_2 = \frac{20 \cdot 10^4}{E_2} = \frac{20 \cdot 10^4}{60 \cdot 10^5} = 0,033;$$

$$\varepsilon'_1 t = \frac{(20 \cdot 10^4 - P_{к1})t}{\eta_1} = \frac{(20 \cdot 10^4 - 0,7 \cdot 10^3) \cdot 10^3}{692 \cdot 10^7} = 0,028;$$

$$\sum \varepsilon = 0,108 = 100\%; \quad \varepsilon'_0 = 44\%; \quad \varepsilon'_2 = 31\%; \quad \varepsilon'_1 t = 25\%.$$

Далее рассчитана условная мощность деформации:

$$N\varepsilon = \frac{20 \cdot 10^4}{\sum \varepsilon} = \frac{20 \cdot 10^4}{0,108} = 185 \cdot 10^4 \text{ мкВт}.$$

Аналогично расчет проводили и для других составов.

Структурно-механический тип определяли по тройной диаграмме С.П. Нечипоренко: упругая деформация (ε'_0) – эластическая деформация (ε'_2) – пластическая деформация ($\varepsilon'_1 t$) – рисунок 4. По этой диаграмме определяют шесть типов структур: 0 – $\varepsilon'_0 > \varepsilon'_2 > \varepsilon'_1 t$; 1 – $\varepsilon'_2 > \varepsilon'_0 > \varepsilon'_1 t$; 2 – $\varepsilon'_2 > \varepsilon'_1 t > \varepsilon'_0$; 3 – $\varepsilon'_0 > \varepsilon'_1 t > \varepsilon'_2$; 4 – $\varepsilon'_1 t > \varepsilon'_0 > \varepsilon'_2$; 5 – $\varepsilon'_1 t > \varepsilon'_2 > \varepsilon'_0$.

Из проведенных исследований видно, что в керамических массах на основе суглинка (см. таблицу 4, состав I) преобладают упругие деформации, т.е. быстрые ε'_0 (44%), которые ведут к хрупкому разрушению изделий на этапе формования и относятся к 0 СМТ (см. рисунок 4).

МА глинистого сырья (I') увеличивает E_1 и E_2 и $P_{к1}$, что связано с увеличением дисперсности, обусловившей усиление взаимодействия между частицами. η_1 , условная мощность $N\varepsilon$ увеличиваются, эластичность λ снижается, а пластичность системы $P_{к1}/\eta_1$ повышается из-за снижения коэффициента внутреннего трения с одновременным ростом сил сцепления между диспергированными частицами твердой фазы. Незначительно снижается время истинной релаксации θ , что влияет на сохранение сплошности¹⁸, но масса остается в 0 СМТ (см. рисунок 4).

В керамических массах на основе МА глинозольных смесей (IV') уменьшились E_1 и E_2 за счет перераспределения процентных соотношений в деформационном процессе. Это связано с ото-

¹⁷ Нечипоренко С.П. Физико-химическая механика дисперсных структур в технологии строительной керамики. Киев : Наукова думка, 1971. 72 с.

¹⁸ Нечипоренко С.П. Физико-химическая механика дисперсных структур в технологии строительной керамики. Киев : Наукова думка, 1971. 72 с.

Таблица 4
Структурно-реологические константы и характеристики глинозольных масс

Table 4
Structural-rheological constants and characteristics of alumina masses

Структурно-механические константы и реологические характеристики	I	I'	IV'	IV''
Формовочная влажность $W_{\text{ф}}$, %	24	25	24	20,6
Модуль упругой деформации $E_1 \cdot 10^{-5}$, МПа	42,3	56,0	38	59
Модуль эластической деформации $E_2 \cdot 10^{-5}$, МПа	60	85	24,7	36,2
Вязкость $\eta_1 \times 10^{-7}$, МПа \times с	692	870	465	612
Условный предел текучести $P_k \times 10^{-3}$, МПа	0,7	3	1,2	3,2
Эластичность λ	0,415	0,397	0,606	0,620
Пластичность $P_k/\eta_1 \times 10^{-6}$, с $^{-1}$	0,101	0,345	0,258	0,522
Период истинной релаксации Θ , сек	2790	2630	3100	1363
Упругая деформация ϵ'_0 , %	44	42	29	30
Эластическая деформация ϵ'_2 , %	31	30	45	43
Пластическая деформация ϵ'_t , %	25	28	26	27
Мощность условная, $N_{\epsilon} \times 10^{-4}$, мкВт	185	243	114	169
Структурно-механический тип	0	0	I	I

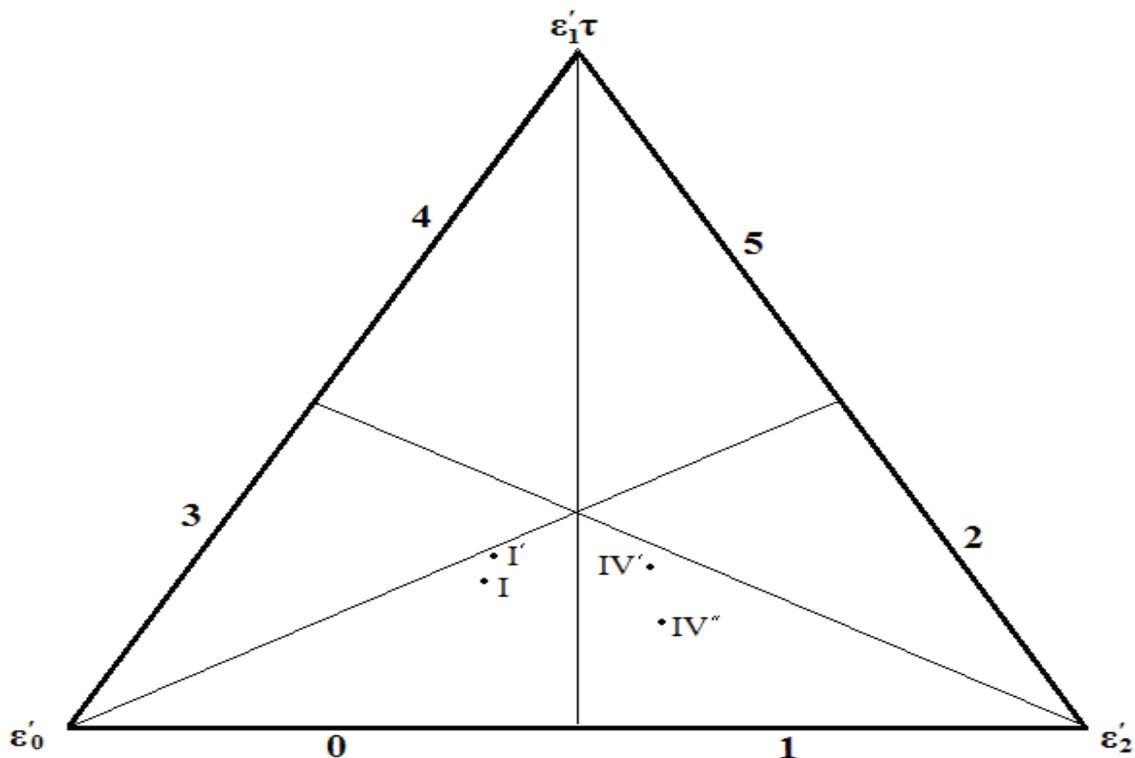


Рисунок 4 – Диаграмма развития деформаций керамических масс

Figure 4 – Deformation diagram of ceramic masses

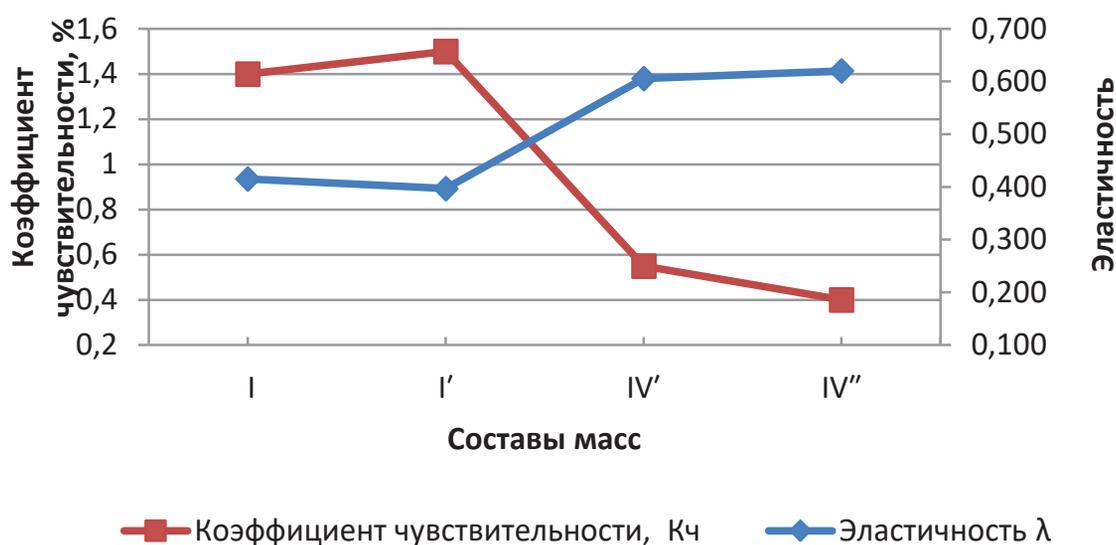


Рисунок 5 – Зависимость между коэффициентом чувствительности $K_{\text{ч}}$ и эластичностью λ

Figure 5 – Dependences between the coefficient of sensitivity and λ elasticity

щающим действием золы, усиливающим развитие медленных эластических деформаций, тем самым увеличив λ керамических масс.

Сопоставление коэффициентов чувствительности $K_{\text{ч}}$ к сушке с константами и упруго-пластично-вязкими характеристиками указывает на то, что уменьшение $K_{\text{ч}}$ характеризуется уменьшением E_2 , P_k , $N_{\text{э}}$ и увеличением λ . Причем между $K_{\text{ч}}$ и λ образовалась зависимость $K_{\text{ч}}(\lambda)$ (рисунок 5), т.е. чем эластичнее масса, тем большие тепловые напряжения она способна воспринимать и компенсировать без нарушения сплошности и тем менее она чувствительна к сушке.

Несмотря на переход в I СМТ, МА золокерамическая масса (IV') приобретает малую P_k/η_1 и длительное время истинной релаксации θ , а также значительный разброс деформационных долей ухудшает свойства массы, но значительно увеличивается λ и уменьшается мощность на формование.

Керамические массы на основе КА глинозольного сырья (IV'') с 45% добавкой золы и ПАВ 0,1% остаются в I СМТ, но с улучшенными реологическими свойствами: более чем в 2 раза уменьшается θ и увеличиваются P_k/η_1 и λ . Масса этого состава относится к хорошо формирующимся и изделия на их основе проходят через мундштук за 5–7 сек.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

МА глинистого сырья уменьшает период истинной релаксации и увеличивает число пла-

стичности керамической массы в 1,8–3,4 раза, однако при этом снижается эластичность, увеличивается вязкость и условная мощность на формование, что в целом ухудшает формовочные свойства масс. КА глинозольного сырья уменьшает время истинной релаксации и обеспечивает увеличение эластичности, пластичности керамической массы на 46–47%, уменьшение вязкости в 1,5–2 раза, условной мощности на формование на 37–122% в сравнении с МА суглинка. Керамические массы на основе КА глинозольного сырья относятся к I СМТ с улучшенными реологическими свойствами, изделия на их основе проходят через мундштук на 5–7 сек.

Таким образом, комплексная активация благотворно влияет на реологические свойства глинозольной массы, способствуя образованию более совершенного структурного каркаса. Изделия на основе масс из КА суглинка и 45% золы с последующей обработкой пластификатором обладают хорошими формовочными и сушильными свойствами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лохова Н.А. Влияние добавки золы-унос на физико-технические свойства керамических изделий на основе микрокремнезема и модифицированного жидкого стекла // Системы. Методы. Технологии. 2012. № 4(16). С. 113–116.
2. Маркова С.В. Применение ПАВ в производстве силикатных материалов // Стекло и керамика. 2013. № 3. С. 20–22.

3. Никифорова Э.М., Еромасов Р.Г., Васильева М.Н., Таскин В.Ю. Регулирование процессов формирования коагуляционных керамических структур на базе малопластичного сырья // *Современные проблемы науки и образования*. 2011. № 6. С. 126.
4. Воробьева В.В., Леонов В.Г. Ресурсо- и энергосбережение в производстве строительной стеновой керамики // *Известия ТулГУ. Естественные науки*. 2014. Вып. 1. Ч. 2. С. 80–88.
5. Ковков И.В., Абдрахимов В.З., Колпаков А.В. Исследование фазового состава керамических материалов на основе алюмосодержащих отходов // *Известия вузов. Строительство*. 2012. № 10. С. 20–29.
6. Абдрахимов А.В., Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З. Исследование структурно-реологических свойств керамических масс для производства черепицы из техногенного сырья // *Известия вузов. Строительство*. 2006. № 8. С. 28–37.
7. Наумов А.А. Устранение высолов на керамическом кирпиче // *Строительные материалы*. 2016. № 5. С. 37–40.
8. Крутилин А.А., Акчурин Т.К. Повышение технологичности глинистого сырья для производства эффективных керамических материалов и изделий введением добавок шламовых отходов // *Вестник ВолгГАСУ*. 2010. Вып.19 (38). С. 101–104.
9. Литвинова Т.А. Использование твердых отходов нефтегазовой отрасли в производстве керамических кирпичей // *Научный журнал КубГАУ*. 2013. № 92 (08). С. 15–18.
10. Салахов А.М., Демидов А.А., Фасеева Г.Р., Морозов В.П., Салахова Р.А. Пути снижения энергоемкости производства керамического кирпича // *Вестник Казанского технол. ун-та*. 2015. Т.18. № 4. С. 138–140.
11. Машкин Н.А., Шаравин Ю.А., Каткова Т.Ф. [и др.] Технология и свойства дисперсно-армированного керамического кирпича из пылеватых суглинков // *Известия ВУЗов. Строительство*. 2014. №4. С. 52–63.
12. Vayos G., Hrisi K., Dimitrios P. Stabilization/Solidification of Hazardous Metals from Solid Wastes into Ceramics // *Waste and Biomass Valorization*. July 2017. Volume 8, Issue 5. pp 1863–1874.
13. Стороженко Г.И., Болдырев Г.В., Кузубов В.А. Механохимическая активация сырья как способ повышения эффективности метода полусухого прессования // *Строительные материалы*. 1997. № 8.
14. Стороженко Г.И., Пак Ю.А., Болдырев Г.В. [и др]. Производство керамического кирпича из активированного суглинистого сырья на заводах средней мощности // *Строительные материалы*. 2001. № 12. С. 32–35.
15. Гвоздь В.С. Влияние механоактивизации низкосортного глинистого сырья на качество строительной керамики // *Вестник Сумского национального аграрного у-та*, 2013. № 8. С. 24–30.
16. Аввакумов Е.Г. Механические методы активации в переработке природного и техногенного сырья / Е.Г. Аввакумов, А.А. Гусев; Рос.акад. наук, Сибирское отд-ние, Ин-т хим. тв. тела и механохимии. Новосибирск: академическое изд-во «Гео», 2009. 155 с.
17. Шлегель И.Ф., Шаевич Г.Я., Карабут Л.А. Установка «Каскад» для кирпичной промышленности // *Строительные материалы*. 2005. №2. С. 20–22.
18. Мавлянов А.С., Сардарбекова Э.К. Спекание керамического материала на основе механоактивированного глинистого сырья // *Вестник Таджикского национ. университета* № 1/4. Душанбе, 2017. С. 70–76.
19. Kumar R. et al. Towards sustainable solutions for fly ash through mechanical activation. Rakesh Kumar, Sanjay Kumar, S.P. Mehrotra. National Metallurgical Laboratory, Council of Scientific and Industrial Research, Jamshedpur 831007, India. *Resources, Conservation and Recycling* 52 (2007) 157–179. <https://www.researchgate.net/publication/223005487>.
20. Kumar R, Kumar S, Hydration of mechanically activated granulated blast furnace slag / *Met Mater Trans* 2005b;36B:4. 73–84.
21. Ильин А.П., Прокофьев В.Ю. Физико-химическая механика в технологии катализаторов и сорбентов: монография. Иван. гос. хим.-технол. ун-т. 2004. 316 с.
22. Kaya C., Butler E. G., Lewis M. H. Co-extrusion of Al₂O₃/ZrO₂ biphasе high temperature ceramics with fine scale aligned microstructures // *J. European Ceramic Society*. 2003. Vol. 23, 6. P. 935-942. Chen Z., Ikeda K., Murakami T., Takeda T. Extrusion behavior of metal-ceramic composite pipes in multi-billet extrusion process // *J. Materials Processing Techn.* 2001. Vol. 114, 2. P. 154–160.
23. Телющенко И.Ф., Огородник И.В. Производство лицевого керамического кирпича способом полужесткой экструзии // *Строительные материалы и изделия: электронный журнал Межвузовский сб. научных трудов*. 2007. 296 с. Режим доступа: <http://sbcmi.ru/>.
24. Segal V.M. Slip line solutions, deformation mode and loading history during equal channel

angular extrusion // *Materials Science and Engineering*. 2003. Vol. 345, 1-2. P. 36–46.

25. Liu F.-J., Chou K.-S. Determining critical ceramic powder volume concentration from viscosity measurements // *Ceramics International*. 2000. Vol. 26, 2. P. 159–164.

26. Петров В.П. Исследование реологии керамических паст из зол и шлаков ТЭС // *Строительные материалы и изделия: электронный журнал Межвузовский сб. научных трудов*. 2007. Режим доступа: <http://sbcmi.ru/>.

27. Оразбек Т.О. Влияние технологических факторов на эксплуатационные свойства керамических композиций // *Вестник КТУ им. КоркытАта. Кызылорда*, 2000. С. 86–88.

28. Абдрахимов А.В., Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З. Исследование структурно-реологических свойств керамических масс для производства черепицы из техногенного сырья // *Известия ВУЗов. Строительство*. 2006. №8. С. 28–37.

29. Мавлянов А.С., Сардарбекова Э.К. Влияние совместной механической активации на технологические свойства глинозольных масс // *Известия ВУЗов Кыргызстана. Бишкек*, 2017. №8. С. 10–13.

30. Мавлянов А.С., Сардарбекова Э.К. Влияние механической активации глинистого сырья на гранулометрический состав и технологические свойства керамического материала // *Известия ВУЗов Кыргызстана. Бишкек*, 2017. №3. С. 29–34.

REFERENCES

1. Lohova N.A. V Vliyaniye dobavki zoly-unos na fiziko-tekhnicheskie svoystva keramicheskikh izdelij na osnove mikrokremnezema i modifitsirovannogo zhidkogo stekla [Effect of fly ash additive on the physical and technical properties of ceramic products based on microsilica and modified liquid glass]. *Sistemy. Metody. Tehnologii*. 2012; 4(16): 113–116 (in Russian).

2. Markova S.V. Primeneniye PAV v proizv odstvesilikatnyhmaterialov [Use of surfactants in the production of silicate materials]. *Steklo i keramika*. 2013; 3: 20–22 (in Russian).

3. Nikiforova E.H.M., Eromasov R.G., Vasil'eva M.N., Taskin V.YU. Regulirovaniye protsessov formirovaniya koagulyatsionnykh keramicheskikhstruktur na baze maloplastichnogo syr'ya [Regulation of processes of formation of coagulative ceramic structures on the basis of low-plastic raw materials]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2011; 6: 126 (in Russian).

4. Vorobeva V.V., Leonov V.G. Resurso- i jenergosberezheniye v proizvodstvestroitel'nojste novojkeramiki [Economy of resources and energy in manufacture of building brick]. *IzvestijaTulGU. Estestvennyenauki*. 2014; Vyp. 1. Ch. 2: 80–88 (in Russian).

5. Kovkov I.V. Abdrahimov V.Z., Kolpakov A.V. Issledovaniye fazovogo sostava keramicheskikh materialov na osnove alyumosoderzhashhikh otkhodov [Research of ceramic materials phase structure on the aluminium-containing waste products]. *IzvestijaVUZov. Stroitel'stvo*. 2012; 10: 20–29 (in Russian).

6. Abdrahimov A.V., Abdrahimova E.S., Abdrahimov V.Z. Issledovaniye strukturno-reologicheskikh svoystv keramicheskikh mass dlya proizvodstva cherepitsy iz tekhnogennogo syr'ya [Structural and rheological properties of ceramic masses for the production of technogenic raw materials]. *IzvestijaVUZov. Stroitel'stvo*. 2006; 8: 28–37(in Russian).

7. Naumov A.A. Ustraneniye vsolovnakera micheskomkirpiche [Elimination of efflorescence on ceramic brick]. *Stroitel'nyematerialy*. 2016; 5: 37–40 (in Russian).

8. Krutilin A.A., Akchurin T.K. Povysheniye tekhnologichnosti glinistogo syr'ya dlya proizvodstva ehffektivnykh keramicheskikh materialov i izdelij vvvedeniemy dobavok shlamovykh otkhodov [Improving the processability of clay raw materials for the production of effective ceramic materials and products by the introduction of the sludge waste additives]. *Vestnik VolgGASU*. 2010; 19 (38): 101–104 (in Russian).

9. Litvinova T.A. Ispol'zovaniye tverdykh otkhodov neftegazovoj otrasli v proizvodstve keramicheskikh kirpichej [How to use solid waste of oil and gas industry in ceramic bricks production]. *Nauchnyj zhurnal KubGAU*. 2013; 92(08): 15–18 (in Russian).

10. Salahov A.M., Demidov A.A., Faseeva G.R., Morozov V.P., Salahova R.A. Puti snizheniya ehnergoemkosti proizvodstva keramicheskogo kirpicha [Ways to reduce the energy intensity of the production of ceramic bricks]. *Vestnik Kazanskogot ehnol. un-ta*. 2015; T.18. №4: 138–140 (in Russian).

11. Mashkin N.A., Sharavin Ju.A., Katkova T.F. Tehnologiya i svoystva dispersno-armirovannogo keramicheskogo kirpicha iz pylevatyh suglinkov [Technology and properties of dispersion-reinforced ceramic brick from dust loam]. *Izvestija VUZov. Stroitel'stvo*. 2014; 4: 52–63 (in Russian).

12. Vayos G., Hrissi K., Dimitrios P. Stabilization/Solidification of Hazardous Metals

from Solid Wastes into Ceramics. Waste and Biomass Valorization. July 2017, Volume 8, Issue 5: 1863–1874.

13. Storozhenko G.I., Boldyrev G.V., Kuzubov V.A. Mekhanokhimicheskaya aktivatsiya syr'ya kak sposob povysheniya ehffektivnosti metoda polusukhogo pressovaniya [Mechanochemical activation of raw materials as a way to improve the effectiveness of the method of semi-dry pressing]. Stroitel'nye materialy. 1997; 8 (in Russian).

14. Storozhenko G.I., Pak Ju.A., Boldyrev G.V. Proizvodstvo keramicheskogo kirpicha iz aktivirovannogo suglinistogo syr'ya na zavodakh srednej moshhnosti [Production of ceramic bricks from activated loamy raw materials in factories of average capacity]. Stroitel'nye materialy. 2001; 12: 32–35 (in Russian).

15. Gvozd' V.S. Vliyanie mekhanoaktivizatsii nizkosortnogo glinistogo syr'ya na kachestvo stroitel'noj keramiki [Effect of mechanical activation of low-grade clay raw materials on the quality of building ceramics]. Vestnik Sumskogo Nacional'nogo Agrarnogo u-ta. 2013; 8: 24–30 (in Russian).

16. Avvakumov E.G. Mehanicheskie metodyakti vacii v pererabot-keprirodnogo i tehnogennogo syr'ja [Mechanical activation methods in the processing of natural and man-made materials]. E.G. Avvakumov, A.A. Gusev; Ros. akad. nauk, Sibirskoeotd-nie, In-t him. tv. tela i mehanohimii. Novosibirsk: Akademicheskoeizdvo "Geo", 2009: 155 (in Russian).

17. Shlegel' I.F. Shaevich G.Ja., Karabut L.A. Ustanovka «Kaskad» dljakirpichnojpromyshlennosti. [Installation "Cascade" for the brick industry]. Stroitel'nye materialy. 2005; 2: 20–22 (in Russian).

18. Mavljanov A.S., Sardarbekova Je.K. Spekanie keramicheskogo materiala na osnove mekhanoaktivirovannogo glinistogo syr'ya [Sintering of ceramic material of mechanically activated clay raw materials]. Vestnik Tadzhijskogo nacion. Universiteta. Dushanbe. 2017; 1/4: 70–76 (in Russian).

19. R. Kumar et al. Towards sustainable solutions for fly ash through mechanical activation. Rakesh Kumar, Sanjay Kumar, S.P. Mehrotra. National Metallurgical Laboratory, Council of Scientific and Industrial Research, Jamshedpur 831007, India. Resources, Conservation and Recycling. 52 (2007) 157–179. <https://www.researchgate.net/publication/223005487>.

20. Kumar R, Kumar S, Hydration of mechanically activated granulated blast furnace slag. Met Mater Trans. 2005; b; 36B: 4: 73–84.

21. Il'in A.P., Prokof'ev V.Ju. Fiziko-

himicheskaja mehanika v tehnologii katalizatorov i sorbentov [Physico-chemical mechanics in the technology of catalysts and sorbents]. 2004: 316 (in Russian).

22. Kaya C., Butler E. G., Lewis M. H. Co-extrusion of Al₂O₃/ZrO₂ biphasic high temperature ceramics with fine scale aligned microstructures. J. European Ceramic Society. 2003; Vol. 23, 6: 935–942.

23. Teljushhenko I.F., Ogorodnik I.V. Proizvodstvo licevogo keramicheskogo kirpicha sposobom poluzhestkojj ekstruzii [Production of facial ceramic bricks using semi-rigid extrusion]. Stroitel'nye materialy i izdelija: jelektronnyj zhurnal Mezhvuzovskij sb. Nauchnyh trudov. 2007: 296. Available at: <http://sbcmi.ru/> (in Russian).

24. Segal V.M. Slip line solutions, deformation mode and loading history during equal channel angular extrusion. Materials Science and Engineering. 2003; Vol. 345, 1-2: 36–46.

25. Liu F.J., Chou K.-S. Determining critical ceramic powder volume concentration from viscosity measurements. Ceramics International. 2000; Vol. 26, 2: 159–164.

26. Petrov V.P. Issledovanie reologii keramicheskikh past izzol i shlakovTJeS [Study of the rheology of ceramic pastes from ashes and slags of thermal power plants]. Stroitel'nye materialy i izdelija: jelektronnyj zhurnal Mezhvuzovskij sb. Nauchnyh trudov. 2007. Available at: <http://sbcmi.ru/> (in Russian)

27. Orazbek T.O. Vlijanie tehnologicheskikh faktorov na jekspluatacionnye svojstva keramicheskikh kompozicij [Influence of technological factors on performance properties of ceramic compositions]. Vestnik KTU im. Korkyt Ata. 2000; 1: 86–88 (in Russian).

28. Abdrahimov A.V., Abdrahimova E.S., Abdrahimov V.Z. Issledovanie strukturno-reologicheskikh svojstv keramicheskikh mass dlja proizvodstva cherepicy iz tehnogennogo syr'ja [Investigation of the structural and rheological properties of ceramic masses for production of tile of technogenic raw materials]. Izvestija VUZov. Stroitel'stvo. 2006; 8: 28–37 (in Russian).

29. Mavljanov A.S., Sardarbekova Je.K. Vlijanie sovместnoj mehanicheskoi aktivatsii na tehnologicheskije svojstva glinozol'nyh mass [Investigation of the effect of joint mechanical activation on technological properties of aluminous masses]. Izvestija VUZov Kyrgyzstana. 2017; 8: 10–13 (in Russian).

30. Mavljanov A.S., Sardarbekova Je.K. Vliyanie mekhanicheskoi aktivatsii glinistogo syr'ya na granulometricheskij sostav i tekhnologicheskije svojstva keramicheskogo

materiala [Influence of mechanical activation of raw materials on granulometric composition and on technological properties of ceramic material]. *Izvestija VUZov Kirgызстана*. 2017; 3: 29–34 (in Russian).

Поступила 30.03.2019, принята к публикации.

Принята к публикации 21.06.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мавлянов Абдырахман Субанкулович – член-корр. НАН КР, д-р техн. наук, проф., президент Бишкекской Финансовой Академии / АДАМ, г. Бишкек, Кыргызстан. ORCID 0000-0003-0998-4707 (720010, г. Бишкек, бул. Молодой Гвардии, 55).

Сардарбекова Эльмира Карагуловна – канд. техн. наук, ст. преп. кафедры «Защита в чрезвычайных ситуациях» Кыргызско-российского славянского университета. ORCID 0000-0001-8563-0682 (Кыргызская Республика, 720048, г. Бишкек, ул. Горького, 2А, e-mail: Elmira2507@mail.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Abdyrahman S. Mavlyanov – Corresponding Member of the Kyrgyz Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, President of the Bishkek Finance and Economic Academy / ADAM, ORCID 0000-0003-0998-4707 (Kyrgyz Republic, 720010, Bishkek, 55 Molodaya Gvardiya Ave., BFEA / ADAM).

Elmira K. Sardarbekova – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Emergency Management Department, Kyrgyz-Russian Slavic University, ORCID 0000-0001-8563-0682 (Kyrgyz Republic, 720048, Bishkek, 2A Gorky St., email: Elmira2507@mail.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Мавлянов А.С. – Руководство научными и экспериментальными исследованиями. Анализ обзора.

Сардарбекова Э.К. – Проведение и анализ экспериментов. Заключение. Оформление статьи.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Abdyrahman S. Mavlyanov – scientific and experimental research; survey analysis.

Elmira K. Sardarbekova – experiments' conduction and analysis; writing the conclusion of the paper.