

УДК674.048.001;691.115.674

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА И СВОЙСТВ СЫРЬЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО АРБОЛИТА ИЗ МЕСТНОГО СЫРЬЯ

А.К. Матыева

Кыргызский государственный университет строительства,
транспорта и архитектуры им. Н. Исанова,
г. Бишкек, Кыргызская Республика
matyeva59@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Создание энергоресурсосберегающих материалов предусматривает использование местного сырья для получения изделий с улучшенными физико-механическими свойствами. Оптимизация рационального состава и свойств модифицированного арболита из растительно-гипсовой композиции (РГК), модификаторов на новых способах подготовки заполнителя проведена по методу экспериментально-статистического моделирования.

Материалы и методы. В работе в качестве растительно-гипсовой композиции (РГК) использовалась солома злаковых, произрастающих в Кыргызской Республике (КР), гипс строительных марок Г-5 и Г-7 на основе местного сырья, зола Бишкекской ТЭЦ (БТЭЦ), портландцементный клинкер ПЦК, природный, натуральный глиногипс (ганч). В качестве глинистой составляющей использовались суглинки Толойконского месторождения.

В качестве модификаторов для образования пористой полимерсиликатной системы использовались: жидкое стекло, латекс СКС, смола малоконцентрированная СФЖ-3066 + катализатор ионного типа. Пластифицирующие добавки при изготовлении арболита приняты СКС, СДБ и ЛСТ, в качестве замедлителя схватывания гипса – добавки неполной соли 1-оксиэтилден-1,1-дифосфоновой кислоты с триэтаноломином и антипирены. Испытания проведены согласно стандартным методикам. Для оптимизации состава и свойств полимерсиликатно-гипсовой композиции (ПСГК) был поставлен трехфакторный эксперимент по плану B_3 , где варьировались три рецептурных фактора: X_1 – содержание соломы, %; X_2 – содержание полимерсиликатных добавок (ПСД)+пластификатор, %; X_3 – содержание гипса + портландцементного клинкера (ПЦК)+глиногипса (ГГ), %; остальное – зола.

Результаты. Анализ исследований показал, что в 28-суточном возрасте для гипсовых композиций по мере повышения содержания соломы прочность практически не меняется. При сравнении одинаковых образцов 2-часовой и 28-суточной прочности с максимальным наполнением гипса установлено, что при 26% добавки соломы содержание ПСД не должно превышать 12%. Прочность при этом повышается незначительно.

Обсуждение и заключение. Максимальная прочность модифицированного арболита достигается при содержании гипса Г-7 – 28–32%, золы – 18–22%, полимерсиликатная композиция (ПСК) – 8–10%. Максимальная величина прочности и водостойкости материала достигается при рациональном соотношении составляющих: солома – 24–28%, гипс Г-7 – 30–32% + замедлители – 0,05%; зола – 18–22%; смола СФЖ-3066 – 8–12% + катализатор – 0,3% (87% серной кислоты, 13% ортофосфорной кислоты); ПЦК – 3–5%; глиногипс (гажа) – 2%; жидкое натриевое стекло 12%; пластификаторы ЛСТ – 0,15%, СКС – 0,2%, СДБ – 0,15%; модифицированный отвердитель М4 – 0,5% и остальное вода.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: модифицированный арболит, растительно-вяжущая композиция, поризованный, полимерсиликатно-гипсовое вяжущее, полимерсиликатные добавки, пластификаторы, катализатор, гипсозолощелочное вяжущее, деформативность.

БЛАГОДАРНОСТИ. Автор благодарит рецензентов и членов ред. коллегии за творческий подход по разработке научной статьи.

© А.К. Матыева



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

MANUFACTURE OF MODIFIED ARBOLIT FROM LOCAL RAW MATERIALS: OPTIMIZATION OF COMPOSITION AND PROPERTIES OF RAW MATERIAL COMPONENTS

A.K. Matyeva

Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture
named after N. Isanov,
Bishkek, Kyrgyz Republic
matyeva59@mail.ru

ABSTRACT

Introduction. The creation of energy-saving materials involves the use of local raw materials for products with improved physic-mechanical properties. The author carries optimization of the rational composition and properties of modified arbolite from plant-gypsum composition (PGC). In addition, the author uses modifiers on new ways of preparing the aggregate according to the method of experimental and statistical modeling.

Materials and methods. The author used the cereal straw grown in the Kyrgyz Republic (CS), G-5 and G-7 construction gypsum based on local raw materials, ash from the Bishkek Heat and Power Plant (BHPP), portland cement clinker PCC, natural clay (ganch). Moreover, the clay component of the Toloykonsky deposit was used as the clay component. The author also added the liquid glass, latex SCS, the low-concentration resin LCR-3066 + catalyst of ionic type (CIT) as modifiers for the formation of the porous polymer-silicate systems. The paper marked the plasticizing additives in the manufacture of arbolite as SCS, LCR and CIT components. As a retarder the setting of gypsum was added a partial salt 1-hydroxyethylidene-1, 1-diphosphonic acid with triethanolamine and flame retardants. The tests were carried out according to standard methods. To optimize the composition and properties of the polymer-silicate-gypsum composition (PSGC), the author carried out a three-factor experiment according to the B3 plan, where three prescription factors varied: X1 – straw content,%; X2 – content of polymer silicate additives (PSA) + plasticizer,%; X3 – gypsum content + portland cement clinker as a nitroperimethyl phosphoric acid (NPA) and flame gypsum retarder.

Results. The research showed that at 28 days of age for cement-free gypsum compositions as the content of straw increased, the strength was almost unchanged. When comparing the strength of the same samples of 2 and 28 days strength with the maximum filling of gypsum, the author defined that the PSA content should not exceed 12% when the straw additive was 26% and further PSA increasing did not increase the strength.

Discussion and conclusions. As a result, the author achieves maximum strength of the arbolit, when the content of G-7 gypsum is 28-32%, ash is 18-22% and PSC is 8-10%. The maximum value of strength and water resistance of the material is achieved with a rational ratio of components: straw – 24–28%, G-7 gypsum – 30–32% + NSPL – 0,05%; ash – 18–22%; resin – 3066-8-12% + catalyst – 0,3% (87% sulfuric acid, 13% phosphoric acid); PCC – 3–5%; clay-gypsum (ganch) – 2%; liquid sodium glass – 12%; plasticizers CIT – 0,15%, SCS – 0,2%, LCR – 0,15%; modified hardener – 0,5% and water.

KEYWORDS: modified arbolit, plant-astringent composition, porous, polymer-silicate-gypsum binder, polymer-silicate additives, plasticizers, deformability.

ACKNOWLEDGMENTS. The author expresses gratitude to the reviewers and members of the editorial team for the creative approach to the research.

© A.K. Matyeva



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

ВВЕДЕНИЕ

Правительством Кыргызской Республики (КР) поставлена задача большой социально-экономической значимости по созданию энергоресурсосберегающих материалов для строительства из местного сырья с улучшенными гидрофизическими и термодинамическими свойствами. Это обеспечит повышение уровня индустриализации, сокращение сроков строительства и его стоимости за счет импортозамещения аналогичных строительных материалов.

Одним из таких материалов является арболит. Положительные свойства арболита позволили перевести значительную часть домостроения на использование его в качестве ограждающих конструкций.

Применяя отходы деревообработки и сельского хозяйства, можно сократить расход металла и достигнуть существенного удешевления конструкций из арболита по сравнению с другими аналогичными материалами. Так, 1 м² традиционных стен дороже на 40%, чем 1 м² стены из блоков арболита.

Однако значительная сосредоточенность объектов сельского и поселкового жилищного строительства, необходимость в больших капиталовложениях при строительстве предприятий и высокая суммарная трудоемкость процесса в системе «завод – транспорт – монтаж» сдерживают развитие производства и применение арболитовых изделий заводского изготовления.

Качественно новым этапом повышения технического уровня возведения объектов является малоэтажное домостроение. Оно позволяет ускоренными темпами выполнять задачу улучшения жилья. Применяемые в жилищном строительстве материалы должны соответствовать эксплуатационным и экологическим требованиям и изготовлены по малоэнергоёмкой экономически эффективной технологии с применением местного сырья [1, 2].

Государственным комитетом по архитектуре, строительству и жилищно-коммунальному хозяйству при Правительстве Кыргызской Республики утверждённые «Рекомендации по проектированию и расчету облегченных комбинированных конструкций зданий из местного

композиционного материала» распространяются на конструктивно-теплоизоляционные плиты для сельского, промышленного, гражданского и жилищного строительства, изготавливаемые из отходов деревообработки и растительного сырья и предназначенные для применения в ограждающих комбинированных конструкциях зданий, в т.ч. и для горного села¹.

Малоэтажное домостроение дает возможность более чем вдвое, по сравнению с кирпичным и крупнопанельным домостроением, снизить единовременные затраты на создание материально-технической базы строительства. По сравнению со стоимостью возведения домов из кирпича стоимость возведения домов из арболита уменьшается на 20–25%, а по сравнению с возведением домов из панелей на 10–12%. Суммарная трудоемкость возведения домов из арболита снижается по сравнению с аналогичной трудоемкостью возведения домов из кирпича вдвое. Обеспечивается также экономия энергетических ресурсов на 25–35%, в арматурной стали – на 7–25%² [3].

Дома со стенами из арболитовых блоков выигрывают по сравнению с другими проектными решениями. Эти экспериментальные данные в целом соответствуют действительности и подтверждены соответствующими нормативными документами.

Для изделий из арболита («арбо» – дерево, «лит» – камень) характерны: небольшая плотность ($\rho \geq 400 \text{ кг/м}^3$), повышенные теплоизоляционные свойства и ($\lambda = 0,06...0,12 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$) и достаточная механическая прочность ($R_{\text{сж}} = 0,6...4 \text{ МПа}$). Он устойчив против гниения, обладает морозостойкостью, пилится и гвоздится, стены из него не сыреют при перепадах температуры и влажности воздуха, хорошо удерживают штукатурку.

Прочность арболита обуславливается следующими основными качественными показателями свойств заполнителя: химическим и гранулометрическим составом золы, а также коэффициентом формы зерен, деформативностью [4]. Требуемые активность и расход вяжущего, а также плотность получаемого арболита при его оптимальной структуре и при оптимальном составе смеси обеспечивают

¹ Курдюмова В.М., Ильченко Л.В., Азығалиев У.Ш. Органокмпозиты для стеновых блоков из местного сырья // Межд. сб. науч. тр. Новосибирск. НГАУ. 2011. С. 80–87.

² Курдюмова В.М., Ильченко Л.В., Азығалиев У.Ш. Органокмпозиты для стеновых блоков из местного сырья // Межд. сб. науч. тр. Новосибирск. НГАУ. 2011. С. 80–87.

необходимую прочность структурных связей между затвердевшим вяжущим и органическим заполнителем. Далее прочность арболита зависит от правильно выбранного режима твердения³ [5].

Структура арболита близка к структуре крупнопористых легких бетонов на пористых минеральных заполнителях. В отличие от последних прочность арболита зависит от значительно большего количества факторов, а именно: от химической активности заполнителя, его анизотропности, влажностных деформаций и коэффициентов линейного расширения, значительно отличающихся от соответствующих коэффициентов цементного камня.

Взаимодействие заполнителя из древесины щепы и цемента исследуется давно и многими учеными⁴ [6].

К веществам, оказывающим отрицательное воздействие, относятся: сахара, кислоты, дубильные вещества, камеди, фенолы и хиноны. Целлюлоза и лигнин вредного влияния на процесс гидратации цемента практически не оказывают.

Водорастворимые частицы органических заполнителей отрицательно влияют на процессы гидратации и твердения цемента. Результаты всех приведенных выше исследований показывают необходимость локализации экстрактивных частиц на гидратацию и твердение минерального вяжущего, чтобы в результате получить качественный конгломератный материал.

Следовательно, для локализации содержащихся в органическом заполнителе экстрактивных веществ требуется применять различные методы. В большинстве своем способы экстрагирования растворимых веществ из заполнителя предусматривают достаточно сложные технологические процессы, требующие многоступенчатой обработки заполнителя различными химикатами с последующим кипячением или промывкой, выдержки в силосах для стабилизации его свойств или сушкой и т.д.

Распространенным методом обработки заполнителя является длительное выдерживание в воде при температурах 18–20°C. Это

увеличивает прочность арболита на 12–15% по сравнению с необработанным заполнителем. Однако в процессе вымачивания извлекаются только легкорастворимые вещества, но остаются полисахариды, продолжающие тормозить твердение цемента. Обработка горячей водой несколько усложняет технологию обработки.

Необходимо отметить, что степень отрицательного воздействия влажностных деформаций органического заполнителя на прочность арболита в большей мере определяется показателями сцепления двух различных по своей природе материалов, в связи с этим изучение влияния данных факторов целесообразно во взаимосвязи [7, 8].

В Кызылординском государственном университете им. Коркыт ата были проведены экспериментальные работы по обработке заполнителя щелочной водой с добавлением извести в количестве 1–1,5%. При этом происходит химическое модифицирование поверхности заполнителя – рисовой лузги, стеблей хлопчатника – за счет химической реакции щелочной среды с гидроксильными группами целлюлозы. Предложенный способ приготовления арболитовой смеси позволяет повысить адгезию заполнителя с золоцементными вяжущими и в последующем прочность конечных изделий. В качестве вяжущего использованы портландцемент ЦЕМ I, портландцементный клинкер кл. 95-100 и золошлаковые смеси. Освоение производства строительных материалов на основе этих сырьевых ресурсов является эффективным не только с экологической, но и с экономической точки зрения [9].

С целью оптимизации технологических параметров производства арболита было проведено математическое планирование экспериментальных работ, исследовано влияние способа подготовки органического заполнителя на прочность при 28-суточном твердении арболита.

В качестве параметра оптимизации была принята прочность арболита. Количество воды и химических добавок, а также режим облагораживания органического заполнителя приняты постоянными. При этом исследовалось, как

³ Орешкин Д.В., Лукутцова, Н.П., Горностаева, Е.Ю. Повышение качества древесно-цементных композиций добавками // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: материалы 67-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР 2009 года : сб. науч. тр. Самара. 2010. С.276–278.

⁴ Галебуй С. Теоретические основы механизма формирования прочности и разрушения поризованного арболита на стеблях хлопчатника // Итоги строительной науки: материалы VI Межд. НПК 26–28 окт. г. Владимир : ВИТ-принт, 2010. С. 28–32. ISBN 978-5-9902312-5-2.

влияет содержание варьирующих факторов на прочность арболита. Для экспериментов в качестве вяжущего был применен портландцемент ЦЕМ I, портландцементный клинкер кл. 95–100 [10], также автором работы⁵ выполнено экспериментальное исследование по оптимизации составов композиционных гипсовых вяжущих веществ с использованием тонкоизмельченных зол гидроудаления.

В работах⁶ [11] раскрыты вопросы разработки составов и проведено исследование свойств цементно-зольно-шламового легкого арболита с использованием твердых органических отходов из измельченной скорлупы грецкого ореха. Были исследованы процессы взаимодействия и образования фазового состава комплексных вяжущих композиций с золошламовыми добавками методом рентгенофазового анализа.

В работе также произведен анализ химического состава и химической агрессивности растительного заполнителя по отношению к минеральному сырью. Скорлупа грецкого ореха состоит из клетчатки (примерно 69% всей массы скорлупы грецкого ореха – стебли), пектозана, водорастворимых веществ и небольшого количества экстрактивных веществ – танинов и жиров. В большинстве своем предложенные способы «минерализации» органического заполнителя требуют многоступенчатой обработки заполнителя различными химикатами с последующим кипячением или промывкой, выдержки в силосах для стабилизации его свойств или сушки и др. В данной работе «минерализаторами» заполнителя органического происхождения служат высококальциевая зола-унос и бокситовый шлак. При взаимодействии находящихся в составе золы-уноса (9%) и бокситового шлама (до 5%) оксида кальция СаО с водой затворения образуется гидроксид кальция. Полученный водный раствор характеризуется щелочной реакцией, позволяющей использовать его в качестве минерализатора органического заполнителя.

В Брянской государственной инженерно-технологической академии⁷ при изучении механизма влияния добавок, содержащих микро- и наноразмерные частицы кремнезема, на структуру и физико-технические свойства древесно-цементных композиций установлено, что за счет гидравлической активности микро- и нано-дисперсного кремнезема в структуре цементной матрицы происходит интенсивное образование гидросиликатов кальция.

Доказано, что комплексное использование добавок с микро- и наноразмерными частицами кремнезема позволяет повысить предел прочности при сжатии на 98% и снизить водопоглощение на 50–60% при экономии цемента до 50%. Определены оптимальные составы древесно-цементных композиций, позволяющие получать материалы с улучшенными физико-техническими характеристиками: предел прочности при сжатии – до 15,0 МПа, средняя плотность 630 кг/м³ и водопоглощение – 52,3%.

Разработана технология производства стеновых блоков на основе древесно-цементной композиции с использованием комплексных добавок, таких как микрокремнезем и добавки с наноразмерными частицами кремнезема⁸ [12].

Получение арболита с улучшенными теплотехническими показателями на основе органоминеральной композиции, не восприимчивыми к экстрактивным частицам заполнителей комбинированной пористой структурой материала при минимальном расходе вяжущего, является весьма актуальным. Введение пористых минеральных или органических пластифицирующих добавок обеспечивает снижение коэффициента теплопроводности арболита и его массы, а также повышает деформативность его, снижая демпферный эффект [13, 14].

Известно, что влажность гипсового камня в арболите находится в пределах 7,5–12%, а сечки соломы 13,5–28%. Полимеры и пластификаторы, затвердевшие в поровом простран-

⁵ Ассакунова Б.Т. Джусупова М.А., Болотов Т.Т., Омурбеков И.К., Абышев А.А. Оптимизация составов композиционных гипсовых вяжущих веществ с использованием тонкоизмельченных зол гидроудаления // Инновации в области применения строительного гипса: сборник тезисов докладов. МИСИ, Москва, 2012. С. 3–7.

⁶ Акулова М.В., Исакулов Б.Р., Джумабаев М.Д., Сартова А.М. Исследование свойств щелочного вяжущего на основе высококальциевой золы-уноса // Информационная среда вуза : материалы XX Междунар. науч.-техн. конф. Иваново : ИГАСУ, 2013. С. 219–221.

⁷ Горностаева Е.Ю. Использование микрокремнезема для улучшения физико-технических показателей древесно-цементных композиций [// Молодежь и научнотехнический прогресс / под общей редакцией Е.А. Памфилова. Сборник трудов по итогам молодежной научно-технической конференции. Выпуск 1. Брянск : БГИТА, 2010. С. 191–193.

⁸ Там же.

стве композиции и контактной зоне, создают дополнительный пространственный каркас [15]. Прочность полимеров на сжатие 1,2–1,6 МПа позволяет воспринимать часть усадочных напряжений. Этим объясняется повышенная стойкость арболита к атмосферным воздействиям, главными факторами которых являются напряжения усушки-набухания⁹ [16].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе в качестве растительно-гипсовой композиции (РГК) использовались солома злаковых, произрастающих в КР, и гипс строительный.

По природному происхождению, морфологической структуре и химическому составу стебли соломы зерновых близки к древесине. Солома пшеницы (*Triticum aestivum*) для производства арболита имеет повышенную прочность по сравнению с другими злаковыми (ячмень, овес, рис и др.), так как содержит в 2 раза меньше воска и кремнезема.

Технические свойства соломы пшеницы с размером частиц по длине 20–50 мм следующие: прочность при растяжении 316,2 Н/мм², процент удлинения 2,41%, средняя сухая насыпная плотность 50–60 кг/м³. В заполнителе на основе соломы не допускается присутствие гигроскопической влажности 80%, гнили, кусков грунта, плесени от уборки. По объемам производства в КР, физико-механическим свойствам солома пшеницы является подходящим сырьем для производства строительного арболита.

В исследованиях в качестве минерального вяжущего был использован быстротвердеющий строительный гипс марок Г-5 и Г-7 на основе сырья Бактеевского месторождения, который относится к сырью I-го сорта, гипсового предприятия с. Кулан-Ак Нарынской области. Начало схватывания – 6 минут, конец – 14 минут. Предел прочности на сжатие 7 МПа, на изгиб 3,5 МПа и зола БТЭЦ, а также портландцементный клинкер (ПЦК), природный, натуральный глиногипс (ГГ). В качестве глинистой составляющей использовались суглинки Толуйконского месторождения.

В качестве модификаторов для образования пористой полимерсиликатной системы использовались: жидкое стекло (ГОСТ 13078), латекс СКС (ГОСТ 10564); смола малоконцентрированная СФЖ-3066 (ГОСТ 20907) + моди-

фицированный отвердитель М4 (ГОСТ 18188); катализатор ионного типа (ГОСТ 20908). Пластифицирующие добавки при изготовлении арболита приняты СКС, СДБ и ЛСТ, в качестве замедлителя схватывания гипса – добавки неполной соли 1-оксиэтилиден-1,1-дифосфоновой кислоты с триэтаноламином и антипирены. Все компоненты исследовались в лаборатории на соответствие нормативным требованиям.

Для выявления наиболее эффективных способов взаимодействия и образования фазового состава гипсозольных вяжущих, нами были проведены электронно-микроскопические исследования пробы чистой золы и проб, активированных гипсом, ПЦК, ГГ и их изломов в присутствии щелочного компонента.

В производстве золощелочных вяжущих одним из основных структурообразующих компонентов является щелочной компонент. Золо БТЭЦ при содержании несгоревшего угля от 5 до 11% по массе и значительным количеством Al_2O_3 (20...26%), умеренно железистые (около 7% Fe_2O_3) по своему химическому составу хорошо активизируются при совместном воздействии вяжущих и сульфатного компонента, что подтверждается электронно-микроскопическими исследованиями [16].

Физические и механические свойства арболита определялись на образцах-кубах размером 15х15х15 см и 10х10х10 см. При проведении испытаний использовали разрывные машины МР-05-1, пресс испытательный гидравлический малогабаритный ПГМ-1500МГ4, прибор ультразвуковой УК-15М, ПЛС-100, ДРОН-2, лазерный анализатор ЛГ-78, вискозиметр Суттарда ВС для определения вязкости гипсового теста по ГОСТ 23789, прибор Вика с 8-ю ячейками измерения для автоматического определения характеристик схватывания гипса.

Для приготовления комплексного вяжущего и арболитной смеси была использована водопроводная питьевая вода. Характеристики органических заполнителей приведены в таблице 1. Оптимизация рационального состава и свойств модифицированного арболита из РГК, модификаторов на новых способах подготовки заполнителя проведена по методу экспериментально-статистического моделирования [17].

⁹ Мавлянов А.С., Абдыкалыков А.А., Ассакунова Б.Т. Комплексное использование минерального сырья. Илим – Бишкек, 2016. 326 с.

Таблица 1
Сравнительные данные химического состава органических заполнителей

Table 1
Comparative data of the chemical contents of the organic aggregates

Органические заполнители	Химический состав, %				
	целлюлоза $C_6H_{10}O_5$	лигнин $C_4P_{10}O_{16}$	пентазон $C_5H_8O_4$	ппп	зола
Солома злаковых	50	12	20	18	1,7
Древесные отходы	41,7	21,91	16,3	-	2,8

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для оптимизации состава и свойств полимерсиликатно-гипсовой композиции (ПСГК) был поставлен трехфакторный эксперимент по плану B_3 , где варьировались три рецептурных фактора: X_1 – содержание соломы, %; X_2 – содержание ПСД+пластификатор, %; X_3 – содержание гипса +ПЦ-К+ГГ, %; остальное – зола. Уровни варьирования факторов представлены в таблице 2.

Таблица 2
Уровни варьирования факторов

Table 2
Levels of the variation factors

Уровни факторов	X_1 – солома, %	X_2 – ПСД + пластификатор, %	X_3 – гипс+ ПЦК+ глиногипс, %
-1	22	10	25
0	24	11	30
+1	26	12	35

По результатам эксперимента (таблица 3) были рассчитаны коэффициенты моделей свойств растительно-вяжущей композиции (РВК): Y_1 – значение pH; Y_2 – прочность на сжатие после 2 ч; Y_3 – прочность на сжатие после 28 суток.

Анализ модели 2 показал, что фактор (X_1 – солома) снижает прочность на сжатие ($v_1 = -1,01$), ПСД+пластификатор X_2 повышает прочность на сжатие, но только на 12% (рисунок 1).

В 28-суточном возрасте для гипсовых композиций по мере повышения содержания соломы прочность снижается на 0,8 МПа.

Таблица 3
План и результаты Y_1, Y_2, Y_3

Table 3
Plan and results of Y_1, Y_2, Y_3

№ п/п	План эксперимента			План в натур. переменных, %			Y_1 -рН	Y_2 , МПа	Y_3 , МПа
	X_1	X_2	X_3	С	ПСД	Г+ПЦК+ГГ			
1	+	+	+	26	12	35	11,4	0,6,	2,0
2	+	+	-	26	12	25	10,8	0,9,	2,7
3	+	-	+	26	10	35	11,1	0,7,	2,3
4	-	+	+	22	12	35	10,6	0,7	2,1
5	-	-	-	22	10	25	10,3	0,8	2,4
6	-	-	+	22	10	35	10,4	0,6	2,2
7	-	+	-	22	12	25	10,9	0,9	2,8
8	+	-	-	26	10	25	10,7	0,7	2,4
9	+	0	0	26	11	30	11,5	0,8	2,7
10	-	0	0	22	11	30	11,1	0,8	2,7

11	0	+	0	24	12	30	10,9	0,8	2,7
12	0	-	0	24	10	30	10,5	0,7	2,6
13	0	0	+	24	11	35	10,8	0,7	2,2
14	0	0	-	24	11	25	10,3	0,8	2,6
15	0	0	0	24	11	30	10,9	0,8	2,7

* Содержание ПЦК и ГГ в составе минерального вяжущего 3–5%.

Добавка полимерсиликатных добавок (ПСД) (см. рисунок 1) с 26%-ным содержанием соломы практически не влияет на прочность.

По результатам эксперимента с указанием средней ошибки S_y и уровня значимости α были рассчитаны (по программе МНК) математическая модель Y_1 – значение pH со всеми значимыми оценками коэффициентов:

$$(Y_1)_{pH} = 10,89 + 0,23X_1 + 0,42X_1^2 - 0,05X_1 \cdot X_2 + 0,08X_1 \cdot X_3 + 0,22X_2 - 0,15X_2^2 - 0,06X_2 \cdot X_3 - 0,16X_3 - 0,31X_3^2. \quad (1)$$

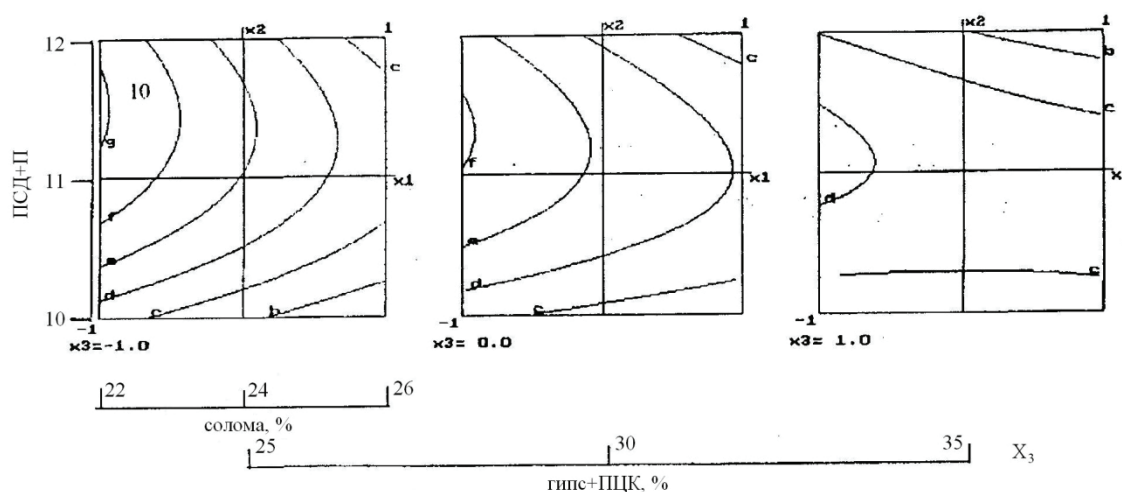
Математическая модель (1) показывает, что факторы X_2 (ПСД+пластификатор), X_3 (гипс+ПЦК) оказывают влияние на pH и увеличивают этот показатель от 10,3 до 11. Однако содержание X_3 должно быть оптимальным, на это указывает квадратичный эффект $v_{22} = -0,31$. pH среды повышается до 11,4 при одновременном повышении добавки X_2 и содержанием X_3 .

Таким образом, максимальная прочность РВК достигается при содержании: гипс – 29–30%, ПЦК – 3–5%, ГГ – 2%; ПСД + пластификатор (смола СФЖ + жидкое стекло + ЛСТ + СКС) – 10–12%, солома – в пределах 22–26%, зола – 19–20%, остальное – вода.

$$Y_2(R_{сж}^2) = 7,687 - 1,01X_1 + 0,092X_1^2 - 0,486X_1 \cdot X_2 + 0,649X_1 \cdot X_3 + 0,529X_2 - 1,603X_2^2 - 0,615X_2 \cdot X_3 - 0,600X_3 - 0,510X_3^2. \quad (2)$$

$$Y_3(R_{сж}^{28}) = 9,148 - 1,330X_1 + 1,620X_1^2 - 0,527X_1 \cdot X_2 + 0,67X_1 \cdot X_3 - 0,769X_2 - 1,404X_2^2 - 0,57X_2 \cdot X_3 - 0,58X_3 - 0,550X_3^2. \quad (3)$$

1



2

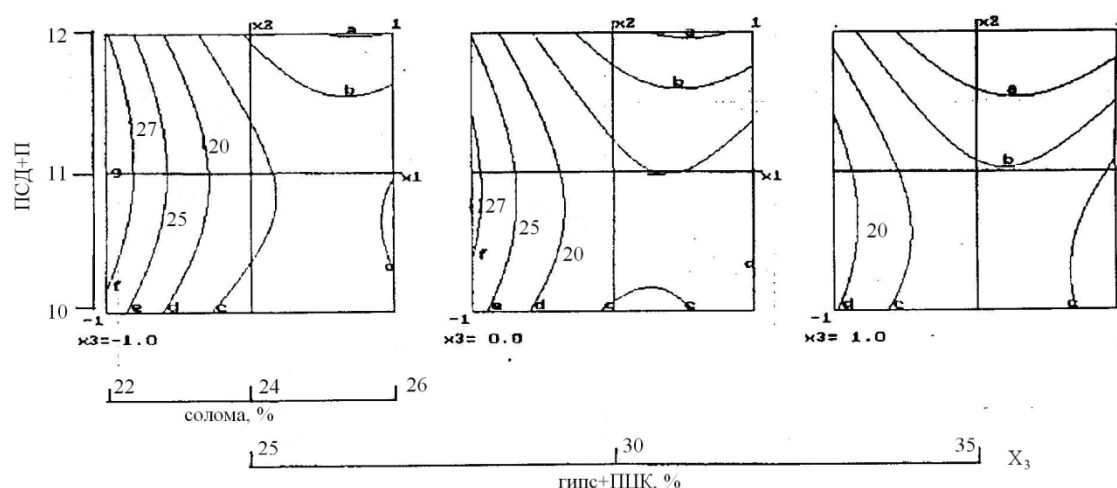


Рисунок 1 – Математические модели прочности на сжатие растительно-вяжущей композиции: 1–2-часового возраста; 2–28-суточного возраста

Figure 1 – Numerical models of the compressive strength of plant-astringent composition: 1–2-hour age; 2–28-days age

Для наглядности были построены диаграммы влияния составов смесей, физико-механические и химические характеристики гипсозолощелочных вяжущих (рисунок 2). Составы смесей (по массе, %) приведены в таблице 4.

Таблица 4
Состав смеси по массе, %

Table 4
Mixture composition by weight, %

№ состава	Состав смеси по массе, %			
	гипс	зола	Модификаторы смеси (МС)	ПЦК/ГГ
1	35	20	10	4/2
2	35	20	11	5/1
3	30	20	12	5/1
4	30	19	12,5	5/1
5	29	19	12,8	5/2
6	29	20	12	5/2

На протекание обменно-поглодительных реакций в системе «гипс–зола–вода» оказывает влияние pH среды. Известно, что с повышением показателя pH водного раствора до 10–12 создаются благоприятные условия для протекания ионного обмена между тонкодисперсными частицами компонента и положительно заряженными ионами, находящимися в водном растворе.

Влияние модификаторов смеси (МС) на pH водной вытяжки золощелочной смеси и на прочность золосодержащего вяжущего приведены на рисунках 3 и 4.

Достаточно высокая активность разработанных вяжущих с модификаторами и пластификаторами обеспечивается в результате интенсификации ионно-обменных процессов, происходящих в процессе твердения гипсозолощелочных вяжущих.

В композицию гипсозолощелочных вяжущих, введены полимерсиликатные системы и пластифицирующие добавки, которые обеспечивают высокую активность вяжущих в процессе твердения и создают атмосферостойкий эффект арболита.

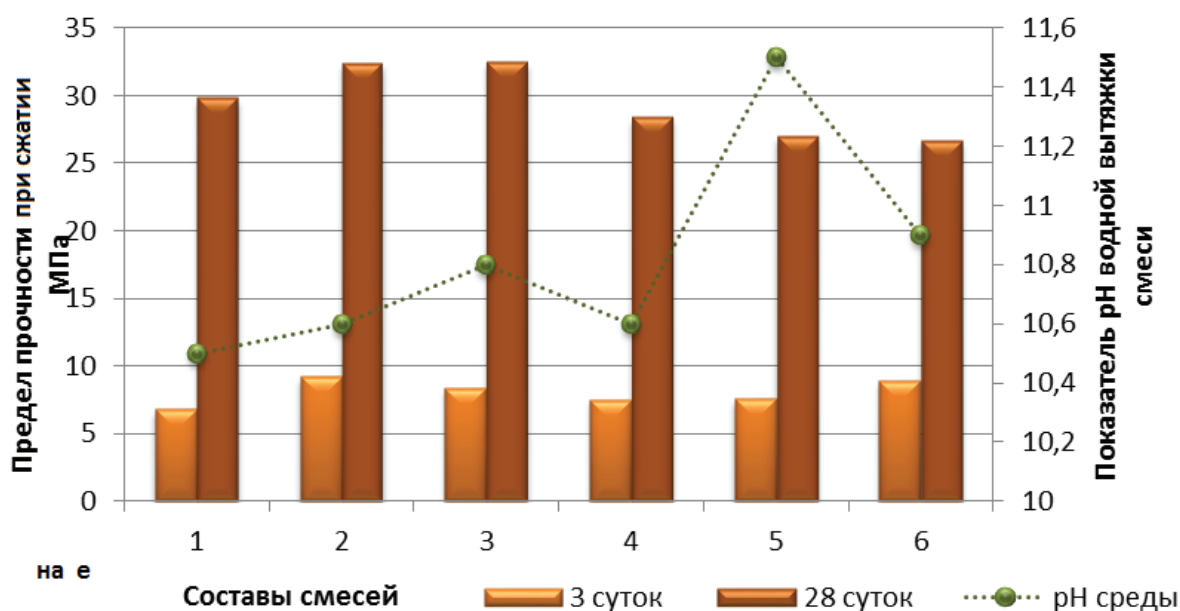


Рисунок 2 – Влияние составов смесей на pH водной вытяжки золощелочной смеси и изменение прочности золосодержащего вяжущего

Figure 2 – Influence of mixture composition on the pH aqueous extract ash content binder and on changing of the ash-containing binder strength

Кроме того, наличие в составе гипсозолощелочных вяжущих полимерной смолы СФЖ-3066 повышает адгезионную прочность вяжущих при использовании органических за-

полнителей растительного происхождения и они могут быть названы гипсозолощелочными вяжущими с синергетическим эффектом составляющих смеси.

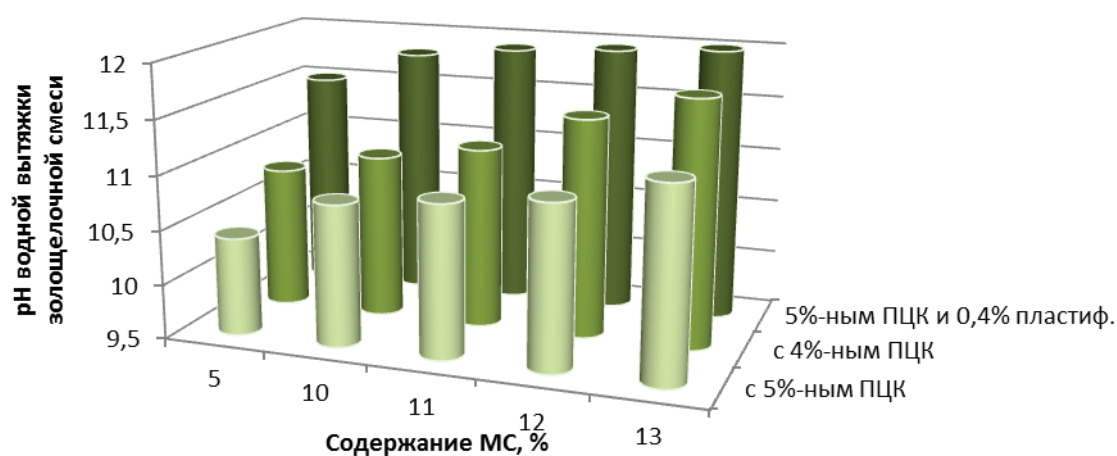


Рисунок 3 – Влияние добавки МС на pH водной вытяжки золощелочной смеси

Figure 3 – Influence of MC additive on pH aqueous extract of the ash content binder

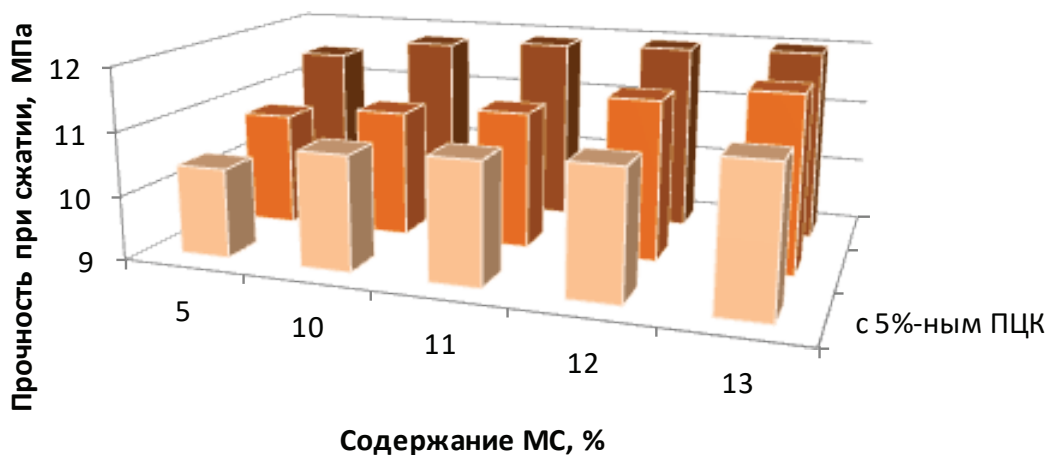


Рисунок 4 – Влияние добавки МС на прочность золосодержащего вяжущего

Figure 4 – Influence of MC additive on the ash content binder's strength

Производство гипсозолощелочных вяжущих может быть организовано в отдаленных регионах, куда доставка портландцемента связана с повышенными транспортными расходами.

К важнейшим характеристикам, обуславливающим свойства композитов на их основе, относятся сроки схватывания и изменение прочности во времени в различных условиях

твердения, т.е. интенсивность процессов гидратации.

Определялись сроки схватывания гипсозолощелочных вяжущих при содержании различного количества модификаторов смеси. Нормальная густота (НГ) составляет 28...32%. Составы смесей приведены в таблице 5. Результаты исследований приведены на рисунке 5.

Таблица 5
Составы смесей

Table 5
Mixture composition (ratio)

№ сост.	Состав смеси по массе, %		
	гипс+зола	МС	ПЦК/ГГ
1	55	10	5,0/1
2	56	11	4,0/2
3	50	12	5,0/1
4	50	12,5	4,0/2
5	49	12,8	5,0/2
6	49	10,5	5,0/1
7	50	12	4,0/2

Вяжущие композиции с содержанием 5% ПЦК обладают сроками схватывания, приближенными к срокам схватывания портландцемента (начало схватывания 1 час 05 минут, конец – 2 часа 45 минут). При содержании модификатора смеси до 12,5% конец схватыва-

ния гипсозолощелочного вяжущего изменяется равномерно.

Таким образом, изменение прочности во времени разработанных вяжущих композиций зависит от их состава, условий обработки и последующего твердения. Изменение прочно-

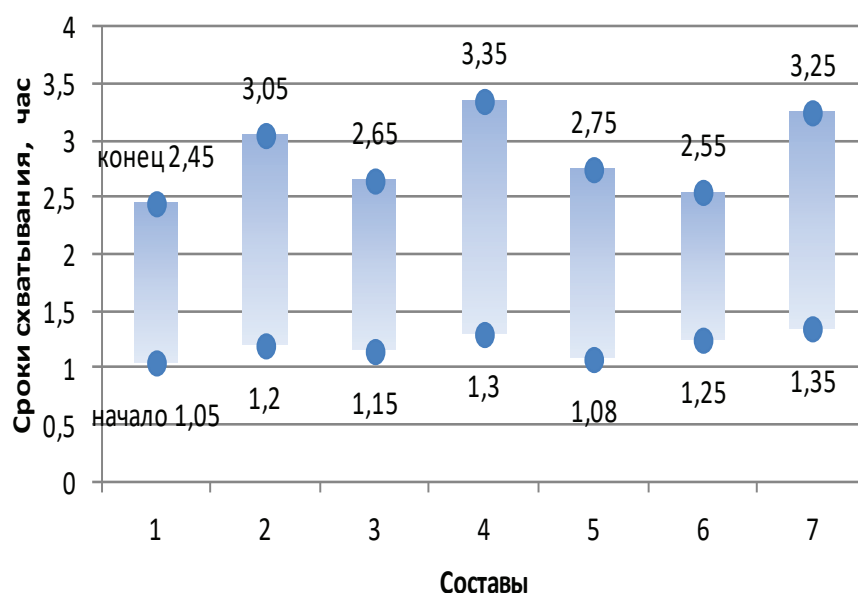


Рисунок 5 – Сроки схватывания гипсозолощелочных вяжущих композиций (среднестатистические данные)

Figure 5 – Setting time for the gypsum-ash-alkaline binder compositions (average data)

сти вяжущих естественного твердения определялось на образцах, хранившихся длительное время в нормальных условиях, а образцы, подвергавшиеся тепловлажностной обработке, – в воздушно-сухих и водных условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кинетика изменения прочности вяжущих с содержанием 11–12% МС показывает, что при длительном хранении прочность образцов повышается как после тепловлажностной обработки, так и при нормальном воздушном твердении. Образцы при воздушном хранении имеют прочность более 3,2 МПа, а при водном хранении 2,6–2,7 МПа. Активация РВК высокоосновными добавками и полимерсиликатным компонентом с пластификаторами (ЛСТ, СКС, СДБ) на основе гипса и малоизвестных зол способствует образованию прочного сростка и получению на их основе гипсозолощелочных вяжущих с повышенными физико-механическими свойствами.

Максимальная прочность полимерсиликатно-гипсозолощелочной композиции в арболите достигается при содержании гипса Г-7 – 28–32%; золы – 18–22%; ПСД – 8–10%. Максимальная величина прочности и водостойкости материала достигается при рациональном соотношении составляющих: солома

– 24–28%; гипс Г-7 – 30–32% + замедлители – 0,05%; зола – 18–22%; смола СФЖ-3066 – 8–12% + катализатор – 0,3% (87% серной кислоты, 13% ортофосфорной кислоты); ПЦК – 3–5%; глиногипс – 2%; жидкое натриевое стекло – 12%; пластификаторы ЛСТ – 0,15%; СКС – 0,2%; СДБ – 0,15%; модифицированный отвердитель М4 – 0,5% и остальное – вода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матыева А.К. Анализ методологии проектирования энергоэффективных зданий // EUROPAISCHE FACHHOCHSCHULE. ORT Publishing, Shtutgart, Germany. EUROPEAN APPLIED SCIENCES #2. 2016. С. 54–58.
2. Абыкаева А.К., Омурбеков И.К., Абышов А.А. Мелкоштучные изделия из глиногипсовых материалов с органическим наполнителем // Научный и информационный журнал «Материаловедение». Бишкек, 2013. Вып. 1. С. 96–99.
3. Matyeva A.K. Analysis methodology of projection energy- efficient buildings // European Applied Sciences. 2016. № 2. С. 54–58.
4. Матыева А.К. Строительно-технические свойства атмосферостойкого арболита // Приволжский научный вестник – ИЦНП, Приволжский. 2016. С. 40–42.
5. Matyeva A.K. The state of the pressed

visco-plastic medium of plant-gypsum composition (pgc) uder flat deformation conditions // International Scientific and Practical Conference "World Science", ROST, Dubai, UAE. №2(6), VoL1, February 2016. С. 75-81.

6. Kobuliev Z.V., Nazriev G.B. About Agricultural Solid Waste Using in Construction // Ecological Journal of Armenia. 2013. P. 126–128.

7. Столбушкин А.Ю., Бердов Г.И. Ресурсосберегающая комплексная переработка минерального техногенного сырья в производстве строительных материалов // Известия ВУЗов. Строительство. Новосибирск: НГАСУ, 2011. № 1. С. 46–53.

8. Лукутцова Н.П., Горностаева Е.Ю. Получение древесно-цементных композиций с улучшенными физико-техническими показателями // Вестник БГТУ им.В.Г.Шухова. Белгород. 2010. № 4. С. 44–46.

9. Удербает С.С., Карибаев Е., Курманбаева Ж.М. Исследование адгезии рисовой лузги с золоцементными вяжущими смесями // Научный журнал «Молодой ученый». 2014. № 12(71). С. 113–115.

10. Удербает С.С., Бисенов К.А., Алибеков Н.Б. Оптимизация способа подготовки органического заполнителя в производстве арболитовых изделий // Вестник национальной академии наук Казахстан / Кызылординский государственный университет им. Коркыт ата. 2017. № 4. С. 109–115.

11. Акулова М.В., Исакулов Б.Р., Джумабаев М.Д., Сартова А.М. Разработка и исследование свойств вяжущих на основе отходов промышленности // Вестник Российской академии архитектурно-строительных наук. Курск; Воронеж, 2013. С. 256–260.

12. Lukutsova N., Gornostaeva E. Influence of micro- and nanodispersed additions on qualities of wood-and cement compositions // SITA journal Israel, 2012. № 3. v. 14. P. 70–75.

13. Курдюмова В.М., Азығалиев У.Ш., Ильченко Л.В. Строительные органополимеркомпозиты (ОПК) на основе сложного наполнителя из местного сырья // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. 2017. Т. 17, № 1. С. 137–141.

14. Мавлянов А.С., Абышов А.А. Определение фазового состава вяжущих из местных гипсосодержащих пород // Вестник КГУСТА. Бишкек, 2012. № 3. С. 38–41.

15. Шешуков А.П., Лычагин Д.В., Макаров Е.Я. Исследование процессов формирования структуры арболита при химической активации древесины // Вестник ТГАСУ. 2014. № 3. С. 145–152.

16. Matyeva A. K. The research of the wether resistant gypsum- ash- alkaline arbolit structure by scanning electron microscopy // Proceeding of the IInd International Scientific and Practical Conference «The goals of the WorldScience №3(7), VoL1, March 2016 (February 25–26, 2016, Dubai, UAE)». P. 98–102.

17. Матыева А.К. Математическое моделирование по оптимизации состава и свойств арболита на полимерсиликатно-гипсовой композиции (ПСГК) // Информационные технологии в образовании: состояние, проблемы и перспективы: Междунар. научн.-практ. конф. Вестник КГУСТА. 2011. №2 (32). Т. 1. Бишкек. С. 138–141.

REFERENCES

1. Matyeva A.K. Analysis methodology of projection energy- efficient buildings. EUROPAISCHE FACHHOCHSCHULE. ORT Publishing, Shtutgart, Germany. EUROPEAN APPLIED SCIENCES, 2016; 2: 54–58.

2. Abykaeva A.K., Omurbekov I.K., Abyshov A.A. Melkoshtuchnye izdelija iz glinogipsovyh materialov s organicheskim napolnitelem [Small size products from claim content gypsum and organic fillers]. Nauchnyj i informacionnyj zhurnal Materialovedenie. 2013; 1: 96–99 (in Russian).

3. Matyeva A.K. Analysis methodology of projection energy- efficient buildings. European Applied Sciences 2016; 2: 54–58.

4. Matyeva A.K. Stroitel'no-tehnicheskie svojstva atmosferostojkogo arbolita [Construction and technical properties of the atmosphere resistance arbolit]. Privolzhskij nauchnyj vestnik – ICNP, Privolzhskij, 2016, pp. 40–42 (in Russian).

5. Matyeva A.K. The state of the pressed visco-plastic medium of plant-gypsum composition (pgc) uder flat deformation conditions. International Scientific and Practical Conference "World Science", ROST, Dubai, UAE. no 2(6), VoL1, February 2016:75–81.

6. Kobuliev Z.V., Nazriev G.B. About Agricultural Solid Waste Using in Construction. Ecological Journal of Armenia. 2013; 1 /3/: 126–128.

7. Stolbushkin A.Ju., Berdov G.I. Resursosberegajushhaja kompleksnaja pererabotka mineral'nogo tehnogennogo syr'ja v proizvodstve stroitel'nyh materialov [Resource-saving schemes of complex processing of mineral technogenic raw material in building materials manufacture]. Izvestija VUZov. Stroitel'stvo. Novosibirsk: NGASU, 2011; 1: 46–53.

8. Lukutsova N.P., Gornostaeva E.Ju. Poluchenie drevesno cementnyh kompozicij-suluchshennymi fiziko-tehnicheskimi pokazateljami

[Obtain the timber-cement compositions with improved physic-technical characteristics]. Vestnik BGTUim.V.G. Shuhova. 2010; 4: 44–46 (in Russian).

9. Uderbaev S.S., Karibaev E., Kurmanayeva Zh.M. Issledovanie adgezii risovoj luzgi s zolocementnymi vjazhushhimi smesjami [Research of adhesion of rice husk and ash-cement binder mixtures]. Nauchnyj zhurnal Molodoj uchenyj. 2014; 12(71):113–115 (in Russian).

10. Uderbaev S.S., Bisenov K.A., Alibekov N.B. Optimizacija sposoba podgotovki organicheskogo zapolnitelja v proizvodstve arbolitovyh izdelij [Optimization of preparation methods for organic fillers in manufacturing the arbolit goods]. Kyzylordinskij gosudarstvennyj universitet im. Korkyt ata, Vestnik nacional'noj akademii nauk Kazahstan. 2017; 4/368: 109–115 (in Russian).

11. Akulova M.V., Isakulov B.R., Dzhumabaev M.D., Sartova A. M. Razrabotka i issledovanie svojstv vjazhushhih na osnove othodov promyshlennosti [Developing and research the binder properties on the industry waste base]. Vestnik Rossijskoj akademij arhitekturno stroitel'nyh nauk. 2013: 256–260 (in Russian).

12. Lukutsova N., Gornostaeva E. Influence of micro- and nanodispersed additions on qualities of wood-and cement compositions. SITA journal Israel. 2012; 3, v. 14: 70–75.

13. Kurdjumova V.M., Azygaliev U.Sh., Il'chenko L.V. Stroitel'nye organopolimerkompozity (OPK) na osnove slozhnogo napolnitelja iz mestnogo syr'ja. [Construction of organic polymer composites on the base of complex fillers from local raw materials]. Vestnik Kyrgyzsko-Rossijskogo slavjanskogo universiteta. 2017; T. 17, no 1: 137–141 (in Russian).

14. Mavljanov A.S., Abyshov A.A. Opredelenie fazovogo sostava vjazhushhih iz mestnyh gipsosoderzhashhih porod [Determination of phase composition of binders from local gypsum-containing rocks]. Vestnik KGUSTA. Bishkek, 2012; 3: 38–41.

15. Sheshukov A.P., Lychagin D.V., Makarov E.Ja. Issledovanie processov formirovaniya struktury arbolita pri himicheskoj aktivacii drevesiny [Investigation of the arbolit structure process de-

veloping under timber chemical activation]. Vestnik TGASU. 2014; 3: 145–152 (in Russian).

16. Matyeva A.K. The research of the weather resistant gypsum- ash- alkaline arbolit structure by scanning electron microscopy. Proceeding of the 1st International Scientific and Practical Conference «The goals of the World Science. 2016; 3(7): 98–102.

17. Matyeva A.K. Matematicheskoe modelirovanie po optimizacii sostava i svojstv arbolita na polimersilikatno-gipsovoj kompozicii (PSGK) [Numerical modeling for the content optimization and arbolit properties on polymer-silicate gypsum composition base]. Informacionnye tehnologii v obrazovanii: sostojanie, problemy i perspektivy. Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija – Vestnik KGUSTA. 2011; 2(32), Tom1: 138–141 (in Russian).

Поступила 26.02.2019, принята к публикации 21.0.2019.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Матыева Акбермет Карыбековна – канд. техн. наук, доц. кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения» Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры имени Н.Исанова. ORCID ID 0000-0001-9765-1149 (Кыргызская Республика, 720020, г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34б, email: matyeva59@mail.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Akbermet K. Matyeva – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Civil Engineering Department, Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N.A. Isanov, ORCID ID 0000-0001-9765-1149 (720020, Kyrgyz Republic, Bishkek, 34b, Malydbaeva St., email: matyeva59@mail.ru).