

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА КИРПИЧА ИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО КАК АЛЬТЕРНАТИВА ТРАДИЦИОННЫМ СТЕНОВЫМ МАТЕРИАЛАМ В УЗБЕКИСТАНЕ

Хамдамова Ш.Ш.¹, Адилходжаев А.И.², Игамбердиев Б.Г.³

Email: Khamdamova17156@scientifictext.ru

¹Хамдамова Шохид Шерзодовна - доктор технических наук, проректор по учебной работе, Ферганский политехнический институт, г. Фергана;

²Адилходжаев Анвар Ишанович - доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе и инновациям;

³Игамбердиев Бунёд Гайратович - базовый докторант, Ташкентский государственный университет транспорта, г. Ташкент, Республика Узбекистан

Аннотация: в статье рассматривается возможность производства кирпича на основе композиционного гипсового вяжущего повышенной водостойкости из местного сырья и техногенных отходов. Приводятся экспериментальные данные исследования влияния физико-химических характеристик вяжущего на формирование требуемых параметров композита. Представлен сравнительный анализ энергоэффективности разрабатываемого кирпича из исследуемого композиционного материала и других стеновых материалов.

Ключевые слова: кирпич, энергоэффективность, КГВ, отходы.

ASSESSMENT OF THE POTENTIAL OF COMPOSITE GYPSUM BINDER BRICKS AS AN ALTERNATIVE TO TRADITIONAL WALL MATERIALS IN UZBEKISTAN

Khamdamova Sh.Sh.¹, Adilkhodzhaev A.I.², Igamberdiev B.G.³

¹Khamdamova Shokhida Sherzodovna - Doctor of Technical Sciences, Vice Rector for Academic Affairs, FERGANA POLYTECHNIC INSTITUTE, FERGANA;

²Adilkhodzhaev Anvar Ishanovich - Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice Rector for research and innovation;

³Igamberdiev Bunyod Gayratovich - PhD candidate, TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY, TASHKENT, REPUBLIC OF UZBEKISTAN

Abstract: the article discusses the possibility of producing bricks from a composite gypsum binder of increased water resistance based on local raw materials and man-made waste. Experimental data demonstrate the influence of the physical and chemical characteristics of the binder on the formation of required parameters of the composite. The authors provide a comparative analysis of energy efficiency of the brick made of the experimental composite material and other wall materials.

Keywords: brick, energy efficiency, composite gypsum binders, waste.

УДК 016:568.567.1

Уровень развития общества сегодня характеризуется переосмыслением качества нашей жизни. В данном аспекте главным направлением является разработка задач устойчивого формирования предпосылок создания здоровой окружающей среды. Одна из основных проблем, требующих неотлагательного решения во имя здоровой экосистемы, – значительное снижение энергопотребления во всех отраслях экономики.

Согласно прогнозам, в 2035 году для бесперебойного обеспечения энергией стран мира потребуется около 2 триллионов долларов ежегодных инвестиций, в то время как до 2030 года энергоёмкость мирового ВВП снизится на 31 %. Сегодня энергоэффективность стала основным направлением в мировой экономике и включает в себя все аспекты технологического развития, модернизации и диверсификации экономики. В развитых странах политика энергоэффективности способствует росту конкурентоспособности производства, развитию науки, инноваций, внедрению новых технологий.

Производство строительных материалов является одним из крупных потребителей энергоносителей, при этом коэффициент полезного использования топлива в отрасли не превышает 40%. Предприятия строительной индустрии имеют весьма разнообразную структуру потребления энергии ввиду широкого ассортимента выпускаемых изделий и материалов. По сравнению с зарубежными странами в Узбекистане энергозатраты на производство строительных материалов и конструкций превышают аналоги более чем в 1,5 раза, а продукция предприятий сильно уступает по энергоэкономичности [1].

Керамический кирпич – первый из известных нам искусственных материалов, созданных человеком более 20 тыс. лет назад. Использование алюмосиликатного сырья для производства керамических кирпичей, дальнейший обжиг сырьевой и отформованной смеси предопределяют химическую, термическую и биологическую стойкость композита [2].

Помимо явных достоинств керамических кирпичей, таких как стойкость к различного рода внешним воздействиям, относительно высокая прочность, такие материалы обладают рядом недостатков: высокие затраты энергии при высокотемпературном обжиге, измельчения сырьевых компонентов с прочными кристаллическими связями, послеобжиговой механической обработки обожженных изделий. Кроме того, благодаря своей стойкости, вышедшие из строя керамические изделия практически не разлагаются и для утилизации такого материала требуются значительные затраты.

Исходя из этого, основными путями энергосбережения в производстве стеновых материалов следует признать:

- модификация формы изделий с целью уменьшения их массы и увеличения функциональности;
- использование новых видов сырья и совершенствование технологических процессов подготовки с целью снижения энергетических затрат.

Как и многие исследователи, авторы статьи занимаются разработкой альтернатив керамическому кирпичу, способных заменить его в качестве основного стенового материала. В статье представлены результаты исследований по разработке более экологичного конкурента традиционного кирпича – кирпича из композиционного гипсового вяжущего (КГВ).

Низкая водостойкость, высокая ползучесть при увлажнении, малая прочность гипса делают его малоприменимым в качестве сырья для производства стенового кирпича. Тем не менее, энергоэффективность, экологичность и потенциальная активность гипса открывают большие перспективы его использования при разработке большой номенклатуры изделий.

Потенциал гипса как активного вяжущего изучен многими исследователями. В частности, с целью улучшения характеристик и придания гипсу водостойкости были предложены следующие методы:

- повышение плотности изделий методом трамбования и прессования из малопластичных смесей;
- повышение водостойкости гипсовых изделий наружной и объемной гидрофобизацией, пропиткой изделий веществами, препятствующими проникновению в них влаги;
- применение химических добавок, в том числе пластифицирующих, позволяющих модифицировать различные свойства гипса;
- уменьшение в воде сульфата кальция и создание условий образования нерастворимых соединений, защищающих дигидрат сульфата кальция, сочетанием гипсового вяжущего с гидравлическими компонентами (известью, портландцементом, активными минеральными добавками) [3].

В работах А.В. Волженского, А.В. Ферронской, П.А.Рибиндера был впервые исследован ГЦПВ, который решил проблему низкой водостойкости. Впоследствии В.Ф. Коровяков, В.И. Стамбулко, А.В. Волженский, А.В. Ферронская модернизировали ГЦПВ и ими были разработаны композиционные гипсовые вяжущие повышенной водостойкости (КГВ) [3].

Авторы настоящей статьи в свою очередь, исследовали возможность производства кирпича из КГВ и проводят оценку потенциала нового стенового материала на внутреннем рынке Узбекистана.

Узбекистан располагает достаточно богатыми месторождениями гипса. В стране налажено производство всех видов гипсового вяжущего и портландцемента (9681,1 тыс. тонн произведено в 2019 г.). При наличии двух основных компонентов КГВ, тем не менее, существуют трудности в подборе третьего компонента - активного микрокремнезема [4].

Для решения данного вопроса были исследованы и опробованы несколько кремнеземсодержащих отходов: зола-унос, шлак ТЭЦ, хвосты обогащений и отходы горнодобывающей компании.

Выбор авторов пал на отход магнитной сепарации АО «Кварц» (Узбекистан), занимающийся производством стеклянных изделий. Исследование состава данного отхода показало достаточно большое содержание рентгеноаморфных веществ, определяющих их гидравлическую активность при взаимодействии с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с образованием гидросиликатов кальция (табл. 1). Пуццолановая активность тонкомолотых отходов в возрасте 30 суток составила 125,1 мг/г (табл. 2).

Запасы отходов магнитной сепарации в отвалах АО составляют десятки тысяч тонн, что позволяет рассматривать их в качестве мощной сырьевой базы для промышленного производства кирпичей из КГВ. Следует отметить, что основным недостатком отхода является высокое содержание железа.

Таблица 1. Химический состав отхода магнитной сепарации

Вещество	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_4	CaO	MgO	SO_3	CO_2
Содержание, %	68-77	0,7-2,27	10,2-17,7	1,67	1,83-2,26	0,12-0,15	3,63

Данный отход представляет собой техногенный тонкодисперсный порошок темно-серого цвета, состоящий из неокатанных частиц кварца (около 60 %), оксидов металла, карбонатов, гематита и его агрегатов. Модуль крупности - существенно ниже 1, содержание частиц меньше 0,074 мм - около 80-85%.

Таблица 2. Активность тонкомолотых отходов магнитной сепарации

Количество СаО в мг, поглощенное 1 г минеральной добавки в сроки		Объем осадка, см ³
2-е суток	4,9	5,61
30 суток	126,7	

Для использования в качестве кремнезистой добавки помол отходов осуществляли в лабораторной шаровой мельнице. Было установлено, что для получения композиционного вяжущего удельная поверхность отходов магнитной сепарации не должна превышать 600 м²/кг, поэтому в работе их помол осуществляли до 500 м²/кг. Полученный порошок смешивали с цементом в разных пропорциях. Для подтверждения активности порошка, проверяли прочностные характеристики смеси через 28 суток (табл. 3).

Таблица 3. Показатели прочности на сжатие смеси кремнезем-портландцемент в возрасте 28 сут.

№	Порошок, %	Портландцемент, %	Прочность, МПа
1	50	50	22,1
2	60	40	21,4
3	40	60	23,6

Данные табл. 3 подтверждают реакционную активность тонкодисперсного порошка и согласуются с показателями активности (табл. 2).

Для обеспечения стабильности композиционного вяжущего, а также исключения образования в ходе течения гидратационных процессов этtringита и поддержания концентрации Са(ОН)₂ на требуемом уровне цемент домалывали в течение 5 мин с мелсодержащей добавкой в количестве 1%.

Мелсодержащая добавка является отходом при производстве соды АО «Fargonaazot» (Узбекистан) (табл. 4). Частицы мела в составе КГВ играют роль микронаполнителя и центров кристаллизации, которые способствуют ускорению гидратации алюминатов и образованию с ними различных соединений на начальных сроках твердения, а также повышают раннюю прочность и улучшают эксплуатационные характеристики затвердевшего гипсоцементного камня [5-7].

Таблица 4. Химический состав отхода цеха производства соды АО «Fargonaazot»

Вещество	SiO ₂	CaCO ₃	MgCO ₃
Содержание, %	2-4,2	85-88,7	2,4-2,5

Компонентный состав КГВ подбирали опытным путем так, чтобы концентрация СаО в водной суспензии смеси полуводного гипса, портландцемента и порошка микрокремнезема на пятые сутки не превышала 1,1 г/л, а на седьмые – не более 0,85 г/л.

В результате установлен оптимальный состав композиционного вяжущего: гипсовое вяжущее – 69, портландцемент – 15, тонкомолотые отходы магнитной сепарации – 15, мелсодержащий отход – 1.

Технология приготовления теста включала следующие операции: совместное перемешивание модификатора с гипсовым вяжущим в течение 3 мин; смешивание с необходимым объемом воды. Образцы испытывали после твердения в нормальных условиях в возрасте 28 суток. Характеристики образцов из смесей КГВ в зависимости от состава приведены в табл. 5.

Таблица 5. Характеристики образцов из смесей КГВ в зависимости от состава

№	Состав КГВ, %			В/Вяж	Расплав, м	Прочность на 28 суток, МПа		Кр	Морозост., циклы
	Г-5	Г-16	ММ			Изгиб	Сжатие		
1	61	8	31	0,50	0,150	5,4	18,2	0,76	45
2	56	13	31	0,50	0,150	6,2	18,8	0,76	45
3	51	18	31	0,50	0,145	6,4	19,4	0,82	45

4	46	23	31	0,50	0,145	9,2	21,6	0,87	50
5	35	35	31	0,50	0,180	8,2	17,8	0,82	45
6	61	8	31	0,45	0,120	8,6	19,6	0,84	50
7	56	13	31	0,45	0,110	9,2	20,0	0,84	50
8	51	18	31	0,45	0,125	9,8	21,8	0,86	55
9	46	23	31	0,45	0,120	10,6	25,2	0,88	60
10	35	35	31	0,45	0,160	8,8	18,4	0,84	50

С целью увеличения прочности гипсоцементного камня за счет более раннего структурообразования в проектируемом составе КГВ была использована смесь α - и β -полугидрата сульфата кальция (Г-5 и Г-16), количество которых определялось опытным путем (рис. 1) [7].

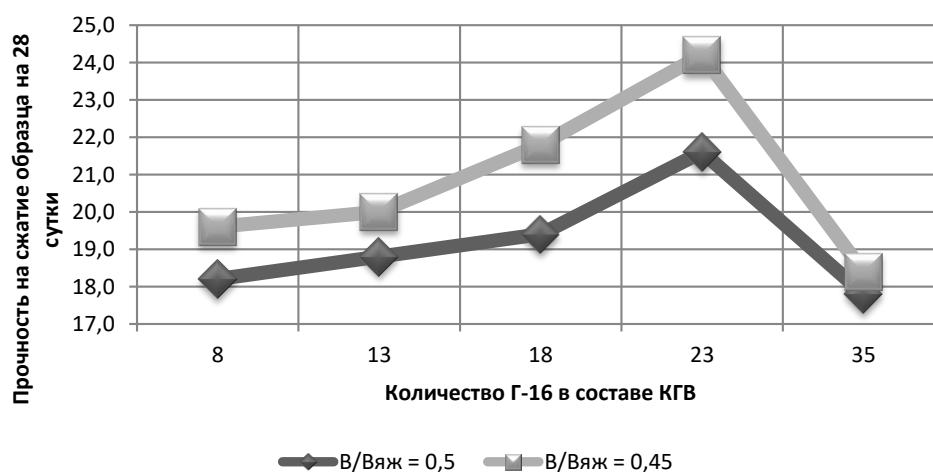


Рис. 1. Зависимость прочности КГВ от количества альфа-гипса

Результаты показали, что наибольшее увеличение прочности наблюдалось при содержании гипсового вяжущего 66 % Г-5 и 34 % Г-16 (рис.1). Данное соотношение компонентов было использовано для дальнейших испытаний.

Как видно из табл. 5, физико-механические показатели полученного из местного сырья КГВ соответствуют требованиям, предъявляемым к вяжущим для производства строительных материалов, изделий и конструкций: коэффициент водостойкости составляет 0,88 при прочности в 28 суточном возрасте до 25,2 МПа.

По сравнению с изготовлением керамического кирпича и схожих стеновых материалов из других вяжущих, в том числе портландцемента, производство кирпичей на основе полученного КГВ характеризуется рядом преимуществ:

- малый расход условного топлива и снижения энергозатрат за счет изготовления изделий без тепловой обработки;
- увеличение оборачиваемости формовочного оборудования в несколько раз;
- не требуется искусственная сушка изделий;
- снижение себестоимости за счет использования местного сырья и техногенных отходов с одновременным решением экологических проблем.

Таблица 6. Усредненные данные свойств различных сортов кирпича

Вид кирпича	Марка	Средняя ρ , кг/м ³	Теплопроводность, Вт/(м·С)	Водопоглощение, %	Мор-ть, циклы
Силикатный	M75-M300	1000-2200	0,5-1,3	12	15-50
Керамический полнотелый	M200-M300	2100	0,72	8	50-75
Керамический пустотелый	M125-M150	1100-1150	0,2-0,26	6-8	35
Гиперпрессованный	M50-M300	2200	0,9-1	6-7	25-200
Клинкерный	M400-M1000	1900-2100	1,16	6	50-100
Шамотный	M75-M500	1700-1900	0,6	15-30	15-50

Полнотелый из бетона на КГВ	M50-M75	1400-1700	0,52-0,7	4-6	50-75
-----------------------------	---------	-----------	----------	-----	-------

Как видно из табл. 6, полнотелый кирпич на основе КГВ при прочности 5-7,5 МПа имеет плотность 1400-1700 кг/м³ и минимальный вес, что делает его идеальным для частного строительства жилых домов и различных сельскохозяйственных построек.

Если принять за 100% энергозатраты на производство одного керамического кирпича, который сегодня является традиционным стеновым материалом, то сопоставимые затраты электроэнергии на производство стеновых камней такого же объема из бетона на основе КГВ составят 0,7% (табл. 7).

Таблица 7. Сопоставительные данные энергозатрат на производство одного кирпича из разных материалов

Вид стенового материала	Энергозатраты, кВт ч	Энергозатраты, %
Керамический кирпич	96,31	100
Силикатный кирпич	15,58	16,2
Блоки стеновые из ячеистого бетона	14,65	15,2
Вибропрессованные бетонные стеновые камни	4,04	4,2
Камни стеновые из бетона на КГВ	0,67	0,7

По данным, приведенных в таблицах 6-7, видно, что использование чуть уступающего аналогам лишь по прочности прессованного кирпича из КГВ бетона в качестве стенового материала эффективнее по сравнению с другими кирпичами, так как производство не требует тепловой обработки после формования, при этом происходит снижение трудозатрат и экономия энергоресурсов, что сильно сказывается на себестоимости.

Сегодня, как и в других странах, в Узбекистане становится популярным «зеленое» строительство, которое будет диктовать совершенно новые требования к качеству жизни населения и организации окружающей среды. В последних постановлениях Президента Республики Узбекистан неоднократно делается акцент на энергоэффективность производимой продукции. С 2019 г. Узбекистан начал поэтапный переход от производства энергозатратных строительных материалов к альтернативным энергоэффективным видам продукции, таким образом, в строительной отрасли в ближайшем будущем будут применяться более «дружелюбные» аналоги керамического кирпича, что принесет заметные выгоды для окружающей среды [7-8].

Список литературы / References

1. Дмитриев А.Н. «Управление энергосберегающими инновациями в строительстве зданий». М.: АСВ, 2000.
2. Gömze L.A., Gömze L.N., Kulkov N.S., Shabalın L.I., Gotman I., Pedraza F., Lecomte G.L., Mayorova T., Kurovics E., Hamza A. // Methods and equipment for the investigation of rheological properties of complex materials like convectional brick clays and ceramic reinforced composites // *Építőanyag: Journal of Silicate Based and Composite Materials*, 2015. Т. 67. № 4. С. 143-149.
3. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение). Справочник. Под ред. А.В. Ферронской. М. Изд-во АСВ, 2004. 488 с., с ил.
4. Статистический ежегодник регионов Узбекистана // Статистический сборник Государственного комитета Республики Узбекистан по статистике. Ташкент, 2020.
5. Игамбердиев Б.Г. Влияние наполнителей из техногенных отходов на свойства гипсовых вяжущих // *Проблемы Науки*, 2017. № 33 (115).
6. Shaumarov S., Adilkhodjaev A., Kondrazhenko V. Experimental research of structural organization of heat-insulating structural building materials for energy efficient buildings // *E3S Web of Conferences. EDP Sciences*, 2019. Т. 97. С. 02009.
7. Лесовик В.С. Гипсовые вяжущие материалы и изделия / В.С. Лесовик, С.А. Погорелов, В.В. Строкова. Белгород, 2000. 224 с.
8. Постановление Президента Республики Узбекистан от 4 октября 2019 года № ПП-4477.
9. Постановление Президента Республики Узбекистан от 23 мая 2019 года № ПП-4335.