

УДК 552.521:691.3

Мацапулин В.У., Тотурбиев А.Б., Черкашин В.И.

ГЛИНИСТЫЕ СЛАНЦЫ - ЭФФЕКТИВНОЕ МИНЕРАЛЬНОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Matsapulin V.U., Toturbiev A.B., Cherkashin V.I.

CLAY SLATES – EFFECTIVE MINERAL RAW MATERIALS FOR PRO- DUCTION OF CONSTRUCTION MATERIALS

В статье дан краткий анализ эффективности использования нерудного сырья, в основном глинистых сланцев, имеющих стабильно высокий спрос и невысокую себестоимость в производстве строительных материалов. Приведены результаты экспериментальных исследований получения многофункционального низкообжигового насыпного керамического материала из глинистых сланцев.

Ключевые слова: *нерудное сырье, сланцы, вяжущее, теплоизоляция, низкообжиговый, минеральные добавки.*

This paper gives a brief analysis of the use efficiency of non-metallic materials, mainly shale, which are in great demand and have a low cost in production of building materials. The results of experimental studies of production of the multi-functional low-calcination bulk ceramic material from shale are presented.

Key words: *non-metallic materials, slates, astringent, insulation, low-calcination, mineral additives.*

Введение. Нерудные полезные ископаемые играют значительную роль в экономике любой страны, определяющие масштабное многоцелевое использование их в производстве промышленной и сельскохозяйственной продукции, при создании наукоемких технологий и получении конструкционных материалов, композитов, специальной керамики [1,6]. В России имеются фактически неограниченные запасы нерудных ископаемых для развития мощной строительной индустрии. Республика Дагестан также обладает большими запасами нерудного минерального сырья: известняков, мергелей, аргиллитов, цеолитсодержащих пород, гравия, песка, природного гипса, глин, глинистых сланцев и др., что может являться предпосылками устойчивого и положительного развития строительного комплекса Дагестана [7]. Сырьевая база для производства строительных материалов практически неисчерпаема. Из многих видов нерудного сырья получают самые различные строительные материалы, которые используются в промышленности и строительстве, в естествен-

ном виде или после механической, термической или химической обработки. Разнообразие состава и свойств минералов нерудного сырья предопределяет комплексный характер их использования.

Постановка задачи. В свое время Народным Собранием РД принята Стратегия социально-экономического развития Дагестана до 2025 года, которая предполагает качественно иной экономический рост. Для достижения указанной цели необходимым является реализация инвестиционных проектов в промышленности, АПК, транспорте, а также в строительстве. В этих проектах отрасль строительства является ведущей поскольку на данный момент реализуются проекты по созданию в Республике Дагестан комплекса производства строительных материалов (предполагается выпуск газобетонных блоков и плит, фиброцементных плит, керамического кирпича, железобетонных конструкций), а также по добыче и переработке гипсового камня (производство гипсовых вяжущих, гипсокартона, сухих строительных смесей, пазогребневых плит и блоков). Планируется строительство завода по производству агломератной плитки.

Таким образом, бурный рост промышленности строительных материалов и темпов роста строительства требует разработки научных основ прогнозирования и системного обеспечения комплексного освоения и длительной эффективной переработки и эксплуатации нерудных полезных ископаемых с учетом рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды. При этом ужесточившиеся в последний период экологические требования требуют пересмотра всей производственной цепочки: от добычи ресурсов для производства стройматериалов до организации процесса строительства на площадке.

Методы исследования. В этой связи в Институте геологии ДНЦ РАН проводятся научно-исследовательские работы по комплексному использованию минерального сырья республики с целью получения строительных материалов различного функционального назначения [2-5]. В частности, исследуются сланцы для использования их в производстве строительных материалов [4,7].

Наиболее крупные месторождения глинистых сланцев в России известны на Кавказе и Урале. Сланцы - горные породы, характеризующиеся почти параллельным расположением входящих в их состав вытянутых или пластинчатых минералов и обладающие способностью раскалываться на тонкие пластинки. По степени регионального метаморфизма среди сланцев выделяются две большие группы: глубоко метаморфизованные - кристаллические сланцы и слабо метаморфизованные горные породы - глинистые сланцы.

Сланцы кристаллические сложены темноокрашенными минералами, полевым шпатом и кварцем. Используются в качестве стройматериалов и огнеупорного сырья. Такой сланец может иметь коричневый, красный, бордовый, зеленый, серый, черный оттенок. Использование кристаллического сланца в строительстве насчитывает много столетий. Его используют для создания кровли, укладки полов и стен, облицовки зданий и сооружений. Сланец иде-

ально подходит для создания классический интерьеров, его с успехом можно использовать и для современного дизайна. Благодаря особенностям его структуры этот природный камень применяют для облицовки стен и кровли. Известность его, как природного материала очень широка. Устойчивость минерала к негативному влиянию окружающей среды из-за его повышенной плотности и структуры, разнообразие его оттенков, делает сланец идеальным материалом облицовочных и кровельных работ.

Глинистый сланец – это глинистая порода сланцеватого сложения имеющая темно-серый и черный оттенок. Наиболее редкими считаются красноватые или зеленоватые цвета. В естественном виде его используют в качестве кровельного, облицовочного и стенового материала. Уникальные свойства глинистых сланцев обуславливают их использование в керамической промышленности в качестве сырья многоцелевого назначения, обладающих способностью при соответствующей термической обработке увеличиваться в объеме в 3-8 раз, что имеет большое значение в получении керамзита и изготовления на его основе прочного керамзитобетона. Глинистые сланцы являются гораздо более дешевым природным сырьем для производства керамических материалов. Глинистые сланцы являются хорошим сырьем в производстве портландцемента. Основой для производства почти всех известных видов строительных материалов могут служить так называемые горелые породы – пустые породы, обожженные при подземных пожарах или при самовозгорании терриконов.

Широкий спектр возможного использования глинистых сланцев в строительной индустрии predetermined наши работы в области изготовления новых строительных материалов на их основе. Однако учитывая возможность радиационного загрязнения различных компонентов, нами была предпринята предосторожность, и с этой целью был проведен радиационный анализ глинистого сланца, в результате которого установлено, что в указанном исходном материале содержание естественных радионуклидов, выраженной величиной удельной эффективной активности, не превышает порогового значения в 370 Бк/кг. Данный материал по классификации РКСМ относится по виду использования к 1 классу (использование без ограничений), имеется сертификат РКСМ. Далее приведены результаты исследований результаты которых позволяют сделать вывод о возможности использования глинистых сланцев для производства новых строительных материалов.

Результаты эксперимента и их обсуждение. Используемый глинистый сланец Дагестана представляет собой смесь глинистых минералов: хлорита, гидрослюдистого образования, полевых шпатов, гидрооксидов железа и кристаллического кварца. Химический состав глинистого сланца приведен в таблице 1, откуда следует, что исходный материал в основном содержит оксиды кремния, алюминия и железа, а оксиды кальция и магния представлены в незначительном количестве. Потери при прокаливании (9,67 %), видимо, определяются дегидратацией глинистых минералов, а также выгоранием органики. В наших исследованиях глинистые сланцы изначально рассматривались

как компонент получения низкообжигового керамического материала для изготовления насыпного теплоизоляционного материала, заменяющий керамзитовый песок.

Таблица 1 - Химический состав глинистого сланца

	Химический состав, %									
	п.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
Исходный сланец	9,67	52,8	20,18	9,60	0,69	2,98	1,68	0,32	1,62	0,8

Примечание: п.п.п. - потери при прокаливании

С этой целью свежедобытый глинистый сланец, состав которого приведен в табл. 1, складывался в гряды, где он длительное время подвергался атмосферному воздействию, что способствовало разрыхлению и разрушению его природной структуры. В результате камнеподобная глина измельчалась до фракции с крупностью зерен от 0,14 до 70 мм. Затем измельченная камнеподобная глина подвергалась термоудару во вращающейся печи в интервале температур 700 - 800°C с последующей выдержкой в течение 20 - 30 мин. При таком режиме термообработки происходило растрескивание и расщепление глинистого сланца на множество зерен, лепестков и пластинок, что привело к уменьшению насыпной плотности керамического заполнителя. Здесь исключаются необходимые технологические процессы как при получении керамзитового песка: формование или механическое дробление для получения гранул или зерен определенной фракции, сушка, обжиг при высоких температурах, охлаждение. Это в свою очередь упрощает технологию получения керамического заполнителя.

Насыпная плотность керамического заполнителя, полученного из глинистого сланца по такой упрощенной технологии – 0,8-0,9 т/м³, что вполне может заменить функции керамзитового песка – насыпного теплоизоляционного материала. При этом разработанный низкообжиговый керамический заполнитель имеет шероховатую поверхность зерен, что будет способствовать хорошему сцеплению в композиционном материале.

Следующий этап наших исследований был направлен на использование обожженных глинистых сланцев в качестве активной минеральной добавки для приготовления известково-пуццоланового вяжущего, а также при помоле клинкера с получением портландцемента (до 20%), либо пуццоланового цемента (до 40% добавки).

Для предварительной оценки возможности приготовления из представленного материала активной минеральной добавки была проведена серия обжигов исходного сырья при температуре 550°C, 800°C и 1250°C. Выдержка минерала в обжиговой печи при заданной температуре была принята во всех режимах 1 час. Для получения сравнительной оценки гидравлической активности материала, полученного при каждом из обжигов, были изготовлены образцы из обожженного материала в виде кубиков размером 1х1х1 см.

Составы изготовленных образцов отличались по соотношению цемента и добавки соответственно 1:4 и 1:1 (табл. 2). Образцы изготавливались из це-

ментного теста (без песка). Формы с образцами выдерживались сутки во влажной среде, а затем расформовывались и помещались в ванну с водой. Испытания прочности на сжатие проводились на ручном прессе через 3, 7, 14, 21 и 28 суток.

Таблица 2 - Составы сухих смесей цементного камня

№ образца	Содержание компонентов, %			
	п/цемент	сланец (550°C)	сланец (800°C)	сланец (1250°C)
1	100	—	—	—
2	80	—	—	20
3	50	—	—	50
4	80	—	20	—
5	50	—	50	—
6	80	20	—	—
7	50	50	—	—

В каждом определении прочности образцов разрушению подвергались шесть кубиков. Результаты испытаний представлены в табл. 3.

Таблица 3 - Результаты физико-механических испытаний образцов цементного камня

№ Образца	В/Ц (%)	Прочность при сжатии, МПа				
		3 суток	7 суток	14 суток	21 сутки	28 суток
1	31	13.4	38.4	53.8	62.5	67.0
2	32	12.1	20.9	37.5	42.5	54.4
3	35	5.9	11.5	17.5	22.5	25.1
4	31	12.7	28.8	53.1	59.3	66.3
5	39	5.2	12.9	26.3	27.1	32.5
6	31	11.7	28.7	43.9	51.3	
7	37	6.4	15.8	22.8	26.9	

Из таблицы 3 следует, что наилучшие показатели по прочности показывают образец №4, изготовленный на основе добавки, обожжённой при температуре 800°C при соотношении добавки цемента 1:4. Близкие результаты показывает образец №6 обожжённый при температуре 550°C. Обжиг при температуре 1250°C (образец №2) приводит к ухудшению свойств испытываемых образцов.

Таким образом, результаты проведённых испытаний позволяют, сделать предварительный вывод о возможности получения активной минеральной добавки на базе глинистого сланца путём обжига его при температуре 550-800°C. Указанная добавка может быть использована при совместном помолё с портландцементом или портландцементным клинкером, в количестве не менее 20% по массе. Далее были изготовлены образцы цементного камня в состав которого входил компонент глинистого сланца, обожжённого при 800°C, и проведены испытания, где были определены параметры различных видов

вяжущих по стандартным методикам, в том числе с определением нормальной густоты, сроков схватывания, нормальной консистенции стандартных растворов состава 1:3. Кроме этого, уточнялась их активность, как при нормальном твердении, так и при тепловлажной обработке (ТВО) по режиму 2+3+6+2 ч. (соответственно продолжительность предварительного выдерживания, подъём температуры и остывание) при температуре изотермического прогрева 85-90°C.

Изготовлению вяжущих предшествовала соответствующая подготовка сырьевых материалов: предварительное измельчение извести и гипсового камня в щековой дробилке и предварительный помол портландцементного клинкера и обожжённого сланца в шаровой мельнице. Дисперсность полученной после одновременного помола крупки портландцементного клинкера соответствовала удельной поверхности около 2500 см²/г, обожжённого сланца – 4500-5000 см²/г, что подтверждало его высокую способность к размолу. Приготовление вяжущих осуществлялось в лабораторной мельнице совместным помолом компонентов. Продолжительность их помола корректировалось с учётом интенсифицирующего воздействия добавки С-3 и повышенной способностью к размолу обожжённого сланца и извести.

Испытания проводились с использованием алитового клинкера среднего минералогического состава, гипсового камня (двуводный сульфат кальция), полуводного (строительного) гипса и извести. Данные по вещественному составу вяжущих, значения их удельной поверхности и показатели плотности приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Вещественный состав, параметры получения и плотность вяжущих веществ на основе обожжённого сланца (700-800°C)

Вид вяжущего	Составы вяжущих веществ (содержание компонентов), масс. %						S _{уд} (см ² /г)	Насыпная плотность (кг/м ³)	Плотность (г/см ³)
	Клинкер	Гипс двуводный	Известь	Гипс полуводный	Обожжённый сланец	С-3			
Портланд-цемент (контроль)	100,0	5,0	–	–	–	–	2450	1030	3,06
ППЦ-50	50,0	2,5	–	–	50,0	–	7660	906	2,83
ВНВ-50	50,0	2,5	–	–	50,0	1,0	8450	940	2,86
Известково-пуццолановое вяжущее	–	–	25,0	5,0	75,0	2,0	9980	810	2,58

Полученные результаты показывают, что наименьшими показателями плотности характеризуется известковое вяжущее, что соответствует более низкой плотности его компонентов – извести и сланца.

Результаты определения стандартных характеристик полученных вяжущих приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Характеристики вяжущих веществ на основе обожженного (700-800°C) глинистого сланца при испытании по ГОСТ 311-76 ...ГОСТ 310.3-76, ГОСТ 310.4-81

Вид вяжущего	$S_{уд}$ (см ² /г)	Нормальная густота (%)	Сроки схватывания, (ч-мин)		В/Ц раствора	Распływ конуса (мм)	R, МПа (изгиб, сжатие) в воздухе 1 сут.	
			начало	конец			Норм тверд.	ТВО
Портланд-цемент (контроль)	2450	24,3	4-45	7-20	0,40	105	2,4/6,7	5,1/26,5
ППЦ-50	7660	36,0	2-35	3-15	0,49	105	-/6,8	5,5/22,6
ВНВ-50	8450	28,5	2-20	2-55	0,41	110	1,7/8,9	6,4/34,5
Известковое бесклнкерное вяжущее	9980	33,0	2-45	5-05	0,45	107	-/1,8	5,0/19,7

Откуда следует, что водопотребность вяжущего, содержащего обожженный сланец (нормальная густота 28,5-36%), существенно превышает водопотребность контрольного портландцемента (24,3%). Здесь, пуццолановый портландцемент - ППЦ-50 (36%) отличается более высокой водопотребностью, несколько меньшей (33%) известково-пуццоланового вяжущего.

Наименьшее значение нормальной густоты (28,5%) характерно для вяжущего низкой водопотребности - (ВНВ-50), что отличается наиболее сокращёнными сроками схватывания. Причём ускоренное структурообразование теста на ВНВ-50 является косвенным показателем интенсивности твердения вяжущего. Наиболее длительными сроками схватывания обладает известковое вяжущее, структурообразование которого на ранней стадии в значительной степени определяется гидратацией полуводного гипса, количество которого сравнительно невелико. Водопотребность растворов нормальной консистенции в целом соответствует водопотребности теста различных вяжущих. В то же время следует отметить практически равную потребность растворов на портландцементе и ВНВ-50 несмотря на несколько повышенную нормальную густоту последнего, что связано с особенностями реологических свойств бетонных и растворных смесей на основе вяжущих низкой водопотребности, а именно, их повышенной способностью к тиксотропному разжижению в условиях механических воздействий.

В возрасте одних суток, как нормального твердения, так и после ТВО, наибольшими прочностными характеристиками отличаются растворы на ВНВ-50. При нормальном твердении их прочность при сжатии составила 8,9 МПа после тепловлажностной обработки – 34,5 МПа, что на 30-33% выше соответствующих их значений прочности контрольных образцов на портландцементе. Прочность при сжатии образцов нормального твердения на ППЦ-50

практически не отличается от прочности контрольных образцов, а при использовании известково-пуццоланового вяжущего значения прочности почти в 4 раза ниже. При этом образцы нормального твердения как на ППЦ-50, так и на известковом вяжущем практически не имели прочности при изгибе.

В условиях тепловлажностной обработки гидратационные процессы в известковом вяжущем значительно интенсифицируются, а прочность составляет 19,7 МПа, уступая прочности контрольных образцов не более чем на 26%. Прочность пропаренных образцов на ППЦ – 50 была ниже контрольных на 15%. Во всех случаях использования вяжущих на основе сланцев пропаренные образцы не имели признаков деструктивных изменений (трещин, вспучивания поверхности), что подтверждает выражаемые сроками схватывания данные об их достаточно интенсивном структурообразовании в первые часы после водозатворения.

Вывод. Следует отметить, что данные расчёты проведены представив расчётную модель здания в виде одномассового консольного стержня с периодом собственных колебаний до усиления $T=0,6$ с. Продолжительность сейсмического воздействия, представленного в виде стационарного случайного процесса, принята равной 10 сек. Коэффициенты γ и μ приняты равными 1, а вероятность безотказности системы оценена по теории выбросов.

В результате комплексных научных исследований разработан низкообжиговый (500-800°C) многофункциональный керамический материал насыпной плотностью 0,8-0,9 т/м³, который может быть использован в качестве насыпного теплоизоляционного материала заменяющий керамзитовый песок; наполнителя для некоторых видов бетонов для изготовления крупных стеновых блоков, для бронирования рубероида; активной минеральной добавки для получения известково-пуццоланового вяжущего марки 200, портландцемента марки 400-500 (до 30-50%) при помоле клинкера, а также вяжущего низкой водопотребности ВНВ-50. Высокое содержание оксида железа даёт возможность использовать этот материал в молотом виде, как краситель (пигмент) и облицовочный материал в виде кирпича и керамических плиток для отделки наружных стеновых панелей и других поверхностей, как наполнитель для бронирования рубероида.

Библиографический список:

1. Думнов А.Д. Природно-ресурсный комплекс России: статистическая оценка 90-х годов//Вопросы статистики. М.: 2000. №5. С. 23-33.
2. Тотурбиев А.Б., Абдулаев М.А., Черкашин В.И., Тотурбиев Б.Д. Безобжиговый пенодиатомитовый теплоизоляционный материал на местном природном кремнистом сырье//Промышленное и гражданское строительство. М.: 2014. №3. С. 76-79.
3. Тотурбиев А.Б., Черкашин В.И., Мацапулин В.У., Б.Д Тотурбиев. Жаростойкий бетон на местном природном нанодисперсном кремнеземистом сырье//Бетон и железобетон. М.: 2013. № 6. С.2-5

4. Тотурбиев Б. Д. и др. Способ получения керамического заполнителя//Патент России № 2129105. 1995. Бюл. № 20.
5. Тотурбиев Б.Д. Черкашин В.И., Мантуров З.А., Тотурбиев А.Б. Композиция для получения теплоизоляционного материала//Патенты России: №2531079. 2014. Бюл. № 29; патент №2531078. 2014. Бюл. № 29; патент №2530935. 2014. Бюл. № 29.
6. Чантурия В.А. Прогрессивные технологии комплексной переработки минерального сырья//М.: Изд. дом «Руда и металлы», 2008, с. 5-52;
7. Черкашин В.И., Тотурбиев Б.Д. Глинистые сланцы - эффективное местное минеральное сырье для производства вяжущих//Труды Института геологии ДагНЦ РАН «Региональная геология и нефтегазоносность Кавказа», Научно-практическая конференция. Махачкала. 2012. С. 47-51.

УДК 624.011.1

Муселемов Х.М., Омаров А.О., Устарханов Т.О.

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТРЕХСЛОЙНОЙ БАЛКИ С УЧЕТОМ КРАЕВЫХ ЭФФЕКТОВ

Muselemov Kh.M., Omarov A.O., Ustarkhanov T.O.

THE CALCULATION OF STRESS-STRAIN STATE OF THREE-LAYER BEAM TAKING INTO ACCOUNT EDGE EFFECTS

Работа посвящена расчету напряженно-деформированного состояния (НДС) трехслойной балки (ТБ) с учетом краевых эффектов.

В данной статье получена система дифференциальных уравнений равновесия трехслойной балки. Для решения этих уравнений необходимо знать 12 граничных условий, которые зависят от условий опирания и нагружения исследуемых трехслойных балок. Данная система уравнений решается с помощью пакета прикладных программ математического моделирования «Maple 5.4». В результате решения данной системы получаем выражения для определения деформаций и напряжений всех компонент (несущих слоев и заполнителя) трехслойной балки в любой точке при заданных условиях крепления концов балки и нагружения.

Ключевые слова: граничные условия, трехслойная цилиндрическая оболочка, трехслойная балка, несущий слой.

The work is dedicated to the calculation of the stress-strain state (SSS) of the three-layer beam (TLB) subject to boundary effects.