

Министерство образования Республики Беларусь
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(Полоцкий государственный университет)

УДК 691.311: 666.914.5
Рег. № НИОКТР 20191245

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
Ю.П. Голубев
« » _____ 2019 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
«КОМПЛЕКСНЫЙ МОДИФИКАТОР ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО
НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНЫХ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ»
(заключительный)

Руководитель НИР
канд. техн. наук, доцент

Л.М. Парфёнова

Новополоцк, 2019

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель,
канд. техн. наук, доцент

_____ Л.М. Парфенова

Младший научный сотрудник
ОСНИ, аспирант

_____ А.С. Катульская
(ответственный исполнитель,
математическая обработка,
введение, основной раздел, заключение)

Нормоконтролер

_____ Л.В.Ищенко

РЕФЕРАТ

Отчет 51 с., 18 рис., 10 табл., 17 ист.

ГИПСОВОЕ ВЯЖУЩЕЕ. КОМПЛЕКСНЫЙ МОДИФИКАТОР. ШЛАМ ВОДОПОДГОТОВКИ. ЗОЛОШЛАКОВЫЕ ОТХОДЫ. КЕРАМЗИТОВАЯ ПЫЛЬ. БАЙПАСНАЯ ПЫЛЬ. ВОДОСТОЙКОСТЬ. ПРОЧНОСТЬ НА СЖАТИЕ. ПРОЧНОСТЬ НА ИЗГИБ.

Объект исследований: вторичные материальные ресурсы, гипсовое вяжущее

Цель работы: разработка комплексного модификатора гипсового вяжущего на основе вторичных материальных ресурсов.

Методы исследования: химический анализ шлама водоподготовки, дефеката сахарного производства, золошлаковых отходов, керамзитовой и байпасной пыли по ГОСТ 10538. Рентгеноструктурный анализ определен на рентгеновском дифрактометре типа D8 Advance Bruker AXS (Германия) с минимальным шагом сканирования – 0,001°. Микроструктура определялась на сканирующем электронном микроскопе типа JSM-5610 LV с системой химического анализа EDX JED-2201 (JEOL, Япония). Анализ распределения размеров частиц вторичных материальных ресурсов проводился на лазерном анализаторе размеров частиц Anallizette 22 Micro Tec (Германия).

Результаты работы: могут представлять интерес для дальнейшей коммерциализации среди предприятий малого и среднего бизнеса строительной отрасли в Республике Беларусь и за рубежом.

Степень внедрения: результаты исследования предполагается использовать для выполнения одной диссертационной работы, применять в учебном процессе в рамках лекционных, практических, лабораторных занятий, при написании курсовых и дипломных проектов, магистерских диссертаций.

Область применения: проведенные исследования будут востребованы при разработке ресурсо- и энергосберегающей технологии производства модифицированного гипсового вяжущего с использованием вторичных материальных ресурсов. Переработка шлама водоподготовки, золошлаковых отходов, дефеката сахарного производства, байпасной и керамзитовой пыли позволит решить проблему загрязнения окружающей среды, путем сокращения площадей, которые занимают данные отходы. Предлагаемая, энергосберегающая технология получения вяжущего позволит расширить сырьевую базу для производства материалов на основе гипсовых вяжущих и добиться снижения стоимости строительства.

Экономическая эффективность или значимость работы: представленные исследования направлены на развитие одного из наиболее перспективных направлений -

утилизация вторичных материальных ресурсов при производстве гипсовых вяжущих, благодаря чему может быть достигнуто снижение стоимости строительства, затрат энергоресурсов и капитальных вложений.

Прогнозные предложения о развитии объекта исследования: полученные, в ходе выполнения научно-исследовательской работы, результаты свидетельствуют о необходимости продолжения проведения исследований в этом направлении.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 МОДИФИКАТОРЫ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНЫХ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ	7
1.1 Применение шламов водоподготовки предприятий энергетики в качестве наполнителя гипсовых вяжущих	7
1.2 Применение золошлаковых отходов в производстве гипсовых вяжущих	10
1.3 Состав и свойства композиционных гипсовых вяжущих	12
2 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ	20
2.1 Характеристика используемых материалов	20
2.2 Методики проведения исследований	25
3 ВЛИЯНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ, ШЛАМА ВОДОПОДГОТОВКИ И СТЕКЛОСЕТКИ НА ПРОЧНОСТЬ И ВОДОСТОЙКОСТЬ ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО	28
4 ВЛИЯНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ И ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК НА ПЛОТНОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО	30
5 ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТА САХАРНОГО ДЕФЕКТА, ШЛАМА ВОДОПОДГОТОВКИ, БАЙПАСНОЙ И КЕРАМЗИТОВОЙ ПЫЛИ	32
6 ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКИ НА ФИЗИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО	37
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	40
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	42
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	

ВВЕДЕНИЕ

Настоящий отчет составлен по результатам исследований, выполненных в соответствии с научным заданием аспирантского гранта № ГБ 0819 "Комплексный модификатор гипсового вяжущего на основе вторичных материальных ресурсов".

Материалы и изделия из гипса на сегодняшний день одни из наиболее востребованных на строительном рынке. Высокий спрос на данные материалы объясняется следующими преимуществами: достаточной прочностью; хорошими тепло- и звукоизоляционными свойствами, пожаробезопасностью, сравнительно низкой плотностью; экономичностью и способствует поддержанию комфортного микроклимата в помещении. Однако, по сравнению с цементными составами, имеют и некоторые недостатки: низкая водостойкость, недостаточная морозостойкость материала, которые ограничивают область применения материалов и изделий из гипса условиями эксплуатации с относительной влажностью воздуха не более 60 %.

Неводостойкость гипса объясняется высокой растворимостью двуhydrата сульфата кальция, его высокой проницаемостью и расклинивающим действием молекул воды при проникновении в межкристаллические полости [1].

Повышение водостойкости может быть достигнуто путём модификации гипсовых вяжущих. Практический интерес представляют собой вторичные материальные ресурсы, содержащие карбонаты кальция, а именно, шлам водоподготовки, отход сахарного производства – дефекаг; золошлаковые отходы, байпасная пыль, содержащие в большом количестве оксиды кремния и алюминия. Использование этих отходов производства позволит снизить объёмы их хранения, а также улучшить экологическую ситуацию в промышленных регионах. Разработка на их основе комплексного модификатора гипсового вяжущего, обеспечивающего повышение физико-механических характеристик (сроков схватывания, прочности, водостойкости) является актуальной задачей.

1 МОДИФИКАТОРЫ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНЫХ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

1.1 Применение шламов водоподготовки предприятий энергетики в качестве наполнителя гипсового вяжущего

Одной из важных задач промышленности строительных материалов является обеспечение строительства эффективными, экологически чистыми материалами, которые изготавливаются с максимальным использованием сырья от местного производства и отходов этого производства. Значительный научный и практический интерес представляют шламовые отходы систем водоподготовки предприятий энергетики. Анализ химического и минералогического состава подобных отходов показал [2] возможность их активного использования в качестве сырьевой базы для получения строительных материалов.

Особую группу минеральных наполнителей, функционально предназначенных для регулирования сорбционных процессов в водовяжущих суспензиях, составляют шламы водоочистки, водоподготовки и водоумягчения. Согласно исследованиям [3] установлено, что средний радиус рассеивающих структур в шламах составляет от 40 до 50 нм. Полученные результаты позволяют отнести технологию образования шламов к нанопроцессам, а шламы – к нанодисперсным материалам техногенного происхождения.

Были проведены исследования [4], показывающие возможность использования шлама водоподготовки в составе гипсовых вяжущих как наполнителя, а также эффективность совместного применения шламов с химическими добавками модификаторами свойств вяжущих. В качестве химической добавки использовался модификатор «КМК–ОК», представляющий собой эфиры крахмала, оказывающие влияние на консистенцию растворов смесей, тиксотропность, устойчивость к водоотделению, липкость. Суперпластификатор-модификатор «КМК–ОК» производства ЗАО «Полицел» г. Владимир по ТУ 6 – 55 – 221 – 1396 – 95 используется в составе штукатурок, шпатлёвок, клеев, в качестве технологической добавки, снижающей липкость растворов смесей к инструменту обычно в комбинации с эфирами целлюлозы; совместим с большинством других добавок для сухих строительных смесей.

В состав композиции, содержащей оптимальное количество подготовленного шлама предочистки в количестве 14,7 % при тонкости помола 14,5 % по остатку на сите № 008, вводили добавку «КМК - ОК» в твердофазном состоянии в количестве 0,1 – 1 %. Анализ данных, полученных Р.Ш. Валеевым, И. Г. Шайхиевым [4] показал, что введение шлама в комплексе с пластификатором «КМК–ОК» в состав гипсовой композиции

повышает водопотребность гипсового вяжущего с 58% до 67% при использовании до 1% добавки. Одновременно наблюдается ускорение сроков схватывания гипсового теста при введении добавки в количестве до 0,5% и замедление схватывания при дальнейшем увеличении количества модификатора «КМК–ОК».

Проведённые исследования [5] показали целесообразность использования шламов предочистки в качестве наполнителя композиционного гипсового вяжущего при производстве сухих строительных смесей. Определено, что введение в состав строительного гипса шлама химводоподготовки в количестве 14,7% позволяет замедлить сроки схватывания гипсовой композиции с 8 до 30 мин., сохранить прочность на уровне контрольного состава, а также повысить коэффициент размягчения с 0,3 до 0,39 – 0,4.

С целью модификации физико-технических свойств полученного композиционного гипсового вяжущего проведено [5] дополнительное изучение возможности утилизации шлама предочистки как наполнителя вяжущего в присутствии химической добавки – суперпластификатора – С-3. Определено, что рациональным количеством добавки С-3 в составе гипсового вяжущего, модифицированного утилизируемым шламом, является концентрация 0,5% от массы вяжущего.

Авторами [6] изучено применение шлама водоподготовки как наполнителя вяжущего совместно с химической добавкой суперпластификатором Melfux 1641F. Введение шлама водоподготовки позволяет замедлить схватывание гипсового теста с 36 мин. до 58 мин. при введении до 0,5% добавки суперпластификатора. Установлено [6], что использование исследуемого шлама водоподготовки в составе гипсового вяжущего совместно с химической добавкой суперпластификатора позволяет снизить водопотребность гипсового вяжущего и замедлить сроки схватывания композиционного гипсового теста, а также повысить прочность и водостойкость гипсового камня.

В результате исследований А.П. Платонова [7] показано, что по функциональному назначению шлам химводоподготовки ТЭЦ может быть рекомендован в качестве сырья при производстве вяжущих веществ, так как содержит в большом количестве соединения на основе кальция. Для повышения реакционной способности шлама перед химической нейтрализацией рекомендуется проводить механоактивацию осадка путём его помола в шаровой мельнице. Отмечается, что при механоактивации происходит процесс усреднения частиц шлама по зерновому составу. Это позволяет исключить стадию разделения частиц шлама по размерам, так как от степени дисперсности зависит кинетика и эффективность реакций нейтрализации.

Положительные результаты исследований [8] продемонстрировали возможность использования шламов водоочистки в качестве наполнителя композиционного гипсового

вяжущего при производстве сухих строительных смесей. С целью модификации полученного композиционного гипсового вяжущего выполнено исследование утилизации шлама водоочистки в составе гипсового вяжущего в присутствии минерального наполнителя – опоки.

В работе [9] предложено использовать в качестве модификаторов свойств гипсовых вяжущих различные минеральные добавки природного и техногенного происхождения: болотную железную руду, известняк и карбонатсодержащую добавку из шлама водоумягчения. В качестве химических добавок использовались добавки различного функционального назначения: суперпластификатор С-3, «Реламикс», «Дефомикс», «Динамикс», пластифицирующая добавка с противоморозным эффектом С-ЗМ-15. Установлено [9], что при введении карбонатсодержащей добавки, болотной железной руды происходит регулирование сроков схватывания гипсового вяжущего, наблюдается увеличение прочности и водостойкости. Применение комплексного модификатора на основе добавок природного и техногенного сырья в сочетании с пластифицирующими добавками в количестве от 0,1 до 0,5% приводит к снижению водопотребности вяжущего, а также повышению прочности до 25%.

Колесниковой И.В. была установлена возможность [10] использовать в качестве замедлителя схватывания лимонную кислоту за счёт повышения её функциональной эффективности посредством модификации диспергированием в среде карбонатного наполнителя. При снижении объемного расширения твердеющего раствора повышается адгезия гипсовой смеси к основанию. Указано, что объемные деформации зависят от вида и дисперсности применяемого наполнителя. Впервые были получены данные о более эффективном уменьшении объемного расширения (с 0,2 до 0,12%) и снижении динамики деформационных процессов при введении карбонатного наполнителя в сравнении с кварцевым. Такая особенность при введении карбонатного наполнителя объясняется повышением дисперсности новообразований за счет возникновения между ними стерических препятствий, как результата гетерокоагуляционных процессов между зернами гипса и зернами наполнителя. Установлено, что при повышении дисперсности карбонатного наполнителя (для соотношения вяжущее:наполнитель 50:50) с 100-200 мкм до 1-50 мкм характерна тенденция к снижению объемного расширения твердеющего раствора с 0,15 до 0,11%.

Каклюгин А.В. в своей работе [11] разработал составы гипсового вяжущего для производства прессованных стеновых изделий, обладающих высокой прочностью и водостойкостью. Если в качестве наполнителя использовать тонкодисперсный карбонат кальция формовочную смесь затворять водными растворами однозамещённых фосфатов,

имеющих кислую среду, образование СаНР х2 О будет происходить в результате химических реакций как между добавкой и гипсом, так и между добавкой и карбонатом кальция. Протекающие при этом химические превращения приводят к некоторому замедлению схватывания строительного гипса, что является желательным при прессовании смесей с низкими водогипсовыми отношениями. В результате значительная часть как вяжущего, так и наполнителя экранируется фазовыми плёнками из труднорастворимых фосфатов кальция, что изменяет характер их контактирования и должно способствовать повышению прочности и водостойкости прессованного материала.

Соколовой Ю.А. получено гипсовое вяжущее [12] способом дробления гипсового сырья и смешивания его с высушенной модифицирующей добавкой – шламом водоумягчения ТЭЦ. Введение в качестве модификатора карбонатсодержащего шлама водоумягчения позволяет замедлить сроки схватывания гипсового вяжущего, начало сроков схватывания увеличилось с 19 до 33 минут, а окончание сроков схватывания с 21 до 35 минут. Оптимальным количеством добавки является 5 – 15% от массы гипсового вяжущего.

Показана возможность [13] применения шламовых отходов ТЭЦ как наполнителя композиционного гипсового вяжущего при производстве сухих строительных смесей. Введение добавки в количестве 14,7% от массы вяжущего позволяет увеличить наступление начала и конца сроков схватывания до 22 минут, прочность гипсового камня при этом не изменяется, а коэффициент размягчения составляет 0,4%.

1.2 Применение золошлаковых отходов в производстве гипсовых вяжущих

Золошлаковые отходы ТЭЦ использовались в качестве активной минеральной добавки в составе композиционного гипсового вяжущего. Введение минеральных добавок в гипсоцементные композиции позволяет влиять на этапы твердения и способствовать изменению конечных свойств материалов. Способностью к непосредственному взаимодействию с водой топливные золы и шлаки, как правило, не обладают. В то же время, аморфные компоненты зол и шлаков обладают пуццолановой активностью, т.е. способностью при обычных температурах связывать гидрат окиси кальция с образованием нерастворимых соединений. Более значительная роль в этом принадлежит минералогическим показателям.

В работе [14] было предложено использовать в качестве активных минеральных добавок в составе комплексного гипсового вяжущего промышленные отходы (золу-уноса

и шлак Грозненской ТЭЦ Чеченской Республики). Зола-уноса – сухой тонкодисперсный продукт пылеулавливания, образующийся на тепловых электростанциях при сжигании углей (антрацита, тощего каменного угля, каменного угля, бурого угля).

В проведённых исследованиях [15] в качестве активных минеральных добавок применялась керамзитовая пыль и зола ТЭС. Керамзитовая пыль представляет тонкодисперсный продукт отсева при производстве керамзитового гравия. Зола является продуктом сжигания топлива на тепловой электростанции. В результате исследований были получены положительные результаты по применению керамзитовой пыли и золы в качестве активных минеральных добавок в смешанных вяжущих веществах повышенной водостойкости. При этом решались как технологические, так и экологические задачи. Так, использование керамзитовой пыли и золы ТЭС в составе гипсоцементно-пущоцолановых вяжущих веществ (КЦПВ) позволило повысить водостойкость изделий на их основе с 0, 35...0, 38 до 0, 46...0, 51, а также рекомендовать эти отходы в качестве техногенного сырья.

По результатам исследований С.Ю. Муртазаева и Н.В. Чернышёвой [16] установлено, что с учётом неоднородного состава и особенностей переработки золошлаковых смесей, одним из рациональных способов использования вторичных ресурсов является их введение в состав мелкозернистого бетона в качестве тонкодисперсного наполнителя совместно с химическими модификаторами. Введение золошлаковых отходов в гипсоцементные композиции для регулирования процессов твердения и способствования изменению конечных свойств материалов показало, что их гидравлическая активность является наиболее важным свойством, которое обуславливает применение золошлаковых отходов в составе вяжущих веществ и бетонов на их основе. Увеличение удельной поверхности данных отходов повышает реакционную способность минералов, способствуя устранению условий образования и накопления этtringита за счёт связывания гидроксида кальция активированным кремнезёмом и уменьшения количества алюминатных составляющих вследствие ускоренной гидратации портландцемента, что обуславливает повышение прочности и долговечности сформировавшейся структуры затвердевших гипсосодержащих вяжущих с золошлаковым наполнителем и бетонов на их основе.

Качественно новый уровень свойств материалов, обеспечивают композиционные гипсовые вяжущие низкой водопотребности (КГВ), полученное в работе [5]. КГВ представляют собой гомогенную смесь любого гипсового вяжущего с гидравлическим компонентом, предварительно получаемым совместной активацией портландцемента, кремнеземистой добавки и суперпластификатора. Этот гидравлический компонент является органоминеральным модификатором (ОММ) гипсовых вяжущих. В состав ОММ

входят: кремнеземистая минеральная добавка, в качестве которой можно использовать золу-унос, керамическую пыль, отходы производства кирпича и других керамических изделий, стеклянный бой, мелкий кварцевый песок, микрокремнезем, кремнегель, отработанный силикагель и другие материалы; портландцемент любой разновидности марок 400-500; известь, сухую пластифицирующую добавку (суперпластификаторы на основе нафталинсульфокислот или карбоксилатов, лигносульфонаты технические). Отмечается [5], что варьируя составом, компонентами и дисперсностью, можно получать ОММ, предназначенный для изготовления композиционных вяжущих для различных условий применения.

Разработана [17] рецептура водостойких гипсовых вяжущих с использованием золошлаковых смесей. Золошлаковые отходы ТЭЦ использовались в качестве активной минеральной добавки в составе композиционного гипсового вяжущего. Рекомендовано применять следующий состав композиционного вяжущего (% по массе): гипсовое вяжущее – 70, портландцемент – 20, шлак – 10. Установлено [17], быстрый набор прочности системы осуществляется за счёт синтеза крупных кристаллов двуводного гипса, а дальнейшая гидратация клинкерных минералов обеспечивает за счёт создания малорастворимых новообразований в ранее созданной структуре затвердевшего гипсового вяжущего повышение его водостойкости.

1.3 Состав и свойства композиционных гипсовых вяжущих

Увеличить номенклатуру выпускаемых строительных материалов на основе гипсовых вяжущих возможно при применении комплексных модификаторов. Основой такой добавки может являться известково-кальциевый материал – дефекат, образующийся в процессе очистки диффузионного сока известью. Авторами [18] предложено использовать дефекат, модифицированный термическим способом для производства композиционных строительных материалов на основе гипсовых вяжущих. Введение дефеката, который термически активируется, в количестве 5% от массы гипсового вяжущего позволяет увеличить прочностные характеристики гипсовых композиционных материалов в 2,3 раза.

Гипсовые композиционные материалы имеют потенциальную возможность более существенного повышения прочностных свойств за счет структурирования межфазных слоев на границе нанодисперсный модификатор – минеральная матрица. Исходя из основных положений синергетики дисперсно-наполненных композитов в граничном слое по поверхности нанодисперсных добавок наблюдается образование ориентационно структурированной оболочки. Это способствует сближению отдельных частиц

композиционных материалов, их взаимодействию между собой, в результате чего в зазорах между частицами происходит формирование пленочной структуры матрицы, обеспечивая возрастание прочности, повышение водостойкости и долговечности композита.

В качестве одного из эффективных методов направленного регулирования структуры и свойств гипсовых композиций в работе было предложено комплексное применение отечественных химических добавок и минеральных наполнителей различной природы. Были изучены физико-химические основы их рационального выбора с учетом функционального назначения. Исследовано влияние вида пластифицирующих добавок, способов их подготовки и применения на структуру и свойства композиционных гипсовых вяжущих. Установлено положительное влияние отечественных пластификаторов С-3, «Дефомикс», «Реламикс», «Линамикс», С-3М-15 и ПФМ-НЛК на технологические и эксплуатационные свойства гипсовых композиций, в том числе в присутствии минеральных наполнителей (болотная железная руда, карбонатсодержащая добавка, бинарные системы на их основе). Рациональное количество добавок «Дефомикс», «Реламикс», «Линамикс», С-3М-15 и ПФМ-НЛК составляет 0,1% от массы вяжущего, суперпластификатора С-3 – 0,5%. При этом прочность гипсового камня повышается на 20-25%, улучшаются показатели его плотности и водостойкости.

На примере суперпластификатора С-3 было показано [19], что применение пластифицирующих добавок в наполненных гипсовых композициях позволяет повысить прочность гипсового камня на 10-25%, при этом увеличив степень наполнения до 15% при использовании болотной железной руды и известняка, до 20% в случае введения руды и цеолитсодержащей породы, до 21 и 25% при модификации вяжущего рудой и кварцевым песком (исходным и отмытым соответственно).

Авторами [20] было получено многофазовое гипсовое вяжущее, приготовленное из строительного гипса и ангидритового вяжущего, полученного обжигом гипсового камня в муфельной печи при 750°C в течение 2 часов. Для определения влияния способа оценки нормальной плотности на прочность был заформован состав многофазового гипсового вяжущего с содержанием 70% гипсового вяжущего и 30% ангидрита с нормальной плотностью, определенной различными способами.

Сравнивая результаты измерения прочности гипсового вяжущего и МГВ на его основе, был сделан вывод о том, что многофазовое гипсовое вяжущее с содержанием более 50% ангидрита имеют прочность ниже, чем гипсовое вяжущее. Многофазовое гипсовое вяжущее, большую часть которого составляет ангидрит, гидратируется очень медленно и не имеет высокой прочности. Возможно, это связано с тем, что количество

полугидрата сульфата кальция не достаточно для активации ангидрита и требуется применение ускорителей твердения. Многофазовое гипсовое вяжущее с содержанием ангидрита от 10% до 50% обладает более низкой нормальной плотностью, длинными сроками схватывания и более высокой прочностью, чем гипсовое вяжущее.

Заикиной А.С. в работе [21] обоснована возможность создания эффективных штукатурных растворов на основе гипсовых вяжущих путем модификации их органоминеральным модификатором, получаемым совместной механо-химической активацией специально подобранной смеси портландцемента, кремнеземистых и химических добавок, при твердении которых образуются стабильные, водонерастворимые, цементирующие гидратные новообразования, формирующие структуру, которая обеспечивает высокие показатели эксплуатационных свойств. Установлено, что на водопотребность в большей степени оказывает влияние содержание модификатора, а на среднюю плотность раствора и растворной смеси – содержание заполнителя. Прочностные характеристики раствора зависят от расхода вяжущего, от компонентного состава модификатора, его количества в вяжущем и при этом увеличение крупности заполнителя положительно влияет на прочностные характеристики. Установлено, что водостойкость в основном зависит от количества органоминерального модификатора и его состава.

Предложен способ получения [22] синтетического гипса путем серноокислотного разложения доломита, что позволяет получать таким образом малоэнергоёмкие высококачественные мономинеральные и полиминеральные (многофазовые) гипсовые вяжущие. Это обеспечит не только импортозамещение природного гипса и гипсовых вяжущих, но и послужит базой для создания линейки новых перспективных строительных материалов на их основе. Установлена взаимосвязь в ряду «параметры синтеза – структура – свойства» гипсовых вяжущих, полученных конверсией двухводного гипса, образующегося при серноокислотном разложении доломита, оптимизация режима его синтеза (вододоломитовое отношение 3:1, концентрация серной кислоты 22-24%, температура синтеза 65-75°C, прямой порядок сливания реагентов, введение в реакционную среду инициаторов кристаллизации), что обеспечивает получение гипсовых вяжущих с заданными размерами. Разработаны физико-химические основы низкотемпературного структурно-управляемого синтеза (100-105°C) моно- и полиминеральных гипсовых вяжущих, осуществляемого конверсией дигидрата сульфата кальция в растворе сульфата магния с получением целевого продукта. При получении порошкообразного синтетического гипса и его последующей автоклавной обработке происходит повышение прочности гипсового вяжущего.

Решение проблемы повышения физико-технических свойств гипсовых материалов и изделий может быть осуществлено созданием кристаллогидратных новообразований повышенной плотности и прочности за счёт использования различных наномодификаторов. Войтовичем Е.В. [23] предложено в составе композиционного гипсового вяжущего применять наноструктурированный кремнеземный компонент. В результате повышается прочность до 40 %, уменьшается водопоглощение и незначительно повышается плотность. На основе данного композиционного вяжущего, которое позволяет получить изделия с улучшенными эксплуатационными свойствами, предложено выпускать пазогребневые плиты.

Выполненные в работе [24] исследования по установлению влияния ультрадисперсных добавок на структуру и свойства ангидритовых композиций показали, что с увеличением содержания добавок происходит монотонное повышение механических характеристик композиционного материала. При использовании ультрадисперсных порошков повышается прочность ангидритовой композиции, увеличивается водостойкость на 20 – 60% в зависимости от вида ультрадисперсной добавки, снижается водопоглощение с 12,7 до 10,4 %.

Для получения гипсовых материалов и изделий с улучшенными свойствами широко используются минеральные добавки и наполнители. Среди них вызывает интерес использование микро- и нановолокон для армирования гипсового камня, отмечается их положительное влияние на физико-механические, а также эксплуатационные свойства изделий. Установлено [25] повышение прочности гипсового материала за счёт введения в состав сырьевой смеси таких волокнистых материалов, как стекловолокно, базальтовые и полимерные волокна в сочетании с различными добавками.

Разработана топологическая модель структурообразования гипсовых композиций [26] и на ее основе предложен двухстадийный механизм твердения систем из двухводного и полуводного гипса в условиях полусухого прессования. Структурообразование обеспечивается сближением частиц за счет внешнего давления и введения вяжущего, необходимого для создания определенного пересыщения по отношению к двухводному гипсу и образования связей между частицами дигидрата. Возможность твердения гипсовой системы на основе дигидрата сульфата кальция подтверждена экспериментально, показано влияние двухводного гипса на формирование первичной структуры и кинетику упрочнения материала во времени.

Оптимальное значение водотвердого отношения зависит от параметров прессования, характеристик и соотношения компонентов сырьевой смеси. С увеличением долевого содержания гипсового вяжущего в составе смеси при прочих равных условиях

значение оптимальной влажности возрастает, что объясняется высокой активностью гипсового вяжущего и более высокой, чем у двуводного гипса, удельной поверхностью. Для состава смеси 80 : 20 (гипс : гипсовое вяжущее) и давления прессования 20 МПа оптимальное водотвердое отношение составляет 0,18, что соответствует влажности смеси 15 %.

Важным свойством гипса является скорость схватывания. В большинстве случаев быстрое схватывание является положительным свойством гипсовых вяжущих, однако иногда оно нежелательно. Для регулирования сроков схватывания (ускорения и замедления) в гипс при затворении вводят различные добавки [27]. Поверхностно-активные добавки замедляют твердение строительного гипса, а электролиты ускоряют процесс твердения. Также на скорость твердения влияют тонкость помола и температура твердения.

В большинстве случаев модификация строительного гипса возможна благодаря применению современных химических добавок, которые в достаточном объёме представлены на рынке. Их использование не требует больших капитальных вложений в переоборудование существующих технологических линий.

В ходе исследовательской работы [27] было изучено влияние химических добавок на свойства строительного гипса. Применялись пластифицирующие и гидрофобизирующие добавки. При использовании суперпластификатора водопотребность гипсового теста уменьшается. Регулируются начало и конец схватывания, плотность, прочностные характеристики и водостойкость. При использовании гидрофобизирующей жидкости водопотребность возросла на 2 – 3%, но прочность при изгибе увеличилась на 50%, а при сжатии – на 60%. Водопоглощение уменьшилось в 8 раз. Коэффициент размягчения повысился на 12%.

В работе Нарышкиной М.Б. [28] был получен керамзитобетон на основе композиционного гипсового вяжущего, полученного путём совместного помола активной кремнезёмсодержащей добавки, портландцемента и суперпластификатора. Разработан оптимальный состав композиционного гипсового вяжущего, мас. %: гипсовое вяжущее (50 – 70), портландцемент (10 – 20), кремнеземистая добавка (10 – 30). В качестве кремнеземистой добавки использовались высокодисперсные наполнители – перлит, опока, глауконитовый песок, а также промышленные отходы, получаемые тонким измельчением исходных компонентов. Предел прочности композиционного гипсового вяжущего на сжатие составил 24 МПа, а коэффициент размягчения – 0,78.

Рассмотрена возможность использования цитрогипса – шламового отхода производства лимонной кислоты [29] в составе гипсовых вяжущих. Вяжущее было

получено путём дегидратации суспензии цитрогипса в условиях автоклавной обработки при температуре 130° С в течение 2 часов. Для модификации свойств применяли полиакриломид, который вводили в количестве 2,5 и 10% от массы цитрогипса. Введение полиакриломиды способствовало увеличению сроков схватывания гипсового вяжущего, расслоению смеси со значительным водоотделением. Прочность на сжатие при этом увеличилась на 31,3%.

Козлов Н.В. и Панченко А.И. получили материал [30], который отличается повышенными прочностными характеристиками и водостойкостью за счёт введения в состав гипсового вяжущего добавки на основе микрокремнезёма, карбидного ила и пластифицирующей добавки. Улучшение характеристик полученного вяжущего обусловлено снижением пористости структуры затвердевшего гипсового вяжущего, а также образованию малорастворимых низкоосновных гидросиликатов кальция, которые увеличили гидрофобность затвердевшего гипсового вяжущего.

Исследовалась возможность комплексного использования микрокремнезёма, который образовался в процессе газоочистки печей при выплавке кремниевых сплавов, в сочетании с углеродными нанотрубками в качестве модификаторов свойств гипсовых вяжущих. Установлено [31], что оптимальной концентрацией многослойных нанотрубок является 0,006% от массы гипса, а микрокремнезёма – 25% от массы портландцемента. Прочностные характеристики при введении такого рода добавок увеличиваются на 42%. Такой результат связан формированием гидросиликатных новообразований, которые блокируют поверхность кристаллогидратов гипса и одновременно увеличивают общую площадь контактов между ними, что вызвано при взаимодействии микрокремнезёма и цемента с нанодисперсными добавками.

Предложено использовать в качестве добавки для повышения водостойкости композиционного вяжущего отход мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов [32]. Анализ микроструктуры образцов затвердевшего гипсового вяжущего показал, что использование данного вида кремнезёмной добавки приводит к синтезу плотной и прочной структуры за счёт увеличения содержания низкоосновных гидросиликатов кальция, уменьшения оксидов кальция, а также устранения роста высокоосновных гидроалюминатов кальция и этtringита. Прочность на сжатие при такой структуре гипсового камня составила 22 МПа, а коэффициент размягчения - 0,78.

Тихомиров Б.И. и Коршунов В.И. предложил использовать добавку – отход сахарного производства (дефекат) и эфир целлюлозы в состав строительных смесей [33]. Дефекат, который на 70% состоит из мелкодисперсного известняка с размером зёрен 30 – 40 микрон вводили в качестве замедлителя сроков схватывания гипсовых смесей, а эфир

целлюлозы в качестве водоудерживающей добавки. Предварительно дефекат перед перемешиванием термоактивировали при температуре от 114 до 260°C в течение 4 часов.

Композиционные гипсовые вяжущие содержат в своём составе пластифицирующие добавки А.Р. Гайфуллиным и Р.З. Рахимовым проводились исследования [34] по изучению влияния пластифицирующих добавок на сроки схватывания гипсового теста. При введении суперпластификатора MELMENT F15G в количестве 1,5% от массы гипсового вяжущего происходит замедление начала и конца сроков схватывания гипсового теста, на – 1 мин. 50 с. и 4 мин. соответственно.

В работе [35] для проведения исследований по установлению сроков схватывания гипсового теста гипсовый камень предварительно измельчали в шаровой мельнице до удельной поверхности 340 м²/кг и обжигали при температуре от 180°C до 400°C. Установлено [35], что для свежееобожженного вяжущего с добавлением пластифицирующих добавок, полученного при температуре 250 °С сроки схватывания замедляются до 14 – 18 минут. При исследовании фазового состава гипсовых вяжущих был установлен [36] переход растворимого ангидрита в полугидрат сульфата кальция в процессе хранения вяжущих. При таком переходе наблюдается замедление сроков схватывания гипсового теста и снижение его нормальной густоты. Существенное увеличение сроков схватывания до 10 минут наблюдалось у вяжущих, которые хранились в течение 1 суток.

Исследовались физические свойства многофазового гипсового вяжущего [37], полученного из строительного гипса и ангидритового вяжущего, полученного обжигом гипсового камня в муфельной печи при 750 °С в течение 2 часов. Гипсовое вяжущее имело короткие сроки схватывания, начало – 5 минут, конец – 9 минут. Отмечается, что процесс гидратации ангидритового вяжущего происходит медленно, поэтому для ускорения его гидратации в состав нерастворимого ангидрита необходимо вводить растворимый ангидрит для активации. При введении в состав многофазового гипсового вяжущего ангидрита начало сроков схватывания увеличилось с 5 до 14 минут, а конец сроков схватывания с 9 до 28 минут.

Ш.К. Торпищев в своей работе [38] исследовал влияние порошкообразного замедлителя схватывания на основе глюнита, модифицированного добавкой кремний органического состава на сроки схватывания смесей для транспортирования по трубопроводам на основе гипсовых вяжущих. Установлено [38], что при введении добавки в количестве 0, 05% от массы гипсового вяжущего начало сроков схватывания

высокопрочного гипса увеличивается на 16 минут, а при исследовании свойств смешанного гипсоцементного вяжущего на – 5,3 минуты.

Разработан [39] способ получения гипсового вяжущего, который включает дегидратацию гипса и перемешивание его с добавкой-дефекатом, который является отходом сахарного производства. Дефекат предварительно активируют при нагревании до температуры 400 °С. Добавку вводили в количестве 5 – 50% от массы гипсового вяжущего. Такая обработка дефеката позволяет регулировать наступление начала и конца сроков схватывания гипсового вяжущего. Начало сроков схватывания замедляется с 23 до 140 минут, конец сроков схватывания увеличивается на 143 минуты по сравнению с бездобавочным составом.

2 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Характеристика используемых материалов

Для проведения исследований применялся гипс строительный «Тайфун Мастер» № 35 марки Г – 5 III А производства ООО «Тайфун», удовлетворяющий требованиям 125 - 79 [40] и обладающий физико-механическими характеристиками, представленными в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Физико-механические свойства гипса строительного

Тонкость помола, %	Нормальная густота, %	Сроки схватывания, мин		Предел прочности в возрасте 2 ч, МПа		Марка гипса
		начало	конец	при сжатии	при изгибе	
2	52,6	6	15	2,9	5,2	Г – 5 III А

В качестве модификатора свойств гипсового вяжущего использовался шлам водоподготовки Новополоцкой ТЭЦ. Химический состав шлама водоподготовки представлен в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Химический состав шлама водоподготовки шлама водоподготовки, (%)

CaO		MgO	Si
92,85	0,78	4,82	1,55

При увеличении 1000 крат частицы шлама водоподготовки имеют рыхло-зернистую структуру (рис. 2.1).

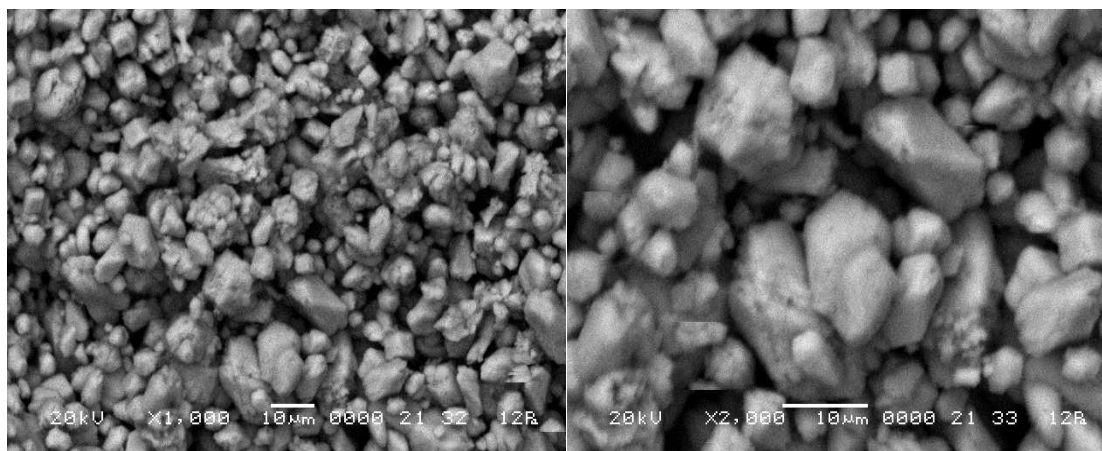


Рисунок 2.1 – Электронная микроскопия частиц шлама водоподготовки при увеличении 1000 крат (а) и увеличении 2000 крат (б)

Размер частиц шлама водоподготовки приведен в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Размер частиц шлама водоподготовки, мкм

Содержание фракции, %			
Размер частиц, мкм			
□5	10	50	90
0,741	3,067	10,1	25,291

В качестве модификатора рассматривался дефекат Слуцкого сахарорафинадного комбината, химический анализ которого представлен в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Химический состав дефеката Слуцкого сахарорафинадного комбината, (%)

CaO	MgO		Si
81,1	4,63	0,99	8,84

Дефекат сахарного производства имеет рыхло-зернистую структуру при увеличении 1000 крат.

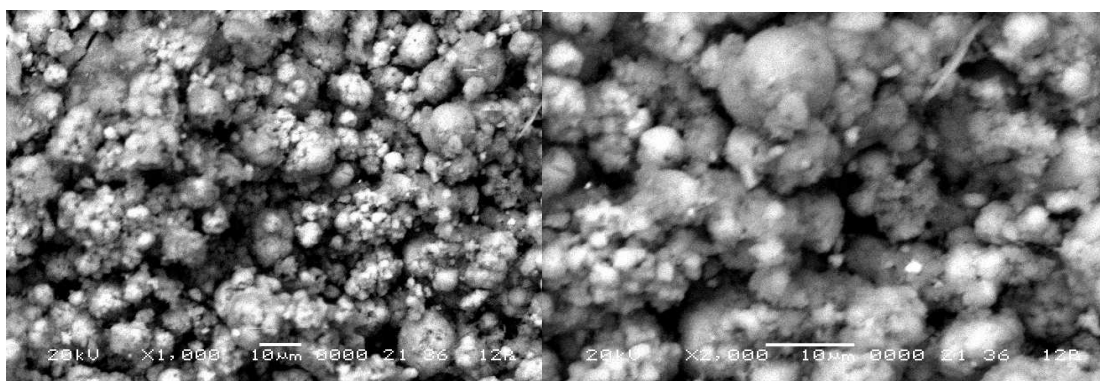


Рисунок 2.2 – Электронная микроскопия частиц дефеката сахарного производства при увеличении 1000 крат (а) и увеличении 2000 крат (б)

Размер частиц дефеката сахарного производства приведен в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Размер частиц дефеката сахарного производства, мкм

Содержание фракции, %			
Размер частиц, мкм			
□5	10	50	90
2,175	6,5	20,857	59,422

В качестве модификатора использовалась байпасная пыль ОАО «Кричевцементношифер», химический анализ байпасной пыли представлен в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Химический состав байпасной пыли ОАО «Кричевцементношифер», (%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	K ₂ O	SO ₃
14,26	3,16	5,02	70,17	3,31	4,56

Байпасная пыль имеет пористую структуру, пронизанную микротрещинами (рис. 2.3).

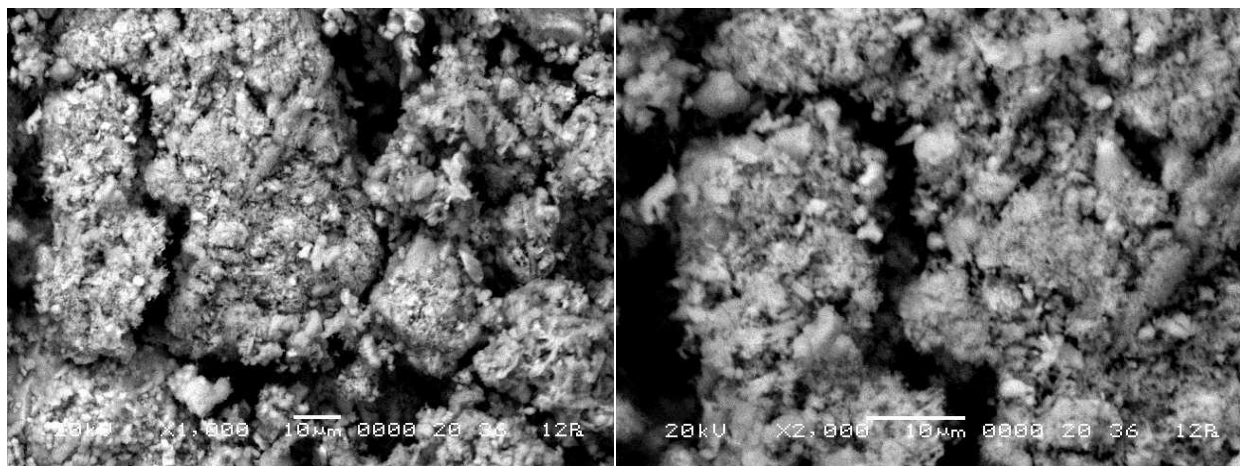


Рисунок 2.3 – Электронная микроскопия частиц байпасной пыли при увеличении 1000 крат (а) и увеличении 2000 крат (б)

Размер частиц байпасной пыли приведен в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Размер частиц байпасной пыли, мкм

Содержание фракции, %			
Размер частиц, мкм			
□5	10	50	90
1,754	4,491	39,082	71,446

В качестве модификатора использовалась керамзитовая пыль ОАО «Завод керамзитового гравия» г.Новолукомль, химический анализ керамзитовой пыли представлен в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Химический состав керамзитовой пыли ОАО «Завод керамзитового гравия» г.Новолукомль, (%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	CuO	SO ₃
50,54	16,18	11,38	9,34	4,91	1,19	3,67	1,92	0,87

Керамзитовая пыль имеет пористую структуру, пронизанную микротрещинами (рис. 2.4).

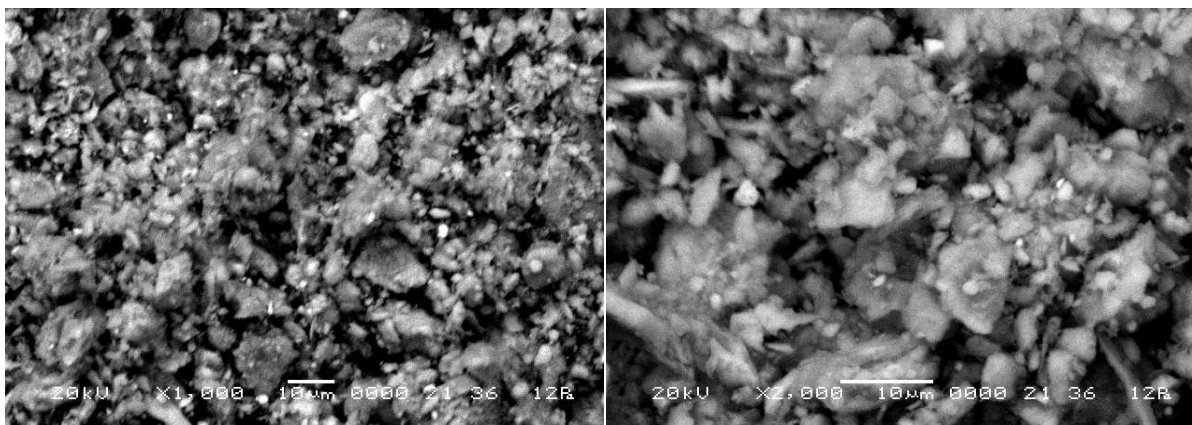


Рисунок 2.4 – Электронная микроскопия частиц керамзитовой пыли при увеличении 1000 крат (а) и увеличении 2000 крат (б)

Размер частиц керамзитовой пыли приведен в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Размер частиц керамзитовой пыли, мкм

Содержание фракции, %			
Размер частиц, мкм			
□5	10	50	90
0,73	1,199	5,789	16,829

Для проведения экспериментальных исследований применялась золошлаковая смесь Белорусской ГРЭС г.п. Ореховск Витебской области, образующаяся при сжигании топливной смеси из 50% древесной щепы и 50 % торфа. Химический состав золошлаковой смеси по ГОСТ 10538-87 [41] представлен в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Химический состав золошлаковой смеси Белорусской ГРЭС (мас.%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	ппп
87.62	4.39	1.08	3.08	0.55	0.61	1.79	0.24	0.19	<0.10	0.07

Микросферы необработанной золы представляют собой спекшиеся стекловидные алюмосиликатные образования правильной сферической формы с гладкой поверхностью (рис. 2.5).

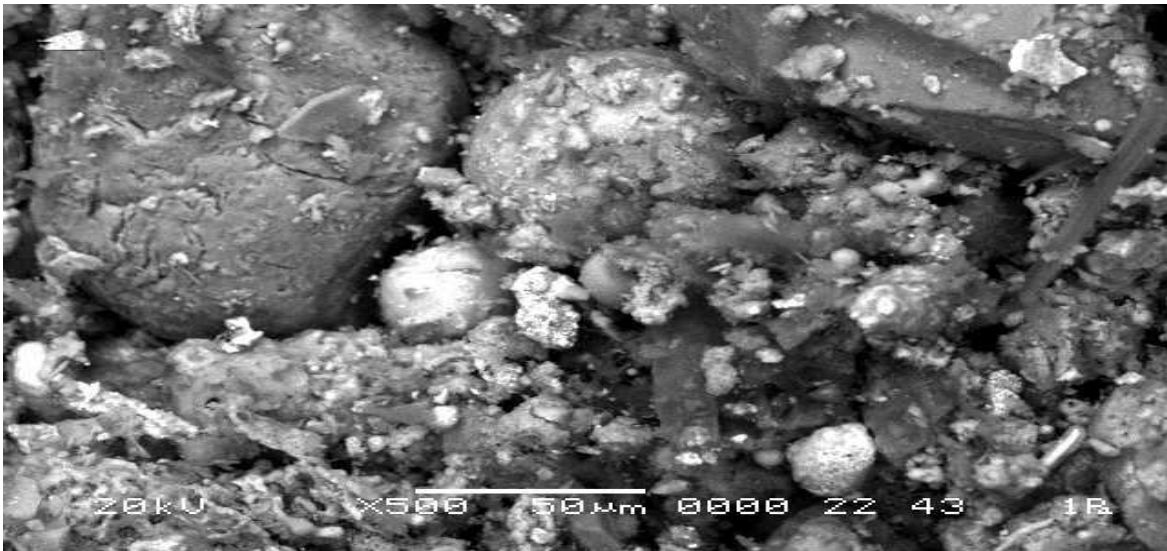


Рисунок 2.5 – Электронная микроскопия частиц золошлаковой смеси при увеличении 500 крат

В качестве армирующей добавки использовался отход производства стеклотетки ОАО «Полоцк - Стекловолокно» - обрезки щелочестойкой стеклотетки ССШ – 160 (100) – 1800/1800. Основные характеристики щелочестойкой стеклотетки представлены в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Основные характеристики щелочестойкой стеклотетки

Размер сечения, мм	Номинальная масса, г/ м ²	Разрывная нагрузка, Н	Химическая устойчивость
20x25	160	1800	Высокая

В качестве химической добавки использовался суперпластификатор «Стахемент 2000М Ж30». Основные характеристики суперпластификатора «Стахемент 2000М Ж30» приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Основные характеристики суперпластификатора «Стахемент 2000М Ж30»

Наименование показателя	Единицы измерения	Значение
Срок годности	мес.	12
Массовая доля (сухих веществ)	%	30
Плотность	кг/ м ³	1075
Показатель концентрации водородных ионов, рН	при 20°С	6

В качестве химической добавки использовалась также акриловая эмульсия «Acrylic 1200». Основные характеристики акриловой эмульсии «Acrylic 1200» представлены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Основные характеристики акриловой эмульсии «Acrylic 1200»

Наименование показателя	Единицы измерения	Значение
Массовая доля (сухих веществ)	%	49 - 51
Плотность	кг/ м ³	1060
Показатель концентрации водородных ионов, рН	при 20°С	7 – 8,5

2.2 Методики проведения исследований

Рентгеноструктурный анализ шлама водоподготовки, дефеката сахарного производства, байпасной, керамзитовой пыли и образцов гипсового камня с добавкой из вторичных материальных ресурсов проводился на рентгеновском дифрактометре типа D 8 Advance Bruker AXS (Германия). Результаты рентгеноструктурного анализа приведены в Приложении 1.

Изучение микроструктуры и химического состава шлама водоподготовки, дефеката сахарного производства, золошлаковых отходов, байпасной и керамзитовой пыли проводился на сканирующем электронном микроскопе JSM-5610 LV с системой химического анализа EDX JED-2201 (JEOL, Япония).

Размер частиц шлама водоподготовки, дефеката, байпасной и керамзитовой пыли определялся при помощи метода лазерной дифракции на принципе рассеяния электромагнитных волн на лазерном дифрактометре гранулометрического состава вещества фирмы Fritsch (Analysette 22 Micro Tec) (Германия).

Для проведения экспериментов шлам высушивали в сушильном шкафу марки «SNOL 58/350» в течение 5 часов до постоянной массы при температуре 110 °С. Высушенный шлам после охлаждения размалывали в барабанной лабораторной мельнице марки МБЛ и просеивали на механических ситах марки СМ. Использовалась фракция шлама, прошедшая через сито № 008. Величину истинной плотности шлама водоподготовки определяли по ГОСТ 8735[42] и она составила 2170 кг/ . Насыпная плотность соответствует СТБ ЕН 1097-3 [43] и составляла 780 кг/ . Шлам водоподготовки вводили в количестве 5,10 и 15% от массы вяжущего вещества.

Для проведения исследований дефекат модифицировали путём термоактивации при температуре 200°С в режиме мягкого нагрева и термоудара [18]. При мягком нагреве

дефекат помещали в холодный сушильный шкаф марки «SNOL 58/350» и нагревали до заданной температуры, выдерживали в течение 1 часа и охлаждали. При режиме «термоудар» дефекат помещали в сушильный шкаф марки «SNOL 58/350», предварительно нагретый до заданной температуры, выдерживали в течение 1 часа затем охлаждали. Термоактивированный дефекат просеивали на механических ситах марки СМ. Использовалась фракция дефеката, прошедшая через сито № 02. Для проведения исследований дефекат растворяли при перемешивании в воде, после чего засыпали весь объём гипса. Фильтрационный осадок вводили в количестве 5, 10, 15% от массы вяжущего вещества.

Байпасную пыль просеивали на механических ситах марки СМ. Использовалась фракция пыли, прошедшая через сито № 008. Модификатор вводили в количестве 5, 10, 15% от массы вяжущего.

Керамзитовую пыль просеивали на механических ситах марки СМ. Использовалась фракция пыли, прошедшая через сито № 008. Модификатор вводили в количестве 5, 10, 15% от массы вяжущего.

Золошлаковую смесь высушивали при температуре 120°C. В экспериментах использовалась фракция, прошедшая через сито № 008.

Химические добавки в виде суперпластификатора «Стахемент 2000М Ж30», а также акриловую эмульсию вводили в количестве 0,1% от массы гипса. Суперпластификаторы в жидком виде вводились в воду затворения и перемешивались до полного растворения.

Для затворения растворной смеси использовалась водопроводная вода, которая соответствовала требованиям СТБ 1114 [44].

Для оценки физико-механических показателей гипсовых вяжущих формовались образцы-балочки размером 4x4x16 см.

Испытание образцов-балочек проводилось через 2 часа после формования в соответствии с ГОСТ 23789 [45]. После 2 часов выдерживания образцов в условиях комнатной влажности определялась прочность образцов-балочек на прессе гидравлическом марки ПГМ - 500 МГ 4А. Образцы-балочки, модифицированные байпасной пылью, шламом водоподготовки и дефекатом сахарного производства, выдерживались в нормальных условиях при температуре 20 ± 2 °С и относительной влажностью воздуха $95\pm 5\%$ в течение 7 и 28 суток после чего определялась их прочность.

Коэффициент размягчения определялся также на образцах- балочках после выдерживания их в воде в течение 2 суток. Коэффициент размягчения гипсового камня

рассчитывался как отношение прочности образца после водопоглощения к прочности сухого образца.

3 ВЛИЯНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ, ШЛАМА ВОДОПОДГОТОВКИ И СТЕКЛОСЕТКИ НА ПЛОТНОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ

Проверка эффективности использования шлама водоподготовки Новополоцкой ТЭЦ, золошлаковых отходов «Белорусской ГРЭС», а также армирующей добавки в виде отходов стеклосетки проводилась согласно требованиям ГОСТ 23789 [45]. Результаты проведённых исследований представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Физико-механические свойства модифицированного гипсового вяжущего

Номер состава	Состав	Плотность, кг/	Прочность (2 часа), МПа (%)	
			на изгиб	на сжатие
1	Контрольный	1765,6	2,9 (100)	5,2 (100)
2	С добавкой шлама	1695,3	3,3 (113,8)	7,7 (148,1)
3	С добавкой фибры	1691,4	4,7 (162,1)	6,4 (123,1)
4	С добавкой золы	1664,1	3,6 (124,1)	5,2 (100)
5	С добавкой шлама и фибры	1639,3	3,1 (106,9)	5,3 (101,9)
6	С добавкой золы и фибры	1614,6	3,1 (106,9)	5,9 (113,5)

Анализ полученных результатов позволяет установить, что введение шлама водоподготовки в количестве 5% приводит к увеличению прочности на изгиб и на сжатие. Прочность на изгиб увеличилась на 13,8% по сравнению с прочностью контрольного состава, прочность на сжатие - на 48,1%.

Армирование гипсового камня обрезками стеклосетки в количестве 5% от массы вяжущего увеличивает прочность на изгиб и на сжатие соответственно на 62,1% и 23,1% по сравнению с контрольными образцами.

Анализ результатов исследований показал, что введение добавки золы приводит к увеличению прочности на изгиб на 24,1%, прочность на сжатие осталась на уровне контрольного образца.

Совместное введение в состав гипсового вяжущего шлама водоподготовки и обрезков стеклосетки (состав 5) в количестве 5% от массы вяжущего приводит к повышению прочности на изгиб на 6,9% и прочности на сжатие на 1,9% по сравнению с контрольным составом. Прочность гипсового вяжущего, которое содержало в своём составе в качестве модификатора золу и армировалось обрезками стеклосетки (состав 6)

увеличилась по сравнению с контрольным составом: прочность на изгиб – на 6,9%,
прочность на сжатие – на 13,5%.

4 ВЛИЯНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ И ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК НА ПЛОТНОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО

Проверка эффективности использования золошлаковых отходов «Белорусской ГРЭС», а также пластифицирующей добавки «Стахемент 2000М Ж30», «Acrylic 1200» проводилась в соответствии с требованиями ГОСТ 23789 [45]. Результаты проведённых исследований представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Физико-механические свойства модифицированного гипсового вяжущего

Номер состава	Модифицирующая добавка (% от массы вяжущего)	Сроки схватывания, мин.		Прочность (2 часа), МПа (%)				Коэффициент размягчения
		начало	окончание	на изгиб		на сжатие		
				в сухом состоянии	в водонасыщенном состоянии	в сухом состоянии	в водонасыщенном состоянии	
1	Без добавки (контрольный)	6	15	2,9 (100)	2,7 (100)	5,2 (100)	4,3 (100)	0,82
2	Зола(5%)	4	9	3,6 (124,1)	2,9 (107,4)	5,2 (100)	4,5 (104,6)	0,86
3	Стахемент 2000М Ж30 (0,1%)	6	13	3,1 (106,9)	2,4 (88,9)	6,0 (115,4)	4,7 (109,3)	0,90
4	Acrylic 1200 (0,1%)	3	17	4,2 (144,8)	3,9 (44,4)	7,4 (142,3)	5,2 (120,9)	1,0
5	Зола(5%) + Стахемент 2000М Ж30 (0,1%)	5	9	3,9 (134,5)	2,9 (107,4)	5,4 (103,8)	5,1 (118,6)	0,98
6	Зола(5%) + Acrylic1200 (0,1%)	4	11	3,6 (124,1)	2,6 (96,3)	5,6 (107,7)	5,5 (127,9)	1,1

Анализ полученных результатов показал, что введение суперпластификатора «Стахемент 2000М Ж30» в состав гипсового теста (состав 3) приводит к снижению коэффициента размягчения на 4,9%, при этом наблюдается уменьшение сроков

схватывания. Прочность образцов на изгиб до водопоглощения увеличилась на 6,9% по сравнению с прочностью контрольного состава 1, прочность на сжатие – на 15,4%.

Введение акриловой эмульсии «Acrylic 1200» (состав 4) увеличивает коэффициент размягчения на 9,8% по сравнению с контрольными образцами (состав 1), окончание сроков схватывания отодвигается на 2 минуты. Прочность на изгиб и на сжатие увеличивается соответственно на 44,8 и 42,3% по сравнению с контрольными образцами.

Модификация гипсового вяжущего золой и суперпластификатором «Стахемент 2000М Ж30» (состав 5) приводит к увеличению прочности гипсового камня на изгиб на 34,5%, прочности на сжатие – на 3,8%. Коэффициент размягчения образцов увеличился на 17,1% по сравнению с составом 1. Наблюдается сокращение сроков начала и окончания схватывания гипсового вяжущего вещества на 1 и 6 минут соответственно.

Был рассмотрен также вариант модификации гипсового вяжущего добавкой золы и акриловой эмульсии «Acrylic 1200» (состав 6). Данный комплексный модификатор обеспечил увеличение коэффициента размягчения на 19,5% по сравнению с контрольным составом, при этом сроки схватывания сократились. Прочность на сжатие увеличилась на 7,7%, прочность на изгиб – на 24,1%.

5 ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТА САХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА, ШЛАМА ВОДОПОДГОТОВКИ, БАЙПАСНОЙ И КЕРАМЗИТОВОЙ ПЫЛИ НА ФИЗИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ

Проверка эффективности использования шлама водоподготовки Новополоцкой ТЭЦ, дефекта Слуцкого сахарорафинадного комбината, а также байпасной пыли проводилась в соответствии с требованиями ГОСТ 23789 [45]. Результаты исследований по определению физических свойств модифицированного гипсового вяжущего приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Физические свойства модифицированного гипсового вяжущего

Но- мер сос- тава	Наименование модификатора	Содержа- ние модифи- катора, % от массы вяжущего вещества	Сроки схватывания, ч-мин		Плот- ность, кг/	Водо- погло- щение, %	Общая порис- тость, %
			начало	конец			
	1	2	3	4	5	6	7
1	Без модификатора	0	0-3	0-12	1625	4,9	7,9
2	Дефекат*	5	0-22	0-38	1472	11,9	17,5
3	Дефекат*	10	1-14	2-10	1441	8,0	11,5
4	Дефекат*	15	2-00	2-40	1484	7,6	11,3
5	Дефекат**	5	0-55	1-35	1484	14,4	21,4
6	Дефекат**	10	1-25	1-40	1535	6,3	9,7
7	Дефекат**	15	2-10	2-43	1324	5,5	7,3
8	Шлам	5	0-8	0-15	1695	3,8	6,4
9	Шлам	10	0-6	0-15	1616	4,6	7,4
10	Шлам	15	0-5	0-13	1676	4,2	7,0
11	Байпасная пыль	5	0-6	0-14	1631	10,2	16,6
12	Байпасная пыль	10	0-8	0-17	1597	14,6	23,3
13	Байпасная пыль	15	0-12	0-22	1455	11,7	17,0
14	Керамзитовая пыль	5	0-10	0-15	1674	3,6	6,0
15	Керамзитовая пыль	10	0-13	0-20	1632	4,0	6,5

Продолжение таблицы 5.1.							
16	Керамзитовая пыль	15	0-13	0-22	1598	3,8	6,1

Примечание: * - термоактивация дефеката в режиме мягкого нагрева;

** - термоактивация дефеката в режиме термоудара.

Анализ микроструктуры контрольного образца гипсового вяжущего без добавок (состав 1) показал, что гипс строительный кристаллизуется в форме призм (Рис. 5.1).

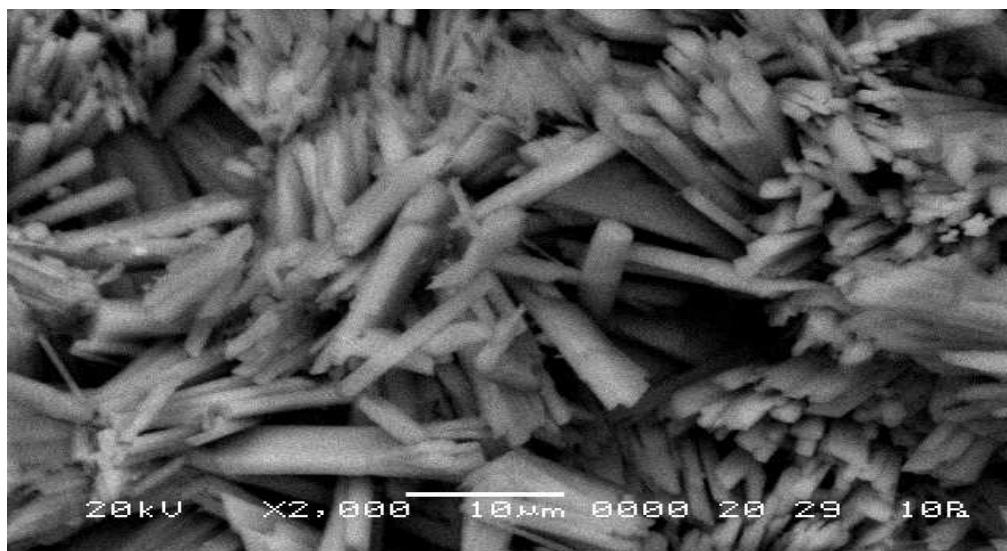


Рисунок 5.1 – Электронная микроскопия контрольного образца гипсового камня без добавок (увеличение 2000 крат)

Анализ полученных результатов позволяет установить, что при введении дефеката наступает отдаление сроков схватывания гипсового вяжущего. Так, при введении дефеката, модифицированного в режиме «мягкий нагрев», в количестве 15% от массы вяжущего вещества (состав 4), начало сроков схватывания наступает на 1 ч. 57 мин., конец сроков схватывания – на 2 ч. 28 мин. позже, чем у контрольного образца без модификатора. При введении дефеката в количестве 15% от массы вяжущего вещества (состав 7), активированного в режиме «термоудар», наступление начала и конца сроков схватывания отдалается на 2 ч. 7 мин. и 2 ч. 31 мин. соответственно по сравнению с контрольными образцами. При этом образцы данного состава характеризовались максимальным уменьшением плотности – на 18,5%, а показатели водопоглощения и общей пористости незначительно отличались от контрольных значений.

Снизить показатель водопоглощения позволило введение шлама водоподготовки. При введении шлама водоподготовки в количестве 5% от массы гипсового вяжущего (состав 8) позволило достичь снижения водопоглощения на 22,4% по сравнению с контрольными образцами. При введении шлама водоподготовки в количестве 10% и 15%

от массы гипсового вяжущего водопоглощение снижается на 6,1% и на 14,3% соответственно.

Анализ микроструктуры гипсового вяжущего, модифицированного шламом водоподготовки в количестве 5% показал, что образуются кристаллы волокнистой формы с их более плотной упаковкой по сравнению с контрольным образцом.



Рисунок 5.2 – Электронная микроскопия гипсового камня, модифицированного шламом водоподготовки (5% от массы вяжущего) при увеличении 500 крат (а) и 1000 крат (б)

Установлено, что при введении байпасной пыли в количестве 15% от массы гипсового вяжущего (состав 13) начало сроков схватывания наступает на 9 минут позже, чем у контрольных образцов, конец сроков схватывания – на 10 минут. Введение байпасной пыли в качестве модификатора не позволяет снизить водопоглощение гипсового камня, так при введении пыли в количестве 5% (состав 10) водопоглощение образцов увеличивается в 2 раза, при введении 10% пыли – в 3 раза и 15% - в 2,4 раза по сравнению с немодифицированными образцами.

Анализ микроструктуры гипсового камня, модифицированного байпасной пылью показал, что образуются кристаллы с более плотной упаковкой кристаллов.

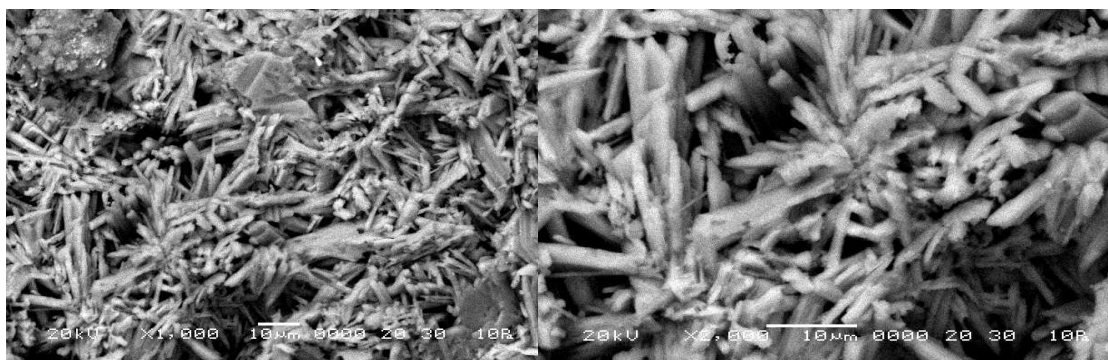


Рисунок 5.3 – Электронная микроскопия гипсового камня, модифицированного байпасной пылью (5% от массы вяжущего) при увеличении 1000 крат (а) и 2000 крат (б)

Установлено, что при введении керамзитовой пыли в количестве 5% (состав 14) от массы гипсового вяжущего позволяет снизить водопоглощение гипсового камня на 36%.

Анализ микроструктуры гипсового камня показал, что по сравнению с бездобавочным составом образцы гипсового камня имеют более связную и менее пористую структуру.

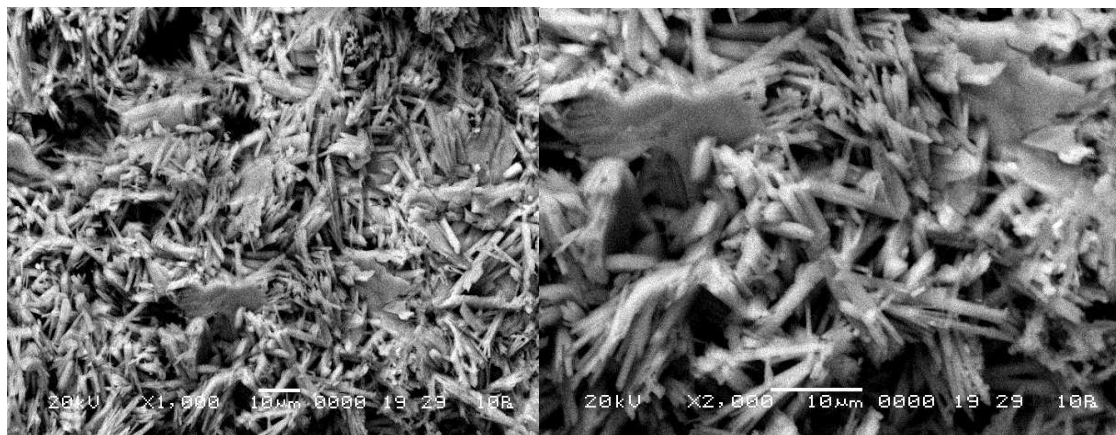


Рисунок 5.4 – Электронная микроскопия гипсового камня, модифицированного керамзитовой пылью (5% от массы вяжущего) при увеличении 1000 крат (а) и 2000 крат (б)

Результаты исследований по определению механических свойств модифицированного гипсового камня приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Механические свойства модифицированного гипсового вяжущего

Номер состава	Наименование модификатора	Содержание модификатора, % от массы вяжущего вещества	Прочность в возрасте 7 сут., МПа (%)		Прочность в возрасте 28 сут, МПа (%)	
			на изгиб	на сжатие	на изгиб	на сжатие
1	Без модификатора	0	2,9 (100)	4,8 (100)	3,2 (100)	7,2 (100)
2	Дефекат*	5	2,9 (100)	4,5 (93,8)	2,7 (84,4)	5,9 (81,9)
3	Дефекат*	10	1,8 (62,1)	2,2 (45,8)	2,5 (78,1)	4,2 (58,3)
4	Дефекат*	15	0,7 (24,1)	0,8 (16,7)	1,2 (37,5)	1,4 (19,4)
5	Дефекат**	5	2,2 (75,9)	2,5 (52,1)	3,5 (109,4)	4,1 (56,9)

Продолжение таблицы 5.2.						
6	Дефекат**	10	1,0 (34,5)	1,3 (27,1)	3,5 (109,4)	1,6 (22,2)
7	Дефекат**	15	0,9 (31,0)	0,5 (10,4)	1,4 (43,8)	1,2 (16,7)
8	Шлам	5	3,3 (113,8)	7,7 (160,4)	5,6 (175,0)	11,3 (156,9)
9	Шлам	10	3,1 (106,9)	6,2 (129,2)	5,3 (165,6)	10,5 (145,8)
10	Шлам	15	3,1(106,9)	6,0 (125,0)	3,1 (96,9)	10,2 (141,7)
11	Байпасная пыль	5	4,0 (137,9)	6,4 (133,3)	5,6 (175,0)	11,9 (165,3)
12	Байпасная пыль	10	3,4 (117,2)	6,5 (135,4)	3,6 (112,5)	11,1 (154,2)
13	Байпасная пыль	15	3,1 (106,9)	6,5 (135,4)	3,5 (109,4)	7,8 (108,3)
14	Керамзитовая пыль	5	3,5 (120,7)	7,1 (132,4)	5,9 (145,8)	12,1 (141,3)
15	Керамзитовая пыль	10	1,9 (47,4)	3,2 (66,7)	3,2 (100,0)	5,5 (76,4)
16	Керамзитовая пыль	15	1,8 (38,9)	2,8 (58,3)	3,1 (96,9)	4,8 (66,7)

*Примечание: * - термоактивация дефеката в режиме мягкого нагрева; ** - термоактивация дефеката в режиме термоудара.*

Анализ полученных данных показал, что при введении дефеката в количестве 5% и 10% (состав 5 и 6) при его активации в режиме «термоудар» прочность на изгиб в возрасте 28 суток увеличивается на 9,4% по сравнению с прочностью контрольных образцов. Введение шлама водоподготовки в качестве модификатора (состав 8) позволяет увеличить прочность на изгиб на 75% и прочность на сжатие - на 56,9% по сравнению с образцами без модификатора. При введении байпасной пыли в количестве 5% от массы вяжущего вещества (состав 11) прочность на изгиб и на сжатие увеличивается на 75% и 65,3% соответственно. Введение керамзитовой пыли в количестве 5% от массы гипсового вяжущего позволило увеличить прочность образцов на 32,4% в возрасте 7 суток по сравнению с контрольными образцами.

6 ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКИ НА ФИЗИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО

Исследования были направлены на изучение влияния совместного введения промышленных отходов при сочетании компонентов: байпасная пыль и дефекат, байпасная пыль и шлам водоподготовки, на физико-механические свойства гипсового вяжущего. Результаты исследований физических свойств гипсовых вяжущих, модифицированных комплексной добавкой представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Физические свойства гипсового вяжущего, модифицированного комплексной добавкой

Номер состава	Наименование модификатора	Содержание модификатора, % от массы вяжущего вещества	Сроки схватывания, ч-мин		Плотность, кг/	Водопоглощение, %	Общая пористость, %
			начало	конец			
1	Без модификатора	0	0-3	0-12	1625	4,9	7,9
2	Байпасная пыль+дефекат	5+5	0-19	0-59	1496	7,2	10,8
3	Байпасная пыль+дефекат	5+10	0-16	1-21	1559	4,1	6,4
4	Байпасная пыль+дефекат	5+15	0-19	1-48	1500	11,0	16,5
5	Байпасная пыль +шлам	5+5	0-10	0-15	1621	2,4	3,9
6	Байпасная пыль +шлам	5+10	0-6	0-13	1476	7,3	10,8
7	Байпасная пыль +шлам	5+15	0-12	0-16	1641	3,2	5,3

Результаты исследований показывают, что при введении байпасной пыли в сочетании с дефекатом (состав 3) водопоглощение гипсового вяжущего снижается на 16,3% по сравнению с контрольными образцами. При модификации гипсового вяжущего комплексной добавкой на основе пыли и шлама водоподготовки (состав 5 и состав 7) водопоглощение образцов снижается на 51 и 34,7% соответственно в сравнении с бездобавочным составом. Введение байпасной пыли в состав гипсового вяжущего в сочетании с дефекатом позволяет значительно отдалить наступление начала и конца сроков схватывания.

Результаты исследований по определению механических свойств гипсового камня, модифицированного комплексной добавкой представлены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Механические свойства гипсового камня, модифицированного комплексной добавкой

Номер состава	Наименование модификатора	Содержание модификатора, % от массы вяжущего вещества	Прочность в возрасте 7 сут., МПа (%)		Прочность в возрасте 28 сут, МПа (%)	
			на изгиб	на сжатие	на изгиб	на сжатие
1	Без модификатора	0	2,9 (100,0)	4,8 (100,0)	3,2 (100,0)	7,2 (100,0)
2	Байпасная пыль+дефекат	5+5	3,8 (123,7)	5,5 (112,7)	3,6 (111,1)	6,9 (95,8)
3	Байпасная пыль+дефекат	5+10	3,1 (106,5)	5,1 (105,9)	3,1 (96,8)	5,6 (77,8)
4	Байпасная пыль+дефекат	5+15	3,2 (109,4)	5,1 (105,9)	5,6 (142,8)	5,5 (76,4)
5	Байпасная пыль +шлам	5+5	3,8 (123,7)	5,7 (115,8)	3,1 (96,8)	5,4 (75,0)
6	Байпасная пыль +шлам	5+10	2,9 (100,0)	5,4 (111,1)	3,2 (100,0)	7,3 (98,6)
7	Байпасная пыль +шлам	5+15	3,2 (109,4)	4,9 (102,0)	4,9 (134,7)	9,3 (122,6)

Анализ микроструктуры гипсового камня, модифицированного добавкой байпасной пыли и дефеката сахарного производства показал, что заполняет макропоры, при этом дополнительно уплотняя и упрочняя структуру гипсового камня. Образование частиц гипса пластинчатой формы приводит к увеличению прочности.

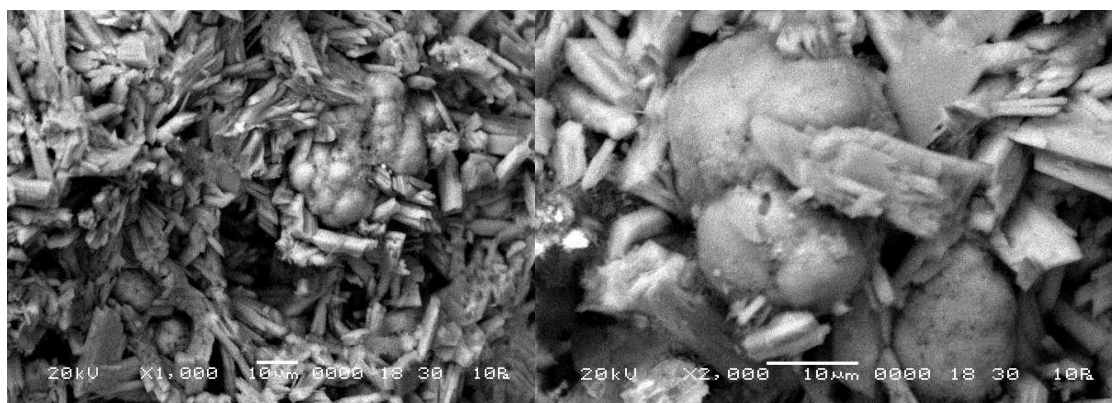


Рисунок 6.1 – Электронная микроскопия гипсового камня, модифицированного байпасной пылью (5% от массы вяжущего) и дефекатом (15% от массы вяжущего) при увеличении 1000 крат (а) и 2000 крат (б)

Анализ микроструктуры гипсового камня показал, что при совместном введении байпасной пыли и шлама водоподготовки образуются нитевидные образования разной формы и размеров.



Рисунок 6.2 – Электронная микроскопия гипсового камня, модифицированного байпасной пылью (5% от массы вяжущего) и шламом (15% от массы вяжущего) при увеличении 1000 крат (а) и 2000 крат (б)

Экспериментально установлено, что введение в гипсовое вяжущее байпасной пыли в количестве 5% и дефеката в количестве 15% от массы гипсового вяжущего приводит к увеличению прочности на изгиб образцов гипсового камня в возрасте 28 суток на 42,8%. Введение байпасной пыли в комплексе со шламом водоподготовки (состав 7) позволяет увеличить прочность на изгиб и на сжатие в возрасте 28 суток на 34,7% и на 22,6% соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Обобщен опыт использования шлама водоподготовки в качестве модифицирующей добавки для улучшения физико-механических свойств гипсовых вяжущих. Отмечается, что шлам водоподготовки содержит в большом количестве соединения на основе кальция и представляет собой нанодисперсный материал. Использование шлама водоподготовки в составе гипсовых вяжущих как наполнителя позволяет замедлять сроки схватывания гипсовой композиции без снижения прочности, а также повышает коэффициент размягчения.

2. Показано, что аморфные компоненты зол и шлаков обладают пуццолановой активностью. При увеличении удельной поверхности золошлаковых отходов повышается их реакционная способность, что приводит к уменьшению количества этtringита и уменьшению количества алюминатных составляющих, и обуславливает повышение прочности и долговечности структуры гипсосодержащих вяжущих.

3. Положительное влияние на технологические и эксплуатационные свойства гипсовых вяжущих оказывают химические добавки. Экспериментально установлено, что суперпластификатор «Стахемент 2000М Ж30» приводит к снижению коэффициента размягчения на 4,9% и сокращению сроков схватывания гипсового теста. Прочность образцов на изгиб увеличилась на 6,9%, прочность на сжатие – на 15,4%. Введение акриловой эмульсии «Acrylic 1200» увеличивает коэффициент размягчения на 9,8%, прочность на изгиб и на сжатие увеличивается соответственно на 44,8 и 42,3% по сравнению с контрольными составами.

4. Установлено, что применение комплексных модификаторов позволяет направленно регулировать свойства гипсовых вяжущих. Модификация гипсового вяжущего золой и суперпластификатором «Стахемент 2000М Ж30» приводит к увеличению прочности гипсового камня на изгиб на 34,5%, прочности на сжатие – на 3,8%. Коэффициент размягчения образцов увеличивается на 17,1%. Комплексный модификатор на основе золы и акриловой эмульсии «Acrylic 1200» обеспечивает увеличение коэффициента размягчения на 19,5% по сравнению с контрольным составом, при этом сроки схватывания сокращаются. Прочность на сжатие увеличивается на 7,7%, прочность на изгиб – на 24,1%. Введение байпасной пыли в комплексе со шламом водоподготовки (состав 7) позволяет увеличить прочность на изгиб и на сжатие в возрасте 28 суток на 34,7% и на 22,6% соответственно.

5. Дефекат сахарного производства может применяться как добавка-модификатор, увеличивая сроки схватывания гипсового вяжущего: начало схватывания до 2 ч. 10 мин., конец схватывания до 2 ч. 43 мин. При этом дозировка должна составлять 15% от массы

гипсового вяжущего, а подготовка дефеката должна включать термоактивацию в режиме «термоудар».

6. Применение шлама водоподготовки и байпасной пыли эффективно для повышения прочностных характеристик гипсового камня. Введение в состав гипсового вяжущего шлама водоподготовки в количестве 5% от массы вяжущего водопоглощение снижается на 30%, прочность на сжатие гипсового камня увеличивается в 1,75 раза, прочность на изгиб – 1,6 раза. При дозировке байпасной пыли - 5% от массы гипсового вяжущего прочность на изгиб и на сжатие увеличивается в 1,7 раза. При введении керамзитовой пыли в количестве 5% от массы гипсового вяжущего позволяет снизить водопоглощение гипсового камня на 36%.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Белякова, Н.А. Повышение водостойкости строительного гипса / Н.А. Белякова, В.Н. Рубцова, Е.А. Осипова // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всероссийской научно-методической конференции, Оренбург, 1 – 3 февраля 2017 г. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2017. – С. 573 – 579.
- 2 Касимов, А. М. Экологические и экономические инструменты сокращения ущерба окружающей среде со стороны накопителей промышленных отходов./ А. М. Касимов, И. В. Гуренко, И. Н. Мацевитая.//Экология и промышленность. – 2013. - № 1. - С. 79 – 83.
- 3 Медяник, Ю.В. Исследование свойств смешанных цементов с наполнителем из шламовых отходов теплоэлектростанций/ Ю.В. Медяник//Известия КГАСУ. – 2015. – № 2. – С. 249 – 255.
- 4 Николаева, Л. А. Ресурсосберегающая технология утилизации шлама водоподготовки на ТЭС/ Л. А. Николаева, Е. Н. Бородай – Казань.: КГЭУ, 2012. – 110 с.
- 5 Коровяков, В.Ф. Модифицирование свойств гипсовых вяжущих органоминеральным модификатором./ В.Ф. Коровяков //Материалы. Сухие строительные смеси. - № 3. – 2013. – С. 15 – 17.
- 6 Валеев, Р.Ш. Способ применения шламовых отходов водоподготовки в строительных материалах с использованием суперпластификатора MELFLUX 1641F/ Р.Ш. Валеев, И.Г. Шайхиев// Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – С. 111 – 113.
- 7 Платонов, А.П. Дорожные строительные и лакокрасочные материалы/ А.П. Платонов – Витебск.: УО «ВГТУ», 2012. – 100 с.
- 8 Валеев, Р.Ш. Исследование возможности утилизации шламовых отходов водоподготовки в строительных материалах с использованием опоки как наполнителя вяжущего/ Р.Ш. Валеев// Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – Т.18. - № 3. – С. 279 – 281.
- 9 Самохина, Е.Н. Гипсовые композиционные материалы с комплексом минеральных и химических добавок: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. / Е.Н. Самохина; Московский гос. строительный ун-т. – Москва, 2007. – 18 с.
- 10 Колесникова, И.В. Научные и технологические принципы получения сухих гипсовых смесей пониженной вяжуще – полимероемкости: автореф. дис. ... док. техн. наук: 05. 23. 05./ И.В. Колесникова; Казахская головная арх.- стр. академия. – Алматы, 2010. – 19 с.

- 11 Каклюгин, А.В. Модифицированное гипсовое вяжущее для прессованных стеновых изделий повышенной стойкости к атмосферным воздействиям: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05. 23. 05. / А.В. Каклюгин; Ростовская-на-Дону академия строительства. – Ростов-на-Дону, 1995. – 22 с.
- 12 Способ получения гипсового вяжущего: пат. 2263641 Рос. Федерация, МПК СО 4В 11/02/ Соколова Ю.А., Морева И.В, Медяник В.В., Валеев Р.Ш.; заявитель и патентообладатель Соколова Ю.А., Морева И.В, Медяник В.В., Валеев Р.Ш., заявл. 22.06. 2004.; опубл. 10.11.2005. – С. 1 – 6.
- 13 Валеев, Р.Ш. Способ применения шламовых отходов водоподготовки в строительных материалах с использованием суперпластификатора «КМК-ОК» [Текст] / А.Х. Аласханов, И.Г. Шайхиев // Вестник Казанского технологического ун-та. – 2015. – №Т.15. – № 4 – С. 74 – 75.
- 14 Аласханов, А.Х. Рецептура водостойких композиционных гипсовых вяжущих с композитами техногенного происхождения. /А.Х. Аласханов [и др.]// Вестник Дагестанского гос. технического ун-та. Технические науки. - № 4. – 2015. – С. 63 – 76.
- 15 Использование техногенного сырья для производства гипсовых и гипсоцементно-пуццолановых вяжущих веществ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.bestreferat.ru/referat-394964.html>. – Дата доступа: 03.09.2018.
- 16 Муртазаев, С – А.Ю. Мелкоштучные стеновые изделия на основе композиционных гипсовых вяжущих с золошлаковым наполнителем/ С – А.Ю. Муртазаев, Н.В. Чернышева, М.С. Сайдунов// Экология и промышленность России. – 2014. – С. 18 – 22.
- 17 Козлов, Н.В. Микроструктура гипсовых вяжущих повышенной водостойкости [Текст] / Н.В. Козлов [и др.]// Строительные материалы. – 2014. – № 5. – С. 72 – 75.
- 18 Старостина, И.В. Структура композиционных материалов на гипсовом вяжущем с использованием термоактивированного дефеката/ И.В. Старостина, М.Ю. Федорина, Е.М. Кузина// Современные проблемы науки и образования. – № 6. – 2014. – С. 1 – 7.
- 19 Морева, И.В. Эффективные композиционные материалы на основе низкомарочного строительного гипса: автореф. дис. ... док. техн. наук: 05.23.05. / И.В. Морева; Казанский гос. арх.-строительный ун-т. – Иваново, 2009. – 40 с.
- 20 Сергеева, Н.А. Получение и свойства многофазовых гипсовых вяжущих/ Н.А. Сергеева, Л.И. Сычева// Успехи в химии и химической технологии. – Т. XXX. - № 7. – 2016. – С. 104 – 106.

- 21 Заикина, А.С. Эффективные растворы на основе водостойкого гипсового вяжущего для наружной отделки: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. / А.С. Заикина; Московский гос. строительный ун-т. – Москва, 2010. – 19 с.
- 22 Кузьменков, Д.М. Получение из доломита синтетического гипса и конверсия его на гипсовые вяжущие: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.11. / Д.М. Кузьменков; Белорусский гос. технологический ун-т. – Минск, 2014. – 25 с.
- 23 Войтович, Е.В. Композиционное гипсовое вяжущее с применением наноструктурированного кремнеземного компонента и материалы на его основе: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05. 23. 05. /Е.В Войтович; Белгородский гос. технологический ун-т. – Белгород, 2012. – 23 с.
- 24 Бурьянов, А.Ф. Эффективные гипсовые материалы и изделия с использованием ультрадисперсных алюмосиликатных добавок и углеродных наномодификаторов: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05. 23. 05. / А.Ф. Бурьянов; Московский гос. строительный ун-т. – Москва, 2012. – 25 с.
- 25 Петропавловская, В.Б. Утилизация отходов минерального волокна в производстве гипсовых изделий./ В.Б. Петропавловская и [др.]. //Вестник МГСУ.- Том 12. – Выпуск 12. – 2017. – С. 1392 – 1398.
- 26 Печенкина, Т.В. Прессованные композиции из двухводного гипса и строительные материалы на их основе: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. / Т.В. Печенкина; Уфимский гос. нефтяной техн. ун-т. – Уфа, 2009. – 24 с.
- 27 Нечаева, Е.Ю. Модификация свойств строительного гипса./ Е.Ю. Нечаева, Р.А. Тугушев, В.М. Уруев.// Известия Тульского гос. ун-та. Технические науки. – 2009. – С. 107 – 113.
- 28 Нарышкина, М.Б. Стеновые материалы на основе композиционных гипсовых вяжущих повышенной водостойкости: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. / М.Б. Нарышкина; Белгородский гос. техн. ун-т им. В.Г. Шухова – Белгород, 2010. – 26 с.
- 29 Лукьянова, А.Н. Строительные композиционные материалы на основе модифицированных гипсовых вяжущих, полученных из отходов производства [Текст] / А.Н. Лукьянова [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 4 – 4. – С. 818 – 822.
- 30 Гипсовые вяжущие на основе техногенных отходов [Электронный ресурс] / Гипсовые вяжущие на основе техногенных отходов. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/111297196-Gipsovye-vyazhushchie-na-osnove-tehnogennyh>. – Дата доступа: 24.09.2019.

- 31 Изряднова, О.В. Изменение морфологии кристаллогидратов при введении ультра- и нанодисперсных модификаторов структуры в гипсоцементно-пуццолановые вяжущие [Текст] / О.В Изряднова [и др.] // Строительные материалы. – 2014. – № 7. – С. 25 – 27.
- 32 Чернышева, Н.В. Использование техногенного сырья для повышения водостойкости композиционного гипсового вяжущего [Текст] / Н.В. Чернышева // Строительные материалы. – 2014. – № 7. – С. 53 – 56.
- 33 Добавка для строительных смесей: пат. 2444485 Рос. Федерация, МПК СО 4В 24/02/ Тихомиров Б.И., Коршунов А.Н.; патентообладатель ЗАО «Гипронииавиапром», Коршунов А.Н, заявл. 23.09. 2010.; опубл. 10.03.2012. – С. 1 – 14.
- 34 Гайфуллин, А.Р. Влияние суперпластификаторов на свойства композиционных гипсовых вяжущих [Текст] / А.Р. Гайфуллин [и др.] // Вестник Казанского технологического ун-та. – 2013. – № 5 – С. 119 – 121.
- 35 Федорова, В.В. Влияние пластифицирующих добавок на свойства гипсовых вяжущих [Текст] / В.В. Федорова, Л.И. Сычева // Успехи в химии и химической технологии. – 2015. – № 7 – С. 78 – 80.
- 36 Амелина, Д.В. Влияние фазового состава на свойства гипсовых вяжущих [Текст] / Д.В. Амелина [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. – 2014. – № 8 – С. 8 – 10.
- 37 Сергеева, Н.А. Свойства многофазовых гипсовых вяжущих [Текст] / Н.А. Сергеева, Л.И. Сычева// Успехи в химии и химической технологии. – 2017. – № 1 – С. 12 – 14.
- 38 Торпищев, Ш.К. Эффективный замедлитель схватывания гипсовых вяжущих [Текст] / Ш.К. Торпищев // Наука и техника Казахстана. – 2014. – № 1 – С. 168 – 171.
- 39 Способ получения гипсового вяжущего: пат. 2397961 Рос. Федерация, МПК СО 4В 11/00/ Тихомиров Б.И., Коршунов А.Н, Фуфаева С.М.; патентообладатель ЗАО «Гипронииавиапром», Коршунов А.Н., заявл. 01. 07. 2009.; опубл. 27. 08. 2010. – С. 1 – 7.
- 40 Вяжущие гипсовые. Технические условия: ГОСТ 125 – 79 / Госстрой ССР. – М.:ИПК Издательство стандартов, 2002. – 5 с.
- 41 Топливо твёрдое. Методы определения химического состава золы: ГОСТ 10538 – 87 / Госстрой ССР. – М.:ИПК Издательство стандартов, 2003. – 16 с.
- 42 Песок для строительных работ. Методы испытаний: ГОСТ 8735-88 .- Взамен ГОСТ 8735-75, ГОСТ 25589-83; введ.01.07.1989.- М.: Издательство стандартов, 1988. - 22с.
- 43 Методы испытаний по определению механических и физических характеристик гранулометрических фракций горных пород. Часть 3. Определение насыпной

- плотности и пустотности: СТБ ЕН 1097-3-2007; введ.01.10.98.- Минск: Госстандарт, 1998. – 3 с.
- 44 Вода для бетонов и растворов. Технические условия: СТБ 1114-98.-Взамен ГОСТ 23732-79; введ. 01.01.99.- Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 1998. -11 с.
- 45 Вяжущие гипсовые. Методика исследований: ГОСТ 23789 – 79 / Госстрой ССР. – М.:ИПК Издательство стандартов, 2015. – 12 с.

Результаты рентгеноструктурного анализа на рентгеновском
дифрактометре типа D 8 Advance Bruker AXS

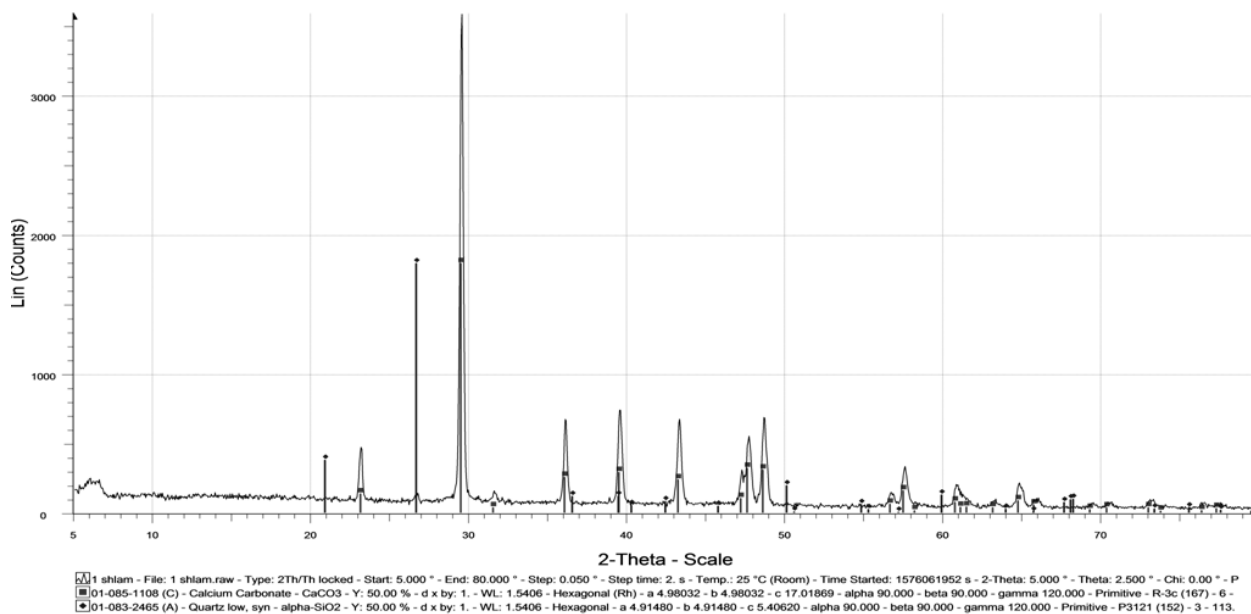


Рис. 1 – Рентгенограмма образцов шлама водоподготовки Новополоцкой ТЭЦ

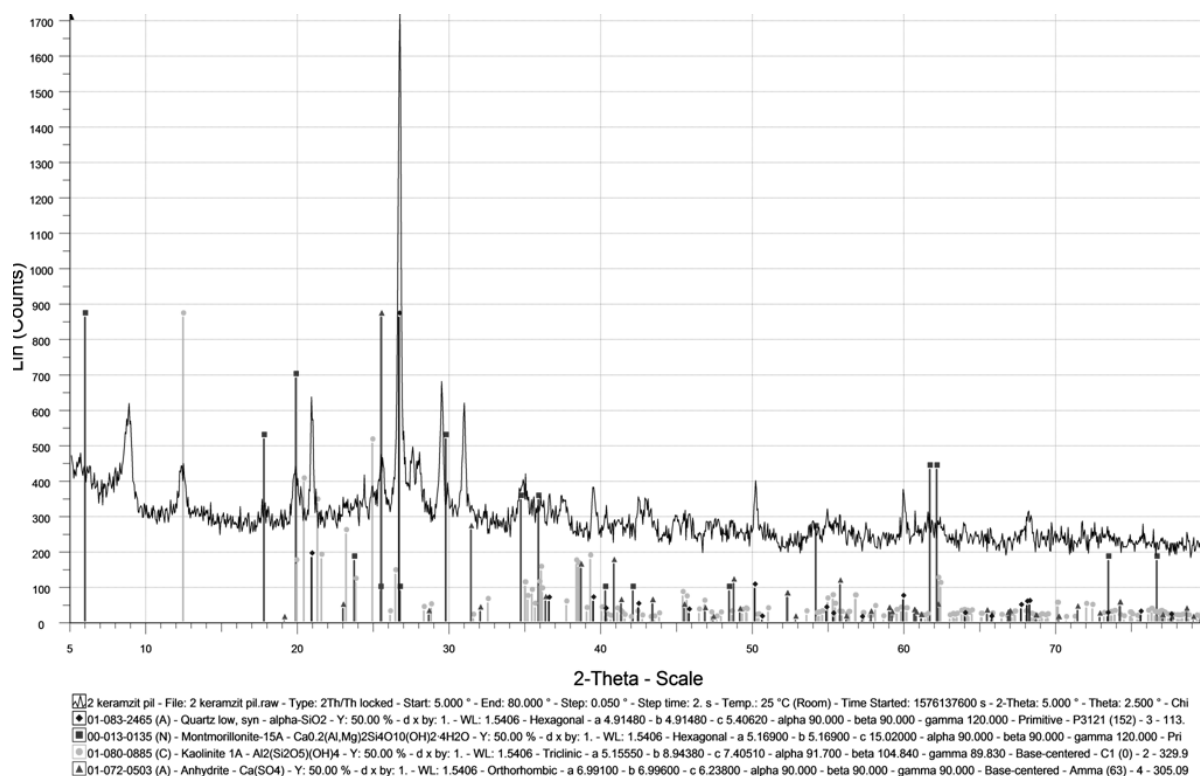


Рис. 2 – Рентгенограмма образцов керамзитовой пыли ОАО «Завод керамзитового гравия» г. Новолукомль

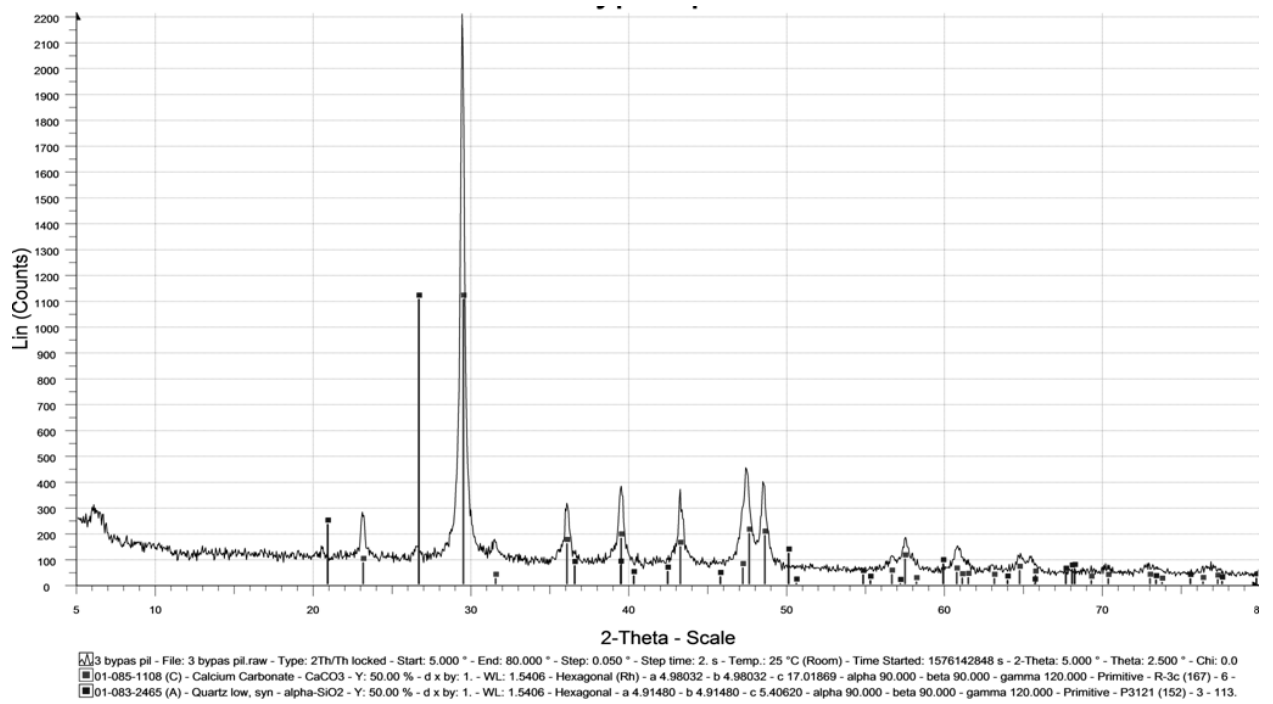


Рис. 3 – Рентгенограмма образцов байпасной пыли ОАО «Кричевцементношифер»

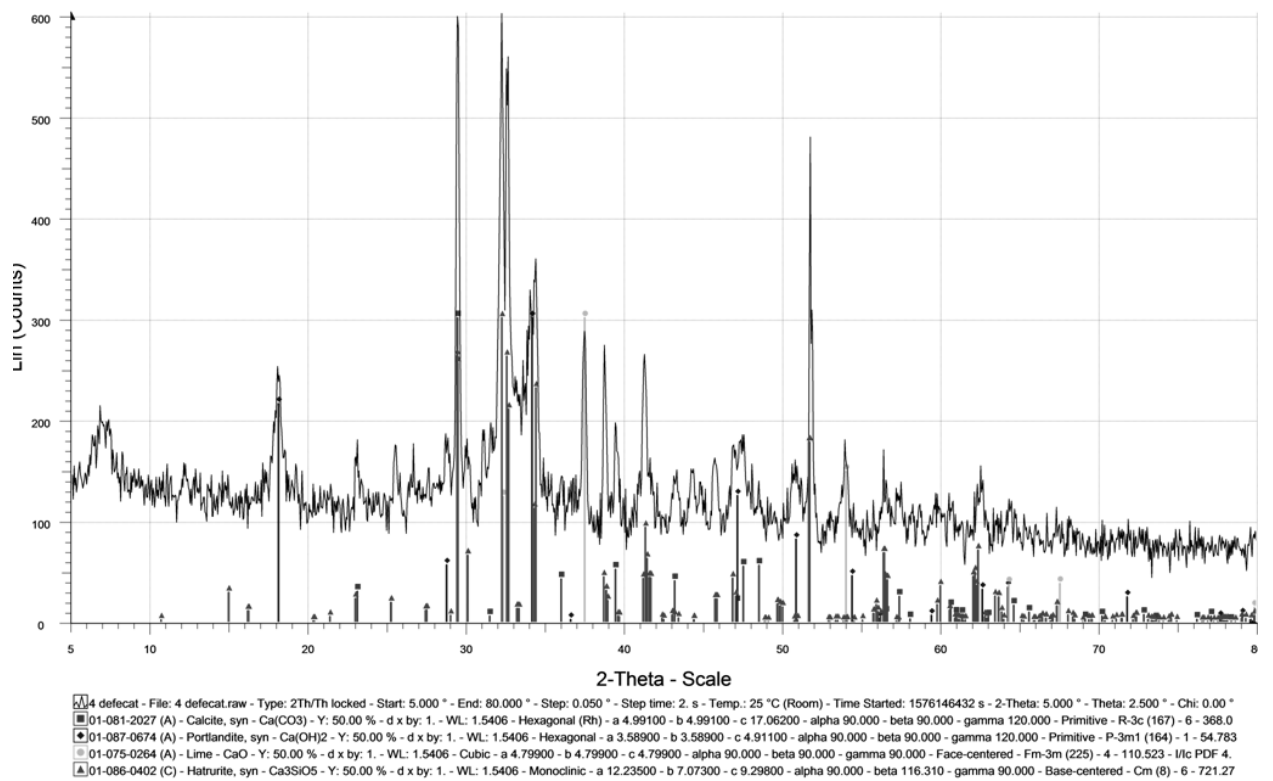


Рис. 4 – Рентгенограмма образцов дефеката Слуцкого сахарорафинадного комбината

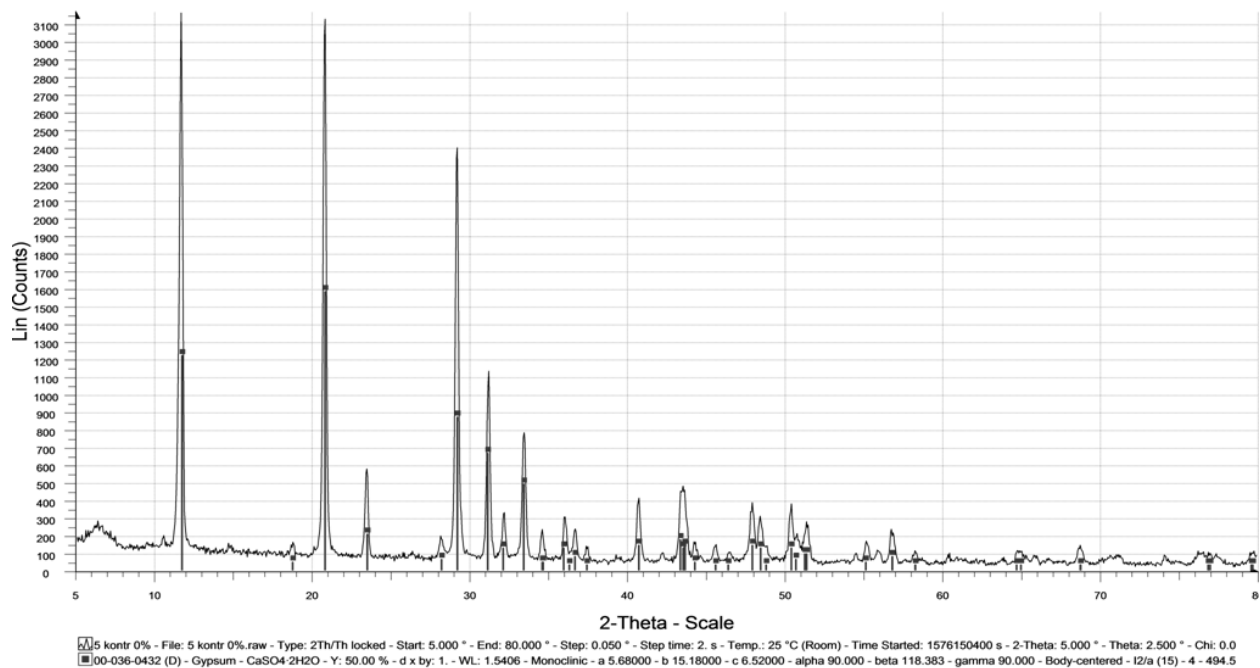


Рис. 5 – Рентгенограмма образцов гипсового камня без добавок

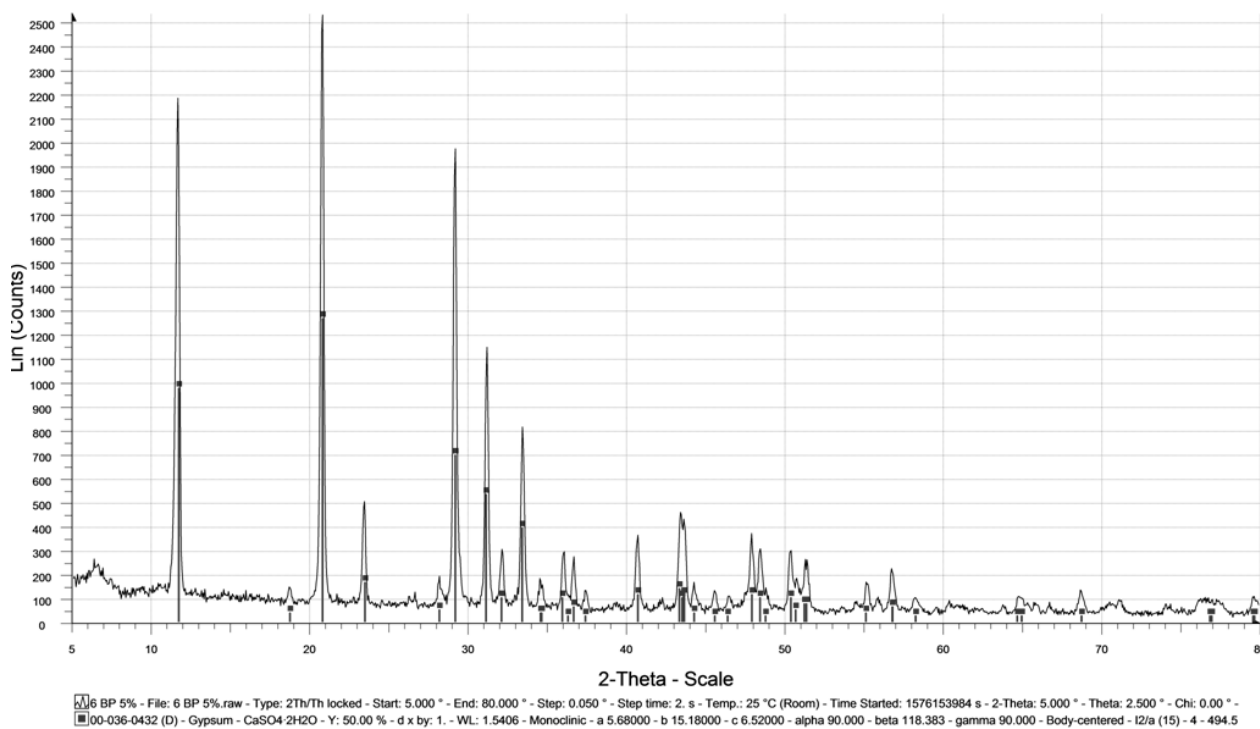


Рис. 6 – Рентгенограмма образцов гипсового камня с добавкой байпасной пыли (5% от массы вяжущего)

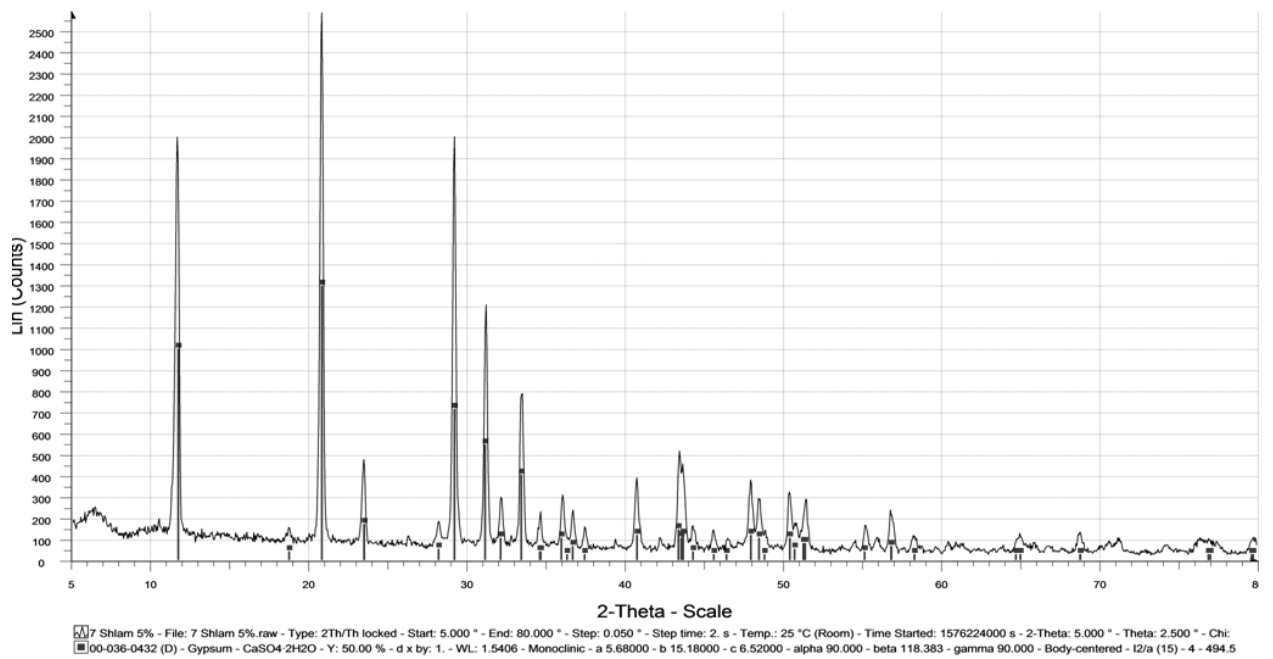


Рис. 7 – Рентгенограмма образцов гипсового камня с добавкой шлама водоподготовки (5% от массы вяжущего)

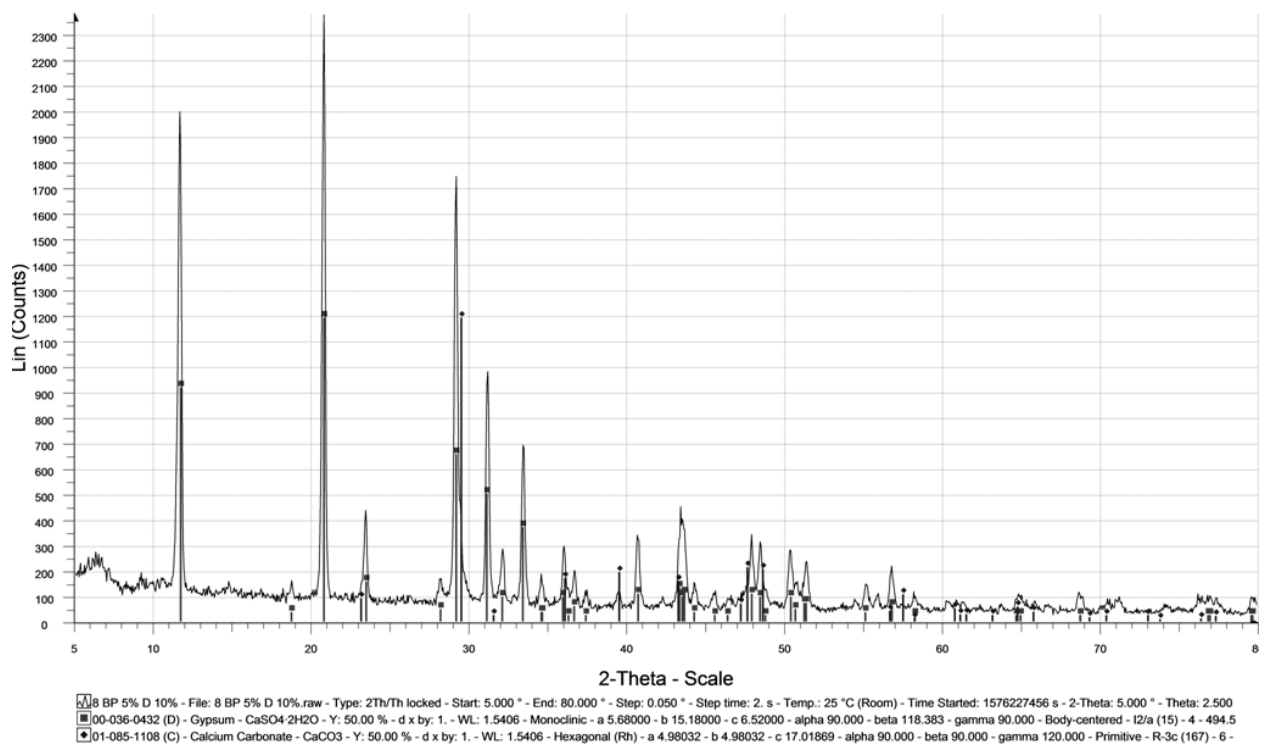


Рис. 8 – Рентгенограмма образцов гипсового камня с добавкой байпасной пыли (5% от массы вяжущего) и дефеката (15% от массы вяжущего)

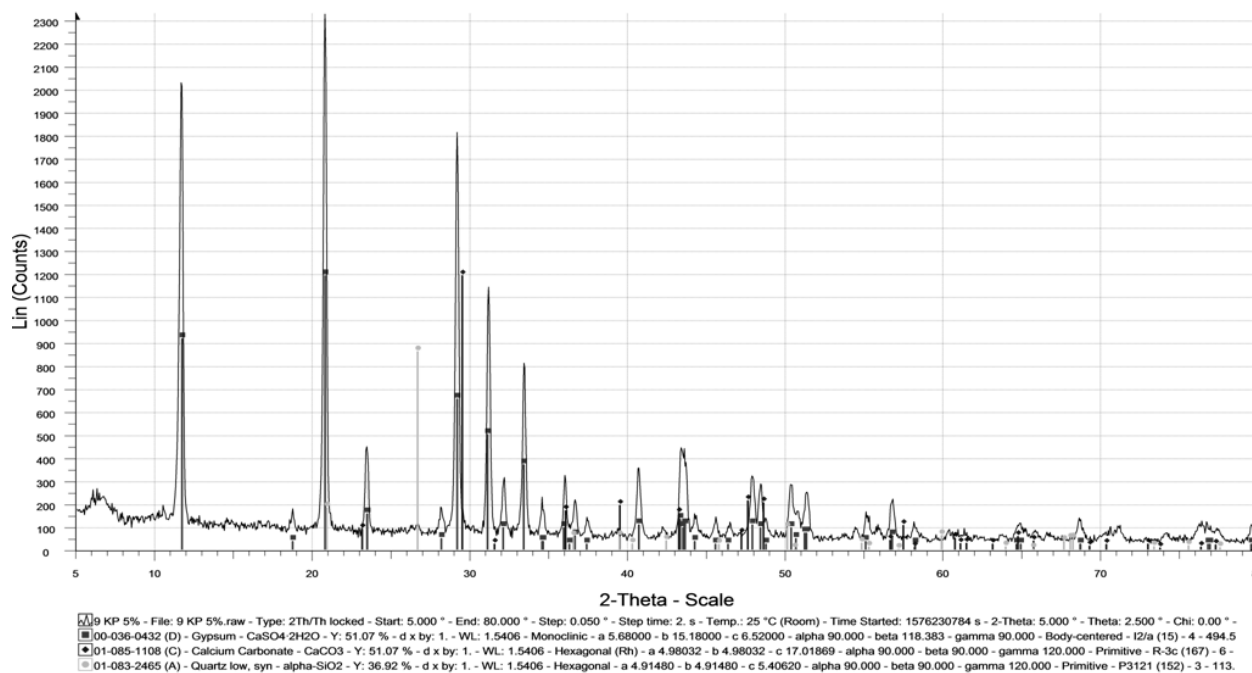


Рис. 9 – Рентгенограмма образцов гипсового камня с добавкой керамзитовой пыли (5% от массы вяжущего)

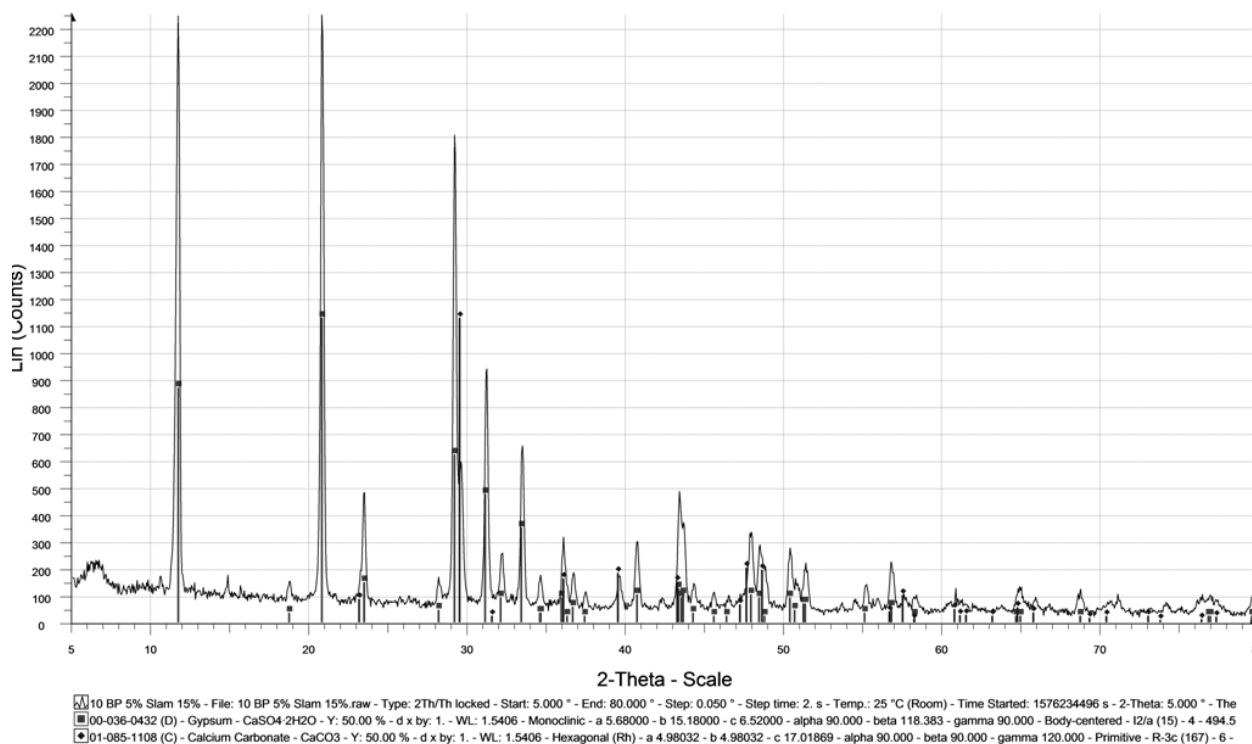


Рис. 10 – Рентгенограмма образцов гипсового камня с добавкой байпасной пыли (5% от массы вяжущего) и шлама водоподготовки (15% от массы вяжущего)