

Научно-исследовательский журнал «**Chemical Bulletin**»

<https://cb-journal.ru>

2024, Том 7, № 4 / 2024, Vol. 7, Iss. 4 <https://cb-journal.ru/archives/category/publications>

Научная статья / Original article

УДК 666.9.052

DOI: 10.58224/2619-0575-2024-7-4-13-24

Интенсификаторы помола цементного клинкера

¹ Черненко В.В.,

¹ Белгородский технологический университет им. В.Г. Шухова,

* Ответственный автор E-mail: vlad.chernenkoo@yandex.ru

Аннотация: в данной статье представлен анализ различных методов, способствующих повышению эффективности помола клинкера, и их последствий для качества и технологических свойств цемента.

В исследовании рассматриваются не только привычные, но и инновационные вещества, используемые в качестве активаторов помола, среди которых – уголь, сажа, триэтаноламин, канифоль, лигнин, а также новые компоненты, например, «Литопласт ИП1», «InCet» и MC-GRINDINGPRO 01.

Специальное внимание уделено наиболее перспективным интенсификаторам помола, в частности «Литопласт ИП1», который позволил значительно, на 11,1–19,2%, повысить производительность мельниц и одновременно сократить расход электроэнергии на 8,9–15,6%. В статье описываются результаты испытаний, которые демонстрируют положительное воздействие данной добавки на улучшение текучести цемента, его измельчения и физико-механические свойства. Также обсуждаются плюсы использования интенсификатора «InCet», в том числе способность усилить прочностные показатели цемента и оптимизировать процесс его помола.

Отдельная часть статьи посвящена работе исследователей М.А. Гончаровой, Л.В. Замышляевой и Х.Г.Х. Аль-Суррайви, сфокусированной на использовании энергосберегающих отечественных интенсификаторов типа ИП-1 и ИМ-2. Авторы анализируют влияние этих добавок на увеличение начальной прочности цемента и на эффективность измельчения.

По итогам исследования установлено, что введение ИП-1 и ИМ-2 в состав цемента позволяет увеличить его начальную прочность до 3,7 МПа и уменьшить коэффициент водоотделения, что способствует улучшению качественных характеристик готового продукта.

В итоге статья выделяет роль интенсификаторов помола как важного фактора для повышения производственной эффективности и качества цемента, а также снижения эксплуатационных затрат и улучшения надежности строительных материалов.

Ключевые слова: интенсификаторы помола, клинкер, цемент, «Литопласт ИП1», «InCet», MC-GRINDINGPRO 01, начальная прочность, процесс помола

Для цитирования: Черненко В.В. Интенсификаторы помола цементного клинкера // Chemical Bulletin. 2024. Том 7. № 4. С. 13 – 24. DOI: 10.58224/2619-0575-2024-7-4-13-24

Поступила в редакцию: 10 мая 2024 г.; Одобрена после рецензирования: 29 июля 2024 г.; Принята к публикации: 13 сентября 2024 г.

Grinding aid for cement clinker

¹ Chernenko V.V.,

¹ Belgorod Technological University named after V.G. Shukhov,

* Corresponding author E-mail: vlad.chernenkoo@yandex.ru

Abstract: *this article presents an analysis of various techniques that contribute to enhancing the efficiency of cement clinker grinding, and their implications for the quality and technical properties of cement.*

The study considers not only conventional, but also novel substances used as grinding additives, including coal, carbon black, triethanolamine, rosins, lignins, as well as novel components such as "Lithoplast IP1", InCEM, and MC-GRINDINGPRO 01.

Special attention is given to the most promising grinding intensifiers, particularly "Lithoplast IP1", which has significantly increased mill productivity by 11.1–19.2% while reducing power consumption by 8.9–15.6%. The article presents the results of tests that demonstrate the positive impact of this additive on the flowability, grinding and physico-mechanical properties of cement. The benefits of using the "InCEM" intensifier, including the potential to enhance the strength characteristics and optimize the grinding process of cement, are also discussed.

A separate section of the article focuses on the work of researchers M.A. Goncharova, L.V. Zamyshlyayeva, and H.G.H. Al-Surrawi on the use of energy-efficient domestic intensifiers like IP-1 and IM-2. These authors analyze the impact of these additives on the initial strength of cement and grinding efficiency.

According to the results of the study, the introduction of compounds IP-1 and IM-2 into cement has been shown to increase its initial strength by 3.7 MPa and decrease the coefficient of water absorption, thereby improving the quality characteristics of the final product.

Based on these findings, the article emphasizes the significance of grinding intensifiers in enhancing the efficiency and quality of cement production, as well as in reducing operational costs and enhancing the reliability of building materials.

Keywords: *grinding aid, clinker, cement, "Lithoplast IP1", "InCEM", MC-GRINDINGPRO 01, initial strength, grinding process*

For citation: Chernenko V.V. Grinding aid for cement clinker. Chemical Bulletin. 2024. 7 (4) P. 13 – 24. DOI: 10.58224/2619-0575-2024-7-4-13-24

The article was submitted: May 10, 2024; Approved after reviewing: July 13, 2024; Accepted for publication: September 13, 2024.

Введение

Эффективность производства цемента во многом зависит от качества помола клинкера, который является энергоемким процессом и требует существенных ресурсных вложений. Важной стратегией повышения производственной эффективности является применение интенсификаторов помола, которые не только повышают производительность мельниц, но и способствуют улучшению характеристик готового цемента. Интенсификаторы помола – это химические добавки, предназначенные для сокращения энергопотребления за счет уменьшения прилипания измельчаемого материала к рабочим поверхностям оборудования. Благодаря этому достигается эффективный и равномерный помол материала. Эти добавки также могут снижать температуру готового цемента, положительно влияя на его конечные свойства [2]. Современные исследования, посвященные интенсификаторам помола, ориентированы на повышение энергоэффективности цементного производства и улучшение качества продукции. В строительной отрасли добавки играют ключевую роль в модификации свойств цементов и бетонов. Их многообразие на рынке позволяет выбирать наиболее подходящее вещество в зависимости от необходимых производственных параметров и характеристик конечного продукта [3, с. 77-91].

Среди широко используемых добавок применяют: Лигносulfонаты технические (ЛСТ) улучшают удобоукладываемость и снижают водопотребность бетонной смеси. Продукты конденсации нафталин- и меламинсульфокислот с формальдегидом используются как высокоэффектив-

ные пластификаторы. Поликарбоксилаты (ПК) способствуют увеличению прочности и снижению деформации бетона. Соединения на основе аминов и гликолей оптимизируют процесс помола, поднимая качество цемента.

Каждая добавка может по-разному взаимодействовать с компонентами бетонной смеси, что требует понимания совместимости добавок и интенсификаторов помола. Также на результат влияет технология производства цемента [7]. Ключевую роль в этом аспекте играют интенсификаторы помола, которые улучшают процесс измельчения клинкера, снижают затраты энергии и уменьшают прилипание к рабочим поверхностям. При этом, применение добавок, таких как уголь или сажа, может заметно усилить эффективность измельчения и позитивно сказаться на прочности цемента. Достижение оптимальных свойств цемента требует комплексного подхода к выбору и применению добавок, а также тонкой настройки каждого этапа процесса производства. Это необходимо для обеспечения качества и требуемых характеристик готового бетона. На сегодняшний день выбор эффективных интенсификаторов помола и добавок представляет собой значимую задачу, требующую обдуманной стратегии и детального анализа всех возможных факторов и их влияния на производственный процесс и свойства продукта [8, с. 122-126].

Материалы и методы исследований

Основная задача исследования заключается в изучении разнообразных подходов, применяемых для усиления процесса помола цементного клинкера. Акцент ставится на анализе эффекта, кото-

рый разные виды интенсификаторов оказывают на ключевые этапы изготовления цемента и характеристики готовой продукции. Изделия, проверенные временем, такие как уголь и лигнин, а также последние инновации в данной области подвергаются детальному рассмотрению [9]. Особое внимание уделяется изучению эффективности поменционированных веществ.

В рамках статьи оценивается влияние интенсификаторов на процесс производства и окончательные свойства цемента. Изучается роль добавок в оптимизации работы помольного оборудования и их воздействие на качество обработки, а также прочностные показатели цемента. Методы исследования включают обзор научной литературы и анализ существующих исследований. Отдельная часть статьи посвящена работе исследователей М.А. Гончаровой, Л.В. Замышляевой и Х.Г.Х. Аль-Суррайви, сфокусированной на использовании энергосберегающих отечественных интенсификаторов типа ИП-1 и ИМ-2. Авторы анализируют влияние этих добавок на увеличение начальной прочности цемента и на эффективность измельчения.

Результаты и обсуждения

Основная цель исследования – обеспечить основу для выбора оптимальных интенсификаторов, чтобы повысить эффективность помола клинкера и улучшить параметры строительного материала. В современном производстве цемента основную роль играют мельницы открытого и закрытого типов, особенно последние из-за высокой эффективности, достигаемой благодаря многокомпонентной сепарации. Процесс, разделяющий материал на фракции, позволяет добиться однородной консистенции и тонкости помола. За счет этого исключается возможность переизмельчения и уменьша-

ется энергопотребление. Оптимизация помола начинается с правильного выбора исходного материала, содержащего элементы с различными свойствами размалываемости. Интенсификаторы помола, закладываемые в мельницу, видоизменяют поверхности вновь созданных частиц, препятствуя их склеиванию и уменьшая трудности помола. К примеру, S-Drill™ Intensive, усовершенствуя эти аспекты, повышает производительность обрабатывающего оборудования на 9% и снижает энергопотребление на 10%. Инновационный компонент устраняет электрические заряды, облегчая этим исключение их слипания и в конечном счете – улучшение физических свойств цемента. Таким образом, использование интенсификаторов помола, таких как S-Drill™ Intensive, ориентировано на усовершенствование помольного процесса, высокое качество цементной продукции и сокращение затрат на энергию в процессе производства [6].

В процессе помола цементного клинкера в шаровых мельницах важную роль играют технологические добавки, которые влияют на измельчение материала и конечные свойства продукции. Такие добавки подразделяются на интенсификаторы помола, направленные на усиление эффективности процесса (grinding aids), и модификаторы, улучшающие строительно-эксплуатационные характеристики готового цемента (quality improvers), соответствующих модификаторам для смесей на основе цемента.

Исследования указывают на то, что текучесть мелкоизмельченных цементных порошков является ключевым параметром для эффективности процессов помола, отделения зерен и транспортировки. На эту характеристику влияют размеры частиц, их минеральный состав и электризация, которая может привести к агломерации частиц и сниже-

нию эффективности обработки материала. Сложности в оценке влияния органических соединений в составе интенсификаторов на параметры процесса вызваны вариативностью видов клинкера, конфигураций мельниц и их режимов работы. Существуют различные теории, описывающие действие химических добавок, в том числе и предположение о снижении ПАВ свободной поверхностной энергии по теории Ребиндера. Однако современные исследования показывают, что скорость распространения трещин в материале значительно

опережает диффузию молекул ПАВ, опровергая достаточность данной теории [10, с. 102-105].

Современные выводы подчёркивают роль ПАВ в нейтрализации статических зарядов на частицах, что было подтверждено исследованиями, в том числе теми, что были проведены Цементной ассоциацией США. Обнаружено, что при использовании интенсификаторов уменьшается электрический потенциал, свидетельствуя о снижении заряда на поверхности частиц [11, с. 186-191] (рис. 1).



Рис. 1. Влияние интенсификатора помола на нейтрализацию статических зарядов.

Fig. 1. Effect of grinding intensifier on neutralization of static charges.

Эксперименты продемонстрировали, что интенсификаторы улучшают текучесть цементного порошка, лежащую в основе выбора компонентов для комплексных технологических добавок. При этом выбор ПАВ для интенсификаторов осуществляется с учетом их молекулярной структуры, поверхностной активности и способности вступать во взаимодействие с ионами измельченного материала. Показатель текучести порошка выступает критерием для оценки работы интенсифика-

торов, и методика её определения нашла применение на цементных заводах для мониторинга условий работы оборудования. Однако подбор составов интенсификаторов осуществляется в два этапа, начиная с лабораторных испытаний для оценки их влияния на тонкость помола и свойства цемента, и заканчивая опытно-промышленными для уточнения данных в реальных условиях изготовления продукции.

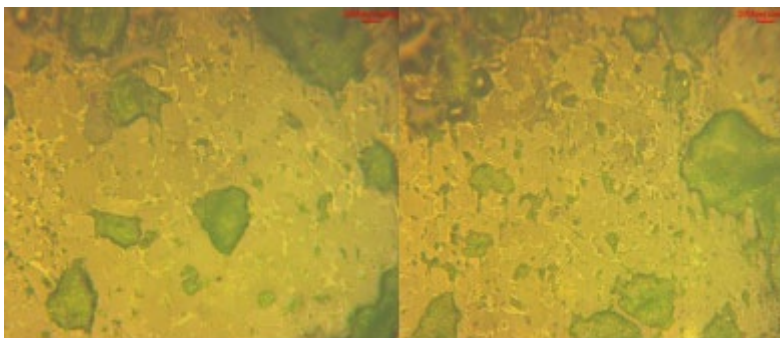


Рис. 2. Микроструктура клинкера.

Fig. 2. Microstructure of clinker.

Чтобы получить высококачественный цемент, нужно в первую очередь опираться на его минералогическую структуру и исходя из этого подбирать требуемый интенсификатор помола (рис. 2).

Промышленные мельницы отличаются от лабораторных мельниц непрерывным режимом работы и другими условиями измельчения, что требует корректировки результатов полученных в

лабораторных условиях для их корректной адаптации на производстве. «Литопласт ИП1» – это успешный пример интенсификатора помола, эффективность которого подтверждена лабораторными испытаниями. Эти испытания включали определение площади удельной поверхности по Блейну, анализ остатков на ситах и лазерный дифракционный анализ.

Таблица 1

Результаты испытаний интенсификаторов помола при дозировке 300 г/т.

Table 1

Test results of grinding intensifiers at a dosage of 300 g/t.

Образец	Время помола, мин	$S_{уд}$, м ² /кг	Текущность, %	Прочность на 2 сутки, МПа	Прочность на 28 сутки, МПа
Контрольный	30	301	61,2	41	76
ИП1	30	308	93,4	48	80
ИМ2	30	298	88,1	42	76
InCem S	30	304	76,1	50	82
МС-GRINDINGPRO 01	30	307	95,6	47	81

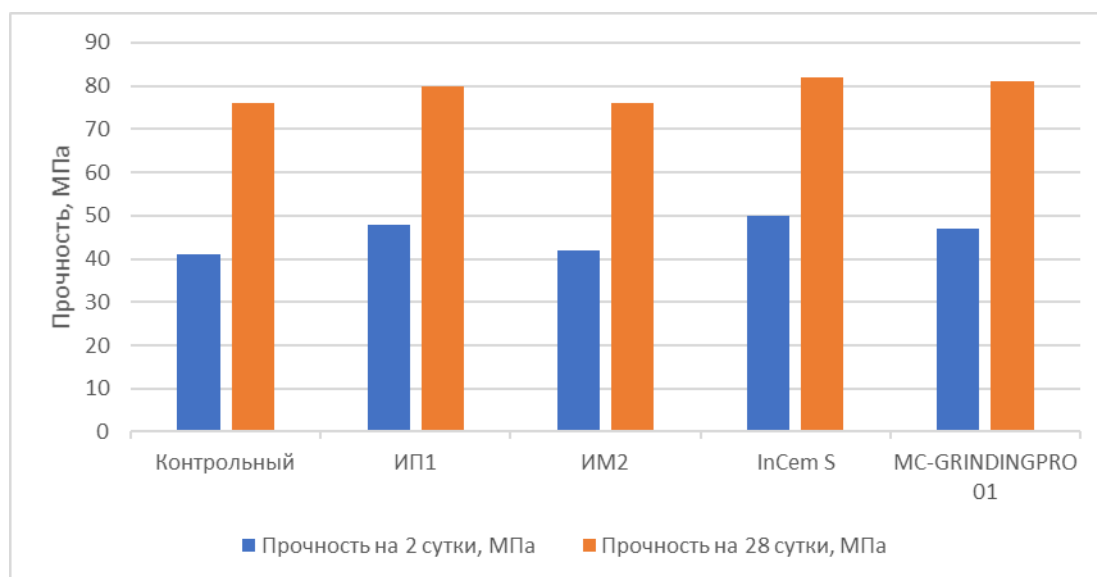


Рис. 3. Скорость набора прочности образцов.

Fig. 3. The rate of strength gain of samples.

Результаты показывают, что применение «Литопласт ИП1» способствует повышению текучести цементной муки, уточнению размера частиц и улучшению физико-механических свойств цемента. Кроме того, его использование привело к увеличению производительности мельниц на 11,1–19,2% и к снижению потребления электроэнергии на 8,9–15,6%. Интенсификатор также содействует более равномерному распределению размеров частиц, что позволяет снизить количество как чрезмерно мелких, так и особо крупных частиц [4].

Акцент в обеспечении послепродажного сервиса для специалистов – это непрерывный контроль за работой интенсификаторов, что включает технические аудиты и определение потенциально слабых мест в технологии производства цемента. Это гарантирует постоянное качество продукции и оптимальное использование добавок. В качестве альтернативы «Литоласт ИП1» предлагается интенсификатор помола «InCem», который входит в группу специализированных химических составов для обработки разнообразных материалов. В част-

ности, маркер «InCem S» предназначен для усиления процесса помола цемента и улучшения его прочностных свойств, что делает его подходящим решением для упомянутых применений. Подобное расширение ассортимента предлагает дополнительные возможности для оптимизации помольных операций и снижения потребления ресурсов.

«InCem» предоставляется в нескольких вариантах, включая марки E, S, ES, R, и FL, каждая из которых нацелена на определенные условия использования и характеристики размалываемого материала.

Специфически, «InCem S» увеличивает раннюю и позднюю прочность цемента, делая возможным большее включение минеральных добавок при сохранении прочностных качеств. Этот интенсификатор действует за счет снижения поверхностной энергии, что приводит к развитию трещиноватости внутри материала и улучшению помольного процесса. Дозировка «InCem S» варьируется от 0,025% до 0,15% от веса обрабатываемого материала, и его можно вводить прямо в

мельничную камеру или добавлять в материал перед помолом. «InCem S» является универсальным продуктом, предназначенным для широкого использования и оказывающим значимое влияние на прочностные показатели цемента. В соответствии с ГОСТ 12.1.007, интенсификатор определен как малоопасное вещество 4-го класса опасности. Продукт стабильно хранится в течение одного года с даты производства, может быть упакован в контейнеры и не требует специальных условий хранения. В современных условиях производства цемента, где технологический прогресс и стремление к повышению экологических и экономических стандартов идут рука об руку, оптимизация процесса измельчения занимает центральное место.

Эффективные интенсификаторы помола, такие как «InCem», выходят на передний план, предлагая решения, которые снижают энергетическую интенсивность производства и повышают качество продукции, одновременно благотворно влияя на окружающую среду. Затраты энергии на производство цемента ощутимы, особенно учитывая, что до 70% общего энергопотребления приходится на измельчение, в то время как значительная часть этой энергии теряется в виде тепла [5]. Эффективное использование энергии в этой стадии ограничено, так как непосредственно на дробление частиц расходуется лишь малая часть энергии. Интенсификаторы помола, такие как MC-GRINDINGPRO 01, становятся ключевыми для эффективности и экономичности процесса.

Применение интенсификаторов, таких как MC-GRINDINGPRO 01, позволяет достигнуть значительных преимуществ в производственном процессе, включая: снижение энергопотребления при измельчении благодаря улучшению физических процессов, протекающих в мельницах; оптимиза-

ция размеров частиц, что влияет на однородность и характеристики цемента; уменьшение отложений на шарах мельницы и других рабочих поверхностях, что снижает частоту и стоимость ремонтных работ; при использовании цемента с интенсификатором сохраняется прочность при тех же пропорциях смешивания; сокращение расходов на ремонт цементных силосов и повышение их работоспособности; минимизация выбросов углекислого газа за счёт оптимизации производственного процесса и использования меньшего количества клинкера. Дальнейшее развитие MC-GRINDINGPRO 01 как минерального интенсификатора открывает новые горизонты для обработки различных типов минеральных порошков, включая известь, тальк и барит, предоставляя возможности для повышения прочности конечного продукта и сокращения энергетических затрат, вдобавок ко всему, способствуя экологическим инициативам [12]. Интенсификаторы помола, на примере MC-GRINDINGPRO 01, несут значительный потенциал для оптимизации производства цемента, уменьшая энергетические затраты и улучшая качество продукции, что, в свою очередь, ведет к сокращению воздействия на окружающую среду и устойчивому развитию индустрии.

В исследовании, проведенном М.А. Гончаровой, Л.В. Замышляевой и Х.Г.Х. Аль-Суррайви под названием «Модификация цементных систем твердения путем применения энергоэффективных технологических добавок отечественного производства», проводится тщательный анализ использования интенсификаторов помола в производстве цемента. Целью исследования данных авторов является изучение воздействия данных добавок на ключевые характеристики цементных систем, осо-

бенно на их прочность в начальные периоды твердения.

Авторы статьи уделяют особое внимание следующим моментам: изучению физико-химических свойств модифицирующих добавок, поставляемых отечественными производителями. Эти свойства считаются ключевыми для понимания воздействия добавок на цементные системы. Исследование акцентирует внимание на связи между удельной поверхностью частиц цемента и их твердением; анализу кинетики размолоспособности клинкера, подчеркивающий важность этого аспекта для оптимизации помольных процессов и эффективности применения интенсификаторов; изучению влияния на раннюю прочность цементных систем и коэффициент водоотделения.

Выводы

По результатам исследования, применение добавок ИП-1 и ИМ-2 привело к значительному увеличению ранней прочности, достигая 7 МПа, а также к снижению коэффициента вод отделения, указывая на повышение качества цементных смесей. Итоги работы показывают значительное положительное влияние отечественных интенсификаторов помола, таких как ИП-1 и ИМ-2, InCem S, MC-GRINDINGPRO 01, на улучшение физико-химических характеристик цемента и общую эффективность процесса его измельчения [1, с. 50-54]. Исследование подчеркивает, что применение таких добавок имеет потенциал для снижения затрат на производство цемента и улучшения надежности строительных материалов за счет следующих факторов: интенсификаторы помола влияют на увеличение начальной прочности цементных систем; применение добавок улучшает измельчение, способствуя энергосбережению; интенсификаторы повышают характеристики цемен-

та, делая его более подходящим для строительства; снижение энергозатрат благодаря увеличению эффективности измельчения.

Работа данных авторов является важным источником информации о преимуществах использования энергоэффективных технологических добавок в цементной промышленности и их вкладе в развитие устойчивых и высокопроизводительных строительных материалов.

В заключении статьи, ориентированной на исследование интенсификаторов помола клинкера, основное внимание было уделено оценке добавок для улучшения характеристик цемента.

Проанализированы достоинства и особенности использования этих добавок, выделены основные моменты: интенсификаторы, такие как MC-GRINDINGPRO 01, обеспечивают увеличение производительности процесса измельчения за счет сокращения энергозатрат и улучшения кинетики помола, что ведёт к более рациональному использованию энергетических ресурсов; применение модифицирующих добавок положительно сказывается на прочностных характеристиках на начальных этапах твердения, повышает раннюю прочность и оптимизирует распределение размеров частиц, тем самым способствуя повышению качества цемента; использование интенсификаторов помола влияет на уменьшение накопления цементного пылевого налёта на оборудовании, что приводит к сокращению необходимости в обслуживании и ремонте, а также к продлению срока службы оборудования; интенсификаторы помогают уменьшить выделение углекислого газа, минимизируя потребление клинкера при сохранении производительности процесса, что делает производство цемента более экологичным; внедрение данных технологий позволяет снизить общие за-

траты на производство цемента за счет использования заместителей клинкера, что ведёт к экономии средств без ущерба для качественных показателей продукта.

Итогом исследования являются выводы о важной роли интенсификаторов помола в производственном процессе современного цемента. Они не

просто снижают энергопотребление и улучшают прочностные характеристики, но и приносят экологическую и экономическую пользу. Такое использование интенсификаторов представляет собой возможности к достижению новых стандартов в строительной индустрии, учитывая современные требования к устойчивости и эффективности.

Список источников

1. Гончарова М.А., Замышляева Л.В., Аль-Суррайви Х.Г.Х. Модификация цементных систем твердения путем применения энергоэффективных технологических добавок отечественного производства // Строительные материалы. 2023. № 1-2. С. 50 – 54.
2. Гелчинова С.Р, Худанов У.О. (2023). Интенсификаторы для помола цемента // Журнал естественных наук. 2023. № 1 (4(13). С. 3 – 9. [Электронный ресурс]: <https://phys-tech.jdpu.uz/index.php/natscience/issue/view/217> (дата обращения: 17.04.2024)
3. Гуляков Е.Г., Хозин В.Г., Боровских И.В., Ганеева Ю.М. Влияние суперпластификаторов на размолоспособность портландцемента при получении цементов низкой водопотребности // Известия КГАСУ. 2024. № 2 (68). С. 77 – 91.
4. Интенсификатор Литопласт 1 АИ [Электронный ресурс]: <https://snabzheniestroek.ru/stroitelnaia-khimia/intensifikatory-i-razzhizhiteli/intensifikator-litoplast-1-ai> (дата обращения: 17.04.2024)
5. Интенсифицирующая помол добавка-Парсманхимия [Электронный ресурс]: <https://parsmanchemical.com/ru/вспомогательные-средства-для-помола/> (дата обращения: 17.04.2024)
6. Каталажный лист ИнЦЕМ S.cdr [Электронный ресурс]: <https://files.sintezoka.ru/upload/iblock/034/0347f90d63069d1457133e4346ef6f31.pdf?ysclid=lzxp9pnuty152501792> (дата обращения: 17.04.2024)
7. К вопросу о механизме действия интенсификаторов помола [Электронный ресурс]: <https://jcement.ru/magazine/vypusk-1-2023/k-voprosu-o-mekhanizme-deystviya-intensifikatorov-pomola-tsementa/?ysclid=lzxa1m5c886396104> (дата обращения: 17.04.2024)
8. Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Королева Л.А., Белоус А.С., Денисова Е.М. Методы интенсификации процесса измельчения цементного клинкера и добавок // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: Межвузовский сборник статей / Под ред. В.С. Богданова. Том Вып. XX. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. С. 122 – 126.
9. Справочник химика 21 Химия и химическая технология [Электронный ресурс]: <https://www.chem21.info/info/1651237/?ysclid=lzxnq70gix453040144> (дата обращения: 16.04.2024)
10. Шахова Л.Д., Черноситова Е.С., Щелокова Л.С., Уханева Н.Г. Структурно-реологические свойства цементного порошка // Цемент и его применение. 2022. № 1. С. 102 – 105.

11. Шпак Д.А. Исследование интенсификаторов помола клинкера на свойства получаемого цемента // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова, Белгород, 16-17 мая 2023 года. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. С. 186 – 191.

12. Янюк Е.А. Влияние современных технологий производства цемента с интенсификаторами помола на эффективность действия химических добавок [Электронный ресурс]: <https://vmeste-masterim.ru/dobavki-dlja-pomola-cementa.html> (дата обращения: 17.04.2024)

References

1. Goncharova M.A., Zamyshlyayeva L.V., Al-Surraiwi H.G.H. Modification of cement hardening systems by using energy-efficient technological additives of domestic production. Construction materials. 2023. No. 1-2. P. 50 – 54.

2. Gelchinova S.R., Khudanov U.O. (2023). Intensifiers for cement grinding. Journal of Natural Sciences. 2023. No. 1 (4(13)). P. 3 – 9. [Electronic resource]: <https://phys-tech.jdpu.uz/index.php/natscience/issue/view/217> (date of access: 17.04.2024)

3. Gulyakov E.G., Khozin V.G., Borovskikh I.V., Ganeeva Yu.M. Influence of superplasticizers on the grindability of Portland cement in the production of low water demand cements. Bulletin of KSUACE. 2024. No. 2 (68). P. 77 – 91.

4. Intensifier Litoplast 1 AI [Electronic resource]: <https://snabzheniestroek.ru/stroitelnaia-khimiia/intensifikatory-i-razzhizhiteli/intensifikator-litoplast-1-ai> (date accessed: 17.04.2024)

5. Grinding intensifying additive – Parsmanchemistry [Electronic resource]: <https://parsmanchemical.com/ru/подключением-следства-для-помола/> (date of access: 17.04.2024)

6. Catalogue sheet InCEM S.cdr [Electronic resource]: <https://files.sintezoka.ru/upload/iblock/034/0347f90d63069d1457133e4346ef6f31.pdf?ysclid=lxp9pnuty152501792> (date of access: 17.04.2024)

7. On the mechanism of action of grinding intensifiers [Electronic resource]: <https://jcement.ru/magazine/vypusk-1-2023/k-voprosu-o-mekhanizme-deystviya-intensifikatorov-pomola-tsementa/?ysclid=lxqal5c886396104> (date accessed: 17.04.2024)

8. Nesmeyanov N.P., Brazhnik Yu.V., Koroleva L.A., Belous A.S., Denisova E.M. Methods of intensification of the process of grinding cement clinker and additives. Energy-saving technological complexes and equipment for the production of building materials: Interuniversity collection of articles. Ed. V.S. Bogdanov. Volume Iss. XX. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova, 2021. P. 122 – 126.

9. Chemist's Handbook 21 Chemistry and Chemical Technology [Electronic resource]: <https://www.chem21.info/info/1651237/?ysclid=lxnq70gix453040144> (date of access: 04/16/2024)

10. Shakhova L.D., Chernositova E.S., Shchelokova L.S., Ukhaneva N.G. Structural and rheological properties of cement powder. Cement and its application. 2022. No. 1. P. 102 – 105.

11. Shpak D.A. Study of clinker grinding intensifiers on the properties of the resulting cement. International scientific and technical conference of young scientists of BSTU named after V.G. Shukhov, dedicated to the 170th anniversary of the birth of V.G. Shukhov, Belgorod, May 16-17, 2023. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2023. P. 186 – 191.

12. Yanyuk E.A. Influence of modern technologies for the production of cement with grinding intensifiers on the efficiency of chemical additives [Electronic resource]: <https://vmeste-masterim.ru/dobavki-dlja-pomolacemента.html> (date of access: 17.04.2024)

Информация об авторе

Черненко В.В., аспирант, Белгородский технологический университет им. В.Г. Шухова, email: vlad.chernenkoo@yandex.ru

Information about the author

Chernenko V.V., Postgraduate Student, Belgorod Technological University named after V.G. Shukhov, email: vlad.chernenkoo@yandex.ru

© Черненко В.В., 2024