

*Алфимова Н.И., канд. техн. наук, доц.,  
Калатоzi В.В., канд. техн. наук, доц.,  
Карацупа С.В., канд. техн. наук, доц., директор ЦВТ  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
Вишневская Я.Ю., канд. техн. наук, консультант  
Департамент внутренней и кадровой политики Белгородской области  
Шейченко М.С., канд. техн. наук  
МАОУ «Центр образования №1»*

## МЕХАНОАКТИВАЦИИ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЫРЬЯ РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗИСА В СТРОИТЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

alfimovan@mail.ru

*Большое значение при использовании сырья различного генезиса в качестве компонента композиционных вяжущих или минеральных добавок приобретают вопросы, связанные с процессами его механоактивации путем тонкого и сверхтонкого измельчения. Это обусловлено тем, что в процессе помола минеральное сырье переходит в химически активное состояние, это способствует приданию композициям специальных свойств и открывает перспективы расширения сырьевой базы при получении качественных модификаторов, композиционных вяжущих и высококачественных изделий на их основе.*

**Ключевые слова:** механоактивация, композиционные вяжущие, генезис, техногенное сырье, минеральные добавки.

Механохимия и механоактивация является предметом многочисленных фундаментальных исследований как отечественных, так и зарубежных ученых [1–7].

Процессы тонкого и сверхтонкого измельчения всегда сопровождаются увеличением запаса внутренней и поверхностной свободной энергии измельчаемого продукта, которая с успехом может быть направлена на увеличение эффективности технологических процессов, таких как кристаллизация, ускорение химических реакций, синтез новых материалов и т. п. Большое значение данного процесса точно характеризуют слова великого русского ученого Менделеева Д.И.: «Чтобы между твердыми телами протекали реакции, необходимо сколь мелко измельчить и перемешать их между собой. Через это взаимодействие значительно ускоряется».

В последнее время широко и подробно исследуются вопросы влияния различного рода превращений сырьевых компонентов, возникающих в ходе механического воздействия (помола) на физико-механические свойства и технологию производства строительных материалов на их основе, в первую очередь это касается цемента [8–21]. Увеличение удельной поверхности минерального сырья путем тонкого измельчения, является основным способом его подготовки, который способствует росту его химической активности. Выявлено, что механическая энергия, подведенная в процессе измельчения к твердому телу частично усваивается им в виде точечных, линейных дефектов и новой поверхности. Так, по данным различных исследований

в твердом теле остается от 10 до 30 % энергии, что и способствует повышению его химической активности.

Патентный поиск позволил установить, что ведущие исследовательские центры в этой области находятся в Институте химии твердого тела и механохимии СО РАН (г. Новосибирск), Казахском национальном техническом университете им. К. И. Сатпаева (г. Алматы), Белгородском государственном технологическом университете им. В. Г. Шухова (г. Белгород).

Одним из самых распространенных технологических процессов в современном производстве строительных материалов является механоактивация сырьевых компонентов в мельницах. Механическая обработка неорганических порошкообразных веществ способствует возникновению поля напряжения на поверхности контакта твердой частицы с мелющим телом или другой частицей, а не во всем ее объеме. В ходе механоактивации происходит чередование процессов возникновения и релаксации поля напряжения с механическим воздействием локального характера. При этом в рабочем органе механоактивирующей установки протекают твердофазные процессы, которые могут привести к изменению физического состояния, структуры, а также химического состава и свойств измельчаемых веществ [13]. Так, в процессе измельчения материалов силикатного состава происходит разрушение кристаллической решетки и расщепление силоксановых связей, что способствует образованию на поверхности силикатов ионов  $O_2Si^{2-}$  и  $O_3Si^-$ , которые, могут выступать

в качестве активных центров реакций присоединения [16].

Анализ всех факторов, которые оказывают влияние на физико-технические свойства портландцемента, дают основание утверждать, что на сегодняшний день потенциал его возможностей используются не полностью, что в свою очередь приводит к тому, что для достижения бетоном заданной прочности, приходится значительно перерасходовать его количество, повышая стоимость конечного изделия.

Как известно, в цементном камне даже после длительного твердения содержится до 50% негидратированных клинкерных частиц, играющих роль инертного наполнителя. По аналогии с бетоном, в состав которого входит крупный и мелкий заполнитель, структуру затвердевшего цементного камня называют «микробетон».

Зависимость свойств цемента и его granulometрии, дисперсности и минералогии, достаточно хорошо изучены, однако не допускают корректировки вне завода, и в то же время есть доступные и в высокой степени эффективные способы повышения характеристик портландцемента, и в частности его активности за счет введения в его состав тонкодисперсных минеральных добавок [22–40].

Минеральные добавки, которые применяются в цементных композициях, условно делят на активные или пуццолановые и инертные. Такое деление обусловлено изменениями свойств материалов в зависимости от их тонкости помола. Некоторые материалы, инертные в естественном состоянии, при определенной степени помола приобретают активность, а в некоторых случаях даже способность самостоятельно твердеть. Как правило, технико-экономические показатели использования того или иного сырья в качестве тонкомолотой добавки определяют не его вещественный состав или активность, а именно тонкость помола [23, 25].

Многими специалистами в области химии твердого тела активация веществ при измельчении объясняется дислокациями в твердом теле и деформацией кристаллической решетки, которые, накапливаясь и локализуясь в определенных объемах, способствуют его разрушению. Измельчаемые кристаллические вещества приобретают избыточную энергию, а согласно принципу Ле-Шателье в системе, содержащей минеральные вещества, активированные в ходе измельчения, должны протекать процессы, способствующие поглощению избыточной энергии. К таким процессам относятся химические реакции или физические превращения кристаллических тел [34, 35].

Изменения строения, состава и свойств минералов, в процессе измельчения чаще всего обусловлено:

- переходом вещества из одной модификации в другую;
- амортизацией;
- деструкцией;
- гидратацией и/или дегидратацией;
- диссоциацией карбонатов;
- твердофазными реакциями;
- изменением структуры и координационного числа атомов в кристаллах;
- механохимическими реакциями между органическими и неорганическими веществами;
- изменениями физико-химических свойств;
- изменением теплоты смачивания;
- повышением растворимости минералов и др.

В связи с расширением выпуска композиционных вяжущих в составе которых содержится большое количество кремнеземсодержащего компонента, актуальность вопросов, связанных с механоактивацией значительно возросла [36–43].

Основную роль, как известно, в процессе увеличения прочности цементного камня играет фракция размером 3–30 мкм, при этом зерна размером 40–60 мкм и более остаются негидратированными, и только лишь спустя полгода толщина слоя цементного камня на их поверхности достигает 15 мкм. Неполноту использования цемента усугубляют трудности связанные с достижением равномерного распределения воды между частицами вяжущего, которые под воздействием адсорбции и сил межмолекулярного сцепления образуют флоккулы и препятствуют равномерному смачиванию.

Высокие скорости гидратации тонких фракций цемента обусловлены не только их удельной поверхностью, но и наибольшей плотностью дислокаций и концентрацией дефектов на их поверхности [34]. Рост дефектности частиц способствует переходу в неравновесное состояние, что, в свою очередь, снижает химическую устойчивость и интенсифицирует целый ряд физико-химических процессов, в том числе и гидратационную активность клинкерных минералов [35]. Этот факт объясняется тем, что при измельчении клинкера на поверхности зерен образуется множество дефектов в виде микро- и субмикротрещин. На начальной стадии гидратации разрушение цементных зерен развивается на дефектах и сопровождается движением дислокации, скорость движения, которой зависит от физической и химической природы поверхности клинкерных минералов, границ их фаз, содержания в кристаллах примесей. При этом, рост трещины эквивалентен непрерывному распределению дислокаций в объеме твердой фазы. Частицы клинкера с дефектами обладают

более высокой энергией взаимодействия, чем минералы с совершенной структурой [9].

Кроме того неоднократно доказано, что применение механоактивации при производстве композиционных вяжущих позволяет не только придать им специальные свойства, но и открывает широкие перспективы для создания качественных вяжущих с применением отходов промышленности, которые еще не нашли своего широкого применения в отрасли строительных материалов.

Цемент является очень сложной гидратационной системой и поэтому химические добавки, вводимые даже в небольших количествах, оказывают существенное влияние на процессы его гидратации и твердения. Как известно, органические добавки по большей части не изменяют состав продуктов гидратации, а в основном влияют на скорость процессов кристаллизации и конденсации, а также структуру гидратов, в то время как добавки неорганического происхождения могут в большинстве своем способствовать изменению фазового состава продуктов гидратации клинкерных минералов. В зависимости от своего состава и химической активности состава минеральные добавки изменяют скорость гидратации цемента, а также могут связывать в гидратные фазы портландит, тем самым повышая прочность системы.

Основная задача создания высокоэффективных органоминеральных модификаторов состоит в том, чтобы рационально использовать особенности влияния отдельных компонентов ОМД на процессы, протекающие при гидратации цементных систем с целью достижения высокого многофункционального эффекта.

Механоактивация функциональных добавок, имеющих различное назначение, способствует росту их рабочей поверхности и химической активности. Наибольший эффект достигается в случае применения механоактивации в технологии получения полифункциональных комплексных модификаторов, в состав которых входит от двух и более механоактивированных добавок различного класса. Исследования в данной области представляют большой научный и практический интерес, который имеет большое значение для развития представлений о способности веществ органического происхождения взаимодействовать с цементно-минеральными системами в процессе механоактивации.

Исследования, выполненные с использованием различных видов цементов, минеральных, а также органоминеральных добавок, позволили выявить параметры их изготовления, которые обеспечивают максимальную активность вяжущего при минимальных затратах энергии, выявить численные показатели основных физико-механических свойств вяжущих, подтвердить

эффективность механоактивации в активаторах. Доказано, что применение механоактивации при производстве вяжущих позволяет придать им специальные свойства и открывает перспективы для получения качественных композиционных вяжущих с применением сырья как природного, так и техногенного происхождения.

Таким образом, при рассмотрении возможности использования того или иного природного и техногенного сырья в качестве компонента композиционного вяжущего или минеральной добавки необходимо применять системный подход к изучению его качественных характеристик, а также рассмотрению возможности повышения потенциала его использования за счет применения механоактивации.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов. Новосибирск: Наука, 1986. 305 с.
2. Boldyrew V.V. Mechanochemistry and mechanical activation of solids // *Solid State Ionics*. 1993. Vol. 63–65. №1–4. Pp. 537–543.
3. Boldyrew V.V. Reactivity of solids // *J. of Thermal Analysis*. 1993. Vol. 40. Pp. 1041–1062.
4. *Fundamentals of Powder Technology* / Ed. Arakawa M. Tokyo, 1992. 424 p.
5. Бутягин П.Ю. О критическом состоянии вещества в механохимических превращениях. 1993. Т. 331. №3. С. 311–314.
6. Муллер В.М., Потанин А.А. О механизмах потери энергии частиц, ударяющихся о твердую поверхность // *Коллоидный журнал*. 1993. Т. 55. № 5. С. 129–141.
7. Abel A. Dislocation-associated elastic energy storage in mechanical deformations // *Materials Science a. Engineering*. 1993. Vol. 164. №1–2. Pp. 220–225.
8. Кузнецова Т.В., Сулименко Л.М. Механоактивация портландцементных сырьевых смесей // *Цемент и его применение*. 1985. №4. С. 20–21.
9. Комохов П.Г. Механико-энергетические аспекты процессов гидратации, твердения и долговечности цементного камня // *Цемент и его применение*. 1987. № 2. С. 20–22.
10. Чернышов Е.М., Беликова М.И. Измельчение и физико-химическая активность сырьевых компонентов в технологии строительных материалов // *Известия вузов. Строительство*. 1993. № 3. С. 37–41.
11. Свойства механоактивированных цементно-зольных вяжущих бетонов и растворов на их основе / В.М. Дымский [и др.] // *Технологические проблемы измельчения и механоактивации: Материалы науч.-техн. семинара стран*

содружества, Могилев, 21–23 окт. 1992. Могилев, 1993. С. 208–220.

12. Кузьмина В.П. Механоактивация цементов // Строительные материалы. 2006. № 5. С. 7–9.

13. Кузьмина В.П. Механоактивированные цветные цементы // Строительные материалы. 2006. №7. С. 25–27.

14. Сулименко Л.М., Майснер Ш.Н. Влияние механоактивации на технологические свойства портландцементных сырьевых смесей // Известия вузов. Химия и химическая технология. 1986. № 1. С. 80–84.

15. Лесовик В.С., Прокопец В.С. Производство и применение дорожно-строительных материалов на основе сырья, модифицированного механической активацией. Белгород, 2005. 263 с.

16. Прокопец В.С. Влияние механоактивационного воздействия на активность вяжущих веществ // Строительные материалы. 2003. №9. С. 28–29.

17. Clinker grind ability and textures of alite and belite / I. Maki [etc] // Cement a. Concrete Research. 1993. Vol. 23. №5. Pp. 1078–1084.

18. Kakali G., Tsvivilis S. The effect of inter grinding and separate grinding of cement raw mix on the burning process // Cement a. Concrete Research. 1993. Vol. 23. № 3. Pp. 651–662.

19. Opoczky L. Problems relating to grinding technology and quality when grinding composite cements // Zement-Kalk-Gips. 1993. Bd 46. Vol. 3. Pp. 136–140.

20. Lapshin V.I., Yarmarkin V.K., Fokina E.L. Regularities of mechanochemical synthesis of complex oxides // Mechanochemical synthesis in inorganic chemistry New York and London, 1994 Pp. 66–83.

21. Planetary mills of periodic and continuous action / E.L. Fokina [etc] // Journal of Materials Science. 2004. Vol. 39. Pp. 5217–5221.

22. Механоактивация вяжущих композиций на основе техногенных продуктов / Л.М. Сулименко [др.] // Известия вузов. Строительство. 1998. № 10. С. 51–56.

23. Композиционное вяжущее из механически активированных промышленных отходов / Е.Г. Аввакумов [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. 2000. Т. 8. № 5. С. 657–660.

24. Дугуев С.В., Иванова В.Б. Механохимическая активация в производстве сухих строительных смесей // Строительные материалы. 2000. № 5. С. 28–30.

25. Композиционное вяжущее из минеральных отходов промышленности при их механохимической обработке / С.И. Павленко [и др.] // Известия вузов. Строительство. 2000. № 12. С. 48–50.

26. Alfimova N.I., Shadskiy E.E., Lesovik R.V., Ageeva M.S. Organic-mineral modifier on the basis of volcanogenic-sedimentary rocks // International Journal of Applied Engineering Research (IJAER). 2015. Vol. 10. № 24. Pp. 45131–45136.

27. Алфимова Н.И., Трунов П.В., Шадский Е.Е. Модифицированные вяжущие с использованием вулканического сырья: монография. Saarbrucken: Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing. 2015. 133 с.

28. Алфимова Н.И., Шадский Е.Е. Органо-минеральный модификатор на основе вулканического сырья // [Электронный ресурс] : «Эффективные строительные композиты»: науч.-практ. конф. к 85 летию заслуженного деятеля наук РФ академика РААСН д-р техн. наук, Баженова Ю.М., Белгород, 2–3 апр. 2015 г.: Белгород, 2015.

29. Lesovik R.V., Leshchev S.I., Ageeva M.S., Karatsupa S.V., Alfimova N. I. The use of zeolite for the production of tripoli composite binders // International Journal of Applied Engineering Research (IJAER). Vol. 10, №24 (2015). Pp. 44889–44895.

30. Lesovik V.S., Ageeva M.S., Mahmoud Ibrahim Husni Shakarna, Allaham Yasser Seyfiddinovich, Belikov D. A. Efficient binding using composite tuffs of the Middle East // World Applied Sciences Journal. 2013. №24 (10). Pp. 1286–1290.

31. Lesovik R.V., Ageeva M.S., Shakarna M. Efficient binding using composite tuffs of the middle east // World Applied Sciences Journal. 2013. T. 24. № 10. С. 1286–1290.

32. Ageeva M.S., Sopin D.M., Lesovik G.A., Metrohin A.A., Kalashnikov N.V., Bogusevich V.A. The modified composite slag-cement binder // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2014. T. 9. № 8. С. 1381–1385.

33. Лесовик В.С., Потапов В.В., Алфимова Н.И., Ивашова О.В. Повышение эффективности вяжущих за счет использования наномодификаторов // Строительные материалы. 2011. № 12. С. 60–62.

34. Сычев М.М. Формирование прочности // ЖПХ. 1981. Т. 54. № 9. С. 36–43.

35. Молчанов В.И., Селезнева О.Г., Жирнов Е.Н. Активация минералов при измельчении. М.: Недра, 1988. 208 с.

36. Лесовик В.С., Савин А.В., Алфимова Н.И., Гинзбург А.В. Оценка защитных свойств бетонов на композиционных вяжущих по отношению к стальной арматуре // Строительные материалы. 2013. №7 С. 56–58.

37. Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю., Трунов П.В. Композиционные вяжущие и изделия с использованием техногенного сырья: монография. Saarbrucken. Изд-во LAP. 2013. 127

с.

38. Лесовик В.С., Савин А.В., Алфимова Н.И., Шадский Е.Е. Перспективы применения композиционных вяжущих при производстве железобетонных изделий // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. №5 (88) С. 95–99.

39. Лесовик В.С., Сулейманова Л.А., Кара К.А. Энергоэффективные газобетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. №3. С. 10-20.

40. Suleymanova L.A., Lesovik V.S., Kara K.A., Malyukova M.V., Suleymanov K.A. Energy-efficient concretes for green construction // Research Journal of Applied Sciences. 2014. Т. 9. № 12. С. 1087–1090.

41. Alfimova N.I., Sheychenko M.S., Karatsupa S.V., Yakovlev E.A., Kolomatskiy

A.S., Shapovalov N.N. Features of application of high-mg technogenic raw materials as a component of composite binders // Research Journal of Applied Sciences. 2014. V. 9 (11). P. 779–783.

42. Alfimova N.I., Lesovik V. S., Trunov P.V. Reduction of energy consumption in manufacturing the fine ground cement // Research Journal of Applied Sciences. 2014. V. 9. (11). P. 745–748.

43. Алфимова Н.И., Трунов П.В., Шадский Е.Е., Попов Д.Ю., Кузнецов В.А. Влияние способа помола на реологию тонкомолотых многокомпонентных цементов // «Наукоемкие технологии и инновации» (XXI научные чтения): Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, Изд-во БГТУ. Т.3. 2013. С. 28–31.

---

**Alfimov N.I., Kalatzi V.V., Karatsupa S.V., Vishnevskaja Ia.Iu., Sheichenko M.S.**  
**MECHANICAL ACTIVATION AS A WAY OF IMPROVING THE EFFICIENCY**  
**USE OF RAW MATERIALS OF DIFFERENT GENESIS IN BUILDING**  
**MATERIALS SCIENCE**

*Great value when using raw material of different Genesis as a component of composite binding materials or mineral admixtures are becoming the issues related to the process of mechanoactivation by fine and ultrafine grinding. This is because in the process of grinding of mineral raw materials goes into chemically active status, it contributes to the special properties of the composites and opens up prospects for expanding the raw material base for obtaining high-quality modifiers, high quality composite binders and products on their basis.*

**Key words:** *mechanical activation, composite binders, genesis, technogenic raw materials, mineral additives.*

---

**Алфимова Наталия Ивановна**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения изделий и конструкций.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail:alfimovan@mail.ru

**Калатози Виктория Валерьевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры безопасность жизнедеятельности.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

**Карацупа Сергей Викторович**, кандидат технических наук, доцент, директор Центра высоких технологий. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Вишневская Яна Юрьевна**, кандидат технических наук, консультант отдела высшего образования и науки.

Департамент внутренней и кадровой политики Белгородской области,

Адрес: Россия, 308005, Соборная площадь, 4

**Шейченко Михаил Сергеевич**, кандидат технических наук

МАОУ «Центр образования №1»

Адрес: Россия, 308001, Белгород, ул. Н. Чумичова, д.53-а