

## ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ МЕХАНОАКТИВАЦИИ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОНОВ

Елисева М.А.

Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры

В статье рассмотрен перспективный способ по улучшению характеристик сырьевых компонентов бетонной смеси и получению материала высокого качества. Приводится опыт применения механоактивации в производстве вяжущих, а также готовых бетонных смесей. Выявлены недостатки присущие существующим технологиям, применяющим механоактивацию строительных материалов. В качестве альтернативы предлагается использование смесителя-активатора роторного типа. В этом случае удается одновременно проводить однородное перемешивание, обогащение, активацию и частичный домол компонентов бетонной смеси в присутствии необходимого количества воды.

**Ключевые слова:** механоактивация, дезинтеграторная обработка, динамическое прессование, виброперемешивание, смеситель-активатор роторного типа.

**Постановка проблемы.** Проблема недоиспользования потенциальных возможностей исходного сырья при производстве строительных материалов в сегодняшних условиях дефицита качественных природных ресурсов требует немедленного решения. Давно известен тот факт, что реакционная способность цемента при изготовлении бетона используется не в полной мере. Так, цементный камень даже после продолжительных сроков твердения содержит до 50% непрогидратировавших клинкерных минералов, которые выполняют функции скорее инертного наполнителя, чем вяжущего материала. Вторичные материальные ресурсы, отходы различных промышленности, привлекаемые в качестве альтернативного сырья природным ресурсам, в большинстве своем имеют латентные (скрытые) свойства, для пробуждения которых необходимо проводить специальные технологические операции. Одним из таких способов является механическая активация, которая позволяет в полной мере раскрыть скрытые свойства одних веществ и использовать потенциальные возможности других (вяжущих веществ).

**Анализ последних исследований и публикаций.** Проблемой улучшения характеристик, как исходного сырья, так и готовых бетонных и вяжущих композиций путем их интенсивной механической обработки занимались такие ученые, как: И.П. Александрин, А.В. Волженский, Ю.Я. Штаерман, В.И. Соломатов, И.А. Хинт, Б.В. Гусев и мн. др. Среди последних публикаций, посвященных этой тематике, можно отметить работы Федоркина С.А., Барабаша И.В., Шинкевич Е.С., Прокопца В.С., Урхановой Л.А. и др.

**Целью настоящей работы** является анализ существующих технологий по механоактивации как исходных составляющих бетона, так и готовой бетонной смеси и рекомендация наиболее эффективного из них в условиях нынешнего времени.

**Изложение основного материала.** Среди способов механической активации бетонов различают активацию прессованием, измельчением, перемешиванием и пр. Все эти способы отличает интенсивная обработка материалов при высоких скоростях движения рабочих органов используемых установок либо высоким давлением.

Первые попытки применить механоактивацию в технологии производства строительных материалов связаны с приготовлением вяжущих веществ. Так, давно отмечен тот факт, что при повторном помоле цемента увеличивается его реакционная способность и удельная поверхность, что интенсифицирует процесс твердения изделий на таком вяжущем и сокращает его расход в них.

В работе [1], советскими учеными А.В. Волженским и Л.Н. Поповым, предлагается для увеличения активности цементов и снижения их расхода в изделиях приготавливать смешанные цементы повторного помола в шаровых мельницах. Наиболее действенным способом, по их мнению, является получение клинкера с гипсом грубого помола в короткой мельнице высокой производительности, а затем проведение вторичного помола полученного цемента вместе с добавкой доменного шлака, кварцевого песка, известняка или других добавок абразивной природы в шаровой мельнице. В этом случае добавку используют как абразив по отношению к цементу, то есть она ускоряет истирание клинкерных частиц до состояния более тонких фракций. Это необходимо для того, чтобы снизить энергозатраты связанные с проведением данной операции и повысить производительность шаровой мельницы, так как известно, что при изготовлении тонкодисперсных порошков ее эффективность резко снижается. В результате помола частицы добавки имеют высокую дисперсность (одностадийный помол), а частицы цемента – тонкую (двухстадийный помол). При этом удельная поверхность смешанного цемента составляет около  $4000 \text{ см}^2/\text{г}$  при остатке на сите  $4900 \text{ отв./см}^2$  8-10%. При содержании добавки в вяжущем около 30-35% его активность не снижается и равна активности обычного портландцемента. Данная технология позволила авторам работы, получить 1,35-2 т смешанного цемента из 1 т исходного портландцемента такой же активности.

В производственной практике данный способ не получил распространения ввиду своей высокой энергозатратности не сопоставимой с получаемым от него эффектом.

Способ механоактивации путем домола портландцемента также рекомендуется применять для лежалых цементов. Это позволяет вернуть прежнюю активность цемента, утраченную в результате его длительного хранения. Так, в работе [2] в качестве более эффективного и менее энергозатратного способа активации вяжущих материалов предлагается проводить селективную дезинтеграторную активацию портландцемента (СДАП). В этом случае, в качестве измельчителя применяется дезинтегратор, доукомплектованный классификатором. Дезинтеграторная обработка позволяет регулировать содержание необходимых активных фракций, размером 10-40 мкм и получать узкий гранулометрический состав обрабатываемого материала. Классификатор же своевременно удаляет из общей массы активируемого вещества частицы, не требующие дополнительного измельчения. Данный метод по-

звolyает получить цемент с удельной поверхностью на 30-50% выше его исходных показателей; узкий гранулометрический состав вяжущего с количеством частиц от 5 до 40 мкм до 98%, малым содержанием частиц до 5 мкм и свыше 40 мкм, что, в конечном счете, улучшает вяжущие свойства портландцемента.

Как видно, из вышеизложенного, часть ученых связывает повышение активности вяжущих веществ, в первую очередь, с увеличением удельной поверхности и достижением их оптимального гранулометрического состава, в котором преобладали бы средние наиболее активные фракции, способствующие высокому набору прочности вещества в возрасте 28 суток.

Однако следует отметить, что при повышении дисперсности вяжущих материалов резко возрастает и их водопотребность, то есть при изготовлении бетонных смесей формовочной влажности потребуется повысить расход воды, что может негативно отразиться на прочностных и эксплуатационных свойствах изготавливаемого из них изделия. Особенно актуальна эта проблема для гипсовых вяжущих веществ, прочность которых непосредственно зависит от величины их водопотребности.

В работе [3] автор Михеенков М.А. активацию фосфогипса предлагает проводить в условиях фильтрационного прессования при действии усилий, которые превышали бы прочность кристаллогидратов фосфогипса. В данном случае, скорость относительного перемещения материала является минимальной и не превышает 1 м/с, а величина давления изменяется в диапазоне 50-300 МПа. При данной обработке температура образцов материала при максимальном давлении прессования в 300 МПа достигала 298 К, то есть поднималась примерно на 8°C по сравнению с температурой исходного вещества. При этом прочность при сжатии высушенных образцов прессованного фосфогипса при 300 МПа составляла 17,5 МПа; при 50 МПа – 6,7 МПа, 250 МПа – 9,9 МПа. Полученный эффект от прессования ученый связывает с увеличением внутренней энергии гипса и повышении дефектности его кристаллической решетки. Результаты экспериментов, подтвержденные графиками прессованного вещества в рентгеновском и ИК спектрах, свидетельствуют о том, что в условиях действия высоких давлений возрастает степень кристалличности кристаллогидратов фосфогипса.

Тем не менее, применение предложенного способа в практике сопряжено с трудностями проведения динамического прессования, так как при этом потребуется громоздкое, металлоемкое оборудование большой массы, надлежащее укрепление места его расположения.

Исследования других ученых [4, 5, 6] в области механоактивации были направлены на получение непосредственно механоактивированных смесей формовочной влажности, а не их исходных компонентов.

Так, еще в 50-х годах прошлого столетия, эстонским ученым И. Хинтом посредством механоактивации известково-кремнеземистой смеси в дезинтеграторе был получен новый высокопрочный материал – силикальцит. Первые изделия, полученные исследователем, имели прочность при сжатии 61 МПа, позже удалось получить изделия с прочностью 100 МПа [4].

Дезинтеграторная обработка известково-песчаных смесей проводилась при условии соударения частиц песка и известки с твердой поверхностью со скоростью до 250 м/с, количества ударов от 3 до

8 в зависимости от конструкции установки, промежуток времени между отдельными ударами до 0,001 с. Таким образом, обрабатываемые материалы испытывают интенсивное воздействие сильных ударов [4].

Ученым и его коллегами установлено, что прочность при сжатии силикальцитных образцов при плотности в 1,9 г/см<sup>3</sup> составляет более 350 МПа. Таким образом, равнопрочные бетонные изделия имеют больший вес, чем силикальцитные примерно на 30%. Кроме того, силикальцит характеризуется высокими показателями водонепроницаемости и стойкости по отношению к некоторым агрессивным средам.

Объясняет автор полученный эффект тем, что дезинтеграторная обработка известково-песчаных смесей способствует образованию прочного сцепления между песком и известью, качественному изменению структуры обрабатываемых материалов, их физических и химических свойств. По мнению ученого, при обработке в дезинтеграторе активизируются как поверхности зерен песка, так и глубинные слои его частиц. Активизируются все компоненты смеси: известь и вода. Также под действием ударов песок разрушается вдоль непрочных поверхностей зерен, образуя новые свежие поверхности, обладающие более высокой структурной прочностью и активностью. Таким образом, дезинтегрированные силикальцитные смеси приобретают высокую степень однородности, а песок – активность, тонкость, рациональный зерновой состав.

Недостатком, вышеописанного метода является низкая износостойкость рабочих частей дезинтегратора (пальцев) из-за высокой абразивности песка, и соответственно, низкая величина межремонтного периода установки.

Среди прочих методов интенсивной обработки бетонных смесей следует отметить виброперемешивание, подробно рассмотренное Штаерманом Ю.Я. [5]. Обработка бетонных смесей осуществляется в виброактиваторе-смесителе, представляющим собой шнековую бетономешалку принудительного действия со встроенным вибратором, обеспечивающим 7000 колебаний в минуту. При этом установка может работать как традиционная бетономешалка (при отключенном вибраторе), так и в качестве виброактиватора-смесителя, в ней можно приготавливать как цементную вибропасту, используемую в качестве вяжущего, так и готовый виброактивированный бетон. Суть технологии в том, что вначале загруженные исходные материалы смеси перемешиваются в виброактиваторе-смесителе при отключенном вибраторе, а затем через 3 минуты обработки компонентов включается вибратор и смесь еще 10 минут обрабатывается в установке. При этом, прочность виброактивированного бетона в возрасте 24 суток на 61% выше прочности обычного бетона, приготовленного без применения виброперемешивания. В целом данная технология позволяет получить высокую прочность сцепления цементного камня с заполнителем, повышенную механическую прочность, морозостойкость и водонепроницаемость виброактивированных бетонов. Цементная вибропаста имеет высокую активность, низкую структурную прочность, способностью быстро набирать механическую прочность.

Объяснением полученных данных, по мнению Штаермана Ю.Я., является равномерное распределение цемента в бетонной смеси и получение высокой степени ее однородности, активация контакта цементного камня с заполнителем, высокий выход коллоидной массы низкой структурной прочностью.

Недостатком этой технологии является недолговечность и нестабильность работы используемых вибросмесителей. Кроме того, вибрационное оборудование из-за высоких показателей шума и вибрации создает неблагоприятные условия труда для рабочих.

Широко известен способ интенсивной раздельной технологии приготовления бетонной смеси, предложенный Соломатовым В.И. и позже усовершенствуемый его последователями [6-7]. Принцип этого метода состоит в том, что на первой стадии приготовления осуществляется перемешивание тонкодисперсных компонентов смеси (вяжущее и наполнитель) с частью воды при больших скоростях в турбулентном смесителе. На второй стадии полученная смесь перемешивается в обычном низкооборотном смесителе с заполнителями и оставшимся количеством воды.

При изготовлении тяжелых бетонов на плотных заполнителях по этой технологии исследователям удалось снизить расход цемента на 7-15% по сравнению с равнопрочными бетонами, изготовленными по традиционной технологии (без применения турбулентных смесителей). Для достижения большей экономии вяжущего и эффективности предложенной технологии авторы работы рекомендуют вводить в бетонные смеси минеральные наполнители (доменные и электротермофосфорные шлаки, золы уноса ТЭС, молотые кварцевые пески, известняковые отходы камнедробления и пр.) и химические добавки пластифицирующего, пластифицирующе-воздухововлекающего действия и пр. При этом исследователям удалось сократить расход цемента на 15-25% при использовании только наполнителей, до 50% при применении наполнителей и пластифицирующих добавок. Максимально достижимая прочность составляла 103 МПа, водонепроницаемость более 1,8 МПа, морозостойкость – 500 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Полученный эффект Соломатов В.И. связывает с тем, что интенсивная раздельная технология позволяет провести равномерное распределение компонентов бетонной смеси и получить однородные смеси, очистить частицы наполнителя и цемента от окисных и других пленок, обнажить новые активные центры их поверхности, а также повысить реакционную способность всех компонентов, перемешиваемых в турбулентном смесителе. Это увеличивает прочностные и эксплуатационные характеристики бетона.

Однако необходимость применения двух смесительных установок усложняет и удорожает технологический процесс изготовления бетонных изделий в производственных условиях. В этом случае возникают затраты, связанные с обустройством дополнительного вспомогательного оборудования к ним (бункеров, дозаторов) и транспортировке ко второму смесителю активированных смесей. При использовании наполнителей и химических добавок необходимо также обеспечить наличие оборудования для их складирования, дозирования и транспортирования.

Нами была разработана технология приготовления бетонной смеси в смесителе-активаторе роторного типа РС-06. Данная установка позволяет проводить одновременно однородное перемешивание, обогащение, активацию и частичный домол компонентов бетонной смеси в присутствии необходимого количества воды. Подробно технология приготовления механоактивированных мелкозернистых бетонных смесей из доменных гранулированных шлаков рассмотрена в работе [8]. Здесь отметим, что обработка материалов в этом смесителе-активаторе происходит по следующей схеме: все взвешенные материалы бетонной смеси через загрузочное устройство, расположенное в верхней части цилиндрического корпуса, попадают на вращающийся ротор установки. После обработки приготовленная бетонная смесь выгружается через разгрузочный люк при вращающемся роторе непосредственно в приемный бункер формовочной машины. Готовая бетонная смесь сразу после приготовления имеет температуру 45-50°C. Выбор режимов механической активации назначается в зависимости от свойств применяемого сырья и предъявляемых требований к изделиям. Наиболее эффективными режимами работы смесителя РС-06 при производстве мелкозернистых бетонов из доменных гранулированных шлаков марок от С 5 до С 30 являются следующие: время обработки смеси – 45-60 с; линейная скорость вращения ротора 12 м/с; коэффициент загрузки смесителя 0,6-0,8.

Предложенная технология приготовления механоактивированных бетонных смесей исключает необходимость обустройства дополнительных смесительных и вспомогательных установок, позволяет сократить продолжительность технологического процесса изготовления бетонных изделий из таких смесей за счет уменьшения времени перемешивания компонентов бетона и сокращения режима тепловой обработки бетонных изделий, а также способствует экономии цемента до 65% за счет значительного улучшения исходных характеристик доменного гранулированного шлака, цемента и зоны их контакта.

Ведутся дальнейшие исследования по проверке полученных результатов и возможности изготовления бетонных смесей при использовании других сырьевых компонентов.

**Выводы и предложения.** Таким образом, механическая активация материалов при правильно подобранных режимах и конструкциях агрегатов может быть экономичной и эффективной. Она является альтернативой термической активации многих материалов, в частности минерального происхождения, содержащих высокое количество оксидов кальция и кремнезема. Этот способ позволяет активизировать их реакции а, следовательно, снизить их расход в изделиях и уменьшить длительность тепловой обработки изготавливаемых изделий с высокими прочностными и эксплуатационными характеристиками.

#### Список литературы:

1. Волженский А. В. Смешанные портландцементы повторного помола и бетоны на их основе / А. В. Волженский, Л. Н. Попов. – М.: Гос. изд-во лит-ры по стр-ву, арх-ре и стр. мат., 1961. – 107 с.
2. Липилин А. Б. Селективная дезинтеграторная активация портландцемента (СДАП) / А. Б. Липилин, Н. В. Коренюгина, М. В. Векслер // Строительные материалы. – 2007. – № 7. – С. 74-76.
3. Михеенков М. А. Особенности механической активации гипса в условиях динамического прессования / М. А. Михеенков // Исследовано в России: электрический журнал. – 2004. – № 127. – С. 1342-1352.
4. Хинт И. А. Основы производства силикалитных изделий / И. А. Хинт. – М: Госстройиздат, 1962. – 185 с.

5. Штаерман Ю. Я. Виброактивированный бетон / Ю. Я. Штаерман. – Тбилиси: Гос. изд-во «Сабчота Сакартвело», 1963. – 181 с.
6. Соломатов В. И. Интенсивная технология бетонов: совместное изд-во СССР – Бангладеш. – М: Стройиздат, 1989. – 264 с.
7. Гусев Б. В. Интенсификация приготовления бетонной смеси / Б. В. Гусев, Э. Х. Кушу // Бетон и железобетон. – 1989. – № 7. – С. 6-7.
8. Усовершенствование технологии приготовления механоактиви-рованных мелкозернистых бетонных смесей из доменных гранулированных шлаков / В. И. Большаков, М. А. Елисеева, О. С. Щербак [и др] // Строительство, материаловедение машиностроение. – Днепропетровск: ПГАСА, 2013. – Вып. 67. – С. 224-228.

**Єлісеєва М.О.**

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

## **ДОСВІД ТА ПЕРСПЕКТИВА ЗАСТОСУВАННЯ МЕХАНОАКТИВАЦІЇ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА БЕТОНІВ**

### **Анотація**

У статті розглядається перспективний спосіб по поліпшенню характеристик сировинних компонентів бетонної суміші та одержанню матеріалу високої якості. Приводиться досвід застосування механоактивації у виробництві в'язучих, а також готових бетонних сумішей. Виявлено недоліки, які властиві існуючим технологіям, що застосовують механоактивацію будівельних матеріалів. В якості альтернативи пропонується використання змішувача-активатора роторного типу. У цьому випадку вдається одночасно проводити однорідне перемішування, збагачування, активацію та частковий домел компонентів бетонної суміші в присутності необхідної кількості води.

Ключові слова. механоактивація, дезінтеграторна обробка, динамічне пресування, віброперемішування, змішувач-активатор роторного типу.

**Yeliseieva M. O.**

Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture

## **EXPERIENCE AND PROSPECTS OF APPLICATION OF MECHANICAL ACTIVATIONS IN THE TECHNOLOGY OF CONCRETES PRODUCTION**

### **Summary**

The article describes a promising way to improve the characteristics of the raw material components of the concrete mix and the resulting material quality. The testing of the application of mechanical activation in the production of binders, as well as ready-mix concrete is conducted. Shortcomings inherent in existing technologies, which use mechanical activation of building materials, are revealed. An alternative is to use a mixer of the rotary type activator. In this case, it is possible to simultaneously carry out uniform mixing, concentration, activation and partial regrinding of components of concrete in the presence of a necessary amount of water.

**Keywords:** mechanical activation, disintegration processing, dynamic compaction, vibration mixing, rotary type activator.