

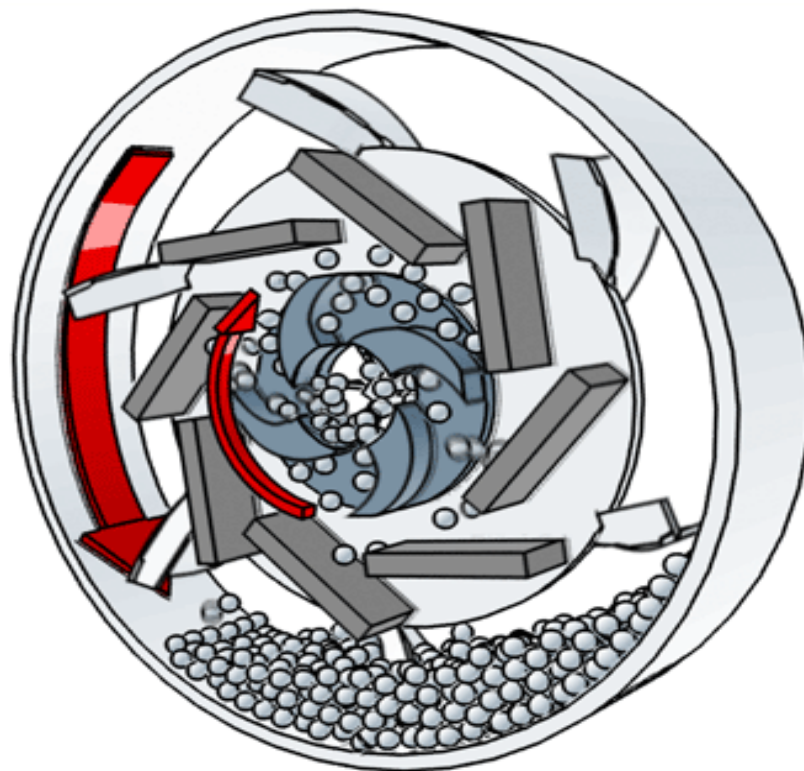
**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра технологии строительных материалов, изделий и конструкций

# Механическая активация материала

Методические указания  
к лабораторно-практическому занятию по дисциплине  
«Научные основы технологии производства цементных бетонов и изделий  
из них» для студентов направления подготовки 08.04.01 «Строительство»,  
профиль «Инновационные технологии высокопрочных  
и высокофункциональных бетонов»



Казань  
2018

УДК 691  
ББК 38.33  
М80

М80 Механическая активация материала: Методические указания к лабораторно-практическому занятию по дисциплине «Научные основы технологии производства цементных бетонов и изделий из них» для студентов направления подготовки 08.04.01 «Строительство», профиль «Инновационные технологии высокопрочных и высокофункциональных бетонов» / Сост. Н.Н. Морозова. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2018. – 14 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

В методических указаниях приведены способы активации сухих материалов в различных измельчающих аппаратах: вихревом электромагнитном смесителе, истирателе и различной конструкции мельниц. Приводятся методы оценки дисперсности сухих материалов на современных приборах: лазерном анализаторе частиц HORIBA «LA-950» и ПСХ-12. Установление эффективного способа измельчения для соответствующего материала ведется по коэффициенту размолоспособности и удельным энергозатратам на прирост удельной поверхности в процессе диспергации.

Рецензент  
Начальник лаборатории ООО «Казанский ДСК»  
**Э.В. Ерусланова**

УДК 691  
ББК 38.33

© Казанский государственный  
архитектурно-строительный  
университет, 2018  
© Морозова Н.Н., 2018

## Введение

В 1887 году В. Оствальдом введен в литературу термин «механохимия». В этом названии отражается причинная зависимость химической реакции от способа ее инициирования [1].

Активация материалов – повышение активности поверхности минеральных материалов, основанное на обработке их поверхностно-активными веществами или активаторами (известью и др.) в момент образования свежих поверхностей (при дроблении, измельчении и т.п.) с использованием их особого энергетического состояния и резко изменяющейся реакционной способности. В металлургии под активацией понимают – переход пассивной поверхности металла к химически активному состоянию.

Согласно определению, данному академиком Ребиндером, «цель механохимии состоит в использовании или предотвращении тех химических реакций, которые вызываются или ускоряются механической активацией». Часть механической энергии, подведенной к твердому телу во время активации, усваивается им в виде новой поверхности, линейных и точечных дефектов. Известно, что химические свойства кристаллов определяются наличием в них дефектов, их природой и концентрацией. Механоактивация смеси численно равна суммарному изменению свободной энергии системы под действием механических сил.

После измельчения (механоактивации) свободная поверхность не является равновесной и статически устойчивой. В приповерхностном слое начинаются процессы перестройки в направлении к равновесному состоянию. Неравенство между свободной поверхностной энергией и поверхностным натяжением – одна из причин появления дефектов. Однако, практика показала, что механоактивированный цемент, расфасованный в горячем состоянии (60° С) в герметичную полимерную

тару, сохранял свою активность в течение года и более. При этом в ёмкости создавался небольшой вакуум, о чём свидетельствовала приплюснутая форма полимерных бидонов.

Затраты энергии на производство железобетонных изделий и конструкций в среднем составляют от 600 до 800 кг условного топлива на 1 м<sup>3</sup> бетона. Так, в жилых и общественных зданиях на железобетонные конструкции, а также на заводское производство изделий расходуется в среднем 75-80% суммарных затрат энергоресурсов. По данным НИИЖБ, потребление энергии на производство 1 м<sup>3</sup> бетона в заводских условиях распределяется следующим образом: цемент – 79%, заполнители – 1,6%, ускорение твердения бетона – 17%, прочие расходы – 2,4%. Отсюда следует, снижение расхода является первостепенной задачей совершенствования технологии бетона.

Известно, что основными способами экономии цемента и увеличения прочности бетона является введение добавок, которые позволяют повысить плотность бетона, снизить водоцементное отношение, или активацию вяжущего. Вяжущим веществом для бетонов является цемент, смесь цемента с отходами или только отходы производства, прошедшие специальную обработку. Активация вяжущих, как правило, осуществляется механическим путем – с помощью специальных мельниц, вибромельниц и др. Существуют такие виды активации цемента, как обработка цементной суспензии электрическим током высокого напряжения или ультразвуковое и электростатическое измельчение. Однако, не приводятся данные о регулируемых параметрах процесса, которые могут быть применены в реальной технологии производства бетона и железобетона.

## 1. Способы механоактивации сухих материалов

Механоактивация материалов в мельницах является наиболее распространенной технологической операцией в современном производстве [2].

В строительной промышленности всегда существуют проблемы интенсификации технологических процессов, их удешевления и экологической безопасности, решениям которых посвящено множество разработок и изобретений. Так, давно известен и активно применяется способ механоактивации порошкообразных веществ в мельницах, дезинтеграторах и аналогичных измельчительных аппаратах, где помимо диспергирования наблюдаются такие эффекты, как деформация кристаллов, образование большого количества дефектов, изменение размеров микроблоков, образующих кристалл, локальный подъем температуры и давления, фазовые превращения, аморфизация, разрыв химических связей, ускорение процессов диффузии и т.д., приводящие к значительному повышению реакционной способности и, как следствие, к ускорению физико-химических процессов [3].

Одной из новых, но уже показавших свою эффективность разработок в области механоактивации могут по праву считаться технологии, основанные на принципиально новых методах воздействия энергии на вещество – на использовании энергии вращающегося (бегущего) электромагнитного поля высокой удельной концентрации в единице объема рабочего пространства реактора. На основе этого явления природы Д.Д. Логвиненко создал промышленные аппараты, имеющие производительность в сотни и в тысячи раз выше, чем традиционное оборудование такого же назначения. При этом энерго-, материало-, трудо- и капитальные затраты оказывались в 5100 раз меньше. Технологические линии, основой которых являются его аппараты, можно использовать

практически во всех отраслях промышленности, быта и сельского хозяйства с огромным техническим и экономическим эффектом. Эти аппараты Д.Д. Логвиненко назвал аппаратами вихревого слоя (АВС). Аппараты достаточно широко и эффективно используются в составе технологических линий обработки сырья и отходов производства. Учитывая непрерывный характер организации процесса работы современных аппаратов вихревого слоя, их принято именовать установками активации процессов.

Конструктивно аппарат аналогичен асинхронному электродвигателю с извлечённым ротором (рис.1), на месте которого располагается рабочая зона.

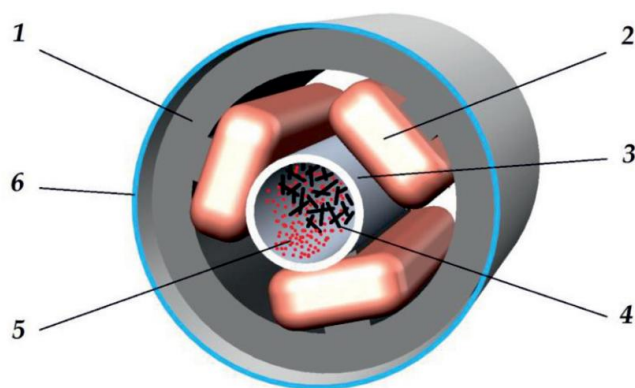


Рис. 1. Типовая конструкция аппарата с вращающимся ЭМП:

1 – магнитопровод индуктора; 2 – трёхфазная обмотка индуктора; 3 – немагнитный цилиндрический корпус рабочей зоны аппарата; 4 – ферромагнитные иглы; 5 – обрабатываемый материал; 6 – кожух

Основным узлом, создающим вращающееся ЭМП процесса, является индуктор, включающий сердечник индуктора 1 и трехфазную обмотку 2. Вращающееся магнитное поле индуктора замыкается в области рабочей зоны аппарата, ограниченной немагнитным корпусом 3. В рабочую зону аппарата нагнетается обрабатываемый материал 5, вместе с ним туда

помещаются иголки 4, изготовленные из ферромагнетика, которые взаимодействуют с вращающимся магнитным полем индуктора.



Рис. 2. Общий вид установки с вихревым смесителем

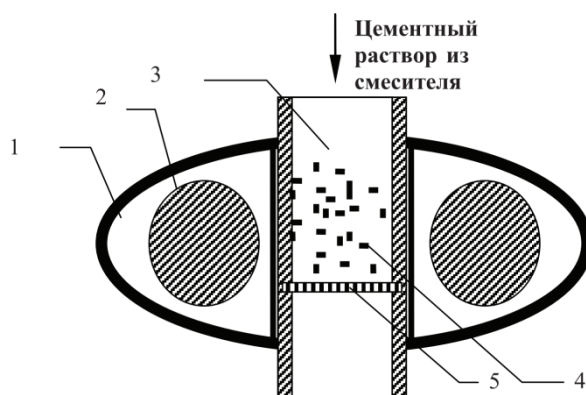


Рис. 3. Схема устройства вихревого электромагнитного смесителя

Авторы работы [5] делают вывод о несовершенстве методик проведения исследований, что и требует тщательной прикладной и теоретической проработки. По мнению Г.С. Ходакова, Н.Л. Кудрявцевой наиболее активными являются цементы, измельченные в струйной и вибрационной мельницах, чем в шаровой [5; 6].

## 2. О преимуществе механоактивации кварцевого песка

Кварцевый песок является компонентом многих строительных изделий. Его используют как заполнитель, наполнитель и как химический активный компонент [7].

В том случае, когда требуется повышенная активность песка, его подвергают измельчению – механоактивации, которая позволяет достичь следующего:

- образование активных центров на свежесформированной поверхности;
- изменение реакционной способности;

- на поверхности твердого тела формируется поверхностный слой, в котором концентрируется «избыточная» энергия;
- изменение свободной энергии кварцевого песка вследствие механохимической активации обусловлено изменением суммы поверхностной и внутренней энергии;
- изменение внутренней энергии за счет дефектов структуры превышает прирост поверхностной энергии кварцевого песка в несколько раз, повышается химическая активность песка при нормальных условиях;
- значительно повышается структурообразующая роль песка и наполнителей;
- на месте выхода дислокаций на поверхности кристаллов механоактивированных полупродуктов идет закрепление зародышей новообразований продуктов гидратации цемента или других веществ.

### **3. Цель и задачи работы**

**Целью** данной работы является освоение методики оценки фракционного состава порошкообразного материала методом лазерной дифракции и его удельной поверхности методом воздухопроницаемости.

#### **Задачи работы**

1. Ознакомление с особенностями работы измельчающих аппаратов (активаторов) за счет давления, удара и истирания.
2. Изучение фракционного состава и удельной поверхности активированной смеси или ее компонента:
  - в зависимости от вида активатора;
  - в зависимости от состава смеси.
3. Установление эффективного способа измельчения для соответствующего материала по размолоспособности и энергозатратам.



#### 4. Порядок выполнения работы и методы определения

Работа выполняется звеньями по 3–5 человек. Вид исследуемого материала или смеси материалов определяется преподавателем.

На предложенном преподавателем измельчающем аппарате провести активацию материала по различным режимам. Варианты измельчающих аппаратов: пружинная мельница (рис. 4), вибрационная мельница «Консит» (рис. 5), дисковый истиратель (рис. 6) и мельница-активатор 4М (рис. 7).

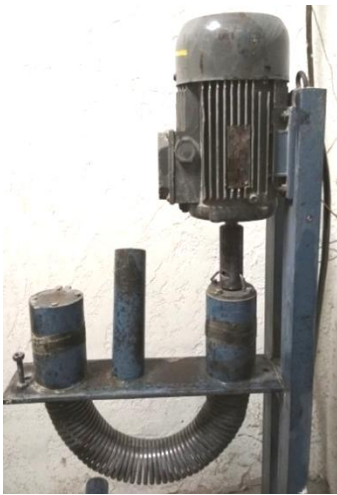


Рис. 4. Общий вид пружинной мельницы

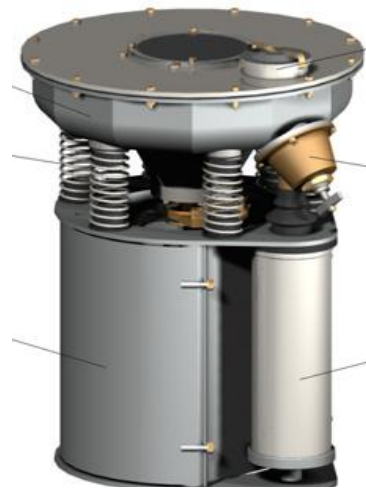


Рис. 5. Вибрационная мельница «Консит» СМВ-0,005



Рис. 6. Дисковый истиратель



Рис. 7. Мельница-активатор 4М

После проведения активации определяют *фракционный состав проб* порошков методом лазерной диспергации объекта на универсальном лазерном экспресс анализаторе распределения размеров частиц (лазерный гранулометр) «LA-950» фирмы Horiba Instruments, Inc (рис. 8). Принцип действия прибора основан на расшифровке дифракционной картины, образующейся в результате рассеивания лазерного излучения на исследуемых микрочастицах. Лазерное излучение, проходя через измерительную кювету, в которую укладывается проба материала, рассеивается на частицах. Специальный многоэлементный детектор измеряет угловое рассеивание и соответствующее ему распределение интенсивности, которое с помощью компьютерной программы пересчитывается в объемное распределение частиц в диапазоне 0,01–3000 мкм.



Рис. 8. Вид прибора HORIBA «LA-950»

*Удельную поверхность и средний размер частиц* минеральных веществ определяют на приборе ПСХ-12 (рис. 9). Удельную поверхность ( $S$ ,  $\text{см}^2/\text{г}$ ) и среднемассовый размер частиц ( $d$ , мкм) исследуемых дисперсных материалов прибор рассчитывает, визуализирует на дисплее

NOTEBOOK, хранит в памяти и печатает в виде таблиц. Для измерения в кювету, дно которой закрыто одним фильтром-вкладышем, засыпают пробу порошка, взвешенную с точностью до 0,01 г, разровняв накрывают вторым фильтром-вкладышем и устанавливают плунжер и слегка уплотняют порошок, нажав рукой плунжер. Подсоединить кювету шлангом к измерительному блоку. Нажать клавишу «измерение». После выполнения операции на табло появится окно с результатами.



Рис. 9. Прибор ПСХ-12

## 5. Примеры заданий

**Вариант № 1.** Механоактивирование (измельчение) проводится на пружинной мельнице при загрузке материала 200–500 г, время измельчения 1, 2, 3, 4 и 5 минут. После каждого промежутка времени измельчения производится контрольный отбор материала для анализа в количестве 15–20 г.

**Вариант № 2.** Механоактивирование материала на активаторе 4М – четыре контрольных пробы массой 100–200 г, которые загружают в барабаны установки. Масса каждого барабана в сборе с материалами

должна быть одинаковой. Время измельчения от 1 до 5 минут с интервалом в 1 мин. После каждого промежутка времени активации производится контрольный отбор материала для анализа в количестве 15–20 г.

**Вариант № 3.** Для установления изменения размера зерен песка в известково-песчаной смеси эксперимент выполняют по методике [8] следующим образом.

Берут навеску из смеси в количестве 40–50 г, помещают в стеклянный стакан и при перемешивании порциями добавляют 10%-ную соляную кислоту до прекращения выделения из смеси газа, затем содержимое стакана нагревают до кипения. После осаждения песка из стакана в воронку с фильтром осторожно сливают жидкость, а к песку добавляют небольшое количество дистиллированной воды и фильтруют. Песок высушивают до постоянной массы и определяют его удельную поверхность на приборе ПСХ-12 и невысушенную массу песка исследуют на приборе ХАРИБА путем оценки его фракционного состава. Масса навески сухого песка должна быть не меньше 10 г, а масса мокрой навески около 5 г.

Таким образом, по установлению влияния времени активации и вида активатора на удельную поверхность вещества оформляют в виде графиков или гистограмм. Выполняют расчет коэффициента размолоспособности и удельных затрат на процесс измельчения по следующим формулам [9]:

1) коэффициент размолоспособности материала ( $K_p$ ):

$$K_p = \frac{S_{уд}^i - S_{уд}^0}{\Delta\tau_i}, \quad (\text{м}^2/\text{кг}\cdot\text{мин.}), \quad (1)$$

где  $S_{уд}^0$  и  $S_{уд}^i$  – удельная поверхность материала ( $\text{м}^2/\text{кг}$ ) до и после измельчения в течение времени  $\Delta\tau_i$  (мин).

2) удельные энергозатраты ( $\mathcal{E}_{уд}$ ) на процесс помола (активацию):

$$\mathcal{E}_{уд} = \frac{N \cdot \Delta\tau_i}{\Delta S_i}, \left( \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч} \cdot \text{кг}}{\text{м}^2} \right), \quad (2)$$

где  $N$  – потребляемая мощность двигателя активатора, кВт;  $\Delta S_i$  – прирост удельной поверхности за время  $i$ .

Таблица 1

**Потребляемые мощности двигателей активаторов**

Наименование	Мощность, кВт	Наименование	Мощность, кВт
Пружинная мельница	1,5	Активатор 4М	15
Дисковый истиратель	2,2	Мельница Консит	0,5

Результаты исследования фракционного состава механоактивированных материалов на лазерном анализаторе представляются в виде протокола.

По полученным результатам делается вывод об эффективном способе измельчения или об эффективном аппарате диспергирования материала.

### Список использованных источников

1. Ostwald, W. Lehrbuch der allgemeinen Chemie [Text] / W. Ostwald. – Bd.2 – Leipzig, I Auflage, 1887. – 616 p.
2. Аввакумов Е.Г., Гусев А.А. Механические методы активации в переработке природного и техногенного сырья. – Новосибирск: Наука, 2009. – 165 с.
3. Тонкое измельчение и аттестация порошков [Электронный ресурс] – <http://activenano.ru/index.php> (дата обращения 20.11.2017).
4. Дискантов А.К., Лазарева Т.Л. Ресурсосберегающая технология бетона с использованием метода механоактивации вяжущего // В сборнике: Материалы секционных заседаний 54-й студенческой научно-технической конференции ТОГУ, 2014. – С. 237–238.
5. Кудрявцева Н.Л. Исследование изменения физико-химических свойств портландцемента при измельчении: автореф. канд. техн. наук: 05.23.05. – М., 1967. – 15 с.
6. Ходаков Г.С. Тонкое измельчение строительных материалов – М.: Изд-во литер-ры по строительству, 1972. – 121 с.
7. Мищенко М.В., Боков М.М., Гришаев М.Е. Активация технологических процессов обработки материалов в аппаратах с вращающимся электромагнитным полем // Фундаментальные исследования. – 2015. № 2–16. – С. 3508–3512.
8. Инструкция по изготовлению ячеистого бетона СН 277-80.
9. Хохряков О.В., Морозов Н.М., Хозин В.Г. Сравнительная оценка мельниц по размолоспособности кварцевого песка и его эффективности в цементных бетонах // Известия КГАСУ. 2011. № 1. – С. 177–181.

# **МЕХАНИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ МАТЕРИАЛА**

Методические указания  
к лабораторно-практическому занятию по дисциплине  
«Научные основы технологии производства цементных бетонов и изделий  
из них» для студентов направления подготовки 08.04.01 «Строительство»,  
профиль «Инновационные технологии высокопрочных и  
высокофункциональных бетонов»

Составитель Морозова Н.Н.