

обчислювальної механіки і міцності конструкцій. – 2003. – Вип. 7. – С. 49 – 55. **8.** Назимко О.І., Гарковенко С.С., Морозова В.Г. Аналітичне дослідження впливу проникності осадів на переміщення речовини в породах. // Збагачення корисних копалин: Наук. техн. зб. – 2004. – Вип. 20(61). – С. 83 – 88. **9.** Пейчев И.Д. Исследование теоретических закономерностей течения жидкости через пористую среду. // Збагачення корисних копалин: Наук. техн. зб. – 2004. – Вип. 20(61). – С. 99 – 104. **10.** Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1972. **11.** Анциферов А.В., Богданов А.А. Результаты экспериментальных исследований по механическому обезвоживанию мела // Збагачення корисних копалин: Наук. техн. зб. – 2007. – Вип. 29(70) – 30(71). – С. 190 – 194.

*Поступила в редколлегию 12.02.08*

УДК 666.31

**Е.В. КОНДРАЩЕНКО**, докт. техн. наук, **А.А. БАРАНОВА**, ХНАГХ  
**А.Н. БАРАНОВ**, докт. техн. наук, УИПА

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВНУТРИ ЧАСТИЦ ОБОЖЖЕННОГО ГИПСА В КАМЕРЕ ТОМЛЕНИЯ**

В статті приведена розроблена оригінальна технологія випалу гіпсового в'язучого. Розроблен метод, який описує необхідне розподілення температур в частках гіпсу після опалу на першому етапі для умов їх теплообробки на другому етапі. Розраховано відношення між об'ємами різних зон у частці гіпсу для отримання  $\alpha$ -полугідрата сульфату кальцію.

Designed original technology of the burning gypsum binding is brought in the paper. The designed method, witch is describing the temperature distribution in the particles of the gypsum after burning on the first stage for conditions their calcining on the second stage. Correlation between volumes of the different zones in particles of the gypsum for reception  $\alpha$ -hemihydrate of sulphate calcium was calculate.

Традиционная технология обжига гипса во вращающихся печах, как известно, приводит к значительному ослаблению структуры гипса в связи с резким удалением воды в виде пара. Поэтому технология получения т.н.  $\beta$ -формы полугидрата сульфата кальция предусматривает остывание гипса после обжига в камере томления, чтобы избежать резкого перепада температуры частиц и еще большего разрушения их кристаллической решетки [1].

Для получения  $\alpha$ -формы гипсового вяжущего используют технологии, в которых предусмотрено наличие не только температуры, но и давления, чтобы обеспечить частичное удаление воды в жидком состоянии из сырья. В та-

кой технологии реактор представляет собой динамическую систему, где нет резкого нагрева и резкого остывания, в связи с этим камера томления не предусмотрена [2].

Нами разработана оригинальная технология получения высококачественного гипса  $\alpha$ -формы с реализацией двух процессов теплообработки гипсового сырья.

На первом этапе тепловой обработки в реакторе, который имеет форму усеченного конуса (конфузора), горячий воздушный поток вносит с широкого конца частицы измельченного гипса и выносит их из реактора через узкое отверстие. Вследствие сужения выходного отверстия реактора, в его камере создается давление, необходимое для того, чтобы вода из гипса выделялась в жидком состоянии.

На этом этапе частицы обожженного гипса имеют смешанный химический состав и неравномерное распределение температуры по их глубине, что объясняется особенностью технологии обжига, т.к. время пребывания частиц в реакторе в условиях высокой температуры и давления составляет секунды. К тому же температура теплоносителя всегда выше, чем температура обжига гипса для реализации процесса нагревания частиц сырья в результате теплопроводности.

Таким образом, образуется многофазная структура обожженного гипса, модель которого приведена на рис. 1.

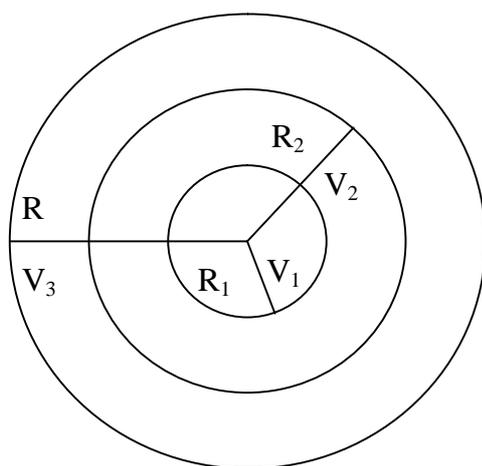


Рис. 1. Модель многофазной структуры частицы гипса после обжига в реакторе-конфузоре.

Как показано на рис. 1, на поверхности частицы радиусом  $R$  образуется слой безводного гипса (растворимого сульфата кальция) толщиной от  $R$  до

$R_2$ , затем слой полуводного гипса от  $R_2$  до  $R_1$ , а в центральная часть зерна представлена исходным двуводным гипсом радиусом  $R_1$ .

Поэтому возникла необходимость введения в технологическую схему камеры томления, которая выполняет функцию второго реактора для выравнивания температуры в частицах и корректировки их химического состава.

Задачей тепловой обработки гипсового сырья является создание условий образования полуводного гипса по всему объему частицы. Для этого молекулы воды, которые выделяются при дегидратации в результате диффузии из центральной зоны, должны попасть в наружный слой, чтобы в нем произошла реакция образования полуводного гипса. Это возможно в случае перераспределения температур в частице, для чего в технологической схеме и предусмотрена камера томления. Режим обжига в реакторе-конфузоре должен обеспечивать согласованность размеров зон друг с другом для того, чтобы количество воды, выделяемой в центральной зоне, было необходимо и достаточно для образования полуводного гипса в наружном слое.

С этой целью были проведены исследования по изменению кристаллической структуры, плотности и линейных размеров частиц гипса в результате обжига при различных температурах. Установлено, что линейные размеры частиц гипса практически не изменяются, а плотность уменьшается пропорционально количеству удаленной физической и гидратной воды. Поэтому можно принять, что изменение плотности различных зон зависит от количества гидратной воды, т.е. пропорционально молярной массе растворимого ангидрита, полуводного и двуводного гипса.

Молярные массы молекул частиц во всех зонах и объемы зон приведены в таблицы.

Таблица

Описание зон частицы гипса после обжига в реакторе-конфузоре.

Наименование фазы материала	Химическая формула	Молярная масса, г/моль	Объем фаз в частицах
I зона – двуводный гипс	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	172	$V_1 = 4/3\pi R_1^3$
II зона – полугидрат сульфата кальция	$\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	145	$V_2 = 4/3\pi(R_2^3 - R_1^3)$
III зона – растворимый ангидрит	$\text{CaSO}_4$	136	$V_3 = 4/3\pi(R^3 - R_2^3)$

Разница гидратной воды  $\text{H}_2\text{O}$  в зонах I и II составляет 27 г/моль, а в зонах II и III – 9 г/моль. Следовательно, для выравнивания содержания гидрат-

ной воды в I и III зонах необходимо следующее соотношение их объемов:  
 $3V_1=V_3$ .

т. е. 
$$4\pi R_1^3 = 4/3\pi R^3 - 4/3\pi R_2^3 \quad (1)$$

отсюда:

$$3R_1^3 + R_2^3 = R^3, \quad R_2 = \sqrt[3]{R^3 - 3R_1^3}.$$

Примем размер частицы за 1,  $R = 1$ , тогда:

$$R_2 = \sqrt[3]{1 - 3R_1^3} \quad (2)$$

В интервале температур от 115 °С до 210 °С получаем полуводный гипс, при изменении температур от 210 °С до 350 °С  $\alpha$ -обезвоженный полугидрат и  $\alpha$ -растворимый ангидрит. Поэтому в зоне I температура должна быть ниже 115 °С, в зоне II – 115 – 210 °С, а в зоне III – 210 – 350 °С [2].

В предельном случае, когда отсутствует зона II, т.е.  $R_2 = R_1$ , получаем:

$$R_2 = \sqrt[3]{1 - 3R_2^3}, \quad 4R_2^3 = 1, \quad R_2^3 = 1/4, \quad R_2 = \frac{\sqrt[3]{2}}{2} \quad (3)$$

На рис. 2 приведены графики распределения температур внутри частиц при различных значениях  $R_1$  и  $R_2$ . Частицы различного диаметра находятся разное время в реакторе-конфузоре. Время нахождения частицы зависит от высоты реактора, скорости теплоносителя и скорости витания. Скорость движения частицы равна разности скорости потока теплоносителя и скорости витания. Поэтому распределение температур в частице будет зависеть от ее размера и режима теплообработки (температуры теплоносителя и скорости его движения).

Анализ графиков показывает одинаковый качественный характер распределения температур. Рост температуры в интервале до 110 – 115 °С наблюдается при изменении радиуса частицы от 0 до  $R_1$ . В окрестности точки  $R_1$  наблюдается замедление роста температуры из-за фазовых превращений двухводного гипса в полуводный. Затем наблюдается монотонный рост тем-

пературы до точки  $R_2$ , соответствующий температуре 200 – 210 °С фазового превращения полуводного гипса в растворимый ангидрит. При точках от  $R_2$  и более наблюдается рост температур до 230 – 300 °С.

Кривые 1 и 2 на рис. 2 характерны для процесса нагревания крупных частиц, которые находятся продолжительное время в реакторе-конфузоре. В этом случае объем полуводного гипса составляет от 99,6 – 89,2 % ( $R_1$  изменяется от 0,1 радиуса частицы до 0,3, а  $R_2$  соответственно от 0,999 до 0,972).

Кривые 3 и 4 характерны для процесса нагревания мелких частиц, которые находятся непродолжительное время в реакторе-конфузоре и наблюдается явление теплового удара, а содержание полуводного гипса снижается до 13,6 – 50 %.

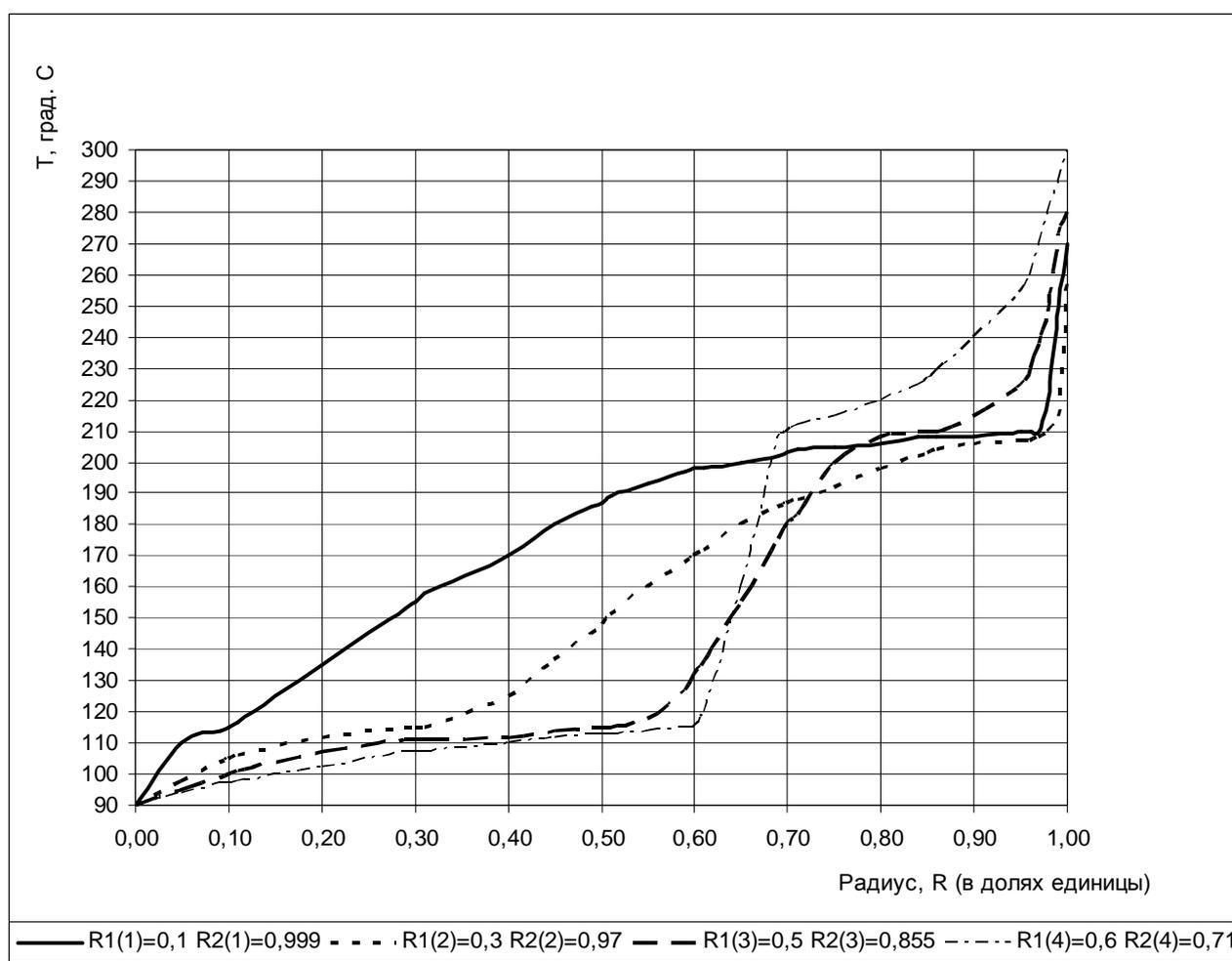


Рис. 2. Зависимости распределения температур при различных соотношениях фаз в частицах обожженного гипса в реакторе конфузоре.

При соблюдении соотношений между  $R_1$  и  $R_2$  будет обеспечено выравнивание химического состава обожженного гипса в камере томления и получен полуводный гипс. С этой целью были разработаны математические мо-

дели нагревания частицы в реакторе-конфузоре [3] и необходимого времени пребывания частиц в камере томления [4].

Математическая модель нагрева частицы гипса в реакторе была получена в результате решения уравнения теплопроводности путем использования метода Фурье.

Необходимо учитывать, что для каждой модификации гипса (ангидрита, полуводного и двуводного гипса) существуют различные значения удельной теплоемкости, плотности и коэффициента теплопроводности, причем вышеуказанные характеристики зависят еще и от температуры. Поэтому моделирование осуществлялось послойно, причем результаты расчета для  $i$ -того слоя использовались в постановке краевой задачи для следующего ( $i + 1$ ) слоя.

Модель необходимого времени пребывания частиц в камере томления с целью выравнивания температурного поля в частице гипса строилась как суперпозиция трех задач. Первая задача – продолжающийся нагрев и дегидратация шаровидной зоны в центре частицы для двуводного гипса (с переходом его в полуводный) радиусом  $R_1$ . Эта задача решается аналогично решению задаче нагрева в реакторе, только при других краевых и начальных условиях.

Вторая задача – остывание наружного слоя безводного гипса (ангидрита) и насыщения его молекулами воды с образованием полуводного гипса.

Третья задача – остывание слоя полуводного гипса.

Вторая и третья задачи решаются на базе краевой задачи в сферических координатах об остывании шара, на поверхности которого поддерживается заданная температура.

**Выводы.** Разработана двухстадийная технология тепловой обработки гипса. Такой подход значительно сокращает время обжига сырого гипса и позволяет управлять процессом обжига, в зависимости от влажности и крупности частиц исходного сырья.

Предложена методика определения необходимого распределения температур в частицах гипса после обжига на первом этапе для условий их оптимальной теплообработки на втором этапе в камере томления. Рассчитано необходимое соотношение между объемами различных фаз в частице гипса для получения высококачественного полуводного гипса.

**Список литературы:** 1. Кокшарев В.Н., Кучеренко А.А. Тепловые установки. – Киев: Вища школа, 1990. – 335 с. 2. Ферронская А.В. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение):

[Справочник] / *А.В. Ферронская*. – М., 2004. – 485 с. **3.** *Кондращенко Е.В., Баранова А.А.* Перспективы энергосбережения при производстве гипсовых вяжущих. // *Научный вестник строительства*. – Харьков: ХДТУБА, 2006. – Вып. 36. – С. 60 – 65. **4.** *Кондращенко Е.В., Баранов А.Н., Баранова А.А.* Теоретические основы тепловой обработки гипсового вяжущего // *Коммунальное хозяйство городов*. – Киев: Техника, 2007. – Вып. 76. – С. 132 – 138.

*Поступила в редколлегию 8.04.08*

УДК 661.872.

**А.Т. КОЛОДЯЖНЫЙ**, канд. техн. наук, ГВУЗ «УДХТУ»

**Л.А. ФРОЛОВА**, канд. техн. наук, ГВУЗ «УДХТУ»

## **ГИДРОФАЗНОЕ СОСАЖДЕНИЕ ГИДРООКСИДОВ ЖЕЛЕЗА И КОБАЛЬТА В УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПОЛЯХ**

Досліджено вплив ультразвуку на розмір та розподіл частинок оксидних та гідроксидних з'єднань на основі заліза. Розглянуто два типи реакторів УЗ-обробки розчину. Встановлена залежність розподілу частинок по розміру в залежності від подаваної питомої енергії.

The influence of ultra sound on the size and distribution of part oxides and hydroxides compounds of iron was investigated. Two types of reactors of ultrasounds process was examined. The dependence of distributions for the size in the dependence of energy was fixed

Данные исследования относятся к проблемам управляемого синтеза простых и сложных оксидных и металлических соединений нанометрического диапазона.

Целью исследований является установление закономерностей влияния частотных и мощностных характеристик ультразвуковых колебаний реакционной среды на дисперсный и фазовый состав соосажденных гидроксидов железа и кобальта. Однородность этих основных характеристик продукта гидрофазного осаждения, как известно в большей степени зависит от энергии в реакционном объеме. В свою очередь это связано с направлением подачи реакционных потоков и обработки их полем.

В качестве исходных растворов использовались растворы сульфата железа и кобальта (II). Осаждение проводилось раствором едкого натра. Полнота осаждения оценивалась по стандартным методикам определения ионов