

**ПОЛУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ РАСЧЕТА ВРЕМЕНИ
РАСТВОРЕНИЯ ТВЕРДОГО ВЕЩЕСТВА
МЕХАНИЧЕСКОЙ МЕШАЛКОЙ**

К.В. Луняка, д-р тех. наук, профессор;

Д.Н. Вус, аспирант;

О.И. Ключев, канд. тех. наук, доцент;

И.В. Николаенко, студентка,

Херсонский национальный технический университет, г. Херсон

Приведены результаты экспериментальных исследований растворения дигидрофосфата кальция в соляной кислоте и получено уравнение для расчета времени растворения в зависимости от числа оборотов мешалки и перегородок в реакторе.

Наведено результати експериментальних досліджень розчинення дигідрофосфату кальцію в соляній кислоті та отримане рівняння для розрахунку часу розчинення залежно від числа обертів мішалки та перегородок у реакторі.

ВСТУПЛЕНИЕ

Процессы перемешивания широко используются в химической и родственных технологиях. Во многих процессах эффективное перемешивание является одной из важных стадий производства и определяет успех технологического процесса в целом. Основной технологической характеристикой перемешивающего устройства, очевидно, является эффективность, которую можно выражать, например, временем, необходимым для равномерного распределения вещества по всему объему. Поэтому получение математической зависимости, позволяющей рассчитать время, необходимое для проведения процесса, даст возможность установить оптимальные параметры технологического процесса и особенности строения аппарата (например, наличие перегородок и их количество).

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В связи с отсутствием уравнений, позволяющих рассчитать время, необходимое для перемешивания при растворении твердого вещества в аппаратах с механическими перемешивающими устройствами и перегородками, были проведены исследования влияния числа оборотов мешалки и количества перегородок, установленных в сосуде, на время, необходимое для растворения твердого вещества.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Проведенные нами эксперименты [1] свидетельствуют о том, что при перемешивании жидкой смеси механической мешалкой увеличение числа перегородок в сосуде способствует уменьшению времени растворения, причем, вопреки данным многих исследователей, которые рекомендуют к установлению в емкости 2-4 перегородок [2, 3], эффективность перемешивания возрастает при наличии даже 32 перегородок. Полученные данные по растворению цилиндров из плавящего сахара показали, что время, необходимое для растворения вещества при перемешивании его турбинной мешалкой, сокращается с 400 (при отсутствии перегородок) до 180 с при наличии в емкости 32 перегородок.

С целью получения зависимости времени, необходимого для растворения твердого вещества, от числа оборотов мешалки и количества перегородок, установленных в реакторе, изучали растворение дигидрофосфата кальция $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ в соляной кислоте.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В емкость наливали 225 мл раствора соляной кислоты концентрацией 7,3%, добавляли определенное количество гранулированного дигидрофосфата кальция (из расчета 100 гранул диаметром 1 мм и массой 0,178 г на 150 мл раствора кислоты, которые отбирались путем ситового анализа), и проводили перемешивание пропеллерной мешалкой до полного растворения твердого вещества. Через определенные промежутки времени брали пробу гранул, помещали ее на предметное стекло микроскопа и фотографировали. Проекция фотографии на мониторе компьютера дает размеры частиц 3-4 см, что позволяет проводить измерения линейкой. Для получения среднего значения диаметра гранул проводили 10-16 измерений.

Далее приводятся результаты экспериментов по растворению дигидрофосфата кальция в соляной кислоте концентрацией 7,3% при перемешивании в реакторе без перегородок и в их присутствии.

Таблица 1 – Кинетика растворения гранул дигидрофосфата кальция в соляной кислоте

Время, с	$d_{\text{ср}}$, мм, при количестве оборотов мешалки, с ⁻¹				
	5	6	7	8	11
1	2	3	4	5	6
Без перегородок					
100	0,87	0,81	0,79	0,79	0,65
200	0,61	0,65	0,57	0,54	0,37
300	0,40	0,38	0,35	0,40	0,21
400	0,39	0,37	0,35	0,27	0,15
500	0,32	0,29	0,23	0,18	0,07
600	0,25	0,22	0,19	0,08	0
900	0,12	0,1	0	0	-
1200	0	0	-	-	-
2 перегородки					
100	0,75	0,63	0,63	0,60	0,50
200	0,50	0,40	0,40	0,29	0,20
300	0,32	0,28	0,26	0,16	0,12
400	0,27	0,16	0,20	0,10	0,07
500	0,23	0,11	0,08	0,05	0,03
600	0,19	0,05	0	0	0
900	0,1	-	-	-	-
1200	0	-	-	-	-
4 перегородки					
100	0,70	0,57	0,38	0,16	0,05
200	0,42	0,23	0,12	0,07	0,01
300	0,30	0,16	0,08	0,03	0
400	0,27	0,12	0,04	0	
500	0,19	0,06	0,02		
600	0,15	0,02	0	-	-
900	0,07	0	-	-	-
1200	0	-	-	-	-

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
8 перегородок					
100	0,64	0,50	0,32	0,10	0,02
200	0,36	0,17	0,07	0,03	0,01
300	0,28	0,10	0,03	0,02	0
400	0,22	0,07	0,02	0	
500	0,12	0,02	0		
600	0,08	0			
900	0				
16 перегородок					
100	0,55	0,41	0,22	0,03	0,01
200	0,38	0,08	0,03	0,01	0
300	0,20	0,02	0,01	0	
400	0,12	0,01	0		
500	0,04	0			
600	0,01				
900	0				

Графики, построенные по данным табл.1, представлены на рис. 1.

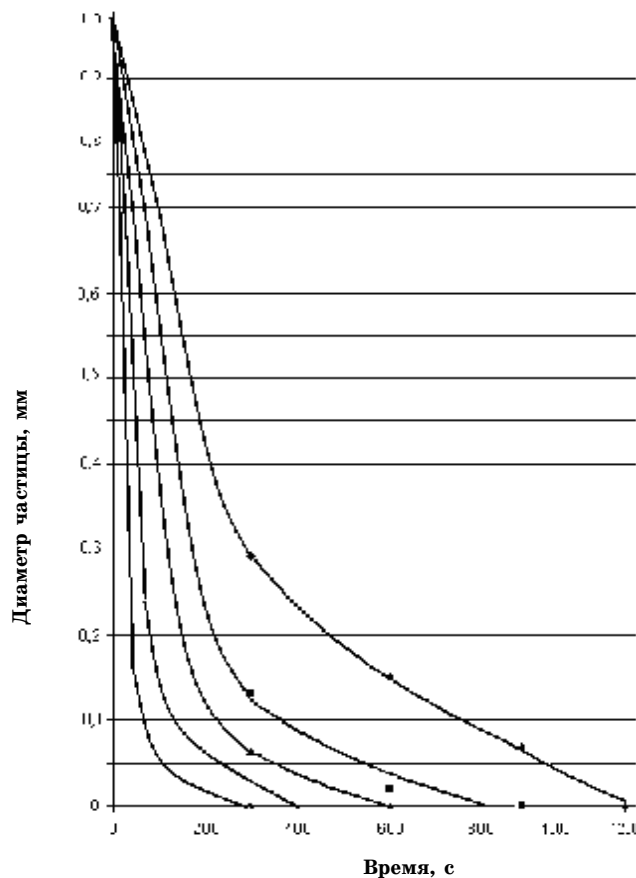


Рисунок 1 – Кинетика растворения гранул дигидрофосфата кальция в соляной кислоте при наличии четырех перегородок:

◆ - 5 об./с; ■ - 6 об./с; ▲ - 7 об./с; x - 8 об./с; * - 11 об./с

Линеаризация кривых рис. 1 показывает, что кривые описываются уравнениями вида

$$d = ae^{bt}. \quad (1)$$

Были получены величины a и b в зависимости от числа оборотов мешалки и количества перегородок в сосуде. Уравнения, выражающие зависимость диаметра гранул от времени, требуемого для их полного растворения, приведены в табл. 2.

Анализ данных, приведенных в табл. 2, показывает, что коэффициент a приближается к 1, что логично, поскольку при $\tau=0$ $a=d$, а диаметр частиц составляет около 1 мм (проба отбиралась из сита диаметром 1 мм). Берем среднее значение $a=1,08$.

Таблица 2 – Уравнения, выражающие зависимость диаметра частицы от времени перемешивания, числа оборотов мешалки и количества перегородок при растворении дигидрофосфата кальция в соляной кислоте

Число оборотов, с ⁻¹	Без перегородок	2 перегородки	4 перегородки	8 перегородок
5	$d = e^{-0,002343\tau}$	$d = e^{-0,0030\tau}$	$d = e^{-0,00306\tau}$	$d = e^{-0,0037\tau}$
6	$d = 1,07 \cdot e^{-0,00306\tau}$	$d = 1,09 \cdot e^{-0,00306\tau}$	$d = 1,22e^{-0,008\tau}$	$d = 1,09e^{-0,0012\tau}$
7	$d = 1,14 \cdot e^{-0,0028\tau}$	$d = 1,08 \cdot e^{-0,0048\tau}$	$d = 1,06 \cdot e^{-0,008\tau}$	-
8	$d = 1,15 \cdot e^{-0,004\tau}$	$d = 1,17 \cdot e^{-0,006\tau}$	-	-
11	$d = 1,1 \cdot e^{-0,0055\tau}$	$d = e^{-0,007\tau}$	-	-

Величина b , входящая в показатель степени, зависит от количества перегородок N и числа оборотов мешалки n ; она растет как при увеличении количества перегородок, так и при росте числа оборотов мешалки. Одновременное влияние данных факторов на b выразили уравнением

$$d = 1,08 \cdot e^{(-0,00105 - 0,00025 \cdot n + 0,002585 \cdot N - 0,00055 \cdot n \cdot N) \cdot \tau}. \quad (2)$$

Подстановка в полученные уравнения τ , n , N дает значение $d_{\text{расчетное}}$, которое практически совпадает с $d_{\text{экспер}}$. Максимальная погрешность эксперимента составляет 7%.

Для практических целей имеет значение время растворения, поэтому уравнение (2) решаем относительно τ :

$$\tau = \frac{\lg \frac{d}{d_{\text{нач}}}}{(-4,56 - 1,085 \cdot n + 11,23 \cdot N - 2,41 \cdot n \cdot N) \cdot 10^4}. \quad (3)$$

ВЫВОДЫ

Проведены исследования по растворению твердого вещества в емкости с мешалкой и получена зависимость времени, необходимого для проведения процесса, от числа оборотов мешалки и количества перегородок в реакторе.

SUMMARY

RECEPTION OF DEPENDENCE FOR CALCULATION OF TIME OF DISSOLUTION OF FIRM SUBSTANCE BY THE MECHANICAL MIXER

K.V.Lunjaka, D.M.Vus; O.I.Kluev, I.V.Nikolaenko
Kherson National Technical University

On dissolution of firm substance researches are carried out in capacity with a mixer and dependence of time necessary for carrying out of process, on number of turns of a mixer and quantity of partitions in a reactor is received.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Луняка К., Вус Д., Чумаков Г. Дослідження масопередачі при перемішуванні турбінною мішалкою в посудинах з відбивними перегородками // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2008. – Т. 13, №1.– С. 171-176.
2. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: Учебник: В 2 кн. / В.Г. Айнштейн, М.К. Захаров, Г.А. Носов и др.; Под ред. В.Г. Айнштейна. - Г.: Логос; Высшая школа, 2003. – Кн. 1. – 912 с.
3. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками: Пер. с польск. / Под ред. И.А. Щупляка. - Л.: Химия, 1975. – 384 с.
4. Справочник химика: В 6 т. / Б.П. Никольский, О.Н. Григоров, М.Е. Позин, Б.А. Порай-Кошиц, В.А. Рабинович, Ф.Ю. Рачинский, П.Г. Романков, Д.А. Фридрихсберг. – М.: Химия, 1966. – Т. 2. – 1168 с.

Поступила в редакцию 11 марта 2009 г.