

*В.Н. Головина\**

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ В КОЛОННОМ РЕАКТОРЕ С ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНОЙ НАСАДКОЙ**

В настоящее время в промышленности получение полиметилметакрилата литьевых марок осуществляется методом суспензионной полимеризации метилметакрилата [ММА]. Метод реализуется в периодической схеме с использованием реакторов-полимеризаторов объемного типа с рамной мешалкой. Загрузка углеводородной фазы [УГФ] осуществляется при работающей мешалке после загрузки сплошной фазы [СФ]. Метод имеет ряд недостатков, как и все периодические: невозможность создания оптимального гидродинамического режима во всем реакционном пространстве полимеризатора, наличие зон, в которых наиболее интенсивно образуются агломераты, составляющие в дальнейшем отходы производства, и, следовательно, потери сырья.

---

\* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента ФГБОУ ВПО «ТГТУ» П.А. Галкина.

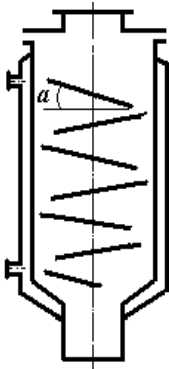


Рис. 1

Получается полидисперсный материал с широким диапазоном размеров частиц (0,1...2 мм), который перед дальнейшим использованием должен быть переработан в гранулы.

Полимеризация ММА по непрерывной схеме с использованием организованного струйного диспергирования мономера позволит избежать перечисленных недостатков и даст возможность получения более крупных (1...4 мм) гранул. Склонность системы к разделению ввиду различия плотностей УГФ и СФ и агломерации практически на всех стадиях превращения исключает возможность применения общепринятых вариантов аппаратного оформления: каскада реакторов полного смешения или колонных аппаратов полного вытеснения.

В результате проведенных исследований в работах [1, 2] был сделан вывод о целесообразности разделения процесса на стадии и использования комбинированного реакционного блока, включающего реактор полного смешения на первой стадии и полимеризатор колонного типа для дозревания частиц после достижения степени конверсии, при которой плотность УГФ становится выше плотности СФ. На этом этапе необходимо повысить удерживающую способность колонного аппарата, для чего в работе [1] было предложено использовать плоскопараллельную насадку, представляющую собой пакеты пластин с изменяющимся по высоте аппарата углом наклона, с учетом возрастания плотности частиц (рис. 1). Высотой аппарата  $H$  и углом наклона пластин  $\alpha$  можно регулировать время пребывания частиц в реакционной зоне, а следовательно, и их степень конверсии. Также в работе [1] были проведены экспериментальные исследования по определению скорости движения полимеризующихся частиц по элементам плоскопараллельной насадки в зависимости от различных технологических и конструктивных параметров

$$v = f(a, H, c_{\text{ст}}, d, t),$$

где  $c_{\text{ст}}$  – концентрация стабилизатора, влияющая на вязкость СФ;  $d$  – диаметр частиц,  $t$  – температура в реакторе.

Для аналитического определения скорости  $v$  необходимо рассмотреть установившееся движение полимеризующейся частицы по наклонной плоскости (рис. 2) под действием следующих сил: силы тяжести  $G$ , силы Архимеда  $A$ , сопротивления среды  $F_{\text{ср}}$ , реакции опоры  $N$ . Силой трения в данном случае можно пренебречь, так как она незначительна, а определение ее затруднительно.

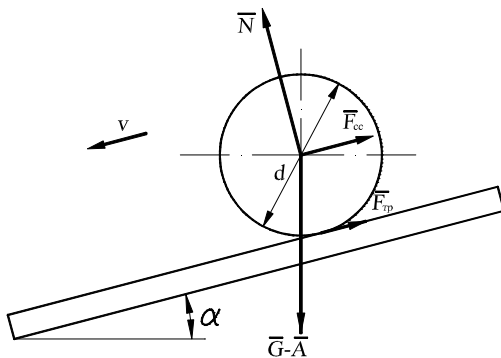


Рис. 2

$$G = \rho_{\text{ч}} g V,$$

где  $V$  – объем частицы;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\rho_{\text{ч}}$  – плотность частицы.

$$A = \rho_{\text{с}} g V,$$

где  $\rho_{\text{с}}$  – плотность среды.

Сила, действующая на сферу со стороны потока жидкости для твердой сферической частицы, определяется законом Стокса [2]:

$$F = 6\pi\mu Rv,$$

где  $\mu$  – вязкость жидкости;  $R$  – радиус частицы;  $v$  – установившаяся скорость частицы.

Если твердая частица движется в жидкости по плоскопараллельной насадке с некоторой скоростью  $v$ , то при достаточно малых значениях скорости сила сопротивления оказывается меньше, чем движущая сила. В этом случае твердая частица будет двигаться ускоренно. При увеличении скорости частицы будет увеличиваться сила сопротивления, и при некотором значении скорости  $v$  сила сопротивления уравновесит движущую силу. При этом условии твердая частица будет двигаться с постоянной скоростью, которая называется установившейся.

Составив треугольник сил, по закону Архимеда выразим отсюда  $F$ :

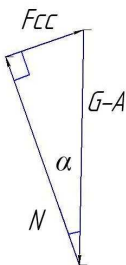
$$F = \sin\alpha (G - A);$$

$$6\pi\mu Rv = \sin\alpha gV(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{с}});$$

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3.$$

Выразив скорость  $v$ , получим

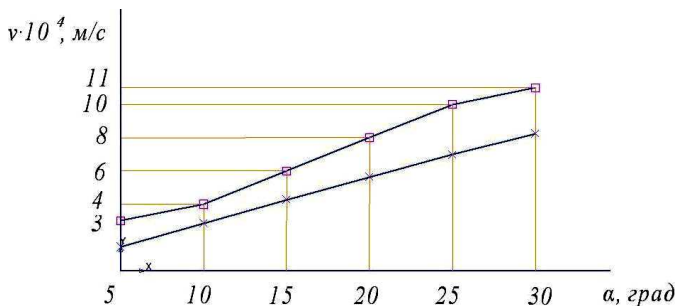
$$v = \frac{2g \sin\alpha (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{с}}) R^2}{9\pi\mu}. \quad (1)$$



**Рис. 3**

В этом случае векторная сумма сил, действующих на частицу, равна нулю. Следовательно можем рассмотреть следующий треугольник сил (рис. 3).

На рисунке 4 проведены зависимости установившейся скорости частицы радиусом 1,5 мм от угла наклона пластины, полученные при расчете по формуле (1) и экспериментальные данные из источника [1] с рассчитанными по (рис. 4). Некоторое расхождение экспериментальных данных с расчетными объясняется тем, что эксперимент проводился на частицах, не достигших полной степени превращения.



**Рис. 4:**

□ – экспериментальные данные  
× – рассчитанные данные

В целом формулу (1) можно использовать для аналитического определения установившейся скорости частиц дисперсной фазы по элементам плоскопараллельной насадки при проектировании реакторов-полимеризаторов колонного типа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зарандия, Ж.А. Устойчивость полимер-мономерных частиц, моделирование и аппаратное оформление непрерывного процесса суспензионной полимеризации метилметакрилата : дис. ... канд. техн. наук / Ж.А. Зарандия. – Тамбов. – 2002.
2. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. – М. : Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1961. – С. 209 – 213.

*Кафедра «Теория машин, механизмов и детали машин»  
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»*