

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ГРАНУЛЮВАННЯ В АПАРАТІ З ПСЕВДОЗРІДЖЕНИМ ШАРОМ

Семенцов В. К., Ладієва Л. Р.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, mrvis333@gmail.com

Під час створення моделі гранулювання в апараті з псевдозрідженим шаром розглянуто гетерогенний двохфазний процес, під час якого між собою взаємодіють дві окремі фази: частинки – центри гранулювання, вихідна речовина – сульфат амонію у вигляді крапель та теплоносій – повітря.

Основною метою є розробка методу поточного вимірювання еквівалентного діаметру в процесі роботи установки. Одночасно розглядається процес гранулювання у псевдозрідженому шарі з точки зору оцінки якості гранулометричного складу. Спосіб взаємодії течії газу або рідини (зріджувальний агент) з шаром твердого зернистого матеріалу – коли тверді частки, суспендовані в течії, мають пульсаційний або вихровий рух у межах шару псевдозрідження [1].

Для розробки моделі були зроблені такі припущення:

- частинки монодисперсні, непористі, агломерація відсутня. Інтенсивність перемішування частинок між шарами описується коефіцієнтом осьової дисперсії r , який залежить від швидкості руху газової фази, а також від властивостей частинок;

- зміна параметрів псевдозрідженого шару відбувається в часі, без урахування радіальної складової та зміни по висоті;

- краплі, одержувані за допомогою пневматичної форсунки, мають вузький розподіл за розміром, що дозволяє розглядати їх як монодисперсну фазу. Між краплями відсутні зіткнення та злипання, немає налипання на стінках апарата. Краплі рухаються крізь псевдозріджений шар і співспрямовані з потоком повітря;

- теплообмін між краплями, частинками та повітрям є конвективним.

Процес теплообміну в грануляторі описується наступними рівняннями.

Рівняння, що описує зміну температури частинок у шарі:

$$M_{\text{ч}} C_{\text{ч}} \frac{d\Theta_{\text{ч}}}{dt} = M_{\text{ч}} C_{\text{ч}} r_{\text{ч}} \Theta_{\text{ч}}^0 + G_{\text{к}} C_{\text{к}} \Theta_{\text{к}}^0 + R^{\text{адг}} M_{\text{ч}} C_{\text{к}} (\Theta_{\text{к}}^0 - \Theta_{\text{ч}}) + G_{\text{к}} x_{\text{к}} Q_{\text{крис}} - \\ - M_{\text{п}} v_{\text{суш}} Q_{\text{ви}} + \alpha_{\text{ч}} S_{\text{ч}} (\Theta_{\text{п}} - \Theta_{\text{ч}}),$$

де C – питома теплоємність, Дж/(кг·К); G – масові витрати, кг/с; Θ – температура, К, а індекси «ч», «к», «п» позначають, що параметр відноситься до частинок, крапель або повітря відповідно; $\Theta_{\text{ч}}^0$ – початкова температура частинок, К; $R^{\text{адг}}$ – питома швидкість стикання крапель з частинками (адгезії), кг_к / (кг_ч·с) (кг_к, кг_ч – кілограм крапель і частинок відповідно); $r_{\text{ч}}$ – коефіцієнт аксіальної дисперсії частинок, с⁻¹; $v_{\text{суш}}$ – питома швидкість сушіння вологи в краплях, кг_{ви-пар.вологи}/(кг·с); $x_{\text{к}}$ – концентрація крапель розчину; $Q_{\text{ви}}$ – питома теплота випаровування вологи, Дж/кг; $Q_{\text{крис}}$ – питома теплота кристалізації крапель, Дж/кг;

$\alpha_{\text{ч}}$ – коефіцієнт теплопередачі частинок, Вт/(м²·К); $S_{\text{ч}}$ – площа поверхні частинок, м².

Що більшими є сили адгезії крапель рідини з твердими частинками, то імовірнішим буде зростання гранул. Адгезійні властивості крапель, у свою чергу, залежать від жорсткості поверхні гранул і властивостей розпилюваної речовини [2].

Рівняння, що описує зміну температури нагрівального повітря:

$$M_{\text{п}} C_{\text{п}} \frac{d\Theta_{\text{п}}}{dt} = G_{\text{п}} (C_{\text{п}}^0 \Theta_{\text{ч}}^0 - C_{\text{п}} \Theta_{\text{п}}) - \alpha_{\text{ч}} S_{\text{ч}} (\Theta_{\text{п}} - \Theta_{\text{ч}}),$$

де $C_{\text{п}}^0$ – початкова теплоємність повітря, Дж/(кг·К); $\Theta_{\text{п}}^0$ – початкова температура повітря, К.

Систему рівнянь було розроблено з урахуванням емпіричних співвідношень для розрахунку питомої швидкості гранулювання, питомої швидкості осідання крапель на частинках в результаті адгезії, коефіцієнта аксіальної дисперсії частинок, коефіцієнтів теплопередачі, співвідношень для розрахунку втрат матеріалу та товщини шару покриття, а також початкових умов.

1. Спосіб автоматичного керування процесом зневоднення та гранулювання у псевдозрідженому шарі : пат. 117268 Україна: МПК6 B01J 8/40, B01J 8/18, B01J 2/00. № U201712494; заявл. 25.01.2017; опубл. 26.06.2017, Бюл. № 7. 34 с.

2. Классен П. В., Гришаев И. Г. Основы техники гранулирования: навч. посіб. Москва: Химия, 1982. 272 с.