

4. Воронін Л.Г. Розрахунок плинності цементно-піщаного розчину в каналах дозатора-живильника віброекструзійної установки / Л.Г. Воронін, І. А. Андреев, К.О. Смірнова // *Кераміка: наука і життя*. – 2011. – №1(11). – С. 49-53.
5. Андреев І.А. Ефективність змішування компонентів суміші при віброекструзії фібробетону установки / І.А. Андреев, Г.Ю. Ан // „Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання”. Збірник тез доповідей II міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених (01-04 квітня 2012 р., м. Київ, Україна). – 2012. – С. 40-41.
6. Висновок № 8504/ЗУ/12 про видачу пат. України від 20.04.2012, МПК (2011.01) B28B 13/00. Віброекструдер для змішування фібробетонних сумішей / Андреев І.А., Ан Г.Ю.; заявник і патентовласник вони ж. – № u201112883; заявл. 02.11.2011.

УДК 66.021

## ВПЛИВ ДИНАМІКИ РУХУ ДИСПЕРСНОЇ ФАЗИ НА РОЗМІРИ ГРАНУЛЯЦІЙНИХ ВЕЖ

Артюхов А.Є., канд. техн. наук, доцент, Демченко А.М., студент,  
Сумський державний університет, м. Суми

*Проведено опис динаміки руху дисперсної фази у грануляційній вежі під дією висхідного потоку повітря. Оцінено вплив силових факторів на дисперсну фазу та визначено умови її рівноваги, деформування і дроблення під час польоту. Наведено результати розрахунку граничних умов рівноваги дисперсної фази.*

*The dynamics description of the dispersed phase motion in the granulation tower under upward air flow are worked out. The influence of power factors on dispersed phase was evaluated and the conditions of its equilibrium, deformation and fragmentation during flight were defined. The calculating results of boundary conditions of dispersed phase equilibrium are presented.*

**Ключові слова:** динаміка, рівновага, дисперсна фаза, грануляційна вежа

Одним з найбільш розповсюджених методів одержання гранульованого продукту для використання в якості мінеральних добрив і вибухових речовин в гірничодобувній галузі є застосування грануляційних веж [1]. Такий метод забезпечує високу продуктивність по готовому продукту та його необхідні якісні показники. Розбризкування розплаву у вільний об'єм з подальшим охолодженням і кристалізацією крапель у зустрічному потоці повітря здійснюється в залізобетонних або металевих грануляційних вежах, висота яких досягає 100 м. Враховуючи, що комплекси для одержання гранульованої продукції таким способом були споруджені в 60-70-х роках минулого століття, актуальною постає проблема створення нових грануляційних веж зі зниженою висотою польоту гранул [2].

Визначний вплив на висоту грануляційної вежі чинить динаміка руху дисперсної фази та кінетика її охолодження та кристалізації. Від характеру руху краплі розплаву після вильоту з гранулятора, на початковому етапі її переміщення вздовж вертикальної вісі грануляційної вежі, а також впродовж польоту охолодженої гранули після кристалізації верхніх шарів краплі розплаву залежить висота грануляційної вежі. При цьому потрібно враховувати, що під час польоту дисперсна фаза повинна зберігати сферичну форму і не руйнуватись впродовж всього часу перебування в грануляційній вежі.

Дослідження динаміки руху суцільної фази в об'ємі грануляційної вежі становить інтерес з точки зору можливості зменшення висоти її падіння, і як наслідок, зменшення загальної висоти грануляційної вежі.

Об'єкт дослідження – грануляційні вежі у виробництві мінеральних добрив і гранул для потреб гірничодобувної галузі промисловості.

Предмет дослідження – динаміка руху дисперсної фази в робочому об'ємі грануляційної вежі.

Завданням представленої роботи є комплексне вивчення динаміки руху дисперсної фази з метою визначення умов початку її деформації «підвисання» у зустрічному потоці повітря. Вирішення цієї задачі дозволить підібрати такий гідродинамічний режим руху дисперсної фази, при якому стає можливим проведення в повній мірі процесу її кристалізації й охолодження при зменшенні вертикальної складової переміщення.

Вирішення поставленого завдання стає можливим при проведенні теоретичного аналізу механізмів впливу на краплю зовнішніх сил, які призводять до зміни її форми і дроблення.

Процес дроблення краплі достатньо повно описаний в роботах вітчизняних і зарубіжних дослідників, які пропонують використовувати в якості характеристик початку режиму дроблення і розпаду краплі певні значення критеріїв Вебера, Рейнольдса або Онезорге, що представляє комплекс двох перших. Однак питання умов початку деформації краплі в газовому потоці не приділено достатньої уваги [3].

Пропонується комплексний підхід до опису динаміки падіння краплі в висхідному газовому потоці, який дозволить управляти рухом краплі, уповільнюючи швидкість її падіння аж до повного «підвисання» в певному перерізі грануляційної вежі [4].

В алгоритмі розрахунку динаміки падіння краплі розглядаються наступні блоки:

- умови рівноваги краплі у висхідному газовому потоці;
- умови початку деформації краплі під дією висхідного газового потоку.

Рациональний підбір гідродинамічних характеристик суцільної фази дозволить «підвісити» краплю в газовому потоці і зменшити швидкість її падіння. При відомому значенні часу кристалізації, яке не залежить від гідродинамічних характеристик фаз, а визначається розмірами краплі і термодинамічними умовами протікання процесу, представляється можливим зменшення вертикальної складової переміщення краплі за рахунок збільшення часу її перебування в об'ємі апарату.

В загальному випадку на краплю розплаву, яка вилітає з отвору гранулятора в об'ємі грануляційної вежі, діють сила тяжіння  $F_m$ , сила аеродинамічного опору висхідному потоку повітря  $T$  та сила Архімеда  $A$  (рисунок 1):

$$F_{\dot{O}} = m_p \cdot g, \quad (1)$$

$$T = \zeta \cdot \frac{\rho_p \cdot W_{\dot{a}}^2}{2 \cdot g} \cdot \frac{\pi \cdot d_p^2}{4}, \quad (2)$$

$$A = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \left( \frac{d_p}{2} \right)^3 \cdot \rho_{\dot{a}} \cdot g, \quad (3)$$

де  $m_p$  - маса краплі розплаву, кг;  $g$  - прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $\rho_p, \rho_{\dot{a}}$  - густина розплаву (гранули) та повітря відповідно, кг/м<sup>3</sup>;  $d_p$  - діаметр краплі розплаву (діаметр гранули), м;  $W_{\dot{a}}$  - швидкість руху газового потоку в об'ємі грануляційної вежі, м/с;  $\zeta$  - коефіцієнт аеродинамічного опору.



**Рис. 1 – Силловий вплив на краплю розплаву, яка вилітає з отвору гранулятора в об'ємі грануляційної вежі**

Умова рівноваги краплі у висхідному газовому потоці, відсутності її вертикального переміщення (левітації) запишеться у вигляді

$$F_{\dot{O}} = T + A. \quad (4)$$

Після підстановки рівнянь (1)-(3) в рівняння (4) та вирішення його відносно  $W_{\dot{a}}$  одержано

$$W_{\dot{a}} = \sqrt{\frac{4 \cdot d_{\dot{a}} \cdot g^2}{3 \cdot \rho_p \cdot \zeta}} \cdot (\rho_p - \rho_{\dot{a}}). \quad (5)$$

За даними рівняння (4) побудовано залежності швидкості левітації від діаметра краплі розплаву (гранули) і густини розплаву (гранули), які наведено на рисунках 2,3.

Залежність швидкості левітації від густини розплаву (гранули) має обмежений характер, адже при турбулентному режимі руху краплі значення коефіцієнт аеродинамічного опору є незмінним. Враховуючи це, а також той факт що густина розплаву та повітря відрізняються на три порядки, швидкість левітації в турбулентному режимі руху краплі діаметром більше 2 мм не буде залежати від густини розплаву (гранули).

При протіканні процесу гранулювання у грануляційних вежах обов'язковою умовою є відсутність процесу вторинного дроблення краплі. Ці умови будуть забезпечені в тому випадку, якщо сила аеродинамічного впливу суцільної фази на краплю буде менше тиску, який створюється у краплі за рахунок сили поверхневого натягу.

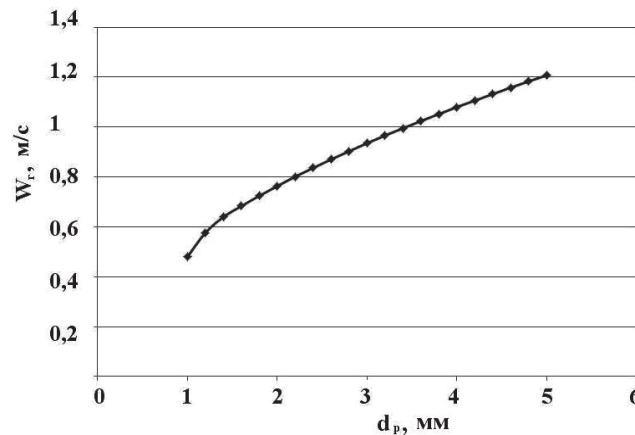


Рис. 2 – Залежність швидкості левітації від діаметра краплі розплаву (гранули)

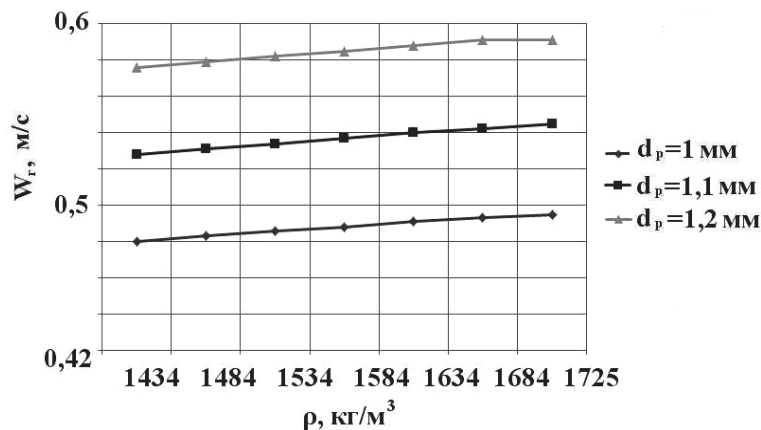


Рис. 3 – Залежність швидкості левітації від густини краплі розплаву (гранули)

Виконання цієї умови забезпечується при фіксованому значенні критерія Вебера [5]

$$We = \frac{\rho_a \cdot W_a \cdot d_p}{\sigma}, \quad (6)$$

де  $\sigma$  - коефіцієнт поверхневого натягу дисперсної фази, Н/м².

Крапля буде починати дробитися, якщо величина критерію Вебера перевищить критичне значення.

Крім того, необхідно забезпечити витання краплі за рахунок швидкості руху суцільної фази і, як наслідок, коригування значення сили аеродинамічного опору середовища. Ця швидкість визначається площею перерізу робочого об'єму грануляційної башти і при виході на габаритні розміри характеризує діаметр корпусу

$$D = \sqrt{\frac{Q}{0,785 \cdot W_a}} = \sqrt{\frac{Q}{0,785 \cdot \sqrt{We \cdot \sigma}} \cdot \sqrt{\rho_a \cdot d_p}}, \quad (7)$$

де  $Q$  – витрата повітря через переріз грануляційної вежі, м³/с.

Розглядаючи аеродинамічний вплив газу на краплі та вважаючи критерій Вебера визначальним в цьому процесі, автори [6,7] пропонують встановити критичні значення цього параметра для режиму вторинного дроблення краплі. Крапля починатиме руйнуватись, якщо величина критерію Вебера перевищить критичне значення. Однак в оцінці цього критерію є великі розходження, які можна пояснити залежністю його від в'язкості рідини, тривалістю дії газового потоку на краплю, а також іншими факторами. Таким чином, Критерій Вебера – не єдиний параметр, який визначає стійкість краплі в газовому потоці.

Запропоновано [8] визначати межі початку дроблення краплі розплаву за критеріальною залежністю

$$We_{\delta\delta} = \frac{1}{2} \cdot Re_{\delta\delta}^2 \cdot \left( \frac{\mu_{\delta}}{\mu_{\delta}} \right)^2 \cdot \frac{\rho_{\delta}}{\rho_{\delta}} \cdot \Gamma, \quad (8)$$

де  $\mu_{\delta}, \mu_{\delta}$  - динамічна в'язкість газу і розплаву, Па·с;  $\Gamma$  - критерій стійкості краплі

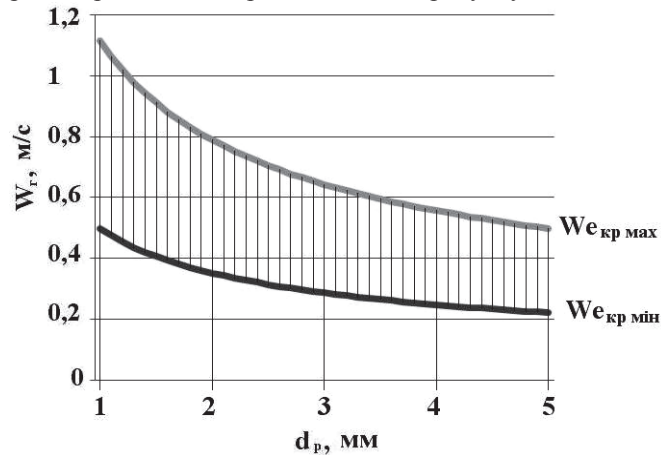
$$\Gamma = \frac{\mu_{\delta}^2}{\sigma \cdot \rho_{\delta} \cdot d_{\delta}}. \quad (9)$$

Умови початку процесу дроблення краплі мають вигляд [8]

$$4 \leq We_{\delta\delta} \leq 20, \quad (10)$$

$$0,1 \leq We \cdot Re^{-0,5} \leq 0,8. \quad (11)$$

Діапазон швидкостей газової фази в робочому об'ємі грануляційної вежі, при якому настає процес вторинного дроблення крапель різних діаметрів наведено на рисунку 4.



**Рис. 4 – Діапазон швидкостей газової фази, при якому настає процес вторинного дроблення крапель, залежно від діаметра краплі**

Результати розрахунку умов швидкості потоку повітря, при яких настає левітація краплі з одночасною відсутністю вторинного дроблення зручно подати у вигляді суміщеного графіка (рис. 5).

Такий підхід до опису динаміки руху краплі не відображає умови початку деформації краплі під дією зустрічного потоку повітря, при якому крапля перестає бути сферичною, порушуючи монодисперсний склад готового продукту.

При визначенні гідродинамічних умов руху краплі також враховується тиск, що створюється у краплі рідини, сила поверхневого натягу рідини, тиск на краплю з боку висхідного потоку повітря і розподіл зон тиску на поверхню краплі (рис. 6).

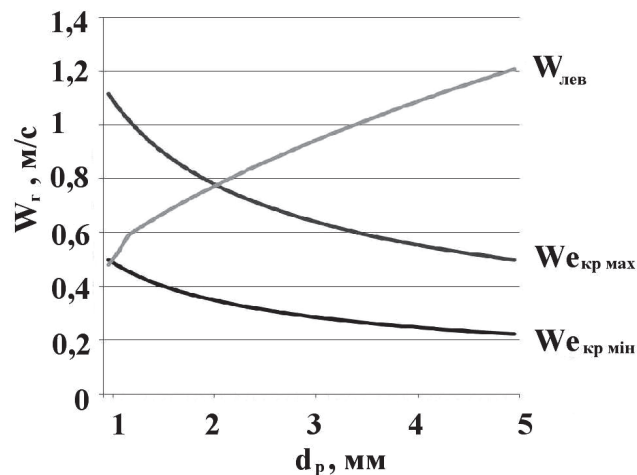


Рис. 5 – Суміщений графік швидкості левітації краплі та діапазону початку її дроблення

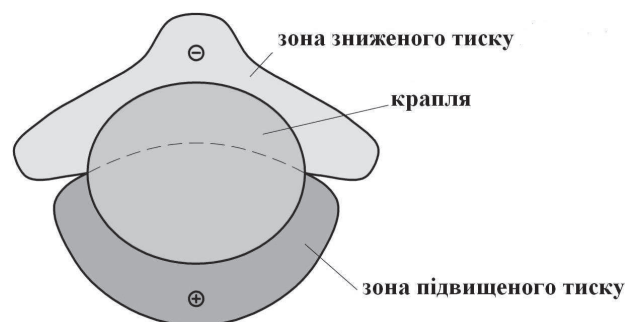


Рис. 6 – Розподіл зон тиску на поверхню краплі

Результати розрахунку динаміки падіння краплі при дотриманні вищеперелічених умов та облік всіх зазначених параметрів дозволить визначити мінімальну висоту падіння краплі при збереженні її сферичності до утворення твердої оболонки на поверхні.

### Література

1. Классен П.В. Основные процессы технологии минеральных удобрений / П.В. Классен, И.Г. Гришаев – М.: Химия, 1990. – 304 с.
2. Артюхов А.Е. Усовершенствование гидродинамики движения дисперсной фазы в грануляционных башнях / А.Е. Артюхов // "Дисперсные системы": материалы XXIV-й научной конференции стран СНГ (20-24 сентября 2010 г.) – Одесса, Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова, 2010. – С. 29-30.
3. Артюхов А.Е. Определение условий равновесия, деформации и дробления капель в восходящем газовом потоке / А.Е. Артюхов, Н.А. Кочергин, А.Н. Демченко // Технологія-2012: тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції (6-7 квітня 2012 р.). - Сєверодонецьк, Сєверодонецький технологічний інститут Східноукраїнського Національного університету ім. В. Даля, 2012. - С. 161-162.
4. Демченко А.Н. Моделирование движения капли в восходящем газовом потоке / А.Н. Демченко, А.Е. Артюхов // Сучасні технології в промисловому виробництві: матеріали II Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції (17-19 квітня 2012 р.). – Суми, Сумський державний університет, 2012. – С. 138.
5. Пажи Д.Г. Распыливающие устройства в химической промышленности / Пажи Д.Г., Корягин А.А., Ламм Э.Л. – М.: Химия», 1975. – 200 с.
6. Холин Б.Г. Центробежные и вибрационные грануляторы плавов и распылители жидкости / Холин Б.Г. – М.: Машиностроение, 1977. – 182 с.
7. Казакова Е.А. Гранулирование и охлаждение азотсодержащих удобрений / Казакова Е.А. – М.: Химия, 1980. – 288 с.
8. Пажи Д.Г. Основы техники распыливания гидкостей / Пажи Д.Г., Галустов В.С. – М.: Химия, 1984. – 256 с.