

ДЕНИСЕНКО В. Р., магістрант; КОРНІЄНКО Я. М., д.т.н., проф.; ГАЙДАЙ С. С., к.т.н., ас.;  
ШЕВЧЕНКО Я. М., магістрант  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»

## ГІДРОДИНАМІКА НЕОДНОРІДНОГО ПСЕВДОЗРІДЖЕННЯ

*Встановлено вплив зміни висоти шару зернистого матеріалу при грануляції органо-мінеральних добрив на якісні показники гідродинаміки неоднорідного струменево-пульсаційного псевдозрідження.*

**Ключові слова:** псевдозріджений шар, автоколивальний режим, гідродинаміка, грануляція.

© Денисенко В. Р., Корнієнко Я. М., Гайдай С. С., Шевченко Я. М., 2019.

**Постановка проблеми.** Застосування техніки псевдозрідження для проведення процесів грануляції рідких систем дозволяє підвищити коефіцієнт використання теплоти до 50% і більше. Особливо це важливо при виробництві органо-мінеральних добрив [1].

Процес грануляції рідких систем супроводжується фазовими переходами інтенсивність яких визначається швидкістю молекулярної дифузії. Тому стійка кінетика процесу грануляції досягається при збільшенні поверхні зернистого матеріалу, яка зумовлює збільшення загальної висоти шару [1], яка в декілька разів перевищує висоту пробою газового струменя. Це призводить до реалізації тривіального барботажного режиму псевдозрідження, застосування якого для процесу грануляції призводить до суттєвого зменшення коефіцієнтів перенесення теплоти та вологи, а також до утворення застійних зон на поверхні газорозподільного пристрою (ГРП), що є неприйнятним.

З метою інтенсифікації дифузійно-контрольованих процесів у таких системах останнім часом почали застосовувати неоднорідне псевдозрідження [2,3]. Проте в цих дослідженнях створення пульсаційного режиму псевдозрідження відбувалося із застосуванням зовнішніх механічних пристроїв або окремих сопел із пульсуючою подачею газового теплоносія.

Такий спосіб реалізації неоднорідного псевдозрідження супроводжується перебуванням зернистого матеріалу в стані спокою на робочих поверхнях ГРП протягом деякого часу, що при контакті із високотемпературним теплоносієм призводить до негативних наслідків.

Для усунення цих недоліків автором [4] розроблено спосіб взаємодії фаз та конструкцію ГРП, яка дозволяє реалізувати неоднорідне псевдозрідження у вигляді струменево-пульсаційного автоколивального режиму без застосування зовнішніх механічних пристроїв.

Запропонована методика визначення якості гідродинаміки при співвідношенні висоти пробою газового факела  $z_{\phi}$  до  $H_0$  – початкової висоти нерухомого шару  $z_{\phi}/H_0=0,31$  [4].

У той же час, при реалізації процесу в промислових умовах важливо визначати особливості гідродинаміки неоднорідного струменево-пульсаційного псевдозрідження в автоколивальному режимі при підвищених висотах шару зернистого матеріалу.

**Метою роботи** є визначення впливу зміни висоти шару зернистого матеріалу на гідродинамічний режим псевдозрідження та його якісні показники.

**Виклад основного матеріалу.** Дослідження гідродинаміки проводились у грануляторі із розмірами камери  $A \times B \times H = 0,3 \times 0,11 \times 1,5$  м, оснащеному ГРП щілинного типу ( $\phi = 4,9\%$ ) [5] із застосуванням фото-відео аналізу. У якості зернистого матеріалу використовувався гранульований сульфат амонію із домішками органічних компонентів з еквівалентним діаметром  $d_e = 2,5$  мм та густиною  $\rho_r = 1450 \pm 10$  кг/м<sup>3</sup>. Температура зріджувального агенту, що підводився до камери гранулятора через щілини ГРП –  $T_{вх} = 20^\circ\text{C}$ .

Відповідно до [4] при початковій висоті шару  $H_0 = 0,32$  м індекс динамічної якості гідродинаміки  $i_{\kappa} = 1,0$  при допустимих значеннях функції втрат якості  $L_{\kappa} \leq 0,1$  досягається при приведеній швидкості газу  $w_{г(прив)} = 1,34$  м/с, швидкості в щілинах ГРП  $w_{щ} = 29,3$  м/с та при числі псевдозрідження  $K_w = 1,71$ .

Фотофіксацію циклу автоколивального струменево-пульсаційного псевдозрідження наведено на рисунку 1. Частота пульсацій  $-f = 1,95$  Гц, загальний час циклу  $-\tau_{ц} = 1/f = 0,5175$ .

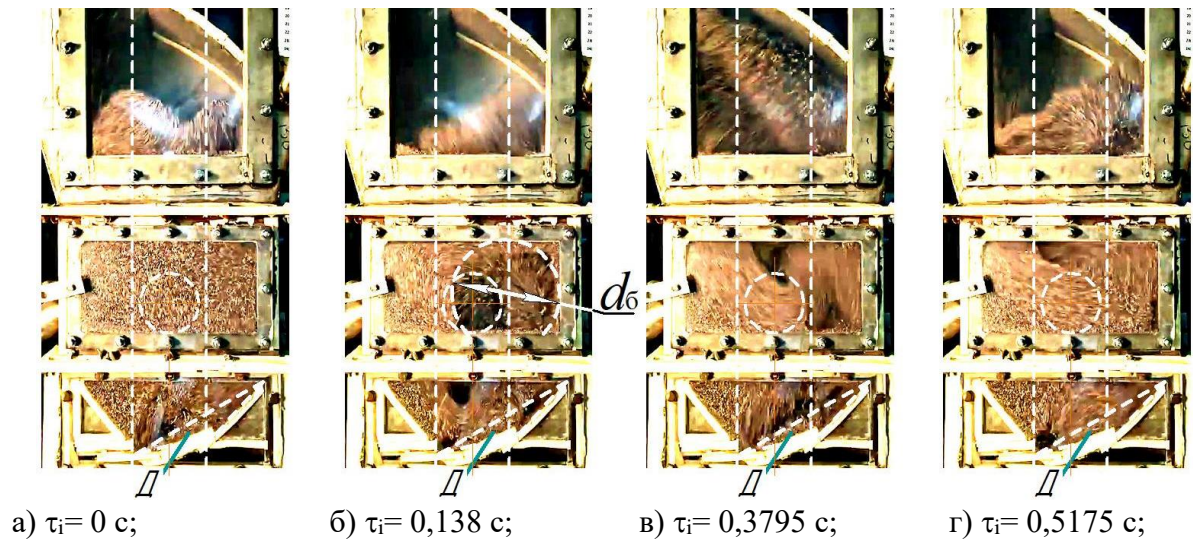


Рис. 1 – Фотофіксації стану шару зернистого матеріалу в камері гранулятора  
 ( $H_{0(1)}=0,32$  м;  $K_w=1,71$ ;  $w_{г(прив)}=1,34$  м/с;  $w_{щ}=29,3$  м/с)

Відповідно до фізичної моделі процесу [4] розраховувався розмір газової бульбашки, яка утворюється при об'єднанні струменів, рисунок 1, 2 та 3.

$$d_{б(розрах)} = \frac{H_{0i} - (z_f + \Delta)}{\pi/4 + 1} \quad (1)$$

де  $H_{0i}$  – значення висоти нерухомого шару, м;  $z_f$  – висота пробую об'єднаного газового струменя, м ( $z_f=0,08$  м);  $\Delta$  – вертикальна координата підведення газового зріджуючого агенту, м ( $\Delta=0,04$  м).

Експериментально встановлено, що збільшення висоти шару зернистого матеріалу  $H_0$  на 15% до  $H_{0(+15\%)}=0,37$  м призводить до пропорційного збільшення діаметру газової бульбашки та загального часу циклу до  $\tau_{ц}=0,552$  с ( $f=1,81$  Гц), рисунок 2, зі збереженням індексу динамічної якості гідродинаміки  $i_d=1,0$ .

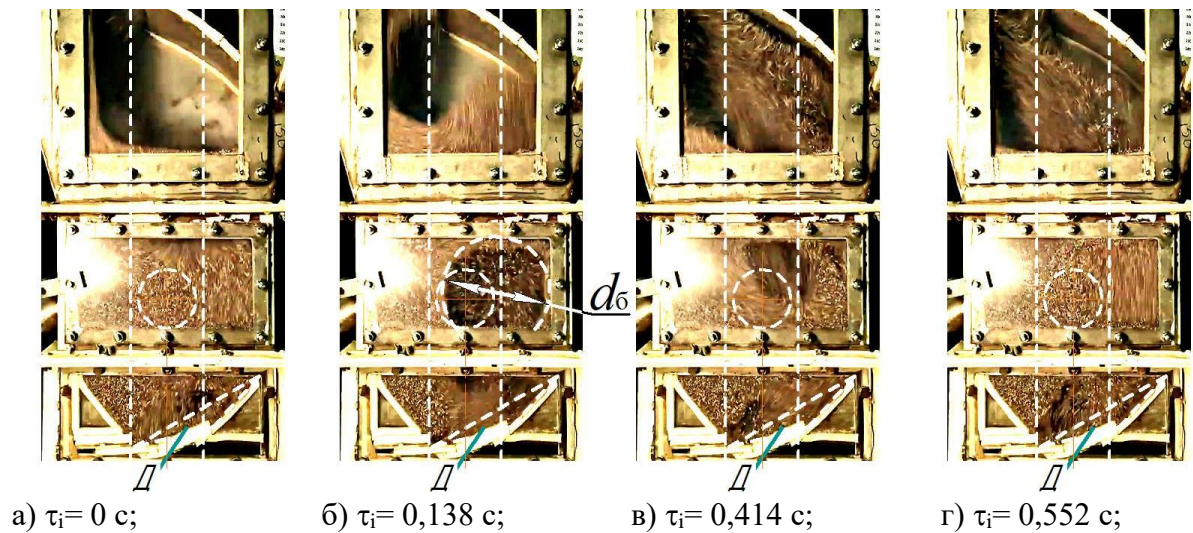
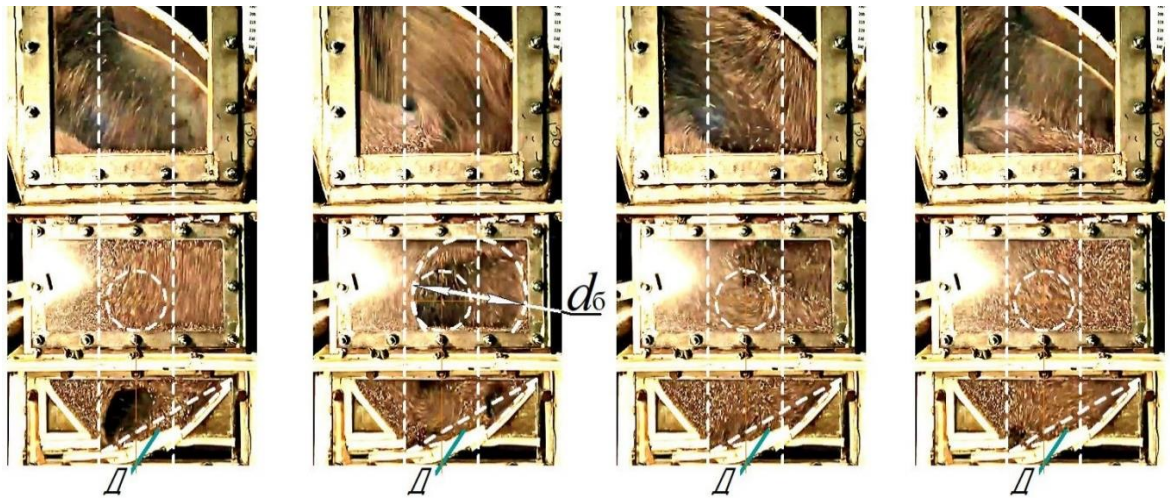


Рис. 2 – Фотофіксації стану шару зернистого матеріалу в камері гранулятора  
 ( $H_{0(+15\%)}=0,37$  м;  $K_w=1,71$ ;  $w_{г(прив)}=1,34$  м/с;  $w_{щ}=29,3$  м/с)

При збільшенні  $H_0$  на 31% ( $H_{0(+31\%)}=0,42$  м), рисунок 3, індекс динамічної якості гідродинаміки зменшився до  $i_d=0,88 < 1,0$ .

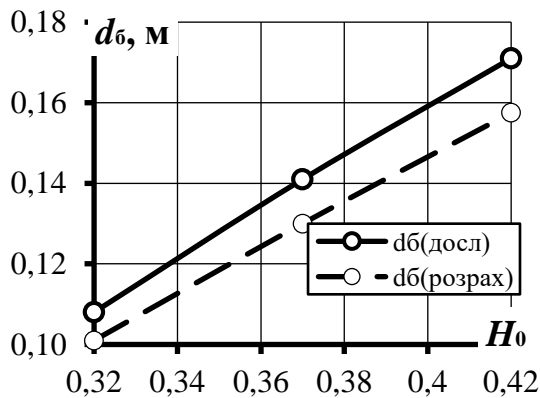


а)  $\tau_i = 0$  с; б)  $\tau_i = 0,138$  с; в)  $\tau_i = 0,414$  с; г)  $\tau_i = 0,5865$  с;

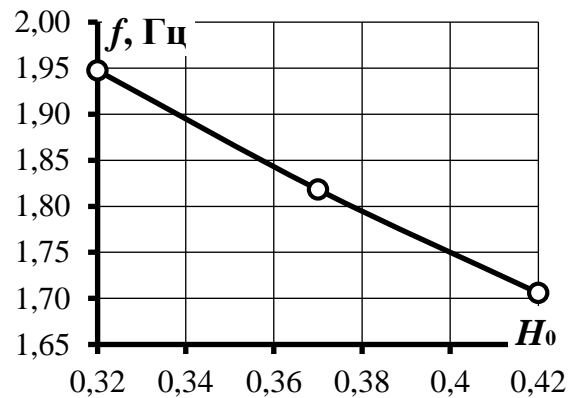
**Рис. 3 – Фотофіксації стану шару зернистого матеріалу в камері гранулятора ( $H_{0(+31\%)} = 0,42$  м;  $K_w = 1,71$ ;  $w_{г(прив)} = 1,34$  м/с;  $w_{ш} = 29,3$  м/с)**

Аналіз результатів експериментів показує, що збільшення висоти початкового шару супроводжується зменшенням частоти пульсацій шару  $f$ , рисунок 4, та збільшенням діаметру газової бульбашки  $d_b$ , рисунок 5. Збіжність результатів становить  $\pm 7,8\%$ . Отже, зміна  $d_b$  може описуватись рівнянням:

$$d_b = 0,56 \cdot H_0 - 0,067 \quad (2)$$



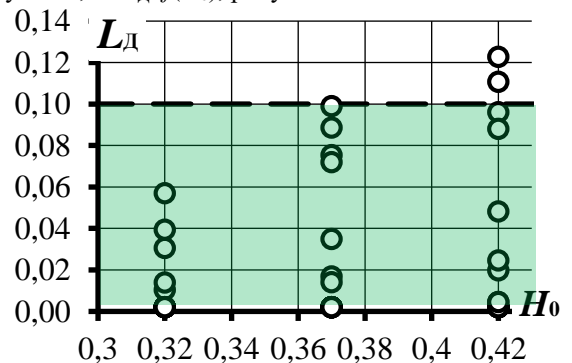
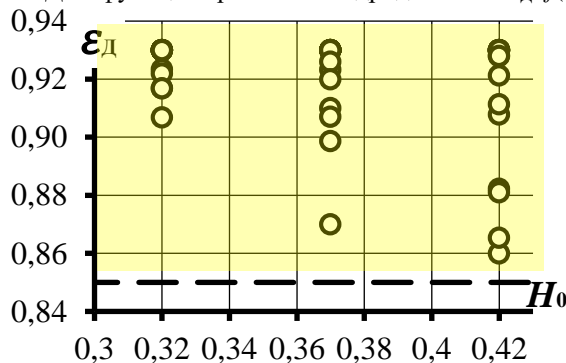
**Рис. 4 – Залежність діаметра газової бульбашки від висоти нерухомого шару  $d_b = f(H_0)$  при  $K_w = 1,71$ ;  $w_{ш} = 29,3$  м/с**



**Рис. 5 – Залежність частоти пульсацій шару зернистого матеріалу від висоти нерухомого шару  $f = f(H_0)$  при  $K_w = 1,71$ ;  $w_{ш} = 29,3$  м/с**

Проведеними експериментальними дослідженнями встановлено, що задовільна робота апарата при проведенні процесу грануляції забезпечується при значенні функції втрат якості  $L_D \leq 0,1$  [4].

Узагальнення експериментальних досліджень виконано у вигляді залежностей зміни порозності шару в зоні Д та функції втрат якості гідродинаміки  $\epsilon_D = f(H_0)$ , рисунок 6, та  $L_D = f(H_0)$ , рисунок 7.



**Рис. 6 – Залежність порозності в зоні Д від висоти шару –  $\varepsilon_D=f(H_0)$  при  $K_w=1,71$ ;  $w_m=29,3$  м/с**

**Рис. 7 – Залежність функції втрат якості від висоти шару –  $L_D=f(H_0)$  при  $K_w=1,71$ ;  $w_m=29,3$  м/с**

**Висновки.** Таким чином, експериментально підтверджено, що реалізацію струменево-пульсаційного псевдозрідження в автоколивальному режимі без втрати динамічної якості гідродинаміки можливо проводити при збільшенні початкової висоти нерухомого шару  $H_0$  на 15%. Подальше збільшення  $H_0$  призводить до зменшення параметра  $i_q=0.88$ , що суттєво збільшується ризик утворення застійних (малорухомих) зон на робочих поверхнях ГРП та оплавлення матеріалу.

Тому для усунення цього недоліку доцільно забезпечувати відповідне збільшення швидкості газу в цілинах ГРП.

#### **Список використаної літератури**

1. Корнієнко Я. М. Процес одержання модифікованих гранульованих гуміново-мінеральних добрив / Я. М. Корнієнко, А. М. Любека, С. С. Гайдай // Монографія для студентів, які навчаються за напрямком «Машинобудування» спеціальність «Обладнання хімічних виробництв та підприємств будівельних матеріалів». К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 206 с.
2. Тупоногов В. Г. Моделирование колебаний псевдооживленного слоя / В. Г. Тупоногов, А. Ф. Рыжков, А. Н. Баскаков, О. А. Обожин, А. М. Дубинин // Дисперсные потоки и простые среды. Интенсификации теплообмена: Тр. IV Росс. нац. конф. по теплообмену. М.: Изд-во МЭИ. – 2008. – Том 6. – С.133-136.
3. Gidaspow D. Fluidization in two-dimensional beds with a jet. Experimental porosity distributions / D. Gidaspow, C. Lin, Y. C. Seo // Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals. – 1983. – Vol. 22. – PP. 187-193.
4. Гайдай С. С. Гідродинаміка у грануляторах із псевдозрідженим шаром при одержанні органо-мінеральних добрив / Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. К.: 2018. – 24 с.
5. Пат. UA 109509 У Україна, МПК B01J 8/44. Газорозподільний пристрій апарата псевдозрідженого шару / Турко С.О., Корнієнко Я. М., Гайдай С. С., Мартинюк О. В., Любека А. М. // Опубл. 25.08.2016 - Бюл. № 16.

Надійшла до редакції 25.03.2019

---

**Denysenko V. R., Kornienko Ya. M., Haidai S. S., Shevchenko Ya. N.**

#### **HYDRODYNAMICS OF NONUNIFORM FLUIDIZATION**

*Stability kinetics of obtaining organo-mineral fertilizers with the desired properties in granulators fluidized bed depends on many factors, among which the main one is the hydrodynamic regime of fluidization. The use of jet-pulsed fluidization in self-oscillation mode during dehydration and granulation liquid heterogeneous systems provides high intensity and the efficiency of heat-mass transfer processes. Essential quality hydrodynamic regime of fluidization is to maintain a constant predetermined initial height of the layer.*

*At the same time, the implementation of the process in industrial conditions, it is important to determine the features of hydrodynamics of heterogeneous jet-pulsed fluidization in self-oscillation mode at elevated height of a layer of granular material. The aim of this paper was to determine the effect of changing the height of the layer of granular material on the hydrodynamic regime of fluidization and its quality indicators.*

*Experimentally confirmed that the implementation of jet-pulsed fluidization in self-oscillation mode without losing the dynamic qualities of hydrodynamics it is possible to if you increase the initial height  $H_0$  of the fixed bed 15%. Further increase of  $H_0$  leads to a decrease of the parameter  $i_q=0.88$ , which significantly increases the risk of inactive zones on the working surfaces of hydraulic fracturing and melting of the material.*

**Keywords:** fluidized bed, self-oscillation mode, hydrodynamics, granulation.

#### **References**

1. Kornienko Ya. M., Haidai S. S., Liubeka A. N. (2017). "Process for production of modified granular humic-mineral fertilizers", Monografiya dlya studentiv, yaki navchayutsya za napryamkom «Mashinobuduvannya» specialist «Obladnannya himichnyh vyrobnyctv ta pidprymstv budivelnyh materialiv» [Monograph for students enrolled in the direction "mechanical engineering" specialty "Equipment of chemical productions and enterprises of building materials]. Kyiv, Ukraine, 206 p.
2. Tuponogov V. (2008). Modelirovanie kolebanij psevdoozhivhennogo sloya [Simulation of oscillations in fluidized bed] / V. G. Tuponogov, A. F. Ryzhkov, A. N. Baskakov, O. A. Oborin, A. M. Dubinin // Moscow, Russia, Part 6, pp.133-136.
3. Gidaspow D. (1983). Fluidization in two-dimensional beds with a jet. Experimental porosity distributions / D. Gidaspow, C. Lin, Y. C. Seo // Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals. Vol. 22, pp. 187-193.

4. Haidai S. S. (2018) "Hydrodynamics in granulators fluidized bed while obtaining organo-mineral fertilizers", *Avtoreferat dysertacii na zdobuttya naukovogo stupenya kandydata tekhnichnyh nauk* [The dissertation on competition of a scientific degree of candidate of technical Sciences], Kyiv, Ukraine, Dec/ 27, 24 p.
5. Turco S. A., Kornienko Ya. M., Haidai, S. S, Martynyuk A. V., Liubeka, A. N. (2016). *Patent UA 109509 U, Ukraine, IPC B01J 8/44. Gazorozpodilnyi prystriy aparata psevdozridzhenogo sharu* [A gas distribution device in the fluidized bed], Published 25.08.2016, n. 16