

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ МЕХАНІЧНОГО ДИСПЕРГАТОРА

Я. М. Корнієнко, І. І. Корсак, Д. С. Семененко, С. С. Гайдай

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

вул. Політехнічна, 39, м. Київ, 03056, Україна. E-mail: avaloncheg.i@gmail.com

Проведено експериментальне дослідження процесу диспергування гетерогенних систем механічним диспергатором двоконусного типу виготовленого з фторопласту. Викладено робочу гіпотезу щодо збільшення зони диспергування за рахунок зміни конструкції механічного диспергатора конічного типу. Розроблено методику визначення розподілення потоків рідини по конусам диспергатора, знайдено закономірність та проаналізовано фактори, що впливають на розподіл рідини. Проведено порівняння розмірів зон диспергування конічного та двоконусного диспергаторів. Визначено розміри крапель, що утворюються в процесі диспергування. Визначено умови, за яких збільшується об'єм зони диспергування при одночасному збереженні чи зменшенні розміру крапель. Проведено узагальнення експериментальних даних і визначена залежність щільності зрошення від конструкції диспергатора. Вперше встановлено асиметрію розподілення при обертанні диспергатора проти годинникової стрілки. Отримано необхідні дання для вдосконалення геометрії зони диспергування розчину в апараті.

Ключові слова: конусний диспергатор, гетерогенна система, розподілення, псевдо зріджений шар.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ МЕХАНИЧЕСКОГО ДИСПЕРГАТОРА

Я. М. Корниенко, И. И. Корсак, Д. С. Семененко, С. С. Гайдай

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

ул. Политехническая, 39, г. Киев, 03056, Украина. E-mail: avaloncheg.i@gmail.com

Проведено експериментальне дослідження процесу диспергування гетерогенних систем механічним диспергатором двоконусного типу, виготовленого з фторопласта. Изложено робочую гіпотезу об збільшенні зони диспергування за счет изменения конструкции механического диспергатора конического типа. Разработана методика определения распределения потоков жидкости по конусам диспергатора, найдена закономерность и проанализированы факторы, влияющие на распределение жидкости. Проведено сравнение размеров зон диспергирования конического и двоконусного диспергаторов. Определены размеры капель, образующихся в процессе диспергирования, условия, при которых увеличивается объем зоны диспергирования при одновременном сохранении или уменьшении размера капель. Проведено обобщение экспериментальных данных и определена зависимость плотности орошения от конструкции диспергатора. Впервые установлено асимметрию распределения при вращении диспергатора против часовой стрелки. Получены необходимые данные для совершенствования геометрии зоны диспергирования раствора в аппарате.

Ключевые слова: конусный диспергатор, гетерогенная система, распределение, псевдо сжиженный слой.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. В умовах загострення продовольчої кризи постає проблема раціонального землекористування та поновлення родючості ґрунтів. Сучасні способи внесення добрив не забезпечують запобігання винесенню корисних речовин із родючих шарів ґрунту. Розробка способу отримання органо-мінеральних добрив із заданим співвідношенням поживних і стимулюючих речовин, яке визначається кліматичними умовами регіону їх застосування, сприятиме збереженню екологічної рівноваги при інтенсивному землекористуванні.

Найбільш ефективним способом отримання гуміново-мінеральних добрив, забезпечує рівномірний розподіл гумінових речовин по всьому об'єму гранул є зневоднення робочих розчинів у псевдозрідженому шарі [1].

Як сировина запропоновано використовувати водяні розчини сульфату амонію, що утворюються при виробництві капролактаму. Тому для забезпечення заданого хімічного складу до розчину сульфату амонію додаються клійно- та фосфоровмісні речовини та різноманітні домішки. В результаті для зневоднення і гранулювання до апарату подається гетерогенна система.

Таким чином, найбільш раціональним є розпилення гетерогенної рідкої фази всередину псевдоз-

рідженого шару за допомогою механічного диспергатора [2].

Як показали дослідження, застосування механічного диспергатора призводить до локальних зон перезволоження і, відповідно, до непрогнозованої агломерації частинок, при певних витратах рідкої фази.

Тому збільшення об'єму зони зрошення дозволить якісно підвищити стійкість процесу гранулювання, особливо для безрециклового способу його реалізації [3] і суттєво підвищить питому продуктивність диспергатора за рідкою фазою

Мета роботи – визначення впливу конструкції диспергатора на ступінь розподілення рідкої фази.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Для проведення експериментальних досліджень використовувався двоконусний диспергатор, наведений на рис. 1.

З такими геометричними параметрами: діаметр внутрішнього конусу (1) – D_1 ; діаметр зовнішнього конусу (2) – $D_2 = D_1$; мінімальний діаметр внутрішнього конусу – $d_1 = 0,13D_1$; зовнішнього – $d_2 = 0,28D_1$; довжина твірної внутрішнього конусу $l_1 = 0,78D_1$; довжина твірної зовнішнього конусу $l_2 = 0,31D_1$; кут розкриття внутрішнього конуса $2\alpha_1 = 50^\circ$; кут розкриття зовнішнього конуса $2\alpha_2 = 90^\circ$.

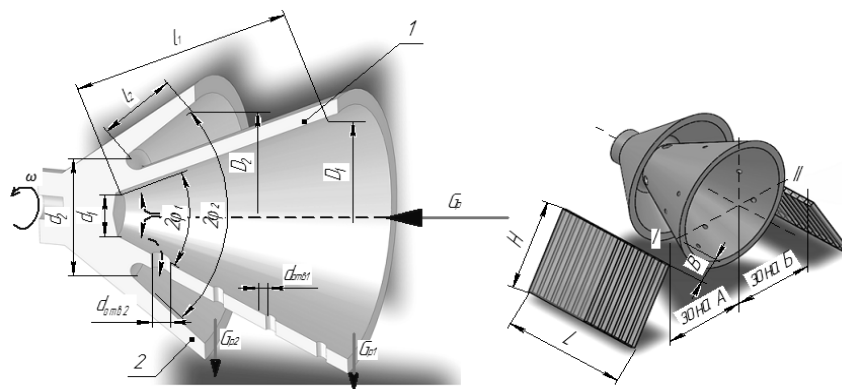


Рисунок 1 – схема проведення дослідів: 1–внутрішній конус; 2 – зовнішній конус

Внутрішній конус має на радіусі 12,5 мм отвори, через які частина рідкої фази переходить з внутрішнього конусу до зовнішнього, тобто рівняння матеріального балансу запишеться як

$$G = G_{p1} + G_{p2},$$

де G_{p1} , G_{p2} – масові витрати рідкої фази, що подається до диспергатора, і диспергується через внутрішній та зовнішній конуси.

Досліди проводились при рівних лінійних швидкостях крайки внутрішнього та зовнішнього конусів $V_1 = V_2 = 9,43$ м/с.

Приведена щільність зрошення змінювалась в межах 11–31 кг/(год·м). Діаметр отворів диспергатора обирався виходячи з середнього розміру гранул і приймався з умови $d_{отв} > d_e$ (d_e еквівалентний діаметр гранул в апараті) для запобігання застряганню гранул в отворах диспергатора, що призведе до зменшення зони розпилення і, як наслідок, збільшиться приведена щільність зрошення на краю диспергатора. Діаметр отворів у бічній поверхні конусу в зоні розподілення рідини $d_{отв2} = 5$ мм, у робочій зоні $d_{отв2} = 3$ мм.

Відповідно коефіцієнти перфорації f для даного диспергатора дорівнюють: в зоні розподілення рідини по конусам $f_2 = 0,08$, робочій поверхні внутрішнього конуса $f_1 = 0,013$. Схема дійсного розміщення отворів показана на рис. 2.

Досліди проводились на гетерогенній рідині наступного складу: сульфат амонію (СА):бентоніти:попіл:вода (2:1:1:6), тобто частка сухих речовин у розчині складала 40 %.

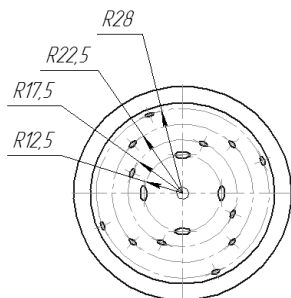


Рисунок 2 – Схема розміщення отворів

Досліди проводились на гетерогенній рідині наступного складу: сульфат амонію (СА):бентоніти:попіл:вода (2:1:1:6), тобто частка сухих речовин у розчині складала 40 %.

Методика експериментальних досліджень полягала у визначенні кількості рідини, що потрапляє з одного конусу в інший та розподілу її по довжині диспергатора. Всередину першого конуса перестальтичним насосом подавалась робоча рідина. Максимальна ефективність процесу досягається при рівності потоків рідини, що розпилюються через кожен конус диспергатора. Оскільки в умовах реального процесу диспергатор додатково обдувається потоком теплоносія проводились заміри кількості рідини, що диспергується через кожен конус, в двох позиціях I та II (рис. 1). За даними, отриманими у результаті експерименту, будувались графіки розподілу рідини по довжині конусу (рис. 3, 4).

Обробка результатів експериментальних досліджень полягала у визначенні та порівнянні площ обмежених графіками та горизонтальною віссю, для чого були визначенні рівняння четвертого порядку, що з точністю 99 % описують графік, та взято визначений інтеграл у межах, що відповідають точкам перетину із горизонтальною віссю.

Порівняно з конічним диспергатором, зона розпилення збільшилась вдвічі за довжиною, що призвело до значного зменшення приведеної щільності зрошення і, відповідно, збільшило зону диспергування.

Зі збільшенням витрати робочого розчину, розподіл потоків рідини по конусах зміщувався в сторону збільшення потоку, що диспергується через зовнішній конус, і при значенні 31 кг/(год·м) розподіл потоків досяг відношення $G_{p1} : G_{p2} = 3:2$.

На рис. 5 приведені експериментальні залежності розподілення рідкої фази по конусах залежно від витрати.

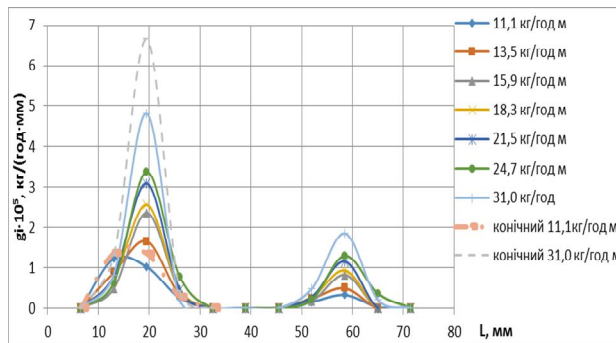


Рисунок 3 – Графіки розподілу рідини по довжині конусу залежно від витрати (I)

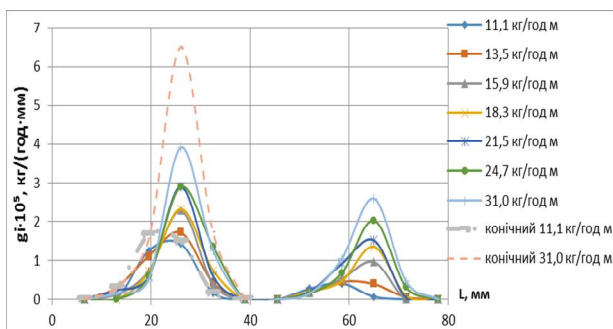


Рисунок 4 – Графіки розподілу рідини по довжині конусу залежно від витрати (II)

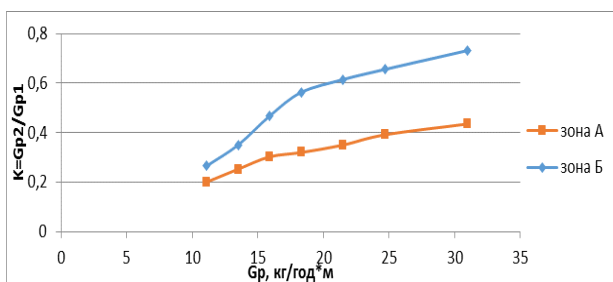


Рисунок 5 – Експериментальна залежність розподілу рідини по конусам

Теоретична витрата через отвори визначалась наступним чином:

$$Q_{отв} = W_{отв} \pi \frac{d_{отв}^2}{4} n_1, \quad (6)$$

де n_1 – кількість отворів; $W_{отв}$ – швидкість моделі рідини в отворах:

$$W_{отв} = \zeta \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}, \quad (7)$$

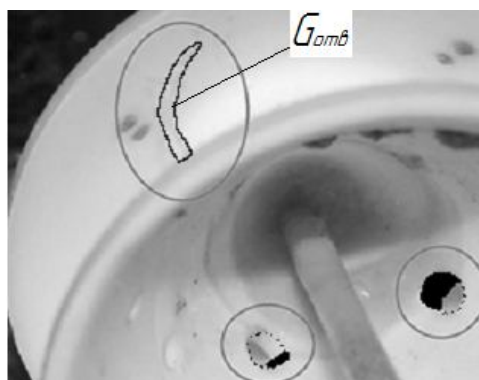
де ζ – коефіцієнт, що враховує зменшення швидкості рідини, є функцією від витрати та в'язкості рідини. Дослідним шляхом було визначено, що він змінюється в межах від 0,0005 до 0,003 для умов проведення експерименту (витрата 4,2–11,7 кг/год, коефіцієнт в'язкості рідини 2,4 мПа·с).

Рухлива сила процесу витікання рідини через отвір – це тиск, що створюється відцентровою силою:

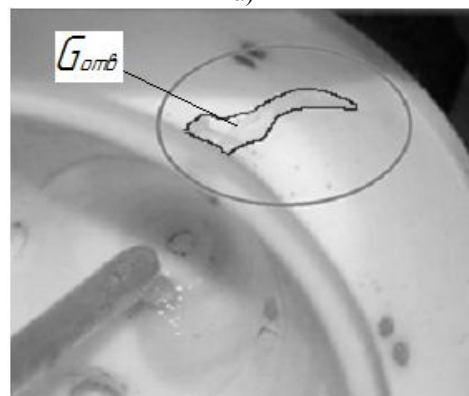
$$\Delta P = \frac{\rho \omega^2}{2} R^2. \quad (8)$$

Перетікання робочого розчину сульфату амонію наведено на рис. 6.

З графіків розподілу рідини по довжині двоконусного диспергатора, а також із фотознімків процесу диспергування, видно нерівномірність розподілу рідини по периметру другого конусу відносно осі обертання диспергатора. Внаслідок цього товщина плівки рідини в другому конусі зменшується від точки введення рідини в напрямку обертання диспергатора, в результаті чого факел розпилення невисесиметричний.



а)



б)

Рисунок 6 – Фотознімки диспергування робочого розчину: а) ліва сторона диспергатора (I); б) права сторона диспергатора (II)

Це може призвести до наявності наростів на внутрішній боковій стінці апарата внаслідок кристалізації розчину, що підтвердилось під час проведення дослідів на пілотній установці (рис. 7). У ході досліджень коефіцієнт гранулоутворення u знаходився в межах $90 \leq u \leq 94$ відсотків, навантаження по рідині складало $a_f = 0,7-0,9 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$.

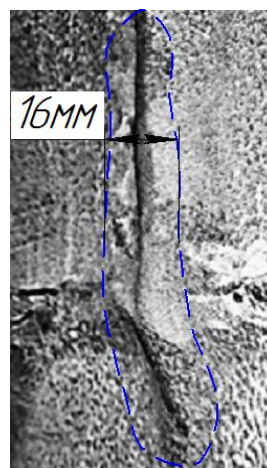


Рисунок 7 – Фотознімок кристалізованої суспензії на стінці апарату

Визначення розмірів крапель відбувалось шляхом фотофіксації процесу диспергування та побудови кривої нормального розподілення.

За основу було прийнято фізичну модель двоконусного перфорованого фторопластового диспергатора. Фізична модель процесу диспергування зображена на рис. 8.

Якість диспергування реального робочого розчину сульфату амонію з бентонітами та попелом можна оцінити за фотографіями рис. 9.

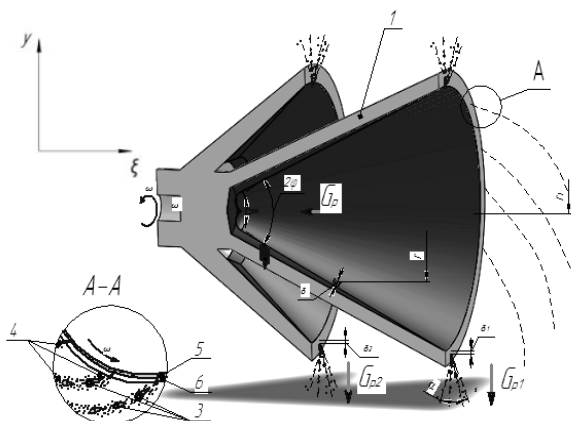
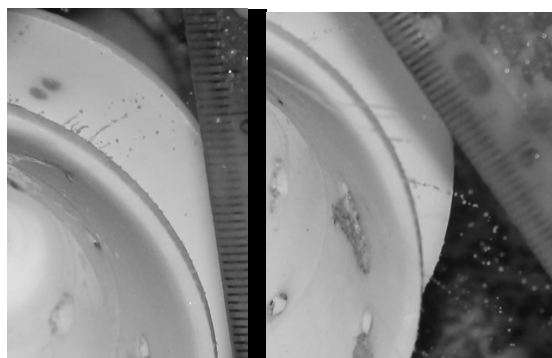
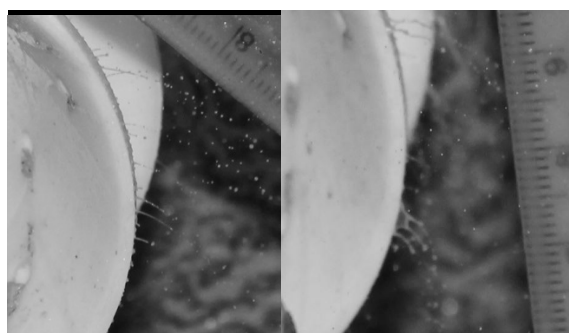


Рисунок 8 – Фізична модель процесу диспергування: 1 – диспергатор; 2 – треки крапель; 3 – основні краплі; 4 – краплі супутники; 5 – плівка рідини; 6 – крайка диспергатора



а) G=100мл/хв; б) G=115мл/хв;



в) G=135мл/хв г) G=195мл/хв

Рисунок 9 – Фотознімки диспергування суспензії двоконусним диспергатором

Оцінка розміру крапель проводилась виходячи з рівності сил поверхневого натягу та відцентрової:

$$0,9 \cdot \sigma \cdot \pi = \frac{4}{3} \cdot \rho \cdot c \cdot \pi \cdot d_{кал}^3,$$

де σ – коефіцієнт поверхневого натягу; ρ – густина робочого розчину; c – відцентрове прискорення;

δ – товщина плівки рідини на краю диспергатора, що у відповідності до [7] визначається як:

$$\delta = \left(\frac{3\mu_1 Q}{2\pi\rho_1 \omega^2 r^2 \sin^2 \varphi_0} \right)^{0,333} \quad (9)$$

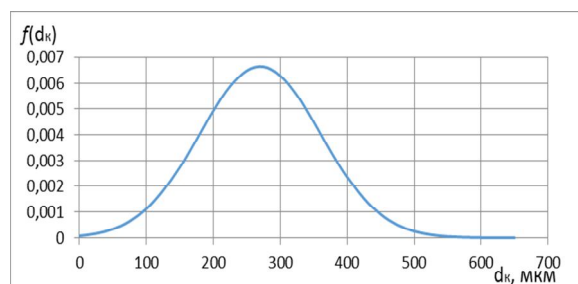
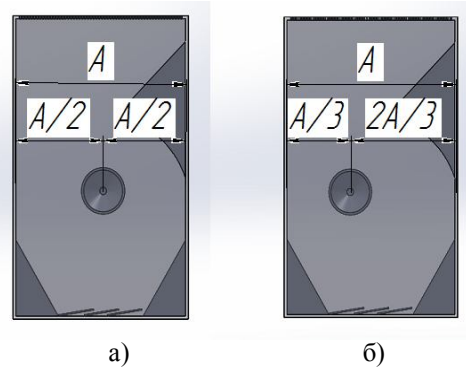


Рисунок 10 – Крива нормального розподілення крапель за розмірами

При збільшенні витрати спостерігається збільшення кількості струменів, отже домінує струменеві розпилення рідини, а при збільшенні приведеної щільності зрошення до 31 кг/год·м, спостерігається навіть плівковий схід робочого розчину з краю диспергатора. Також помітне незначне відкладення суспендованих частинок на робочій поверхні диспергатора, це свідчить про те, що час перебування частинок більше часу осідання, для запобігання осадження доцільно збільшити частоту обертання диспергатора.

За результатами досліджень запропоновано змінити геометрію вузла розпилення робочого розчину в апараті (рис. 11), за рахунок зміщення вісі обертання диспергатора в лівий бік. Величина зміщення розраховується на основі порівняння кінетичних енергій крапель, а також залежить від гідродинамічного режиму роботи апарату.



а) б)

Рисунок 11 – вузол розпилення робочого розчину: а) існуючий; б) запропонований

ВИСНОВКИ. Експериментально підтверджена робоча гіпотеза щодо збільшення, приблизно у два рази, зони диспергування гетерогенних рідин при використанні двоконусного диспергатора, у порівнянні з конічним. Визначено, що при щільності зрошення 31 кг/(год·м) розподілення рідини між конусами наближається до оптимального значення. Завдяки цьому досягається висока ефективність ведення процесу, та зменшення кількості агломератів.

У ході експерименту було визначено фактори, що впливають на щільність зрошення по периметру диспергатора, а також характер її зміни, а саме, щільність зменшується від місця введення рідини в напрямку обертання диспергатора.

Порівняно з конічними диспергаторами, при тих самих параметрах (витрата, частота обертання диспергатора, склад рідини), зона диспергування збільшилась, а розмір крапель залишився в межах, прийнятних для умов проведення реального процесу (більшість крапель мають розміри 0,2–0,35 мм).

За результатами досліджень запропоновано змістити вісь обертання диспергатора в лівий бік, для компенсації нерівномірності факелу розпилення, що є причиною кристалізації розчину на стінці апарату у вигляді «хребта». Розмір зміщення залежить від кінетичної енергії крапель та гідродинамічних характеристик апарату.

Виходячи з отриманих в результаті дослідів даних, зроблено висновок про можливість використання диспергатора в умовах реально процесу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пат. 4465 Україна, МПК C05 G1/00. Спосіб виготовлення гранулоутворених органомінеральних добрив / Заграй Я.М., Корнієнко Я.М. (Україна); № 93121640; заявл. 21.05.93; опубл. 27.12.94, Бюл. № 6–1. – 4 с.
2. Пажи Д.Г., Галустов В.С. Основы техники распыления жидкостей. – М.: Химия, 1984. – 256 с.
3. Корнієнко Я.М., Сачок Р.В. Моделювання багатифакторних процесів під час одержання багатошарових гуміново-мінеральних композитів // Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. – 2011.

RESEARCH OF THE MECHANICAL DISPERSER WORKING

Y. Kornienko, I. Korsak, D. Semenenko, S. Gaidai

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

vul. Polytechnichna, 39, Kiev, 03056, Ukraine. E-mail: avaloncheg.i@gmail.com

The paper presents results of the experimental study of the process of mechanical dispersion of heterogeneous systems using double cone mechanical disperser made from PTFE. A working hypothesis on dispersion zone increasing by changes in design of the cone type mechanical disperser is considered. A method to determine the distribution of fluid flows through the disperser's cones is developed. It was found a pattern of the flows distribution and analyzed the factors influencing the distribution unit. The dispersion zones' size of cone and double cone dispersers were compared. It was also defined size of the droplets formed during atomization. The conditions working towards increase of the dispersion zone area while maintenance or decrease of the droplets size are specified. The experimental data were summarized and dependence of the irrigation density on a disperser's construction is established. For the first time it is found the asymmetric distribution for the case of disperser's rotation counterclockwise. The data required to improve the geometry of the zone of solution dispersion inside the device were obtained.

Key words: cone disperser, heterogeneous system, distribution, pseudo-fluidized layer.

REFERENCES

1. Zagrai, Ya.M., Kornienko, Ya.M. (1993), "Method of production of granulated organomineral fertilizers", Patent of Ukraine no. 4465, IPC C05 G1/00, no. 93121640; Bul. no. 6–1 of December 27, 1993.
2. Pazi, D.G and Galustov, V.S. (1984), *Osnovi tekhniki raspilivania zhidkosti* [Basic techniques of liquids atomization], Chemistry, Moscow, Russia.
3. Kornienko, Y.M., Sachok, R.V. (2011), "Modeling of multifactorial processes during the production of multilayered humic-mineral compositions", *Himichna inzheneriya, ekologiya ta resursozberzhennya*, no. 1 (7), pp. 21–25.
4. Vivdenko, M.I. and Shabalin, K.N. (1985), "Research of the conditions for obtaining uniform drops 1–0.5 mm", *Izv. Vizov, Series: Chemistry and Chemical Engineering*, vol. 8, no. 4, pp. 685–690.
5. Kornienko, J.M. (1997), *Tekhnichni sposobi granuluvannia* [Technical methods of granulation], IZMN, Kyiv, Ukraine.
6. Taguchi, G. (1993), *Robust Technology Development: Bringing Quality Engineering Upstream*, ASME Press, New York, USA.

– № 1/2011 (7). – С. 21–25.

4. Вивденко М.И., Шабалин К.Н. Исследование условий получения равномерных капель 1–0,5 мм // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 1985. – Т. 8, № 4. – С. 685–690.
5. Корнієнко Я.М. Технічні способи гранулювання. – К.: ІЗМН, 1997. – 128 с.
6. Taguchi G. *Robust Technology Development: Bringing Quality Engineering Upstream*. – New York: ASME Press, 1993. – 136 p.
7. Дитякин Ю.Ф., Клячко Л.А., Новиков Б.В., Ягодкин В.И. Распыление гидкостей. – М.: Машиностроение, 1977. – 324 с.
8. Холин Б.Г. Центробежные и вибрационные грануляторы плавов и распылители жидкости. – М.: Машиностроение, 1977. – 182 с.
9. Goldschmidt M.J.V. *Hydrodynamic modelling of fluidized bed spray granulation*. – Enschede: Twente University Press, 2001. – 304 p.
10. Тодес О.М., Каганович Ю.Я., Себалло В.А. и др. Обезвоживание растворов в кипящем слое. – М.: Металлургия, 1973. – 287 с.
11. Heinrich S., Peglow M., Henneberg M., Drechsler J. and Morl L. (2004), "Fluidized bed spray granulation: analysis of dynamic particle populations and heat and mass transfers", *Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004) Sao Paulo, Brazil, 22–25 August 2004, vol. A, pp. 121–128.*

Стаття надійшла 24.03.2014.

