

УДК 66.099

О.Б. ШАНДИБА

Сумський національний аграрний університет, м. Суми

## ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ГРАНУЛ КАРБАМІДУ В ГРАНУЛЯЦІЙНИХ БАШТАХ

**Анотація.** Регулювання взаємодії гранульованих засобів живлення та хімічного захисту рослин в ґрунтово-водних системах сільськогосподарських угідь є актуальною проблемою агропромисловості. Аналіз процесів диспергування плавов азотних добрив у вібраційних грануляторах, що обертаються, та кристалізації гранул показав можливості укрупнення гранулометричних показників продукту за рахунок оптимальних конструктивних параметрів грануляційних башт, оснащених апаратами киплячого шару при раціональному співвідношенні витратних характеристик плава та охолоджуючого повітря.

**Ключові слова:** грануляція карбаміду, гранульований продукт, ґрунтово-водна система, грануляційна башта, охолоджуючий киплячий шар, фракційний склад, тепломасообмін, енергозбереження, розмір гранул.

A.B. SHANDYBA

Sumy National Agrarian University, Sumy

## ENERGY SAVING UNDER UREA GRANULES CRISTALLIZATION INTO PRILLING TOWERS

**Annotation.** Optimization of interaction between granulated fertilizers for feed chemicals and pesticide and plants is the actual problem of agrarian industry. Improvement process of dispersing nitric fertilizers in oscillation running around granulators showed some possibility of enlargement for grain-size indexes of product. The energy saving is arrived at due to the optimal structural parameters of granulation towers with the vehicles of fluid bed and rational correlation for expense descriptions of fertilizers and cooling air.

From experience of exploitation and literary data it is known that the increase of percent content of large granules is arrived at by the increase of diameter of opening of perforation of dispersive shells into vibration granulators. In the ordinary terms of tower granulation this process results in expansion of fractions content for product and to the increase of middle temperature of granules. It is determined possibility of improvement of basic operating indexes of prilling by the construction of granulators, in particular, by quality of perforation of dispersive shells. The terms of interaction between polydispersive stream of fused fertilizers with cooling air also influence on energy consumptions. In present tense the various methods of calculation under technological descriptions of granulation towers are used in engineering practice, are considered as mass-heat transfer countercurrent devices. The amount of cooling air, that peculiar to the towers with natural traction at high intensity of irrigation, even at the considerable height of tower can not provide necessary degree of crystallization of large granules and it will result in sticking of product in the zone of cooling fluid bed. From the brought charts over evidently, that at the values of the indicated descriptions 70% crystallization of large granules under diameter 3,0 mm needs time that approximately twice exceeds the period of crystallization of granules of 2,0 mm.

On existent cooling tower of Odesa plant in a 80 m high in a summer period complete crystallization of granules is attained with practically diameter of 3,0 mm, but only 60-70% crystallization of granules with 4,0 mm. Production of large-sized granules with a middle diameter that exceeds a 3,0 mm, in a summer period in the conditions of Odesa plant is inadvisable and it follows to apply dispersive shells with the diameter of opening of perforation a 1,3 mm, by the general amount of 3900um. Only in a winter period, passing is recommended to the profiled shells with the diameter of opening a 1,4 mm, by a general amount 3200, that allowed to promote percent content of large-sized granules of carbamide on 20%. Using the hydrodynamic and vibrating methods under dropping-granulation process can determinate the optimal construction parameters.

**Key words:** urea granulation, granulated product, soil-water system, granulation tower, cooling fluid bed, fractions content, mass-heat transfer, energy saving, granules size.

**Вступ.** Надзвичайно важливими конструктивними факторами взаємодії віброгранулятора з грануляційною баштою, що впливає на гранулометричний склад та якість товарного продукту, є висота падіння гранул, відносна витрата охолоджуючого повітря до витрат диспергованого плаву та розмір крапель після перфорованої оболонки гранулятора [1, 2, 3, 4]. Для підвищення агроекологічної ефективності застосування мінеральних добрив і зменшення шкоди довкіллю внаслідок міграції їх компонентів, необхідно збільшити частку товарних добрив пролонгованої дії, в тому числі органомінеральних зі збалансованим вмістом NPK та оптимальним гранулометричним складом [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. Слід також зауважити, що тепломасообмінні характеристики грануляційних башт Одеського припортового заводу, є досить високими при їх висоті 80 м, обладнаних охолоджувачами киплячого шару, що дозволяє отримати продукт з укрупненим гранулометричним складом, який відповідає вищій категорії якості. Але, виходячи з гідродинамічних та теплофізичних умов охолодження і кристалізації гранул, в літній період середній розмір отриманих гранул повинен бути обмежений 3,0 мм.

**Виклад основного матеріалу.** З досвіду експлуатації та літературних даних [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19] відомо, що збільшення процентного вмісту крупних гранул досягається збільшенням діаметру отворів перфорації диспергуючих оболонок віброгрануляторів і в звичайних умовах баштової грануляції призводить до розширення фракційного складу продукту та підвищенню середньої температури гранул. Можливості поліпшення основних експлуатаційних показників приливання

визначається конструкцією гранулятора, зокрема, якістю перфорації диспергуючих оболонок, а також умовами взаємодії полідисперсного потоку розбризаного плаву з охолоджуючим повітрям. В теперішній час в інженерній практиці застосовуються різноманітні способи розрахунку технологічних характеристик грануляційних башт, що розглядаються як протитечієві тепломасообмінні апарати [3, 4]. Вони відрізняються системою прийнятих припущень, формою математичної моделі [19], кількістю конструктивних параметрів, що визначаються, та точністю отриманих результатів. Вибір того чи іншого способу розрахунку на стадії проектування приймається в кожному конкретному випадку з урахуванням технічних вимог та конструкції віброгранулятора. В даній роботі враховувались тепломасообмінні характеристики грануляційних башт ОПЗ, оснащених віброгрануляторами системи Б.Г. Холіна з ламінаризованою перфорацією диспергуючих оболонок. Розрахунок проводився із застосуванням удосконаленої програми «Гранула», представленої на рис. 1.

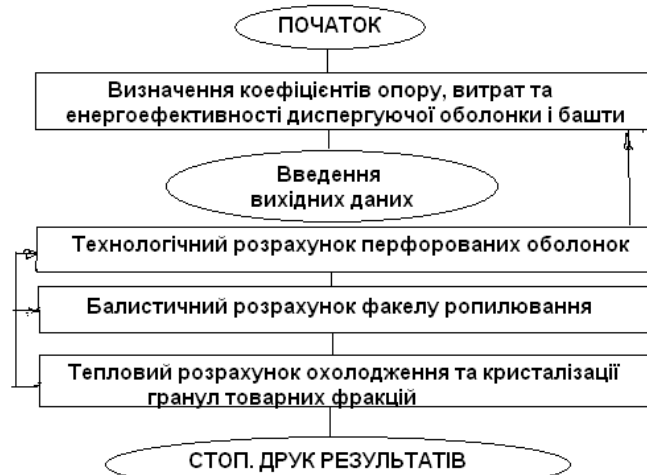


Рис.1. Блок-схема ППП «Гранула»

Для аналізу експериментальних даних та результатів розрахунків доцільно скористатися безрозмірною функцією ступеню кристалізації, що являє собою відношення маси закристалізованого плава до початкової маси краплі, що утворилася під впливом вібрації:

$$E = m/m_0 \quad (1)$$

З літератури [2,9] відомо, що інтенсивність кристалізації має максимальне значення у верхній частині гранбашти, де температура поверхні крапель диспергованого плаву стає рівною температурі кристалізації і в подальшому поступово знижуватиметься по мірі нарощування та зміцнення закристалізованого шару та погіршення тепловіддачі рідкого ядра гранули в потік охолоджуючого повітря.

Кінетика цього процесу при постійному співвідношенні витрат плава та охолоджувача досить добре моделюється рівнянням;

$$\frac{dm}{d\tau} = k \left( 1 - \frac{m}{m_0} \right) \quad (2)$$

Неважко помітити, що співмножник  $(1 - m/m_0)$  визначає долю рідної рідкої фази в гранулі, а інтенсивність кристалізації, таким чином, буде пропорційна відносній масі незакристалізованого плаву. Коефіцієнт пропорційності  $k$  залежить від аерогідродинамічних характеристик та масообмінних характеристик гранбашти і має фізичний сенс максимальної швидкості кристалізації в початковий момент польоту краплі плаву. Рішення наведеного рівняння свідчить про експоненційний характер кристалізації гранул у відповідності до відомої функції А.М. Колмогорова та корелюється з експериментальними даними НДІ ХІММАШ [1, 2, 9] рис. 1.

На підставі багаторічного досвіду промислової експлуатації встановлено, що достатня міцність гранул на останній стадії охолодження в киплячому шарі та відсутність налипання продукту на елементи конструкції охолоджувача досягається при ступені кристалізації не менш, ніж 70-80 %. Враховуючи наведені дані, визначається необхідний час падіння гранул в кореляції з бажаним їх максимальним діаметром, висотою башти та кліматично-погодними умовами.

Аналіз швидкості кристалізації гранул різного діаметру показав, що її максимальне значення  $k$ , що фігурує в показнику експоненти рівняння (2), залежить від площі поверхні охолодження, тобто прямо пропорційне квадрату діаметра гранули. З іншого боку маса гранули збільшується пропорційно кубу її діаметра і є стримуючим кристалізацію фактором. Тому після перетворень рівняння (2) отримаємо оцінювальне значення експоненти кристалізації у вигляді:

$$E = 1 - \exp\left(-\frac{\alpha\tau}{d}\right), \quad (3)$$

де  $\alpha$  - параметр, характеризуючий швидкість просування фронту кристалізації всередині гранули, мм/с;  $d$  - діаметр гранули, мм;  $\tau$  - час падіння гранули в башті, с.

#### Експериментальні результати.

Згідно даних К.А. Казакової [1] на ступінь кристалізації гранул значно впливає співвідношення масових витрат охолоджуючого повітря та плава  $Q/q$ . Характер зміни кривих охолодження та кристалізації гранул різного діаметра представлений на рис. 2. Основний висновок, який можна зробити з аналізу цих графіків, полягає в тому, що збільшення витрати охолоджуючого повітря і, тобто витратної характеристики  $Q/q$ , з метою підвищення ступеню кристалізації гранул має сенс лише до деякої межі, що визначається висотою гранбашти та аеродинамічними умовами охолодження. При цьому оптимальне енергоефективне співвідношення витратної та тепломасообмінної характеристики [10] процесу  $\alpha\tau/d$  знаходиться в області перегину графіків. Неважко помітити, що кінцеві ділянки кристалізаційних кривих, паралельних осям координат вказують на можливості скорочення витратної характеристики за рахунок зменшення подачі охолоджуючого повітря. З іншого боку, якщо кристалізаційні криві паралельні координатній осі висоти гранбашти, то саме на цей розмір може бути зменшена висота гранбашти.

Звернемо також увагу, що недостатня питома кількість охолоджуючого повітря, що властива баштам з природньою тягою при високій інтенсивності зрошення, навіть при значній висоті башти може не забезпечити необхідну ступінь кристалізації крупних гранул і це призведе до налипання продукту в зоні киплячого шару. Так, з наведених графіків видно, що при постійних значеннях вказаних характеристик 70% кристалізація крупних гранул діаметром 3,0 мм потребує часу, що приблизно вдвічі перевищує період кристалізації гранул діаметром 2,0 мм. Якщо повна кристалізація гранул діаметром 2,0 мм відбувається за 8,5 секунд падіння її з висоти 50 м, то для кристалізації 3,0 мм гранул необхідно  $8,5 \cdot 1,5 = 13$  с і відповідна висота гранбашти, що становить 75-80 м.

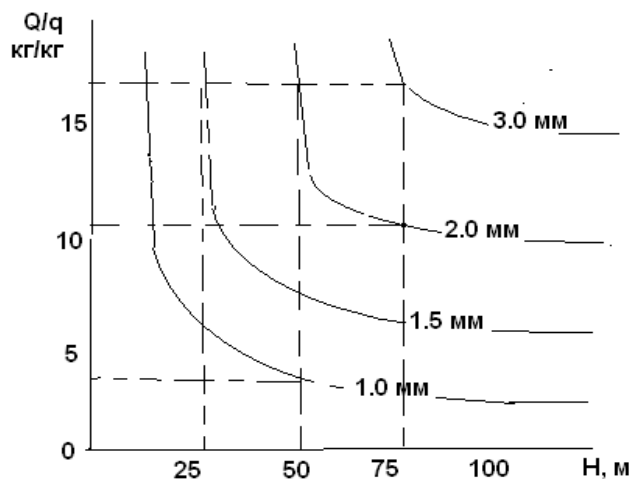


Рис. 2. Система ізоліній ефективності кристалізації гранул в залежності від висоти башти та витратних характеристик

На існуючих гранбаштах Одеського припортового заводу висотою 80 м в літній період досягнута практично повна кристалізація гранул діаметром 3,0 мм, але лише 60-70% кристалізація 4,0 мм гранул. Виробництво укрупнених гранул з середнім діаметром, що перевищує 3,0 мм, в літній період в умовах ОПЗ є недоцільним і слід застосовувати диспергуючі оболонки з діаметром отворів перфорації 1,3 мм, загальною кількістю 3900 шт. Лише в зимовий період рекомендується перехід на профільовані оболонки з діаметром отворів 1,4 мм, загальною кількістю 3200, що дозволило підвищити процентний вміст укрупнених гранул карбаміду на 20%.

**Висновки.** Регулювання взаємодії гранульованих засобів живлення та хімічного захисту рослин в ґрунтово-водних системах сільськогосподарських угідь є актуальною проблемою агровиробництва.

1. Енергозбереження в процесі диспергування плавов азотних добрив у вібраційних грануляторах, що обертаються, показала можливості укрупнення гранулометричних показників продукту за рахунок оптимальних конструктивних параметрів грануляційних башт.

2. Збільшення витрати охолоджуючого повітря і, тобто витратної характеристики  $Q/q$ , з метою підвищення ступеню кристалізації гранул має сенс лише до деякої межі, що визначається висотою гранбашти та аеродинамічними умовами охолодження. При цьому оптимальне енергоефективне співвідношення витратної  $Q/q$  та тепломасообмінної характеристики процесу  $\alpha\tau/d$  знаходиться в області перегину графіків.

## Література

1. Холин Б.Г. Центробежные и вибрационные грануляторы плавов и распылители жидкости.- М.: Машиностроение, 1977.- 284 с.
2. Отчет о НИР «Оказание научно-технической помощи в освоении вращающихся виброгрануляторов на агрегатах карбамида АК-80 и исследование возможности получения гранул размером 2,7-3,2 мм.» // Сумский филиал ХПИ, Номер госрегистрации № 01.89.00.19.177. Сумы -1989. // Науч. рук. д.т.н. Холин Б.Г.
3. Холин Б.Г., Шандыба А.Б., Хохлов Л.Г. и др. Расчет перфорированных оболочек центробежных и вибрационных грануляторов.- Химическая промышленность, № 4, 1991.- С.40-42.
4. Шандыба О.Б. Гідродинамічні умови в перфорованих оболонках відцентрових грануляторів та диспергаторів.- Вісник СДАУ, № 5 , сер."Механізація та автоматизація виробничих процесів".- Суми: Козацький вал, 2000.- С.81-84.
5. Шандыба О.Б., Визначення геогідродинамічних параметрів міграції рухомих забруднень в ґрунті.- 36. наук. статей III Міжнародної науково-практичної конференції "Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення", Т. 2 /УкрНДІЕП.-Х., Райдер, 2007.- С. 208-211.
6. Денисов Д.Г. Экспериментальное исследование процесса растворения гранулированного коагулянта.- "Вестник ИГЭУ", Вып.2, 2008.- С.1 – 4.
7. Шандыба О.Б., Шпетний Д.М., Курило А.О. Прогнозування міграції токсичних компонентів на забруднених територіях. / Инновационные подходы к развитию медицины, фармацевтики и эколого-биологических исследований / [авт.кол. : Князева М.В., Колесов С.В., Хохленкова Н.В.и др.].– Одесса: КУПРИЕНКО С.В, 2015.–192с.
8. Н.О.Артюхова, О.Б. Шандыба, А.О.Артюхов. Оценка энергетической эффективности многоступенчатой конвективной сушки концентратов и минерального сырья //Науковий Вісник НГУ, № 1(139). - 2014, С. 92-98.
9. Толбатов А.В. Вплив розчинності гранульованих мінеральних добрив на динаміку міграції рухомих вомпонентів в ґрунтово-водних системах схилів земель /О.Б. Шандыба, Д.М. Шпетний, А.В. Толбатов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький, 2015. – №4 –С.64–68.
10. Толбатов В.А. Організація систем енергозбереження на промислових підприємствах : навч. пос. / В.А. Толбатов, І.Л. Лебединський, А.В. Толбатов / – Суми: Вид-во СумДУ, 2009. – 195 с.
11. Толбатов А.В. Перспективные достижения современных ученых: техника и технологии: Анализ та розробка концепції моделювання бізнес-процесів промислового підприємства з точки зору сучасної методології аналізу та проектування складних систем / [авт.кол.: Толбатов А.В, Толбатов В.А, Толбатов С.В., В'юненко О.Б., Толбатова О.О. и др.]. – Одесса: КУПРИЕНКО С.В, 2017 – 219 с.
12. Толбатов А.В. Автоматизація розрахунків балансу гумусу та поживних речовин в ґрунті / Н.Б. Пасько, А.В. Толбатов, О.Б. В'юненко, Р.С. Ковальов, І.А. Шеховцова // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький, 2017. – №4 –С.109–118.
13. B. Shandyba, D. M. Shpetny. 2015. Pollution migration forecast for soil geochemistry mapping. - Geomatics, Landmanagement and Landscape. No. 3 • 2015, 101–112.
14. Tolbatov A.V. Functional modeling – methodological basis for invertigation of business processes at indusrtial enterprises / A.V. Tolbatov, S.V. Tolbatov, O.O. Tolbatova, S.V. V.A. Tolbatov // International scientific-technical magazine Measuring and computing devicesin technological processes. – Khmel'nyts'kyy, 2017. – №3 –P. 186–189.
15. Tolbatov A. Data representing and processing in expert information system of professional activity analysis / Zaritskiy, O., Pavlenko, P., Tolbatov, A. / 2016 Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Proceedings of the 13th International Conference on TCSET 2016 – Lviv-Slavske, 2016. – P. 831–833.
16. Tolbatov A. Theoretical bases, methods and technologies of development of the professional activity analytical estimation intellectual systems / Zaritskry, O., Pavlenko, P., Sudic, V., Tolbatov, A., Tolbatova, O., Tolbatov, V., Viunenko, O. / 2017 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies, AICT 2017–Proceedings – Lviv, 2017. – P.101–104.
17. Tolbatov A.V. Information technology for data exchange between production purpose integrated automated systems / P.M. Pavlenko, A.V. Tolbatov, V.V. Tretiak, S.V. Tolbatov, V.A. Tolbatov, H.A. Smolyarov, O.B. Viunetko // International scientific-technical magazine Measuring and computing devicesin technological processes. – Khmel'nyts'kyy, 2016. – №1 –P. 86–89.
18. Tolbatov A.V. Business processes management at machine-building enterprise / A.V. Tolbatov, O.O. Tolbatova, I.A. Shekhovtsova, V.A. Tolbatov // International scientific-technical magazine Measuring and computing devicesin technological processes. – Khmel'nyts'kyy, 2017. – №4 –P. 119–124.
19. Tolbatov A. Mathematical models for the distribution of functions between the operators of the computer-integrated flexible manufacturing systems / E. Lavrov, N. Pasko, A. Krivodub, A. Tolbatov // TCSET 2016 – Lviv-Slavske, 2016. – P. 72–75.

## References

1. Holin B.G. Tsentrobeznyie i vibratsionnyie granulyatoryi plavov i raspyliteli zhidkosti.- M.: Mashinostroenie, 1977.- 284 s.
2. Otchet o NIR «Okazanie nauchno-tehnicheskoy pomoschi v osvoinii vraschayuschihsya vibrogranulyatorov na agregatah karbamida AK-80 i issledovanie vozmozhnosti polucheniya granul razmerom 2,7-3,2 mm.» // Sumskiy filial HPI, Nomer gosregistratsii № 01.89.00.19.177. Sumy -1989. // Nauch. ruk. d.t.n. Holin B.G.
3. Holin B.G., Shandyba A.B., Hohlov L.G. i dr. Raschet perforirovannykh obolochek tsentrobeznykh i vibratsionnykh granulyatorov.- Himicheskaya promyshlennost, № 4, 1991.- S.40-42.
4. Shandyba O.B. Hidrodinamichni umovy v perforovanykh obolonkakh vidtsentrovnykh hranulyatoriv ta dysperhatoriv.- Visnyk SDAU, № 5 , ser."Mekhanizatsiya ta avtomatyzatsiya vyrobnychyykh protsesiv".- Sumy: Kozats'kyy val, 2000.- S.81-84.
5. Shandyba O.B., Vyznachennya heohidrodinamichnykh parametrov mihratsiyi rukhomykh zabrudnen' v hrunti.- Zb. nauk. statey III Mizhnarodnoyi naukovy-praktychnoyi konferentsiyi "Ekolohichna bezpeka: problemy i shlyakhy vyryshennya", T. 2 /UkrNDIEP.-Kh., Rayder, 2007.- S. 208-211.
6. Денисов Д.Г. Экспериментальное исследование процесса растворения гранулированного коагулянта.- "Вестник ИГЭУ", Вып.2, 2008.- С.1 – 4.
7. Shandiba O.B., Shpetniy D.M., Kurilo A.O. 2015. Prohnozuvannya mihratsiyi toksychnykh komponentiv na zabrudnennykh terytoriyakh / Innovatsionnyie podhodyi k razvitiyu meditsyny, farmatsevtiki i ekologo-biologicheskikh issledovaniy / [avt.kol. : Knyazeva M.V., Kolesov S.V., Hohlenkova N.V.i dr.].- Odessa: KUPRIENKO S.V, 2015.-192s.
8. N.O.Artyuhova, O.B. Shandiba, A.O.Artyuhov. Otsenka energeticheskoy effektivnosti mnogostupenchatoy konvektivnoy sushki kontsentratorov i mineralnogo syrya // Naukovyy Visnyk NHU, № 1(139). - 2014, S. 92-98.
9. Tolbatov A.V. Vplyv rozchynnosti hranul'ovanykh mineral'nykh dobryv na dynamiku mihratsiyi rukhomykh vopmentiv v hruntovo-vodnykh systemakh skhylovykh zemel' /O.B. Shandyba, D.M. Shpetniy, A.V. Tolbatov // Vymiryuval'na ta obchyslyuval'na tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – Khmel'nyts'kyy, 2015. – №4 –S.64–68.
10. Tolbatov V.A. Orhanizatsiya system enerhozberezhennya na promyslovykh pidpryyemstvakh : navch. pos. / V.A. Tolbatov, I.L. Lebedyns'kyy, A.V. Tolbatov / – Sumy: Vyd-vo SumDU, 2009. – 195 s.
11. Tolbatov A.V. Perspektivnyie dostizheniya sovremennykh uchenyih: tekhnika i tehnologii: Analiz ta rozrobka kontseptsiyi modelyuvannya biznes-protsesiv promyslovoho pidpryyemstva z tochyky zoru suchasnoyi metodolohiyi analizu ta proektuvannya skladnykh system / [Tolbatov A.V, Tolbatov V.A, Tolbatov S.V., V'yunenکو O.B., Tolbatova O.O. i dr.]. – Odessa: KUPRIENKO SV, 2017 – 219 s.
12. Tolbatov A.V. Avtomatyzatsiya rozrakhunkiv balansu humusu ta pozhyvnykh rehovyn v hrunti / N.B. Pas'ko, A.V. Tolbatov, O.B. V'yunenکو, R.S. Koval'ov, I.A. Shekhovtsova // Vymiryuval'na ta obchyslyuval'na tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – Khmel'nyts'kyy, 2017. – №4 –S.109–118.

Рецензія/Peer review : 21.1.2018 р.

Надрукована/Printed :7.4.2018 р.

Рецензент :