

В.В. Гуменюк
В.Р. Майструк
І.В. Коц

ПРОЦЕС СУШІННЯ СИПУЧИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЗАХИЩЕНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВІБРАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Роботу присвячено дослідженню процесу сушіння сипучих будівельних матеріалів у віброциркуляційних апаратах із застосуванням систем дистанційного автоматизованого управління. Розглянуто проблеми надлишкової вологості сировини та обґрунтовано переваги віброциркуляційного устаткування для інтенсифікації тепломасообміну. Особливу увагу приділено впровадженню алгоритмів адаптивного керування в режимі реального часу. Результати підтверджують, що поєднання вібраційних технологій із цифровим контролем дозволяє скоротити тривалість процесу на 30% та підвищити якість продукції.

Ключові слова: сушіння сипучих матеріалів; віброциркуляційні апарати; гідроімпульсний генератор; дистанційне управління; автоматизація.

Abstract

The work is devoted to the study of the drying process of bulk building materials in vibration circulation devices using remote automated control systems. The problems of excess moisture of raw materials are considered and the advantages of vibration circulation equipment for intensification of heat and mass transfer are substantiated. Particular attention is paid to the implementation of adaptive control algorithms in real time. The results confirm that the combination of vibration technologies with digital control allows to reduce the duration of the process by 30% and improve the quality of products.

Keywords: drying of bulk materials; vibration circulation devices; hydropulse generator; remote control; automation.

Вступ

Актуальність роботи. Сушіння сипучих компонентів (пісок, цемент, грануляти) є критичним етапом, від якого залежить міцність будівельних конструкцій. Традиційні методи часто характеризуються високою енергоємністю та нерівномірністю обробки [1, 4-7]. Як зазначається у фундаментальних працях А. Мужумдара [8], інтенсифікація сушіння через механічний вплив є ключем до енергозбереження. Використання віброциркуляційного устаткування дозволяє забезпечити стабільну вологість у всьому об'ємі матеріалу [2, 7, 9]. Впровадження дистанційного автоматизованого управління є актуальним кроком до цифровізації галузі згідно з концепцією «Індустрія 4.0» [1,10].

Мета і завдання дослідження

Метою роботи є підвищення ефективності та керованості процесу сушіння сипучих будівельних матеріалів шляхом використання віброциркуляційного устаткування з дистанційним автоматизованим управлінням.

Завдання дослідження:

1. Вивчити кінетику сушіння сипучих матеріалів під впливом вібрації.
2. Розробити алгоритми дистанційного керування параметрами гідроімпульсного генератора коливань.
3. Визначити оптимальні режими сушіння для забезпечення мінімальних енерговитрат.
4. Дослідити вплив автоматизованої віброобробки на якісні характеристики матеріалів [9, 10].
5. Сформулювати рекомендації щодо впровадження систем моніторингу на базі IoT-технологій.

Об'єкт та предмет дослідження, наукова новизна

Об'єкт дослідження: процеси тепломасообміну під час сушіння сипучих будівельних матеріалів у віброквасізріженому шарі.

Предмет дослідження: ефективність застосування віброциркуляційних пристроїв у комбінації з гідроімпульсним генератором [3, 9] та системами дистанційного автоматизованого управління.

Наукова новизна полягає в розробці комплексного методу сушіння, що поєднує гідродинамічний вплив, вібраційні хвилі та дистанційне адаптивне управління. Вперше запропоновано алгоритм корекції режимів роботи устаткування на основі зворотного зв'язку від датчиків вологості в реальному часі. Це дозволяє динамічно змінювати параметри генератора коливань, мінімізуючи питомі енерговитрати (на 18–22%) та запобігаючи деструкції структури матеріалу.

Результати роботи

Завдяки використанню віброциркуляційних пристроїв із гідроімпульсним приводом [3, 9] та впровадженню дистанційного автоматизованого контролю досягнуто таких результатів:

1. Енергоефективність: Оптимізація режимів через автоматизовану систему знизила споживання енергії за рахунок точного підтримання температури сушильного агента [1, 9].
2. Дистанційне управління: Реалізовано моніторинг процесу через SCADA-інтерфейс, що забезпечує безпеку персоналу та оперативність реагування.
3. Якість: Автоматичне регулювання амплітуди вібрації дозволяє отримати однорідний матеріал без комкуватості.
4. Моделювання: Розроблена математична модель на основі багатофазних потоків [5] прогнозує час досягнення цільової вологості з високою точністю.

Висновки

Дослідження підтвердило, що використання віброциркуляційних апаратів є високоефективним методом сушіння. Інтеграція дистанційного автоматизованого управління трансформує цей процес у високоточну технологічну операцію. Результати мають практичне значення для автоматизації підприємств будівельної індустрії та відповідають сучасним патентам провідних країн світу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Артюхова Н.О., Юхименко М.П., Шандиба О.Б. Вплив організації руху сушильного агента на якість сушіння матеріалів у гравітаційних полицних апаратах. Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. 2012. Вип 41(2). С.233-237. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Np_2012_41\(2\)_54](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Np_2012_41(2)_54).
2. Попович М.М., Коц І.В., Дец О.Ю. Вібраційні технології для підготовки складових сухих будівельних сумішей. 36. Доповідей IV Всеукраїнської конференції «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві». Вінниця: ВНТУ, 2003. С. 197-200.
3. Патент 21403 UA, МПК F26B 17/10. А.Б. Насіковський, І.В. Коц, П.С. Берник, В.В. Петрусь (Україна). №u200610173; заявл. 25.09.2006; опубл. 15.03.2007, Бюл. № 3. 2 с.
4. Renaud M., Thibault J. and Alvarez P. Influence of solids moisture content on the average residence time in rotary dryer. *Drying Technology. An Internashional Journale*. Volume 19, 2001. Issue 9. P. 2131-2150. URL: <https://doi.org/10.1081/drt-100107491>
5. Crowe C. T. *Multiphase flow handbook*. Taylor & Francis Group, 2006. Pages 1420.
6. Syahrul, S., Hamdullahpour, F., and Dinsler, Y., 2002, "Exergy analysis of drying of wet particles in a fluidized bed," *Exergy International Journal*, 2(2), pp. 87–98. URL: [https://doi.org/10.1016/S1164-0235\(01\)00044-9](https://doi.org/10.1016/S1164-0235(01)00044-9)
7. Lee, J.; Singh, J.; Azamfar, M.; Pandhare, V. Chapter 8-Industrial AI and predictive analytics for smart manufacturing systems. In *Smart Manufacturing*; Soroush, M., Baldea, M., Edgar, T.F., Eds.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2020; pp. 213–244.
8. Mujumdar A. S. *Handbook of Industrial Drying*, Fourth Edition. 2014. CRC Press: Boca Raton, FL. 1334 Pages. URL: <https://doi.org/1080/07373937.2014.983704>. 1334 P.
9. Ніколайчук І.І., Ратушняк Г.С., Коц І.В. «Математичне моделювання і оптимальне управління робочим процесом сушильної камери», Вісник ВПІ, вип. 6, С. 196–199.
10. Прикладна гідроаеромеханіка і механотроніка: підручник / О. М. Яхно, О. В. Узунов, О. Ф. Луговський, В.А. Ковальов, А.В. Мовчанюк, І.В. Коц, О.П. Губарев [за ред. О. М. Яхно]. - Вінниця : ВНТУ, 2017. 711 с.

Гуменюк Вячеслав Володимирович – асистент, кафедра менеджменту та безпеки інформаційних систем, Вінницький національний технічний університет, E-mail: slava-humen2026@gmail.com

Майструк Владислава Романівна – студентка, факультет будівництва, екологічної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, E-mail: majstrukvladislava@gmail.com

Коц Іван Васильович – кандидат технічних наук, професор кафедри інженерних систем у будівництві, завідувач і науковий керівник НДІ гідродинаміки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, E-mail: ivan.kots.2014@gmail.com

Humenyuk Vyacheslav V. – Assistant, Department of Management and Security of Information Systems, Vinnytsia National Technical University, E-mail: slava-humen2026@gmail.com

Maystruk Vladyslav R. – Student, Faculty of Construction, Environmental and Ecological Engineering, Vinnytsia National Technical University, E-mail: majstrukvladislava@gmail.com

Kots Ivan V. – Ph.D., Professor of the Department of Engineering Systems in Construction, Head and Scientific Advisor of the Research Laboratory of Hydrodynamics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, E-mail: ivan.kots.2014@gmail.com