

УДК 621.365

A. Bereziuk, candidate of Technical Sciences, senior National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,

V. Duhaneys, P. Potapksyy, candidates of Technical Sciences,

O. Bereziuk, assistant State Agrarian and Engineering University in Podilya

THE ENERGY EFFICIENT ELECTROTECHNOLOGICAL COMPLEX FOR DRYING GRAIN BASED ON INDUCTION HEAT GENERATOR

Abstract. In this work the possibility of using the method of contact and convective heat transfer to the grain material with using the electrical heat generators of induction type has been discussed.

The modern methods of heat treatment the grain material has been analyzed. The determined that compared to conventional heat generators, where the burning of any mineral fuels, induction heating generators are much environmentally and fire safety.

Of the existing types of heat generators identified and described two types of heat generators: induction heat generator which is loaded by rods and induction heat generator which is loaded by pipes. The technological processes when the most efficient use the induction heat generators with different types of heat exchange apparatus have been analyzed.

The efficiency of use the induction heat generators in terms of environmental and fire safety has been discussed. This is due to the fact that the heat source is an induction heating uses electricity and does not require the combustion of mineral or organic fuel.

Also induction heat generators can be used in other technological processes. It can be heating of heat transfer agent for industrial and agricultural needs, heating feed for livestock and more.

To achieve the required parameters of the heating loading of inductor should be done as a bundle of ferromagnetic rods or pipes of small diameter.

Keywords: inductor, rods, induction heating, heat transfer processes, grain, heat treatment.

А.О. Березюк, кандидат технічних наук, старший викладач Національного університету біоресурсів і природокористування України,

В.І. Дуганець, П.В. Потапський, кандидати технічних наук, доценти,

О.Г. Березюк, асистент ПДАТУ

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ СУШІННЯ ЗЕРНОВИХ НА БАЗІ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА ІНДУКЦІЙНОГО ТИПУ

Проаналізована можливість застосування контактного та конвективного способу передачі тепла до зернового матеріалу з використанням електричних теплогенераторів індукційного типу з різними конфігураціями теплообмінного апарату, а саме: у вигляді пучка феромагнітних нещільно розміщених стержнів чи пучка феромагнітних нещільно розміщених феромагнітних труб.

Також наведено рекомендації щодо використання різних конструкцій теплообмінного апарату індукційних теплогенераторів залежно до вимог технологічного процесу термічної обробки зернового матеріалу.

Ключові слова: індуктор, стержні, індукційний нагрів, теплообмінні процеси, зерно, термообробка.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. На сьогоднішній день в агропромисловому комплексі України створюються економічні передумови для використання електричної енергії як основного джерела теплоти замість природного газу чи іншого мінерального палива. У технологічних процесах обробки сільськогосподарської продукції зазвичай передбачено її нагрівання при переробці та зберіганні. Теплова обробка застосовується при підготовці посівного матеріалу, приготуванні різноманітних кормових сумішей, сушінні сільськогосподарської продукції перед закладанням на зберігання та ін.

Якість термічної обробки та енергетична ефективність технологічного процесу теплової обробки визначаються, крім фізичних властивостей матеріалу, що підлягає сушінню, способом організації теплообміну в теплообмінних апаратах, серед яких вирізняють такі апарати:

- з рухомим гравітаційно-щільним шаром без подачі повітря;
- з рухомим шаром, що переміщується (оберткові барабани з пучками стержнів, ребрами, апарати з обертовими шнеками, лопатками);
- із зернистим проміжним теплоносієм, що використовується для нагрівання дрібнодисперсних матеріалів;

– зі спадним рухом шару матеріалу уздовж вібруючого лотка, який представляє собою поверхню нагріву.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв’язання даної проблеми. Для сушіння зернових матеріалів сьогодні використовують установки конвективного теплообміну на базі сушильних барабанів, які продуваються гарячим теплоносієм. Для отримання гарячого теплоносія в таких апаратах використовують мінеральне паливо, яке спалюється в локальних теплових установках (теплогенераторах), що є пожежо- та вибухонебезпечно.

Іншим перспективним способом передачі теплоти до матеріалу, що підлягає сушінню, є контактний та конвективний способи нагріву, які можуть бути реалізовані за допомогою установок індукційного нагріву. Як найбільш швидкий та екологічний метод безконтактного нагріву струмопровідних матеріалів, індукційний нагрів застосовується в різних галузях господарства – від термообробки до пристроїв технологічного призначення. Також широко відомо застосування індукційного методу нагріву в різноманітних технологічних процесах, машинобудуванні, при термообробці різного виду сільськогосподарської сировини тощо.

Індукційне нагрівання здатне ефективно забезпечити температурні режими технологічного обладнання. В установках контактного типу зерновий матеріал контактує безпосередньо з нагрітою поверхнею, енергія до якої ефективно може передаватись індукційним способом. В установках конвективного типу зерновий матеріал обдувається гарячим повітрям, яке попередньо нагрівається в індукційному теплогенераторі.

Екологічність, безпека, малий час виходу на усталений режим роботи, можливості інтенсифікації теплообміну між дисперсним (зерновим) матеріалом та теплообмінною поверхнею сприяє впровадженню електротехнологічних комплексів з індукційним способом передачі енергії в операції теплового оброблення зернових матеріалів.

Загальні теоретичні і практичні основи теплової обробки зернових матеріалів базуються на фундаментальних наукових працях О.В. Ликова, А.С. Гінзбурга, А.А. Долінського, Л.А. Орлова, Ко-

това Б.І., Mhimid A. Наукові основи і практичні методи удосконалення способів і технічних засобів застосування індукційного нагріву в технологічних процесах знайшли розвиток в роботах В.П. Вологдіна, М.Г. Лозинського, Г.И. Бабата, А.Е. Слухоцького, А.Б. Кувалдина, В.С. Немкова, І.П. Кондратенка, А.П. Ращепкіна, А.В. Жильцова.

Мета дослідження: обґрунтування параметрів енергоефективного електротехнологічного комплексу для сушіння зернових на базі теплогенераторів індукційного типу.

Виклад основного матеріалу дослідження. У практиці нагріву струмопровідних середовищ широко застосовують метод індукційного нагріву, який заснований на нагріванні струмопровідних тіл (завантаження), що знаходяться в електромагнітному полі, за рахунок теплової дії електричного струму, який індукується в завантаженні [1]. При цьому за рахунок протікання вихрових струмів відбувається нагрівання металевих елементів конструкції згідно закону Джоуля з наступною передачею тепла до матеріалу, що нагрівається.

Для ефективного нагрівання (сушіння) контактним способом дисперсних матеріалів, до яких можна віднести зернові, важливим є розгалужена поверхня теплообміну. Розгалужена поверхня теплообміну може бути реалізована в циліндричному індукторі із завантаженням у вигляді пучка стержнів, вздовж яких рухається зерновий матеріал (рис. 1).

Розміщуючи стержні на такій відстані один від одного, за якої забезпечується вільне пересування дисперсного матеріалу, можна забезпечити необхідні параметри нагрівання [2].

Геометричні параметри індуктора вибираються з умов необхідної продуктивності пристрою для термообробки зернових. Геометричні параметри завантаження (теплообмінної поверхні) вибираються з міркувань вільного просипу зернового матеріалу між елементами завантаження (стержнями).

При конвективному способі нагрівання (сушіння) зернових доцільно використовувати індуктор із завантаженням у вигляді пучка труб невеликого діаметра (рис. 2), крізь які продувають-

ся повітря. Отримане таким чином гаряче повітря в подальшому направляється, наприклад в сушильний бункер чи барабан, де відбувається процес термообробки.

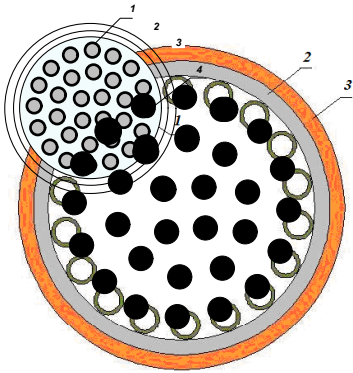


Рис. 1. Циліндричний індуктор із завантаженням у вигляді пучка стержнів:

1 – завантаження індуктора;
2 – теплоізоляція;
3 – індуктор;
4 – матеріал, що нагрівається.

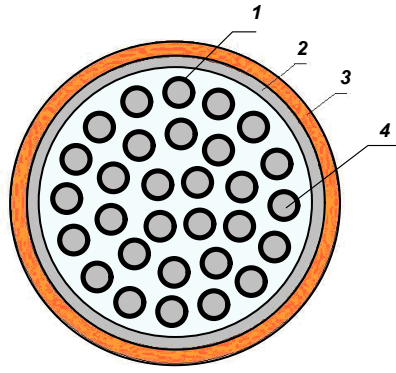


Рис. 2. Циліндричний індуктор із завантаженням у вигляді пучка труб:

1 – завантаження індуктора;
2 – теплоізоляція;
3 – індуктор;
4 – теплоносій.

Розрахунок таких систем складається з електромагнітної і теплової частини. Електромагнітний розрахунок індукторів із завантаженням у вигляді пучка стержнів чи труб може бути реалізований на основі методики, що наведена в роботах [3, 4], де електромагнітне поле розраховується на основі системи рівнянь Максвелла:

$$\operatorname{rot} \mathbf{H} = \mathbf{j}, \operatorname{div} \mathbf{B} = 0, \operatorname{rot} \mathbf{E} = -\partial \mathbf{B} / \partial t, \quad (1)$$

з урахуванням матеріальних рівнянь:

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}, \mathbf{j} = \sigma \mathbf{E}. \quad (2)$$

де \mathbf{B} , \mathbf{H} , \mathbf{E} , \mathbf{j} – вектори магнітної індукції, напруженості магнітного і електричного поля, густини струму;

σ , μ – питома електропровідність і магнітна проникність матеріалу завантаження (труби чи стержня).

Вихідними даними для електромагнітного розрахунку індуктора таким чином є геометричні розміри і електрофізичні характеристики завантаження.

Для рішення теплової частини задачі необхідно розв'язати рівняння нестационарної теплопровідності, яке має вигляд [5, 6]:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} - \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial T}{\partial \rho} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = \begin{cases} Q - \text{завантаження} \\ -d c_p \sqrt{v} T - \text{зерно або повітря,} \end{cases} \quad (3)$$

де d , c_p , λ – щільність, питома теплоємність і теплопровідність матеріалу відповідного середовища;

Q – питома потужність джерел теплоти;

t – час;

v – швидкість середовища, що нагрівається.

Вихідними даними для теплового розрахунку індуктора при цьому є початкова температура середовищ, їх теплофізичні властивості та швидкість руху матеріалу (зернових), що нагрівається.

Таким чином, обидва ці способи (з використанням індукційного теплогенератора) термообробки зернового матеріалу у порівнянні зі звичайними методами сушіння, де використовується відкрите горіння того чи іншого мінерального палива, є екологічно-, пожежо- та вибухобезпечними. Крім цього, генератори тепла індукційного типу можуть працювати від джерела промислової частоти напругою 220 В.

Також потрібно відмітити, що вибір способу температурної обробки зернового матеріалу, а відповідно і геометричної конфігурації теплогенератора індукційного типу, залежить від виду та призначення зернового матеріалу. Відтак при закладанні зернових на довгочасне зберігання доцільно застосовувати індукційний теплогенератор із теплообмінною поверхнею у вигляді пучка нещільно розміщених труб в парі із сушильним барабаном чи бункером, де зернові будуть обдуватись гарячим повітрям без домішок продуктів згоряння мінерального чи органічного палива.

Інший спосіб термообробки зернового матеріалу, при якому доцільно використовувати індукційний теплогенератор із теплообмінною поверхнею у вигляді пучка нещільно розміщених стерж-

нів, полягає у попередньому нагріванні продукції перед подальшою переробкою, коли існує технологічна вимога.

Висновки. Проаналізовано сучасні способи термообробки зернового матеріалу та встановлено, що у порівнянні зі звичайними теплогенераторами, де відбувається горіння того чи іншого мінерального палива, генератори тепла індукційного типу є більш екологічними та пожегобезпечними.

Установлено, що для досягнення необхідних параметрів нагрівання завантаження індуктора слід виконувати у вигляді пучка феромагнітних стержнів чи труб невеликого діаметра.

Список використаних джерел

1. Немков В. С. Теория и расчет устройств индукционного нагрева / В. С. Немков, В. Б. Демидович – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 280 с.

2. Кондратенко І.П. Індукційна установка для термообробки зерна ріпаку / І.П. Кондратенко, В.П. Лисенко, А.О. Березюк, Д.С. Комарчук // Вісник аграрної науки Серія: «Механізація, електрифікація». – 2012. – № 12. – С. 55-58.

3. Кондратенко І.П. Енергетичні характеристики і електричні параметри індукторів для нагріву пучка феромагнітних труб / І.П. Кондратенко, А.П. Ращепкін, А.О. Березюк // Вісник КДУ ім. Михайла Остроградського – 2010. – № 3. – Ч. 2. – С. 56-60.

4. Кондратенко І.П. Визначення геометричних параметрів розрахункової моделі циліндричного індуктора для нагріву феромагнітних труб / І.П. Кондратенко, А.О. Березюк // Науковий вісник НУБіП України. Серія: «Техніка та енергетика АПК» – К., 2012. – Вип. 174. – Ч. 1. – С. 125-130.

5. Кондратенко І.П. Розрахунок температурних полів в циліндричному індукторі для нагріву води / І.П. Кондратенко, А.П. Расщепкін, А.О. Березюк // Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування: Матеріали міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, НУБіП України, 14-26 жовтня 2013 р. – С. 39-41.

6. Kondratenko I.P. Thermal field's calculation of cylindrical inductor which is loaded by a bundle of ferromagnetic rods / I.P. Kon-

dratenko, A.P. Rashhepkin, A.O. Bereziuk // Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. Agriculture No 62 (Agricultural and Forest Engineering). – Warsawa. – 2013. – P. 85-92.

Аннотация. Проанализирована возможность применения контактного и конвективного способа передачи тепла к зерновому материалу с использованием электрических теплогенераторов индукционного типа с разными конфигурациями теплообменного аппарата, а именно: в виде пучка ферромагнитных неплотно расположенных стержней или пучка ферромагнитных неплотно расположенных труб.

Также представлено рекомендации по использованию разных конструкций теплообменного аппарата индукционных теплогенераторов в зависимости от требований технологического процесса термической обработки зернового материала.

Ключевые слова: индуктор, стержни, индукционный нагрев, теплообменные процессы, зерновой материал, термообработка.