

УДК 636.085.002.61

## МОДЕЛЮВАННЯ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ УСТАНОВОК НВЧ НАГРІВУ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Лобода О.І. інж.

*Таврійський державний агротехнологічний університет**Тел.0619-425-797, e-mail: aleks\_loboda@mail.ru*

**Анотація** – В статті приведено методику модулювання джерела НВЧ енергії та вибір кількості магнетронів для НВЧ установки обробки діелектричних матеріалів, наприклад комбікормів з метою зниження загальної засіяності мікроорганізмами патогенної групи.

**Ключові слова** – біологічний об'єкт, діелектричний нагрів, довжина хвилі, економічна ефективність, комбікорм, магнетрон, НВЧ енергія

*Постановка проблеми.* Досвід розробників НВЧ технологічних установок показує, що замовників в першу чергу цікавить величина затрат на енергію, яка використовується для досягнення технологічного ефекту. Розробники не можуть собі дозволити однобічного підходу.

В-першу чергу, енергоспоживання технологічної установки головним чином визначається процесами, що проходять в виробі під час його обробки. Величина цього енергоспоживання може бути зменшена, якщо пристрій виготовлюється з іншого, менш енергоємкого в процесі виробництва обробки матеріалу.

По-друге, енергоспоживання НВЧ установки термічної обробки залежить від ефективності промислового перетворення енергії. Для порівняння ефективності використання в технологічному процесі електроенергії і існуючого палива в роботах [1, 2] рекомендується використовувати коефіцієнт первинної енергії:

$$K_{пе} = \frac{W}{3,6Q\eta_{енс}}$$

де  $W$  – енергія, яка витрачається для виконання технологічного процесу з використанням існуючого палива, МДж;

$Q$  – енергія, яку отримав біологічний об'єкт в НВЧ установці, кВт год;

$\eta_{ЕНС}$  – системна енергетична ефективність НВЧ установки

Якщо  $K_{ПЕ} > 1$ , то витрати первинної енергії нижче при використанні в технологічному процесі електроенергії, а якщо  $K_{ПЕ} < 1$ , то більш ефектний технологічний процес, оснований на використанні існуючого палива. Звичайно заміна теплових технологічних установок на електротермічні більш привабливі, причому  $\eta_{ЕНС}$  тим більше, чим менше теплові втрати в робочій камері НВЧ установки. Зменшую їх на стадії проектування, можна зменшити загальне енергоспоживання. В третє, і це саме головне, енергетичні показники не враховують коштові характеристики розробки: від розробника в рішучій мірі залежить вибір структури схеми і елементної бази НВЧ установки, а тому, економічна ефективність електротермічної НВЧ установки, тому вибір варіанту енергопідводу, структури і елементів установки можна провести із допомогою порівняльного інтегрального ефекту [2]:

$$\Delta I = \sum_{t=0}^{t_{СП}} \left[ (P_t \Delta C_{ПЗ} - \Delta C_t) (1 - \gamma_{Нt}) (1 - \gamma_{Yt}) - \Delta C_{At} - \Delta C_{НУt} - \Delta C_{\%t} - \Delta C_{БРt} \right] \times (1) \\ \times (1 + E)^{-t} + \Delta \Phi_{t_{СП}} (1 + E)^{-t_{СП}}$$

де  $\Delta$  - різниця між відповідними характеристика порівняльних варіантів

$I$  – інтегральний дохід за строк служби;

$t$  – час;

$t_{СП}$  – строк експлуатації НВЧ установки;

$C_{П}$  – ціна продукції;

$P$  – кількість продукції;

$C = C_{СМ} + C_{ЗП} + C_E + C_{ЗН}$  – експлуатаційні витрати, відповідно

$C_{СМ}$  - витрати на сировину,  $C_{ЗП}$  – витрати на заробітну плату,  $C_E$  витрати на енергію,  $C_{ЗН}$  – витрати на запасні частини;

$\gamma_{Нt}, \gamma_{Yt}$  – коефіцієнти, які враховують податкові врахування;

$C_A$  – амортизаційні відрахування;

$C_{НУ}$  – витрати на наукові витрати;

$C_{\%}$  - плата за кредит з урахуванням банківського відсотка;

$C_{БР}$  – витрати, які включені в склад собівартості (брак);

$E = 1/t_{СП}$  – коефіцієнт приведення різночасових витрат;

$\Phi_{t_{СП}}$  – остаточна на момент часу  $t_{СП}$  коштовність основних фондів

*Формулювання цілей статті.* Керуючись вище зазначеною проблемою і аналізуючи вже існуючі способи її вирішення була поставлена задача по обґрунтуванню, розробці та впровадженню способів які б дозволили проводити вибір характеристик НВЧ установки відповідно рівня обробки біологічних об'єктів з позиції економічності та технологічності. Прийнято рішення здійснювати подальшу розробку та вдосконалення НВЧ знезараження комбікормів мікроорганізмами для зниження загальної засіяності їх патогенною групою у порівнянні з іншими способами.

*Основна частина.* Відомо з практики що є складність в нагріванні діелектричних виробів, наприклад таких біологічних об'єктів, як корма для тварин, продукти харчової промисловості. Цю проблему вдається вирішити із допомогою нагріву обробляє мого виробу енергією високої частоти (ВЧ) або надвисокою частоти (НВЧ) електромагнітного поля [3].

Співвідношення (1) дозволяє зробити вибір між ВЧ і НВЧ діелектричним нагрівом, причому в багатьох випадках перевагу віддають установки НВЧ діелектричного нагріву [2].

Істотний вплив на економічну ефективність електротермічної установки роблять капіталовкладення, що вкладаються, а у випадку установки НВЧ діелектричного нагрівання - ціна джерела НВЧ енергії, що зараз так висока, що істотно заважає широкому застосуванню цих ефективних енергозберігаючих установок.

Під оптимальним джерелом НВЧ енергії будемо вважати таке джерело, яке в сукупності з іншими елементами НВЧ електротермічної установки забезпечить максимально чистий дисконтирований або інтегральний ефект [4]:

$$\Delta I = \sum_{t=0}^{t_{\text{СП}}} \left[ (\Pi_t \Delta \Pi_{\text{нт}} - \Delta C_{\Sigma \text{ит}}) (1 - \gamma_{\text{нт}}) (1 - \gamma_{\text{вт}}) - \Delta C_{\text{нУт}} - \Delta C_{\text{офт}} - K (0,14 + \frac{1+i_{\text{кр}}}{t_{\text{СП}}}) \right] \times \left( \frac{1+t_{\text{сп}}}{t_{\text{сп}}} \right)^{-t} + K_A K \left( \frac{1+t_{\text{сп}}}{t_{\text{сп}}} \right)^{-t} \quad (2)$$

де  $\Delta C_{\Sigma \text{ит}} = C_{\text{СМт}} + C_{\text{Ет}} + C_{\text{ЕПт}} + C_{\text{Ечт}}$   
 $C_A = 0,14 \text{ К};$   
 $C_{\%} = B_{\text{кр}}(1+i_{\text{кр}})/t_{\text{СП}};$

$K$  – капіталовкладення для НВЧ нагрівача;

$B_{\text{кр}}$  – банківський кредит;

$i_{\text{кр}}$  – погоджений банківський відсоток;

$\Phi_{\text{СП}} = K_{\text{д}}K$ ,  $K_{\text{д}}$  – нормативний коефіцієнт амортизації

За такими важливими параметрами, як надійність, робота на навантаження з великими та змінними в часу  $K_{\text{омт}}$  робочої камери, високий ККД, великий строк роботи, низька анодна напруга, відсутність рентгенівського випромінювання, компактність, простота виготовлення, з усіх типів НВЧ генераторів вибір повинен бути зроблено на користь магнетрону. Довжина хвилі НВЧ генератору, тобто магнетрону може бути обрана з умови [3]:

$$\lambda \cong (1 + 2)\pi l \sqrt{2\epsilon' (\sqrt{1 + \text{tg}^2 \delta} - 1)} \quad (3)$$

де  $l$  – товщина шару продукту, який обробляється;

$\epsilon'$ ,  $\text{tg} \delta$  - діелектрична проникненість та тангенс кута

діелектричних втрат продукту

В установках НВЧ діелектричного нагріву в нашій державі традиційно використовуються в основному генератори с частотою 433, 915 и 2450 МГц і цього достатньо (для біологічних об'єктів великих розмірів можна використовувати установки високочастотного діелектричного нагріву з частотами 300 МГц і нижче) [4].

Номенклатура та ціна джерела енергії повинна бути такою, щоб завжди виконувалося умова:

$$E_{\Sigma} = E_{\Sigma \max}; \quad E_{\Sigma \max} > 0; \quad \frac{K}{E_{\Sigma \max}} \leq t_{\text{ВИФ}} \quad (4)$$

де  $t_{\text{ВИФ}}$  – усереднене в розглядаємий період фактичний строк повернення інвестицій

В якості цільової функції при рішенні задачі техніко - економічного обґрунтування номенклатури і ціни джерела енергії приймаємо співвідношення (2), яке спростимо за такими умовами: кредит короткостроковий ( $t_{\text{КР}} = t_{\text{СП}} = 1$  рік), видано на початку реалізації проекту, відсутні наукові дослідження ( $C_{\text{НУ}} = 0$ ) і демонтаж установки ( $K_{\text{А}} = 0$ ), тому в такому випадку:

$$I_{\Sigma} = (\Pi_t \Pi_{nt} - \Delta C_{\Sigma t})(1 - \gamma_{\text{Нт}})(1 - \gamma_{\text{Yt}}) - C_{\text{БРt}} - K(1,14 + i_{\text{кР}}) = \Delta I_{\Sigma \text{const}} + \Delta I_{\Sigma \text{VAR}} \quad (5)$$

$$\Delta I_{\Sigma \text{const}} = (\Pi_t \Pi_{nt} - C_{\text{СМ}})(1 - \gamma_{\text{Нт}})(1 - \gamma_{\text{Yt}}) \quad (6)$$

$$\Delta I_{\Sigma \text{VAR}} = -[(C_{\text{Е}} + C_{\text{ЗП}} + C_{\text{ЗЧ}})(1 - \gamma_{\text{Нт}})(1 - \gamma_{\text{Yt}}) + C_{\text{БРt}} - K(1,14 + i_{\text{кР}})] \quad (7)$$

Находження  $I_{\Sigma \text{MAX}}$  зводиться до находження  $|I_{\Sigma \text{VAR}}|_{\text{MIN}}$ , а тому що:

$$|I_{\Sigma \text{VAR}}|_{\text{MIN}} = f[P, M, \Pi_{\text{ДЕI}}(P), \Pi_{\text{К}}(P), \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n] \quad (8)$$

де  $P$  – потужність НВЧ джерела енергії;

$M$  – кількість магнетронів, що працюють на одну камеру;

$\Pi_{\text{ДЕI}}$  – ціна джерела енергії

$\Pi_{\text{К}}$  – ціна робочої камери

$\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$  - нормативні параметри

Тобто вимоги  $|I_{\Sigma \text{VAR}}|_{\text{MIN}}$  означають що,

$$\frac{\partial |I_{\Sigma \text{VAR}}|}{\partial P} = 0, \quad \frac{\partial |I_{\Sigma \text{VAR}}|}{\partial M} = 0 \quad (9)$$

Рішення системи рівняння (9) дає значення  $P_{\text{ОПТ}}$  та  $M_{\text{ОПТ}}$ , а потім знаходимо значення  $G_{\text{ОПТ}} = P_{\text{ОПТ}}/c(T - T_0)$ , що дає можливість визначити оптимальне число установок НВЧ діелектричного нагріву:

$$N_{\text{опт}} = \frac{\Pi}{G_{\text{опт}} t_p D} \quad (10)$$

де  $t_p$  – час роботи НВЧ установки на добу;  
 $D$  – число робочих днів на рік

Значення  $G$  і  $t_p$  можна розрахувати тільки з урахуванням особливостей процесів, які реалізуються в НВЧ установці, котрі можна класифікувати таким чином: нагрів без фазових переходів в періодичному режимі, нагрів з фазовим переходом з масоперенесення в періодичному режимі, процес з фазовим переходом без вираженого масоперенесення в періодичному режимі.

Максимальна припустима ціна джерела НВЧ енергії повинна задовольняти умову  $I_{\Sigma} = K$ , звідки:

$$C_{\text{дж}} = \frac{N_1 [(C_L - K_C C_C)(1 - \gamma_H)(1 - \gamma_Y) - N_2]}{N_3 + \frac{N_4}{F} + \frac{N_5}{\Pi}} \quad (11)$$

де  $C_C$  – ціна одиниці сировини, яка оброблюється;  
 $K_C = \Pi_C / \Pi$  – коефіцієнт виходу готової продукції;  
 $\Pi_C$  – кількість сировини, яка необхідна для випуску  $\Pi$  одиниці готової продукції на рік;  
 $N_1, N_2, N_3, N_4$  – величини, які залежать від параметрів технологічного процесу, обробленої продукції, режиму роботи НВЧ установки, тарифів на електроенергію та холодну воду.

### Висновки

1. Приведена методика дозволяє проводити моделювання вибору НВЧ установки для обробки діелектричних матеріалів, наприклад комбікормів з позиції техніко економічних та енергетичних параметрів.
2. Ця методика дозволяє обрати оптимальну кількість магнетронів в НВЧ установці, з метою збереження енергії.
3. Така НВЧ установка може працювати у всіх випадках автономно або в потоковій технологічній лінії

### Література

1. Информационные материалы к комплексной оценке техники и технологий для животноводства, птицеводства и кормообеспечения: Справочник / В.Ф. Сичкарь, А.С. Кушнарєв, Т.Н. Коротченко, Л.М. Олейник; Под ред. В.Ф. Сичкаря - Запорожье, ИМЖ, 1997 - 395 с.
2. Рогов И.А. Сверхвысокочастотный нагрев пищевых продуктов / И.А. Рогов, С.В. Некрутман. – М.: Агропромиздат, 1986 – 351 с.
3. Анфиногентов В.И. Математическое моделирование СВЧ нагрева диэлектриков / В.И. Анфиногентов – Казань: Изд-во Казан.

гос. техн. ун-та, 2006. – 137 с.

4. Бородин И.Ф. Применение СВЧ – энергии в сельском хозяйстве. Обзорная информация / И.Ф. Бородин, Г.А. Шарков, А.Д. Горин - М.: Изд-во ВНИИТЭИагропром, 1985 – 55 с.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ  
ЭНЕРГОСБЕРИГАЮЩИХ УСТАНОВОК  
СВЧ НАГРЕВА БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

А.И. Лобода

*Аннотация* – В статье приведено методику модулирования источника СВЧ энергии та выбор количества магнетронов для СВЧ установки обработки диэлектрических материалов, например комбикормов с целью снижения общей обсемененности микроорганизмами патогенной группы.

**SIMULATION OF ENERGY SOURCE  
ENERGY - SAVING PLANTS  
MICROWAVE HEATING OF BIOLOGICAL OBJECTS**

A. Loboda

*Summary*

The article describes a method of modulating the source of microwave energy is the choice of the number of magnetrons for microwave installation process dielectric materials such as animal feed to reduce the overall contamination of pathogenic microorganisms groups.