

Установка призначена для рівномірної та економічної сушки потоку різних сипучих матеріалів за допомогою електромагнітної енергії.

Відомі пристрої хвильовидного і резонаторного типу для НВЧ-обробки діелектричних матеріалів.

Пристрій (Г.С. Княжевська та ін. "Високочастотне нагрівання діелектричних матеріалів", с. 51-52, Л., "Машинобудування", 1989) для НВЧ-нагріву на основі закритої коливальної системи в вигляді прямокутного об'ємного резонатора має резонансну камеру нагрівання, що являється кінцевим навантаженням НВЧ-генератора, який підключено до камери через хвильовод.

Недоліком пристрою являється його низький к.к.д. при загрузці, яка відрізняється від номінальної, так як при цьому зміщення власних резонансних частот камери від частоти НВЧ-генератора може бути настільки значним, що повністю порушиться її узгодження з НВЧ-генератором, що значно знижує енергію, яка передається від генератора в камеру. При цьому коливання, відбиті від розкриття хвильоводу в камері, викликають самоперегрів НВЧ-генератора.

Крім цього, такий пристрій не забезпечує рівномірного нагріву матеріалів через багаточисленні стоячі хвилі в об'ємі камери, що викликає локальні перегріви та недогріви в об'ємі обробляемого матеріалу.

Відома установка для НВЧ-сушіння сипучих матеріалів (авт. свід. 1522006).

Вона містить: вертикальну сушильну камеру в вигляді хвильовода, обладнану загрузочним і розміщеним в її нижній частині розгрузочним блоками з бункерами, НВЧ-генератор з хвильоводом, вентилятор, витяжний вентиляційний канал і приймач-утилізатор НВЧ-енергії, підключений до нижньої частини камери. Розгрузочний блок виконано в вигляді трійника з перекидним клапаном.

Недоліком цієї установки є незадовільна інтегральна рівномірність нагріву обробляємих сипучих матеріалів вздовж хвильоводної камери, оскільки конструкція вертикальної сушильної камери у вигляді хвильоводу передбачає підключення НВЧ-генератора до камери з хвильоводом лише біля загрузочного блоку, тобто в верхній частині камери. Збуджена бігуха хвиля в хвильоводній камері розповсюджується в напрямку, який співпадає з напрямком переміщення оброблюваних сипучих матеріалів. В цьому випадку значні затухання НВЧ-енергії вздовж хвильоводної камери (в сотні разів при довжині камери в декілька метрів) природно супроводжуються неприпустимим нерівномірним нагрівом цих матеріалів, тобто їх неякісною сушкою.

З відомих пристроїв найбільш близьким до пропонуємого є "Установка для сушіння сипучих матеріалів" (Заява про видачу патенту України на винахід № 94042243, бюл. №4, 26.12.95).

Цю установку вибрано в якості прототипу. Вона містить: дозатор, загрузочний та розгрузочний блоки з бункерами, витяжний вентилятор, вертикальну сушильну камеру, виконану у вигляді сукупності розміщених один над другим однакових модулів, кожен з яких містить корпус модуля, витяжні вентиляційні канали, вентиляційні люки, що зв'язані з витяжними вентиляційними каналами, один чи декілька вузлів у вигляді послідовно з'єднаних НВЧ-генератора, хвильовода та випромінювача, введеного всередину корпусу модуля через його задню стінку, баластний поглинач, розміщений на внутрішній поверхні передньої стінки корпусу модуля, протилежно випромінювачу, попарно-зустрічні похилі транспортуючі діелектричні площини, кожна з яких шарнірно з регульованим нахилом закріплена на бокових стінках корпусу модуля, поперечні розміри розкриттів випромінювачів обернено пропорційні розмірам протилежної їм стінки корпусу модуля, вентиляційні люки витяжних вентиляційних каналів кожного модуля розміщені на його задній стінці безпосередньо під похилою транспортуючою площиною, а розгрузочний блок вертикальної сушильної камери обладнано розгрузочною засувкою.

Недоліками прототипу є незадовільна по глибині рівномірність нагріву обробляємих сипучих в'язких матеріалів, а також низька енергетична економічність сушіння на його остаточному етапі. Енергія втрачається у цей час у баластному поглиначі, бо на цьому етапі матеріал має низьку вологість і, як наслідок, низьку електропровідність, тобто він є прозорим для електромагнітної хвилі.

Задачею винаходу, що пропонується, є підвищення рівномірності нагріву сипучого матеріалу у глибину його шару за рахунок так званого віброоживлення цього матеріалу за допомогою вібромеханізму, а також зменшення енерговитрат на остаточному етапі сушіння за допомогою напінтального вентиляційного каналу, який через теплообмінні пластини відбирає тепло від баластного поглинача та повертає його у вигляді теплого повітря у вертикальну сушильну камеру.

В цілому, пропонується мікрохвильова установка являє собою поточну модульну, багатоярусну НВЧ-камеру нехвильоводного нерезонаторного типу з віброоживленням сушеного продукту з прямим та непрямим (перетвореним конвекційним) його підігрівом, яка забезпечує рівномірне (інтегрально, локально і по глибині продукту) нагрівання і сушку обробляємих матеріалів в результаті одночасного концентрованого НВЧ-впливу декількох НВЧ-генераторів одразу на всі ділянки зигзагоподібного потоку сушених матеріалів. При цьому виключаються і локальні перегріви, і недогріви, так як баластний поглинач запобігає появі стоячих хвиль в об'ємі матеріалу.

Безпека НВЧ-установки при цьому забезпечується концентрацією енергії за допомогою випромінювачів в напрямку, перпендикулярному напрямку на загрузочний і розгрузочний блоки, зв'язані з зовнішнім середовищем, а також забезпечується усуненням сигналів в цьому ж напрямку (перевідбитих від передньої стінки НВЧ-камери) за допомогою баластного поглинача, який розміщено протилежно випромінювачу і одночасно забезпечує нагрівання повітря в нагнітальному вентиляційному каналі внаслідок перетворення в тепло електромагнітних коливальних, непоглинутих протягом сушіння, взагалі, а на етапі досушення, - зокрема, сипучим матеріалом, що сушиться.

Крім того, в пропонованій установці, на відміну від прототипу, забезпечується значна економія електроенергії за рахунок додаткового своєчасного поперечного обдування транспортуючих діелектричних пло-

щин з "ожиженим" продуктом за допомогою теплого повітря, що утворюється у камері нагнітальним вентилятором, нагнітальним вентиляційним каналом, теплообмінними пластинами та вентиляційними люками нагнітального вентиляційного каналу, які розміщені на передній стінці кожного модуля.

На кресленні представлена схема пропонованої мікрохвильової установки для сушіння сипучих матеріалів.

Установка містить вертикальну сушильну камеру 1, обладнану: вентиляторами 2 і 23, витяжними 3 і нагнітальними 26 вентиляційними каналами, загрузочним 4 та розгрузочним 5 блоками з бункерами 27 і 29, вібромеханізмами 22 з тягами 25, дозатором 28.

Вертикальна сушильна камера 1 виконана в вигляді сукупності розміщених один над другим однакових модулів 6.

Кожен модуль 6 містить: корпус 7 модуля, вентиляційні люки 8 і 24, зв'язані з відповідними вентиляційними каналами 3 і 26, послідовно з'єднані НВЧ-генератор 9, хвилевод 10 і випромінювач 11, котрий введено всередину корпусу 7 модуля через його задню стінку 12, баластний поглинач 13, розміщений на внутрішній поверхні передньої 15 стінки корпусу 7 модуля 6, протилежно випромінювачу 11, і попарно-зустрічні похилі транспортуючі діелектричні площини 16, 17, кожна з яких шарнірно з регульованим нахилом закріплена на бокових 14 стінках корпусу 7 модуля і своїми торцевими гранями нежорстко через тяги 25 з'єднані з вібромеханізмами 22.

Поперечні розміри розкриву випромінювача 11 обернено пропорційні розмірам протилежній йому стінки 15 корпусу 7 модуля 6.

Вентиляційні люки 8 витяжного вентиляційного каналу 3 модуля 6 розміщені на його задній стінці 12 безпосередньо під похилою транспортуючою площиною 17, а вентиляційні люки 24 нагнітального вентиляційного каналу 26 розміщені на передній стінці 15 модуля 6 безпосередньо над похилою транспортуючою площиною 16.

На зовнішній стороні передньої стінки 15 вертикальної сушильної камери 1 закріплені теплообмінні пластини 20, а зовнішня стінка нагнітального вентиляційного каналу 26 покрита теплоізолюючим матеріалом 21.

Розгрузочний блок 5 вертикальної сушильної камери 1 оснащено розгрузочним перекидним клапаном 30.

Робота пропонованої установки (креслення) полягає в наступному.

НВЧ-генератори 9 виробляють електромагнітні коливання, напр., на частоті 2450 МГц, потужністю, напр., 1,5 кВт кожен. Кількість НВЧ-генераторів 9 визначається вологістю матеріалів, які підлягають сушці, необхідною продуктивністю установки і кількістю модулів 6, які в свою чергу залежать від необхідного часу експозиції сухого матеріалу при заданій продуктивності сушки і заданих поперечних розмірах вертикальної сушильної камери 1.

НВЧ-коливання подаються до випромінювачів 11 через хвилеводи 10. Випромінювачі 11 концентрують НВЧ-енергію на потік сушених матеріалів так, щоб поперечні розміри променя в місці цього падіння на протилежну стінку 15 корпусу 7 модуля 6 приблизно дорівнювали поперечним розмірам цієї стінки 15. Це узгодження досягається за рахунок того, що поперечні розміри випромінювача 11 обернено пропорційні відповідним розмірам стінки 15.

Затікання НВЧ-енергії з одного випромінювача 11 в другий, викликає взаємний перегрів НВЧ-генераторів 9, запобігається направленістю властивостей випромінювачів 11 і їх одностороннім напрямком випромінювання в сторону передньої невідбиваючої стінки 15 корпусу 7 модуля 6. Випромінювачі 11 можуть бути, напр., хвилеводно-щільної чи рупорної конструкції.

Матеріал, що сушиться, з бункера 27 через дозатор 28 потрапляє в загрузочний блок 4 і зигзагоподібно переміщується від загрузочного блоку 4 по попарно-зустрічним похилим транспортуючим діелектричним площинам 16, 17 до розгрузочного блоку 5. Швидкість переміщення матеріалу залежить від частоти, амплітуди вібрацій площин 16, 17 за допомогою вібромеханізмів 22 через тяги 25, а також від постійного початкового кута нахилу площин 16, 17. Він регулюється в залежності від виду і вологості матеріалу за допомогою тяг 25 і вібромеханізмів 22. Після регулювання кута нахилу площин так, щоб сума кутів нахилу попарно-зустрічних площин 16 і 17 приблизно складала 180 градусів, початкове положення тяги 25 фіксується. Така умова до суми кутів нахилу площин 16, 17 забезпечує рівноточне (рівномірне) переміщення всього потоку сушеного матеріалу в вертикальній сушильній камері 1.

Прогрівання матеріалу, що сушиться, здійснюється зверху і знизу (через полку) і в процесі його переміщення по нахиленим діелектричним площинам 16, 17, оскільки вони являються радіопрозорими, і при падінні потоку матеріалу з площини 17 на площину 16, і при обдуванні його потоком теплого повітря (нагрітого баластним поглиначем 13) із нагнітальних вентиляційних люків 24. Тепле повітря подається у камеру за допомогою нагнітального вентилятора 23, нагнітального вентиляційного каналу 26 та теплообмінних пластин 20.

Співставимо характеристики рівномірності та економічності нагрівання матеріалу, що сушиться, за допомогою прототипу і пропонованої установки.

Рівномірність по глибині нагріву продукту у камері прототипу, очевидно, є невисокою, особливо у випадку, коли шар при загрузці більший від номінального.

Наприклад, сушіння зерна на потоці у шарі глибиною 10 см при його вологості 30% у декількох типових умовах викликає нерівномірність нагрівання по глибині продукту, яка дорівнює десятки градусів.

Для пропонованої установки в цих умовах цей показник, згідно практичного досвіду, за рахунок віброожиження за допомогою вібромеханізмів 22 складає лише одиниці градусів.

Зробимо оцінки енергетичної економічності, тобто витрат енергії на етапі досушення продукту, стосовно прототипу і винаходу.

Відомо, що коли потужність кожного з НВЧ-генераторів дорівнює P ; загальні розміри продукту, що сушиться, у кожному модулі - h, g, l ; розміри модуля - H, G, L ; кутові розміри НВЧ-випромінювання - θ, φ ; інтервал часу сушіння дорівнює τ , а інтервал часу досушення - $0,3 \tau$; початковий тангенс кута втрати електромагнітного поля в теплову у баластному поглиначі дорівнює η , а середня відстань від розкриття випромінювача до продукту дорівнює Δh , то втрати енергії на етапі досушення залежать від об'ємної густини потужності, від об'єму і $\text{tg } \delta$ продукту та протяжності досушення і дорівнює для прототипу

$$\Delta E_{\Pi} = \left\{ \sqrt{\frac{2P}{(\Delta h)^2} \cdot \frac{G}{L} \cdot 2W} \cdot \exp \left[-\sqrt{2\pi f} \cdot \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0 \varepsilon (\sqrt{1+0,01 \text{tg} \delta} - 1)} \cdot h \right] \right\}^2 \times \varepsilon \cdot 0,01 \text{tg} \delta \cdot h \cdot g \cdot l \cdot 0,3 \tau, \quad (1)$$

де W - хвильовий опір вакууму (повітря);

ε_0, μ_0 - вакуумні (повітряні) константи;

ε - діелектрична проникливість продукту.

Для пропонуємого винаходу втрати енергії залежать від коефіцієнту перетворення і дорівнюють

$$\Delta E_{\text{в}} = \left\{ \sqrt{\frac{2P}{(\Delta h)^2} \cdot \frac{G}{L} \cdot 2W} \cdot \exp \left[-\sqrt{2\pi f} \cdot \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0 \varepsilon (\sqrt{1+0,01 \text{tg} \delta} - 1)} \cdot h \right] \right\}^2 \times h \cdot g \cdot l \cdot \varepsilon \cdot 0,01 \text{tg} \delta \cdot 0,3 \tau \cdot (1 - \eta), \quad (2)$$

Приклад:

Відомо, що $P = 1,5 \cdot 10^3$ Вт; $\tau = 20$ ч; $\Delta h = 0,6$ м; $G=L$; $W=120\pi$; $f=2,45 \cdot 10^9$ Гц; $\varepsilon = 5$; $\text{tg} \delta = 0,10$; $h = 5 \cdot 10^{-2}$ м; $g = 1,5$; $l = 1,5$ м.

Для прототипу абсолютне втрачання енергії згідно (1) в одному модулі протягом 20 годин дорівнює

$$\Delta E_{\Pi} = \left\{ \sqrt{\frac{2 \cdot 1,5}{(0,6)^2} \cdot 2 \cdot 120\pi} \cdot \exp \left[-\sqrt{2\pi} \cdot 2,45 \cdot 10^9 \sqrt{\frac{10^{-9}}{36\pi} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 5(\sqrt{1+0,01 \cdot 0,1} - 1)} \cdot 5 \cdot 10^{-2} \right] \right\}^2 \times$$

$$\times 5 \cdot 10^{-2} \cdot 1,5 \cdot 1,5 \cdot 5 \cdot 0,01 \cdot 0,10 \cdot 0,3 \cdot 20 = 19 \text{ кВт} \cdot \text{год.},$$

Відносні втрати енергії для прототипу дорівнюють (в %)

$$\delta E_{\Pi} = \frac{\Delta E_{\Pi} \cdot 100}{2 \cdot P \cdot \tau} = \frac{19 \cdot 100}{2 \cdot 1,5 \cdot 20} = 32\%$$

Для винаходу маємо згідно (2) абсолютне значення втрат енергії в кожному модулі

$$\Delta E_{\text{в}} = \left\{ \sqrt{\frac{2 \cdot 1,5}{(0,6)^2} \cdot 2 \cdot 120\pi} \cdot \exp \left[-\sqrt{2\pi} \cdot 2,45 \cdot 10^9 \sqrt{\frac{10^{-9}}{36\pi} \cdot 4\pi \cdot 10^{-9} \cdot 5(\sqrt{1+0,01 \cdot 0,1} - 1)} \cdot 5 \cdot 10^{-2} \right] \right\}^2 \times$$

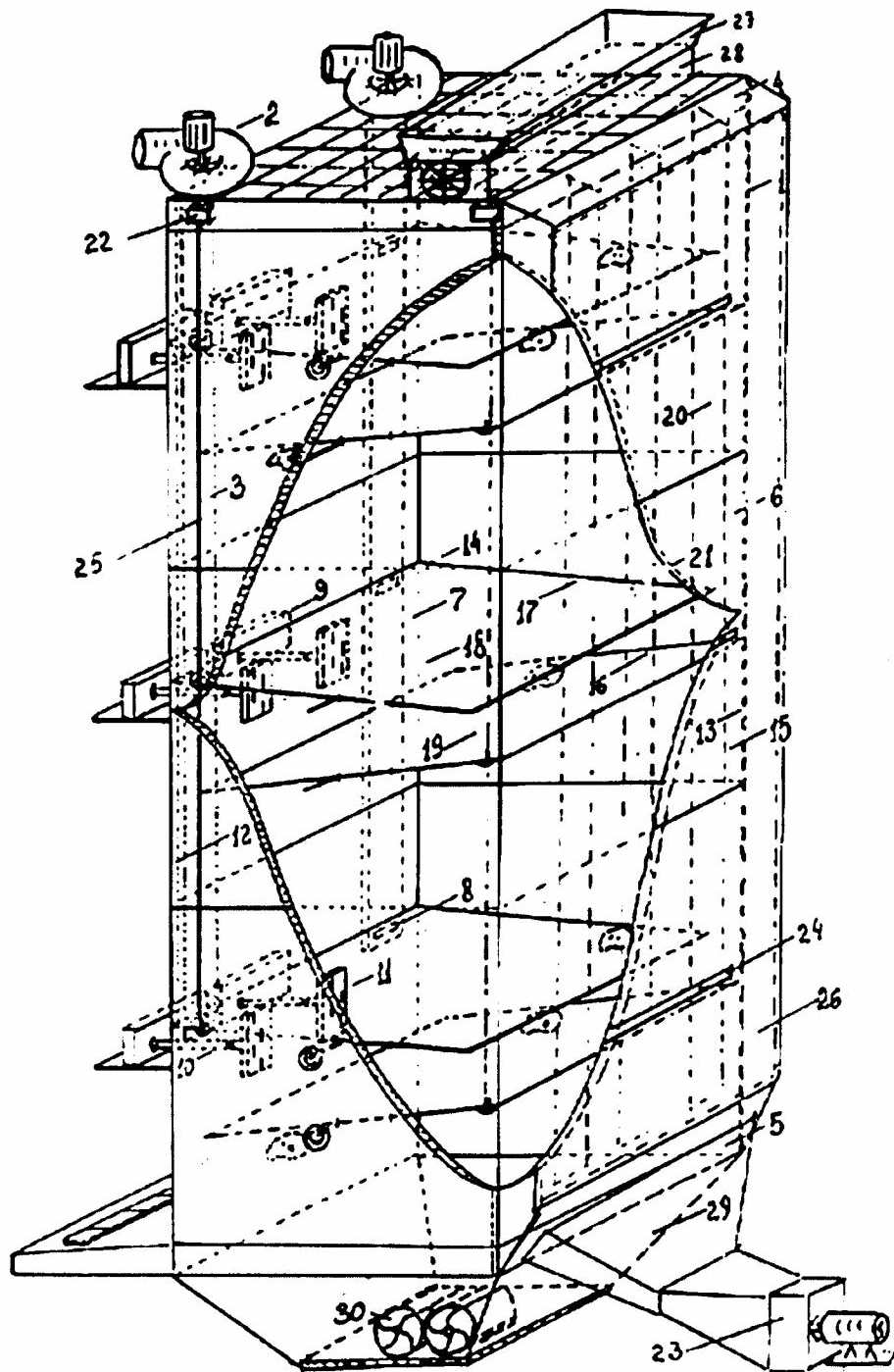
$$\times 5 \cdot 10^{-2} \cdot 1,5 \cdot 1,5 \cdot 5 \cdot 0,01 \cdot 0,10 \cdot 0,3 \cdot 20 \cdot (1 - 0,8) = 7,6 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Відносні втрати енергії для винаходу

$$\delta E_{\text{в}} = \frac{\Delta E_{\text{в}} \cdot 100}{2 \cdot P \cdot \tau} = \frac{7,6 \cdot 100}{2 \cdot 1,5 \cdot 20} = 12\%$$

Бачимо, що втрати енергії на етапі досушення для винаходу менші ніж ці втрати для прототипу у реальних конкретних умовах сушіння у 2,7 рази.

Останнє досягається за рахунок прямої (за допомогою поля) та побічної (за допомогою поля, перетвореного у тепло) дії поля на продукт.



Тираж 50 екз.

Відкрите акціонерне товариство «Патент»
Україна, 88000, м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101
(03122) 3 – 72 – 89 (03122) 2 – 57 – 03
