УДК 534.8

В.П.Кучинський[1], **В.Ф.Рєзцов**[2], чл.-кор. НАН України, **Т.В.Суржик**[3], канд.техн.наук, **В.А.Щокіна**[4] (Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ)

Метод прискорених випробувань процесів геліосушіння вологовмісних середовищ

Розглянуто характер зміни усередненої по простору температури в часі та темпів її зростання на різних моделях вологовмісних середовищ при можливості застосування енергії надвисоких частот випромінювання для можливості використання як методу прискорених випробувань процесів геліосушіння вологовмісних середовищ. Бібл. 7, рис. 1.
Ключові слова: *сонячне випромінювання, вологовмісні середовища, сушіння, НВЧ-випромінювання.*

Orcid: [1]0000-0001-9716-3516; [2]0000-0001-8431-3968; [3]0000-0002-1418-7748; [4]0000-0003-2506-3131

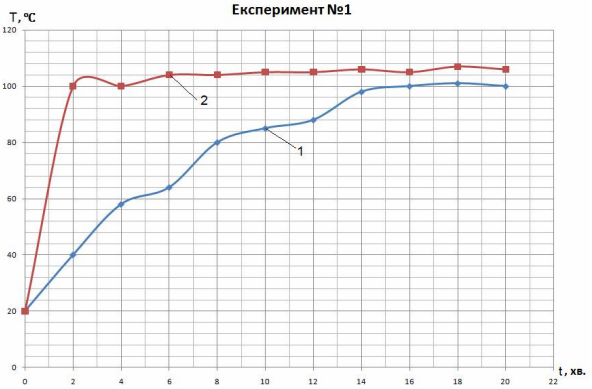
Вступ. На даний час витрати традиційної енергії для сушіння вологовмісних середовищ, зокрема зернових та плодово-ягідних культур, займають значну частину в паливно-енергетичному балансі України. Виходячи з цієї об'єктивної обставини, цілком природно розглянути можливості використання для процесів сушіння вологовмісних середовищ сонячного, зокрема концентрованого випромінювання.

Ця обставина обумовлює можливість застосування для процесів сушіння використання енергії надвисоких частот випромінювання (НВЧ-випромінювання), яке використовується в різних технологіях і може розглядатися як засіб прискорених досліджень процесів геліосушіння.

Постановка завдання. Основною метою роботи є дослідження характеру зміни усередненої по простору температури в часі, зокрема темпів зростання температури в часі, на фізичних моделях вологовмісних середовищ та рівня сталої температури.

Для проведення експериментів використовувався НВЧ-нагрівач із частотою випромінювання 2450 МГц на двох рівнях потужності – 102 Вт і 342 Вт. В якості фізичних моделей використовувались циліндричні зразки різних середовищ, які змішувалися з водою у співставних вагових співвідношеннях. Твердий наповнювач являв собою середовища, які по суті є відновлюваним біоенергетичним ресурсом (відходи деревини, курячий послід, торф тощо), використання якого, наприклад, при згорянні, вимагає сушіння.

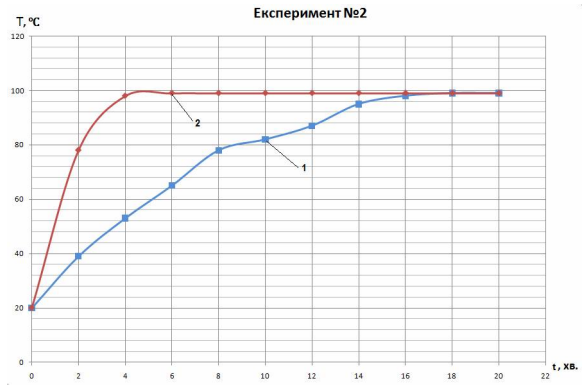
Результати залежності зміни температур у часі наведено на рис. 1 разом із картинами поверхні, які свідчать про гетерогенність структури, що обробляється. Відзначимо, що гетерогенну структуру мають різні біоенергетичні матеріали, які теж мають гетерогенну структуру при дії сонячного випромінювання в природних умовах [1], коли тривалість процесів сушіння на порядки більша.



а

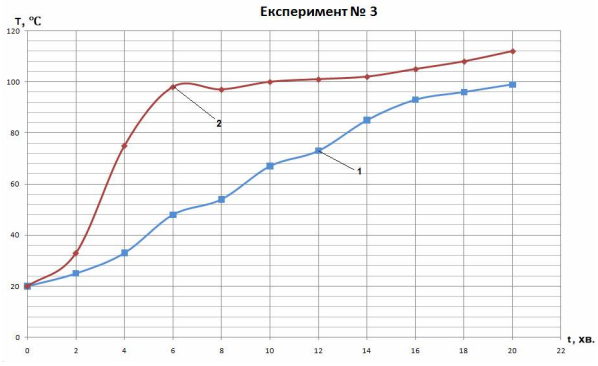
а'

© В.П.Кучинський, В.Ф.Рєзцов, Т.В.Суржик, В.А.Щокіна, 2017



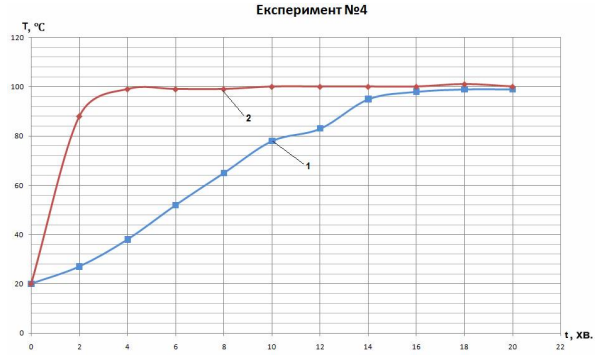
б

б'

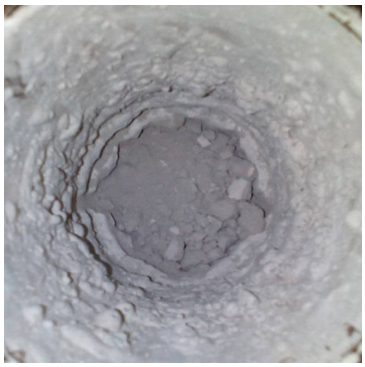


в

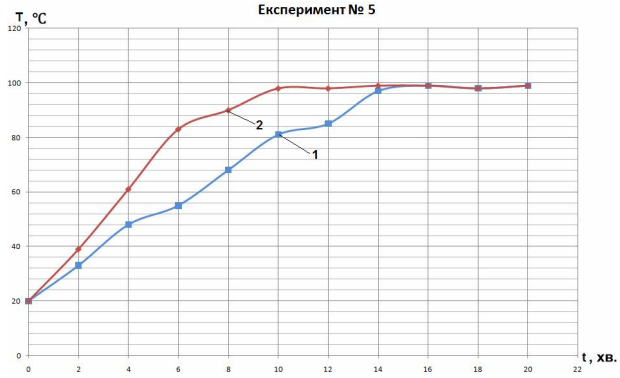
в'



г



г'



д

д'

Рис. 1. ***а, б, в, г, д*** **– залежності зміни температур у часі для вологовмісних матеріалів при різних потужностях:** *крива 1 – потужність випромінювання 102 Вт; крива 2 – потужність випромінювання 342 Вт;* **а′, б′, в′, г′, д′ – зразки зміни структури поверхні матеріалів після обробки:** *а′ – суміш манної крупи та води; б′ – торфяно-земляна суміш з водою; в′ – суміш курячого посліду з водою; г′ – цементно-піщана суміш з водою; д′ – цементно-піщана суміш з водою та дробом.*

Незважаючи на різні електро- і теплофізичні характеристики вологовмісних середовищ, що досліджувались, залежності $T(t)$ мають однаковий характер, а саме – лінійний характер при малих значеннях t з виходом на насичення при температурі закипання води при нормальних значеннях тиску. Така поведінка функції $T(t)$ може бути пояснена тим, що поведінка середньої по об'єму V температури $T_{ñð.} = \frac{\int_V TdV}{V}$ описується звичайним диференціальним рівнянням:

$$\rho C_p V \frac{dT_{ñð.}}{dt} = Q_{+ÝÑ} - Q_{-Òð} - Q_{-â}, \qquad (1)$$

яке отримано після застосування теореми про дивергенцію [2] та теореми Умова-Пойнтинга [3] і має таку ж структуру, як і для сонячних колекторів та фотобатарей [4].

Тут ρ, C_p – питома густина та питома теплоємність вологовмісних середовищ; $Q_{+ÝÑ}$ – інтегральна густина потужності сонячного випромінювання, що падає на поверхню S; $Q_{-Òð}$ – інтегральні втрати теплової енергії через поверхню S за рахунок теплообміну з оточуючим середовищем; $Q_{-â}$ – інтегральні по об'єму V втрати теплової енергії на випаровування води.

З рівняння (1) видно, що на початкових стадіях процесу сушіння можна величину $Q_{-Òð}$ покласти рівною нулю, оскільки на початковій стадії процесу температура поверхні вологовмісного середовища приблизно дорівнює температурі оточуючого середовища. Величиною $Q_{-â}$ також можна нехтувати внаслідок того, що при малих температурах втрати енергії на випаровування води також незначні.

Таким чином, на початковій стадії випаровування рівняння (1) є лінійним при природних припущеннях $\rho \to const,\ C_p \to const$:

$$\frac{dT_{ñð.}}{dt} = \frac{Q_{+ÝÑ}}{\rho C_p V}, \qquad (2)$$

а $T_{ñð.}$ згідно з (2) змінюється за лінійним законом:

$$T_{ñð.}(t) = T(t=0) + \frac{Q_{+ÝÑ}}{\rho C_p V} t. \qquad (3)$$

Аналіз залежності (3) від $Q_{+ÝÑ}$, ρ, C_p, V показує, що вона якісно описує наведені вище експериментальні дані і дозволяє дати обґрунтовану оцінку часу сушіння Δt_c:

$$\Delta t_c = \frac{\left[100\ ^0C - T(t=0)\right]\rho C_p V}{Q_{+âñ}}, \qquad (4)$$

яку можна використовувати у технологіях геліосушіння.

Слід відзначити, що згідно (2) темп зростання середньої температури зменшується обернено пропорційно характерним розмірам середовища, що обробляється, оскільки величина інтегрального тепловиділення $Q_{+âs}$ внаслідок поглинання випромінювання пропорційна площині поверхні. Цей висновок випливає з того, що згідно теореми про дивергенцію [3] виконується співвідношення:

$$\int_V q_{+ev} dV = -\int_V \left(\nabla \cdot \vec{I}\right) dV = -\oint_S \vec{I} \cdot d\vec{S} = Q_{+âs}, \qquad (5)$$

де q_{+ev} – об'ємна густина тепловиділення внаслідок поглинання випромінювання; $\vec{I}$ – вектор Умова-Пойнтинга, який характеризує поверхневу густину потужності випромінювання і величина якого практично не залежить від характерних розмірів, зокрема об'єму V середовища. Крім того динаміка зміни температури в часі на проміжних стадіях процесу сушіння також залежить від величини втрат теплової енергії на випаровування вологи, вміст якої в процесі обробки також змінюється в часі. Це підтверджується результатами і експериментами по сушінню пелет, насичених водою.

Аналіз характерних структур поверхні оброблених вологовмісних середовищ вказує на те, що висушені вологовмісні середовища мають типову [1] гетерогенну структуру, що можна пояснити міграцією локальних утворень водяної пари з об'єму на поверхню.

Висновки. В результаті виконаних на фізичних моделях експериментів по НВЧ-сушінню різних вологовмісних середовищ зі співставними об'ємами твердої та вологої фази встановлено, що в початковій стадії сушіння середня температура досліджуваних матеріалів лінійно зростає в часі з виходом на насичення при температурі кипіння вологи (води) 100°С при нормальних умовах. Такий характер зміни температури має якісне пояснення в рамках створення на основі теореми про дивергенцію математичної моделі динаміки процесу для усередненої по об'єму температури, яка може бути використана для більш широкого класу умов, а саме значень електрофізичних та теплофізичних характеристик середовищ, величин густини потужності і виду електромагнітної енергії, яка приводить до нагріву середовищ, та її співвідношення до густини енергії, що поглинається внаслідок використання вологи, а також умов теплообміну з оточуючим середовищем.

На закінчення відзначимо, що гетерогенну структуру з наявністю пор, які можуть заповнюватися водою, мають зразки, подібні до паливовмісних матеріалів у приміщеннях об'єкта "Укриття" на ЧАЕС. Відомо [5], що взаємодія води із залишками діоксиду урану є однією з основних причин деградації ЛПВМ з утворенням дрібнодисперсного радіоактивного пилу. В зв'язку з цим було б доцільно проаналізувати можливості використання сонячного або НВЧ-випромінювання для обезводнення цих матеріалів, а також радіоактивного мулу у водосховищах, що є важливим при підготовці площадок під будівництво сонячних станцій у Чорнобильській зоні [6, 7].

1. *Рєзцов В. Ф., Суржик Т. В., Щокіна В. А.* Можливі причини формування неоднорідних структур при геліосушці вологовмісних середовищ // Відновлювана енергетика: наук.–прикл. журн. № 1(40) – 2015. – ІВЕ НАН України. – Київ, 2015 – С. 28–31.

2. *Корн Г.*, *Корн Т.* Справочник по математике (для научных работников и инженеров) / пер. с англ. И.Г. Арамановича, А.М. Березмана, И.А. Вайнштейна, Л.З. Румшиского, Л.Я. Цлафа, под общей ред. И.Г. Арамановича. – Москва: Изд-во "Наука", 1973. – 832 с.

3. *Суржик Т. В., Гамарко А. В., Матях С. В., Щокіна В. А.* Особливості застосування теореми Умова-Пойнтинга для аналізу електротеплового стану фотобатарей та сонячних колекторів // Відновлювана енергетика: наук.–прикл. журн. № 1(40) – 2015. – ІВЕ НАН України. – Київ, 2015 – С. 38–42.

4. *Резцов В. Ф., Суржик Т. В., Щекина В. А.* Особенности моделирования динамики изменения интегральных теплофизических характеристик при гелиосушке влагосодержащих сред // Альтернативная энергетика и экология: Межд. науч. журн. №15(155). – 2014 р. – Научно – технический центр "ТАТА", 2014 – С. 12–15.

5. *Краснов В. О., Носовський А. В., Рудько В. М., Щербін В. М.* Об'єкт "Укриття": 30 років після аварії / монографія, НАН України, Ін-т проблем безпеки АЕС. – Чорнобиль (Київ обл.): Ін-т проблем безпеки АЕС, 2016. – 512 с.

6. *Гамарко А. В., Пундев В. А., Резцов В. Ф., Суржик Т. В., Шевчук В. И.* Эффективность использования площадок для размещения фотоэлектрических станций // Альтернативная энергетика и экология: Межд. науч. журн. №23(163). – 2014 р. – Научно – технический центр "ТАТА", 2014 – С. 35–38.

7. *Пундєв В. О., Шевчук В. І.* Можливості використання зони відчуження ЧАЕС для розвитку фотоенергетики та геліоенергетики в Україні // Відновлювана енергетика: наук.-прикл. журн. № 3 (46) – 2016. – ІВЕ НАН України. – Київ, 2016 – С. 27–30.

REFERENCES

1. *Ryeztsov V.F., Surzhyk T.V., Shchokina V.A.* Possible reasons for the formation of inhomogeneous structures when drying moisture containing mediums by solar energy // Vidnovliuvana energetyka. – 2015. – №1(40). – P. 28–31 (Ukr)

2. *Korn G., Korn T.* Reference book in mathematics (for scientists and engineers) / translation from English. I.G. Aramanovicha, A. M. Berezmana, I. A. Weinstein, L.Z. Rumshiskii, L.Y. Tslafa, under the general editorship I.G. Aramanovicha. - Moscow: Publishing House "Science", 1973. – 832 p.

3. *Surzhyk T.V., Gamarko A.V., Matyakh S.V., Shchokina V.A.* Features of Poynting's theorem application for the analysis of electrothermal condition of photo battaries and solar collectors// // Vidnovliuvana energetyka. – 2015. – №1(40). – P. 38–42 (Ukr)

4. *Ryeztsov V.F., Surzhyk T.V., Shchokina V.A.* Features modeling of dynamics change of integrated heat physical characteristics during solar drying in moisture contain mediums // Alternative energy and ecology: Internation scientific journal. – №15 (155). – 2014 p. – P. 12–15.

5. *Krasnov V.A., Nosovskiy A.V., Rud'ko V.M., Shcherbin V.M.* Object "Shelter": 30 years after the accident / monograph NAS of Ukraine, Institute for Security NPP. – Chernobyl (Kyiv region), Institute of Safety Problems of NPP, 2016. – 512 p.

6. *Hamarko A.V., Pundev V.A., Ryeztsov V.F., Surzhyk T.V., Shevchuk V.I.* Effectiveness of platform used for photoelectric power plants // Alternative energy and ecology: Internation scientific journal. – №23 (163). – 2014. – P. 35–38.

7. *Pundev V.A., Shevchuk V.I.* Using Chernobyl nuclear power plant exclusion zone as an option to develop photovoltaics and solar power in Ukraine //Можливості використання зони відчуження ЧАЕС для розвитку фотоенергетики та геліоенергетики в Україні // Vidnovliuvana energetyka. – 2016. – №3 (46). – P. 27–30

В.П.Кучинский, В.Ф.Резцов, чл.-корр. НАНУ,
Т.В.Суржик, канд.техн.наук, **В.А.Щекина** (Институт возобновляемой энергетики НАН Украины, Киев)

Метод ускоренных испытаний процессов гелиосушки влагосодержащих сред

Рассмотрен характер изменений усредненной по пространству температуры во времени и темпов ее роста на разных моделях влагосодержащих сред при возможности использования энергии СВЧ-излучения для возможности использования как метода ускоренных испытаний процессов гелиосушки влагосодержащих сред. Библ. 7, рис. 1.
Ключевые слова: *солнечное излучение, влагосодержащие среды, сушка, СВЧ-излучение.*

Kuchinsky V., Ryeztsov V., Surzhyk T., Shchokina V. (Institute of the renewable energy, NAS of Ukraine, Kyiv)

The method of accelerated testing of solar drying moisture contain mediums processes

In this article considered the nature of changes the averaged over space the temperatures in time and rate of growth on the different moisture contain mediums models with possibility using energy of over frequency radiation to have a possibility using it like a method of accelerated testing of solar drying moisture contain mediums processes. References 7, figure 1.
Keywords: *solar radiation, moisture contain mediums, drying, over frequency radiation.*

SYNOPSIS

Currently, the cost of traditional energy for drying moisture contain mediums, including cereal and fruit and berry crops occupy a considerable part in the fuel and energy balance of Ukraine.

Exist a possibility to applying for the drying process the over frequency radiation energy (microwave radiation) used in a variety of technologies, and can be considered as a means of accelerated research a solar drying process.

The main goal of the work is to research the character of changes the averaged over space the temperatures in time. As a result of experiments on physical models by microwave drying moisture contain mediums with comparable volumes in a solid phase and in a wet phase established that the in initial stage drying average temperature investigated materials increases linearly in time with the release on the saturation at the temperature boil moisture (water) 100°C under normal conditions.

This pattern of temperature change has qualitative explanation within the framework based on the theorem of divergence of a mathematical dynamics process model for the averaged by volume temperature which can be used for a broad class of conditions, namely the values of electro and thermophisical characteristics of mediums, density values power and type of electromagnetic energy which causes heating mediums and its correlation to the density of energy which absorbed as a result evaporation moisture, and also of the conditions of heat exchange with the environment.

Стаття надійшла до редакції 16.02.17
Остаточна версія 06.03.17