



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 123440

(13) C2

(51) МПК

F26B 3/24 (2006.01)

F26B 25/22 (2006.01)

F26B 11/04 (2006.01)

F26B 17/32 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО  
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ"

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД****(21) Номер заявки:** а 2018 06201**(22) Дата подання  
заявки:** 04.06.2018**(24) Дата, з якої є  
чинними права  
інтелектуальної  
власності:** 08.04.2021**(41) Публікація  
відомостей про  
заявку:** 26.12.2018,  
Бюл.№ 24**(46) Публікація  
відомостей про  
державну  
реєстрацію:** 07.04.2021,  
Бюл.№ 14**(72) Винахідник(и):**Корінчук Дмитро Миколайович (UA),  
Снєжкін Юрій Федорович (UA),  
Дахненко Валерій Леонідович (UA)**(73) Володілець (володільці):**ІНСТИТУТ ТЕХНІЧНОЇ ТЕПЛОФІЗИКИ НАЦІОНАЛЬНОЇ  
АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ,  
вул. Желябова, 2-а, м. Київ, 03057 (UA)**(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:**Drying and heating modelling of granular flow: application to  
the mix-asphalt processes /Le Guen L., Huchet F., Tamagny  
P. // Journal of Applied Fluid Mechanics, Elsevier, Special  
Issue. - 2011. - Vol. 4, No. 2. - P. 71 - 80. [Інтернет-  
публікація] URL:https://hal.archives-  
ouvertes.fr/file/index/docid/612503/filename/doc00008056.pdf  
(знайдено 04.12.2020)

UA 44155 A, 15.01.2002

A study of particle motion in rotary dryer /Lisboa M. H.,  
Vitorino D. S., Delaiba W. B., Finzer J. R. D., Barrozo M. A.  
S. // Brazilian Journal of Chemical Engineering. - July -  
September, 2007. - Vol. 24, No. 03. - P. 365 - 374. ISSN  
0104-6632. [Інтернет-публікація]URL:https://www.scielo.br/pdf/bjce/v24n3/a06v24n3.pdf  
(збережено WayBack Machine 05.07.2017, знайдено  
04.12.2020)Modeling and experimental study of hydrodynamic and drying  
characteristics of an industrial rotary dryer / Fernandes N. J.,  
Ataide C. H., Barroz M. A. S. // Brazilian Journal of Chemical  
Engineering. - April - June, 2009. - Vol. 26, No. 02. - P. 331 -  
341. ISSN 0104-6632. [Інтернет-публікація]URL:https://www.scielo.br/pdf/bjce/v26n2/v26n2a10.pdf  
(збережено WayBack Machine 20.08.2017, знайдено  
04.12.2020)

RU 141169 U1, 27.05.2014

RU 2279613 C1, 10.07.2006

RU 2306504 C1, 20.09.2007

RU 2407968 C1, 27.10.2010

RU 2450224 C1, 10.05.2012

**(54) СПОСІБ СУШІННЯ КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ****(57) Реферат:**

Спосіб сушіння композиційного матеріалу належить до галузі переробки продукції біологічного походження, зокрема сушіння сипких матеріалів, і може бути використаний, для зневоднення

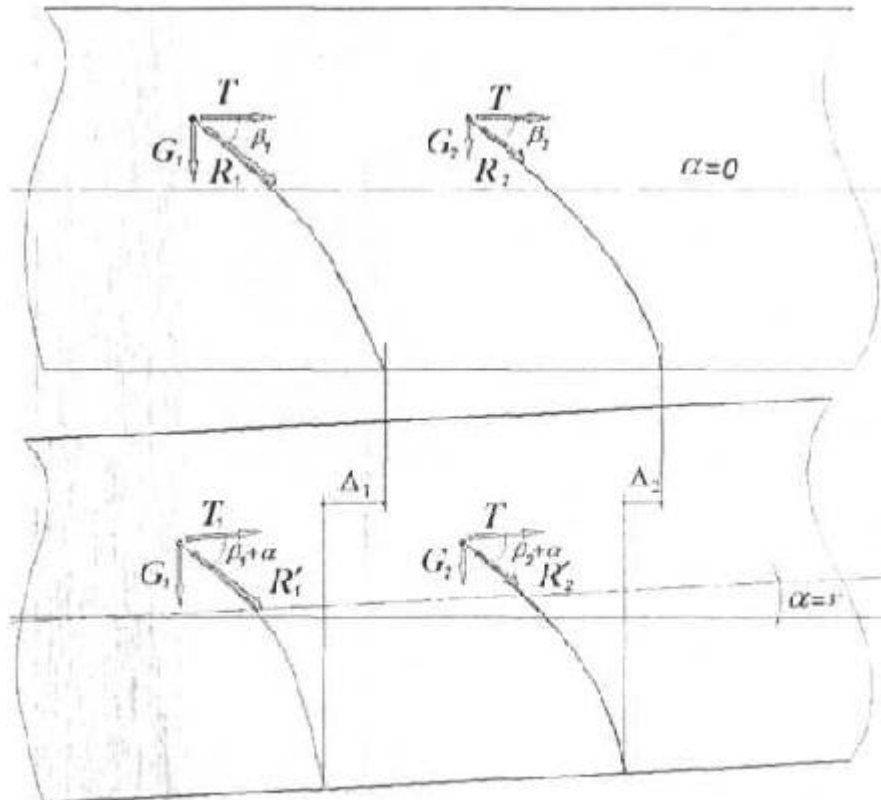
UA 123440 C2

полідисперсних середовищ рослинного походження, наприклад, для переробки деревини, торфу при виробництві біопалива.

Способом запропоновано здійснення процесу сушіння при динамічній зміні кута нахилу барабана від  $-3,3^\circ$  до  $+3,8^\circ$  відносно його горизонтального розташування із додатковим проведенням регулювання температури та витрати сушильного агента, залежно від дисперсного складу сипучого матеріалу і кутового розташування сушильного барабана.

Способом досягається рівномірність просушування біомаси незалежно від дисперсного складу, незалежно від сировини, умов її зберігання та пори року. Для цього підбирається відповідний кут встановлення барабана і регулюється температура та продуктивність сушильного транспоруючого агента.

Спосіб дозволяє зменшити витрати на виробництво кінцевої продукції при стабільних якісних показниках.



Фіг.

Винахід належить до галузі переробки продукції біологічного походження, зокрема сушіння сипких матеріалів, і може бути використаний для зневоднення полідисперсних середовищ рослинного походження, наприклад, при переробці відходів деревини, торфу та їх композицій при виробництві біопалива.

5 Відомий спосіб сушіння, реалізація якого включає розмелювання вихідного матеріалу із подачею у сепаратор сушильним газом, частина якого після нагріву у контурі повертається із додатковим його нагріванням полум'ям горілки і охолодженням частини потоку газу в газоохолоджувачі (патент РФ № 2450 224 кл. F26B 3/10 17/10 21/04, 10.05.2012 Бюл. № 13).

10 До основних недоліків способу слід віднести неможливість його реалізації для просушування біомаси полідисперсних речовин, особливо використання полум'я горілки в об'ємі, де безпосередньо провадиться розмелювання біоматеріалу.

Також відомий спосіб сушіння сипучих матеріалів в установці барабанного типу із газовою горілкою, підключеною до передньої частини барабана із пристроєм для утримання матеріалу, що висушується, а розвантажувальна камера через циклон підключена до димососа, продуктивність якого по витяжці газів, що відводяться, перевищує не менш ніж в 3 рази продуктивність газової горілки (патент РФ № 2407968 кл. F26B 11/00 23/02, 27.10.2010 Бюл. № 36).

Недоліком такого пристрою є надмірні енергетичні витрати, зумовлені втратою теплової енергії, що відводиться назовні, адже при перевищенні продуктивності відводу димових газів ускладнює процес рекуперації тепла. Окрім того, переміщення матеріалу, що сушиться, із передньої зони барабана в зону розвантаження (котра розташована нижче) вимагає використання пристрою затримки матеріалу, інакше процес буде неефективним за рахунок неоднорідності вологовмісту частинок, особливо при просушуванні полідисперсного середовища. Тому реалізація способу призводить до додаткових капітальних витрат.

25 Найбільш близьким до способу, що пропонується, є спосіб сушіння сипких матеріалів в барабанній сушарці, котрий полягає в подачі сипкого матеріалу у зону завантаження барабана, через який пропускають сушильний агент із одночасним перемішуванням матеріалу в сушильному барабані, та вивантаженням просушеного матеріалу (патент України UA 44155 кл. F26B 11/04, 15.01.2002 Бюл. № 1).

30 Недоліком способу є неоднорідність вологовмісту просушеного матеріалу, коли сировина являє собою сипкий матеріал полідисперсного складу (у реальних умовах поле дисперсності складає порядок і більше). Причиною є низхідне проходження матеріалу за відповідного розташування барабана при його обертанні. За такої технології час перебування частинок сировини приблизно рівний при їх різних розмірах, чому сприяє узгодження напряму дії сили тяжіння та сили аеродинамічного впливу сушильного агента. Для частинок більших розмірів потрібний більший час перебування в зоні термічного впливу сушильного агента, а тому не може бути досягнута селективність температурного та часового впливу на гранули, особливо, коли розміри часток матеріалу в діапазоні 1-2 порядків.

40 В основу винаходу поставлена задача вдосконалення способу сушіння композиційного матеріалу за рахунок того, що в процесі сушіння здійснюють динамічну зміну кута нахилу барабана від  $-3,3^{\circ}$  до  $+3,8^{\circ}$  відносно його горизонтального розташування, а також додатково проводиться регулювання температури та витрати сушильного агента, залежно від дисперсного складу сипучого матеріалу і кутового розташування сушильного барабана, що забезпечить однорідність просушування полідисперсного матеріалу і тим самим підвищить якість кінцевого продукту.

45 Поставлена задача вирішується способом сушіння композиційного матеріалу, який передбачає подачу сипкого матеріалу у зону завантаження сушильного барабана, через який пропускається сушильний агент із одночасним перемішуванням матеріалу, та вивантаження просушеного матеріалу, за рахунок того, що в процесі сушіння здійснюють динамічну зміну кута нахилу барабана від  $-3,3^{\circ}$  до  $+3,8^{\circ}$  відносно його горизонтального розташування, а також додатково проводять регулювання температури та витрати сушильного агента, залежно від дисперсного складу сипучого матеріалу і кутового розташування сушильного барабана.

50 Завдяки динамічній зміні кута нахилу барабана таким чином, що зони завантаження і розвантаження змінюють своє положення від  $-3,3^{\circ}$  до  $+3,8^{\circ}$  відносно горизонтального розташування барабана, створюються умови селективного просушування матеріалу залежно від розміру частинок. За рахунок цього, частинки більшого розміру, котрі містять більшу кількість вологи, а тому для їхнього просушування потрібно на 15...80 % більше часу для її видалення. Цьому сприяє запропоноване кутове позиціонування барабана, адже створюються необхідні умови багаторазового перемішування, коли високодисперсні частинки, що осушуються більш

інтенсивно, виносяться газовим середовищем із зони сушіння, а частинки більших розмірів довше знаходяться у зоні сушіння.

Завдяки додатковому регулюванню температури та витрати сушильного агента, залежно від дисперсного складу сипучого матеріалу і кутового розташування сушильного барабана дозволяє максимально оптимізувати процес сушіння залежно від початкового стану матеріалу, його композиційному вмісту (дисперсії деревини, торфу, інш.) та його гранулометричного складу.

Технічним результатом, запропонованого рішення є те, що періодична зміна кута нахилу барабана, за рахунок чого зони завантаження і розвантаження змінюють своє положення від  $-3,3^\circ$  до  $+3,8^\circ$  відносно горизонтального розташування барабана із додатковим узгодженням (залежно від вологості сировини) температури та продуктивності сушильного агента, впливає на траєкторію руху частинок, кількість циклів перемішування та впливає на час перебування частинок матеріалу, залежно від їх вологовмісту. Такий підхід створює умови для однорідного просушування матеріалу незалежно від характеристик сировини, умов її зберігання та гранулометричного складу. Також слід додатково відзначити більш повне спрацювання сушильного агента.

Суттєвими ознаками запропонованого способу сушіння, спільними з найближчим аналогом, є наступні:

спосіб сушіння в барабанній сушарці;  
подача сипкого матеріалу в зону завантаження барабана;  
пропускання сушильного агента, наприклад, димових газів, із одночасним перемішуванням матеріалу в сушильному барабані;  
вивантаженням просушеного матеріалу із сушильного барабана.

До нових ознак винаходу слід віднести:

процес проводиться із динамічною зміною кута нахилу барабана із зміною положення зон завантаження і розвантаження від  $-3,3^\circ$  до  $+3,8^\circ$  відносно горизонтальної осі розташування барабана, залежно від вологості сировини, та дисперсного складу;

додаткове проведення узгодження температури та продуктивності сушильного агента залежно від дисперсного складу сипкого матеріалу і кутового розташування сушильного барабана.

Спосіб здійснюється наступним чином. Матеріал піддається перемішуванню в обертовому барабані, при цьому кожна частинка здійснює складний рух. Дисперсний матеріал піднімається лопатями, котрими обладнана внутрішня частина обертового барабана, і, досягнувши висоти зсипання ( $0,5-0,8 D_{\text{барабан.}}$ ), опускається (під дією сили тяжіння  $G$ ) у його нижню частину. Крізь падаючий шар пропускається потік нагрітого газового агента (димові газы, нагріте повітря), завдяки якому створюються умови конвективного сушіння композиційного матеріалу та його переміщення (під дією аеродинамічної сили  $T$ ) у напрямі зони вивантаження сухого біологічного матеріалу. Таким чином, залежно від розміру частинки, матеріал, просушується і переміщується сушильним агентом, із "кроком"  $D$  за кожний цикл.

Тому на кожну частинку сировини діють:

сила тяжіння

$$G = m_q \cdot g = V \cdot \rho_q \cdot g = \frac{\pi d_q^3}{6} (\rho_{\text{сух.ч}} + \rho_{\text{волог.}}) \cdot g ;$$

для сферичних частинок:

$$G = c_1 l_q^3 (\rho_{\text{сух.ч}} + \rho_{\text{волог.}}) \cdot g ;$$

аеродинамічна сила (співмірна силі тартя)

$$T = \mu \cdot F \frac{dw}{dl} = \mu \pi \frac{d^2}{4} \frac{dw}{dl} ;$$

для сферичних частинок:

$$T = c_2 \mu l^2 \frac{dw}{dl} .$$

для частинок неправильної форми:

Рівнодійна сила в загальному випадку, ґрунтуючись на другому законі Ньютона, запишеться:

$$R = m_q \cdot a = V \cdot \rho_q \cdot \frac{dw}{d\tau} = \frac{\pi d_q^3}{6} (\rho_{\text{сух.ч}} + \rho_{\text{волог.}}) \cdot \frac{dw}{d\tau} ;$$

для сферичних частинок:

$$G = c_1 l^3 (\rho_{\text{сух.ч}} + \rho_{\text{волог.}}) \cdot \frac{dw}{dl} ,$$

неправильної форми:

де  $m_{\text{ч}}$ ,  $\rho_{\text{ч}}$ ,  $\rho_{\text{сух.ч}}$ ,  $\rho_{\text{волог}}$  відповідно маса частинки, питома вага частинки, питома вага сухої частинки, питома вага вологи, що містить частинка;  $V$  і  $F$  - об'єм і поверхня частинки,  $l$  - визначальний розмір для частинок неправильної форми,  $C_1$ ,  $C_2$  - коефіцієнти форм фактору;  $w$  - швидкість сушильного агента.

5 Силу Архімеда можна не враховувати.

В процесі сушіння, за рахунок втрати частинкою вологи і, відповідно, зменшується питома густина частинок, вплив сили тяжіння зменшується, а аеродинамічна сила залишається стабільною (завдяки стабільності аеродинамічного діаметра), що сприяє транспортуванню частинки. Але кінетика сушіння, за усіх рівних умов, залежить від розміру частинки. Відповідно частинки різних розмірів мають різний вологовміст а тому для полідисперсного середовища необхідно створити такі умови, щоб вологовміст частинок композиційного матеріалу був однаковий в зоні вивантаження, незалежно від розмірів. Недотримання цієї умови призводить до руйнування цільового продукту, котрий отримується в результаті пресування матеріалу (деревно-стружкові плити, паливні брекети, інш.).

15 Суть винаходу графічно зображена схемою на кресленні (фіг.), що ілюструє схеми руху частинки при горизонтальному розташуванні барабана і при зміненому куті нахилу у бік зони завантаження матеріалу.

За рівних умов, результуючі  $R$  і  $R''$  впливу діючих сил такий, що "крок" циклу осушування-транспортування є змінний, причиною чого є  $G\text{-var}$  ( $\Delta_1$  і  $\Delta_2$ ). При цьому досягається забезпечення рівномірності просушування частинок за рахунок різниці кількості циклів перемішування, відповідно часу перебування у барабані під дією сушильного агента.

20 Динамічна зміну кута нахилу барабана із взаємним узгодженням, температури та витрати сушильного агента дозволяє оптимізувати процес сушіння незалежно від виду сировини, її дисперсного складу, умов її зберігання, при цьому уникнути перевитрат енергії, що витрачається на проведення процесу.

Приклад здійснення способу

30 Запропонованим способом відслідковувався процес сушіння композиційного матеріалу (деревини та торфу) із розмірами частинок 0,5...5 мм, вологістю  $W$  до 70 %, в барабанній сушарці, діаметр барабана  $D=1,7$  м, довжина барабана  $L=11$  м, при числі обертів  $n=4$  об/хв, вхідній температурі сушильного агента 250...400 °C при зміні кута нахилу положення барабана - 3°, 0°, +3°.

Результати зведені у таблиці

Вплив початкової температури сушильного агента на показники процесу зневоднення (за рахунок різниці температур сушильного агента).

35

Кут нахилу барабана $\beta$ град.	-3	0	+3
Підвищення питомої об'ємної продуктивності сушарки за випареною вологою	110 %	20 %	0
Діапазон регулювання кг/м куб. год.	20	10	10
Зменшення витрати теплоти на випаровування вологи	11 %	4 %	0
Діапазон регулювання кДж/кг	300	380	450

Вплив швидкості обертання сушильного барабана на показники процесу зневоднення (за рахунок різниці температур сушильного агента).

40

Кут нахилу барабана $\beta$ град.		0	+3
Підвищення питомої об'ємної продуктивності сушарки за випареною вологою	120 %	33 %	0
Діапазон регулювання кг/м куб. год.	12	5	5
Зменшення витрати теплоти на випаровування вологи	11 %	4 %	0
Діапазон регулювання кДж/кг	510	100	150

Вплив середнього розміру частинок композиційного матеріалу на показники процесу зневоднення (за рахунок різниці температур сушильного агента).

Кут нахилу барабана $\beta$ град.	-3	0	+3
Підвищення питомої об'ємної продуктивності сушарки за випареною вологою	100 %	35 %	0
Діапазон регулювання кг/м куб. год.	25	25	25
Зменшення витрати теплоти на випаровування води	6 %	3 %	0
Діапазон регулювання кДж/кг	400	500	600

Таким чином, спосіб сушіння композиційного матеріалу дозволяє проводити процес рівномірного сушіння полідисперсного матеріалу і є більш економічним по витратах теплоти.

5 Новим, у запропонованому рішенні, є проведення процесу сушіння композиційного матеріалу при динамічній зміні кута нахилу барабана від  $-3,3^\circ$  до  $+3,8^\circ$  відносно його горизонтального розташування із додатковим проведенням регулювання температури та витрати сушильного агента, залежно від дисперсного складу сипучого матеріалу і кутового розташування сушильного барабана. Цим досягається рівномірність просушування біомаси незалежно від дисперсного складу. При цьому слід відзначити універсальність способу, котрий

10 реалізується у відповідному пристрої, адже спосіб не обмежений однією сировиною і може застосовуватися для сушіння різної сировини, за різних умов її зберігання та пори року. Для цього підбирається відповідний кут встановлення барабана (із зазначеного діапазону) і регулюється температура та температура сушильного агента. Важливим є те, що однорідність вологовмісту полідисперсної сировини є визначальним параметром щодо міцності виробів, котрі

15 виготовляються шляхом пресування біомаси, наприклад, паливні брикети, харчова продукція, плити тощо.

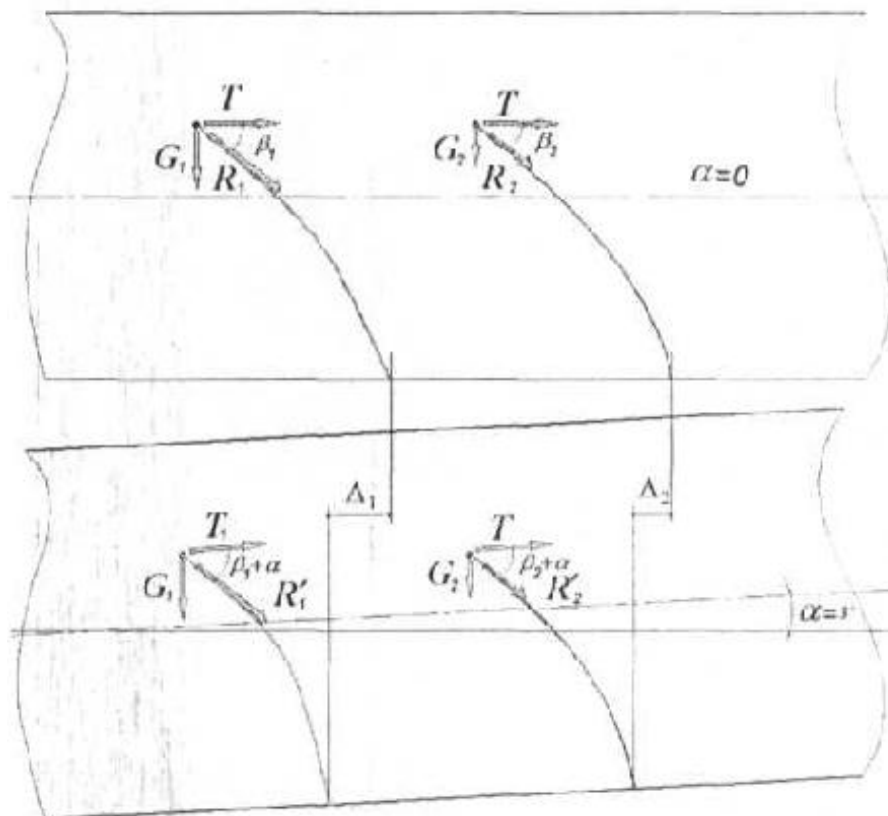
Таким чином, спосіб дає можливість зменшити витрати на виробництво кінцевої продукції.

20

#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

25

Спосіб сушіння композиційного матеріалу, який передбачає подачу сипкого матеріалу у зону завантаження сушильного барабана, через який пропускається сушильний агент із одночасним перемішуванням матеріалу, та вивантаження просушеного матеріалу, який **відрізняється** тим, що в процесі сушіння здійснюють динамічну зміну кута нахилу барабана від  $-3,3^\circ$  до  $+3,8^\circ$  відносно його горизонтального розташування, а також додатково проводять регулювання температури та витрати сушильного агента, залежно від дисперсного складу сипучого матеріалу і кутового розташування сушильного барабана.



Фіг.