**Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук**
**на тему:**
# «ПРОЦЕС СУШІННЯ ФЛЮТИНГУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЕНЕРГІЇ ІНФРАЧЕРВОНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ»

Дисертаційна робота спрямована на вирішення важливої науково-технічної задачі – підвищення ефективності процесу сушіння флютингу шляхом застосування інфрачервоного випромінювання.

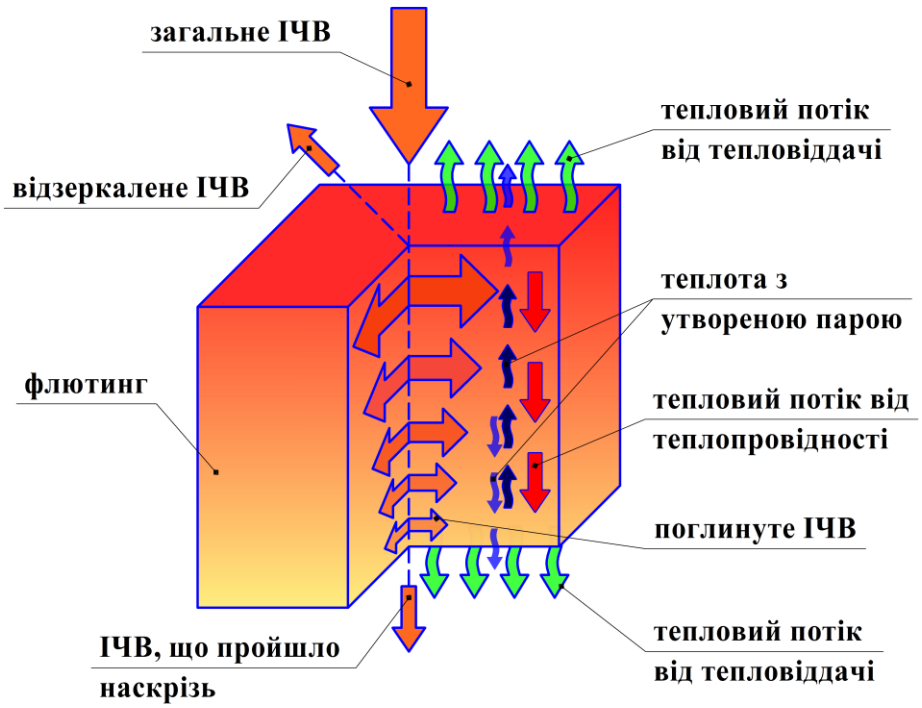
Аспірант: *Новохат Олег Анатолійович*

Науковий керівник:
к.т.н., професор *Марчевський Віктор Миколайович*

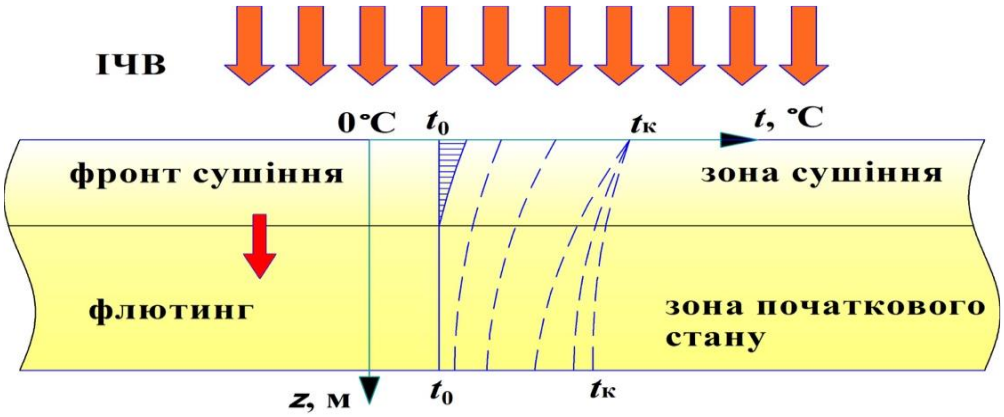
**Дисертацію захищено 27 грудня 2016 р.**

У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-технічну задачу створення ефективного та екологічного способу сушіння флютингу із застосуванням енергії інфрачервоного випромінювання та розробку сучасного ефективного сушильного обладнання.

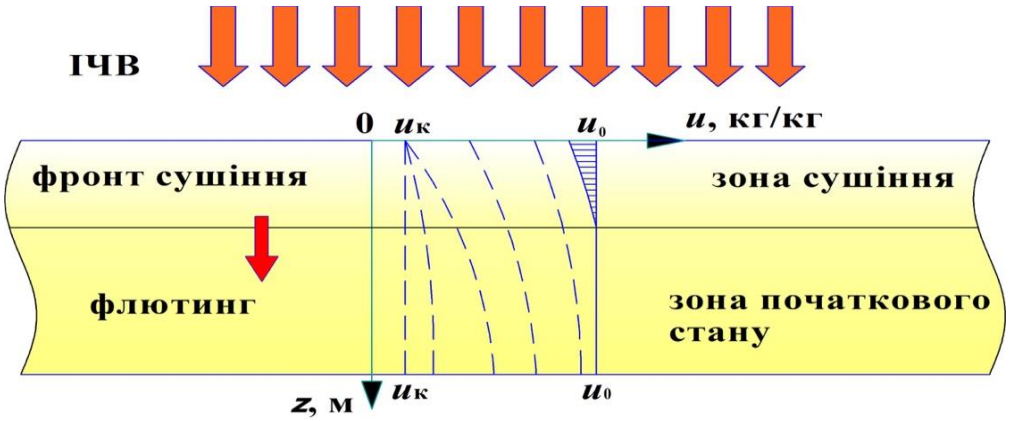
**Фізична модель процесу сушіння флютингу із застосуванням енергії інфрачервоного випромінювання:**



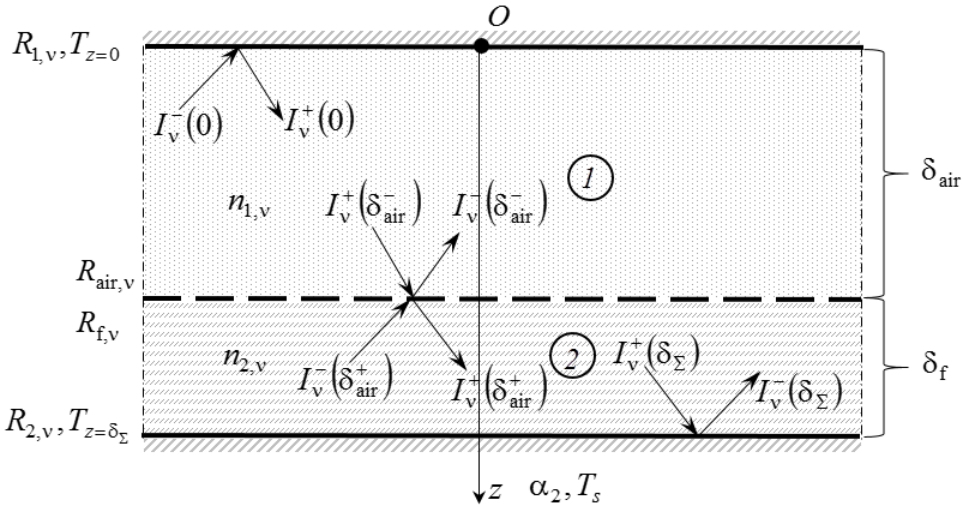

Модель сушіння (просторова)




Розподіл температурних полів за товщиною флютингу



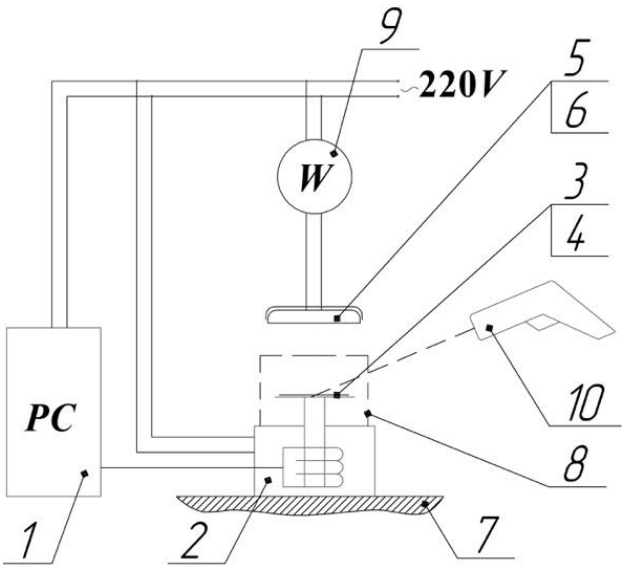

Розподіл вологовмісту за товщиною флютингу




1 – вологе повітря; 2 – флютинг

Схема проходження інфрачервоного випромінювання через флютинг

**Установка для дослідження кінетики сушіння флютингу із застосуванням енергії інфрачервоного випромінювання:**




1 – персональний комп’ютер; 2 – електронні ваги; 3 – зразок флютингу; 4 – платформа вагів;5 – ІЧ випромінювач; 6 – рефлектор; 7 – вібростійка поверхня; 8 – вітрозахисний кожух; 9 – ватметр; 10 – пірометр

**Розроблена математична модель процесу сушіння флютингу:**

Математична постановка задачі сушіння флютингу із застосуванням інфрачервоного випромінювання:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial T}{\partial \tau} = a_{eff}(T)\dfrac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \dfrac{q_r\left(T_{z=0}\right)}{c_{p\,eff}(T)\rho_{eff}(T)} Ke^{-Kz} - \dfrac{\rho_f(T) r}{\rho_{eff}(T) c_{p\,eff}(T)} \dfrac{du}{d\tau}; \\ q_r\left(T_{z=0}\right) = \varepsilon_{pr}\left(K_{a-v}\right)\sigma\left(T_{IR}^4 - T_{z=0}^4\right); \\ \dfrac{du}{d\tau} = \dfrac{\beta}{g}\left[p_н\left(T_{z=0}^{+}\right) - p_n\left(T_{z=0}^{-}\right)\right] + k\left(u - u_p\right). \end{cases}$$

Граничні умови:

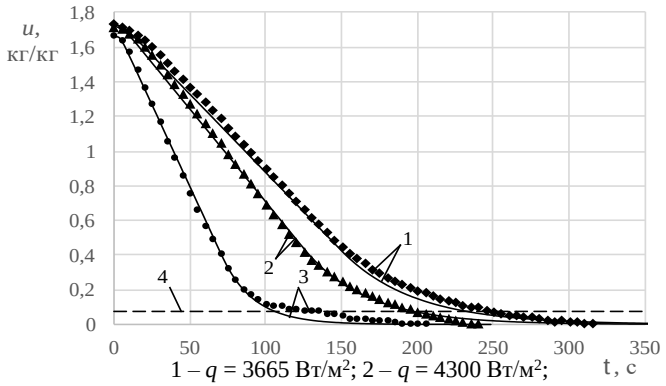
– на непрозорій границі ІЧ-випромінювача задано граничні умови І роду:

$$\boldsymbol{T_{IR} = T(W)},$$

– на верхній та нижній поверхні флютингу задано граничні умови ІІІ роду:

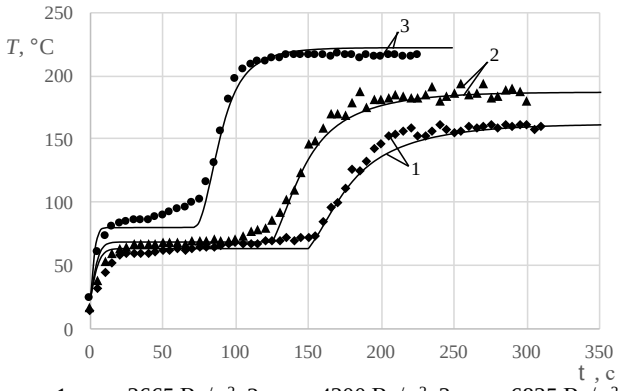
$$\boldsymbol{n}\cdot\left(-\lambda_{eff}(T)\nabla T\right)\Big|_{z=0} = \alpha_1\left(T - T_{s_1}\right) \quad ; \quad \boldsymbol{n}\cdot\left(-\lambda_{eff}(T)\nabla T\right)\Big|_{z=\delta_f} = \alpha_2\left(T - T_{s_2}\right)$$

**Встановлено кінетичні закономірності процесу сушіння флютингу із застосуванням енергії інфрачервоного випромінювання:**



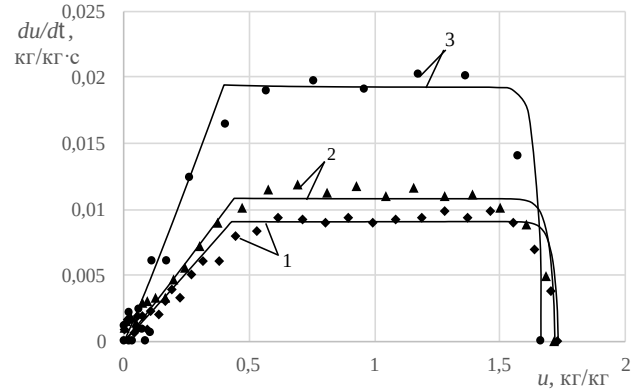

1 – $q$ = 3665 Вт/м²; 2 – $q$ = 4300 Вт/м²;
3 – $q$ = 6835 Вт/м²; 4 – $u$ = 0,075 кг/кг ($w$ = 7%);
●,▲,♦ –дослідні дані; — – теоретичні дані

**Залежність вологовмісту флютингу від часу сушіння для різних значень густини теплового потоку**



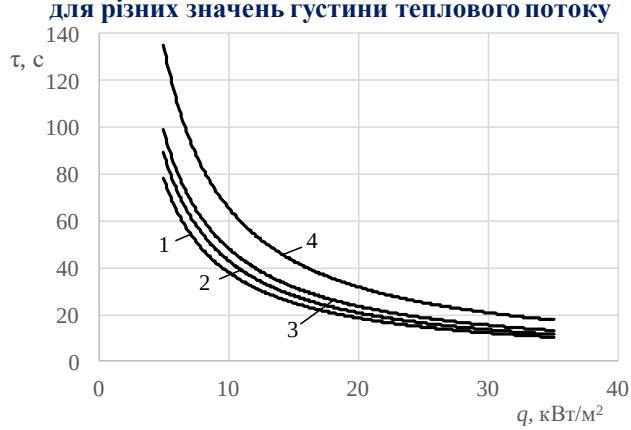

1 – $q$ = 3665 Вт/м²; 2 – $q$ = 4300 Вт/м²; 3 – $q$ = 6835 Вт/м²;
●,▲,♦ –дослідні дані; — – теоретичні дані

**Залежність температури флютингу від часу сушіння для різних значень густини теплового потоку**




1 – $q$ = 3665 Вт/м²; 2 – $q$ = 4300 Вт/м²; 3 – $q$ = 6835 Вт/м²;
●,▲,♦ –дослідні дані; — – теоретичні дані

**Залежність швидкості сушіння від вологовмісту для різних значень густини теплового потоку**



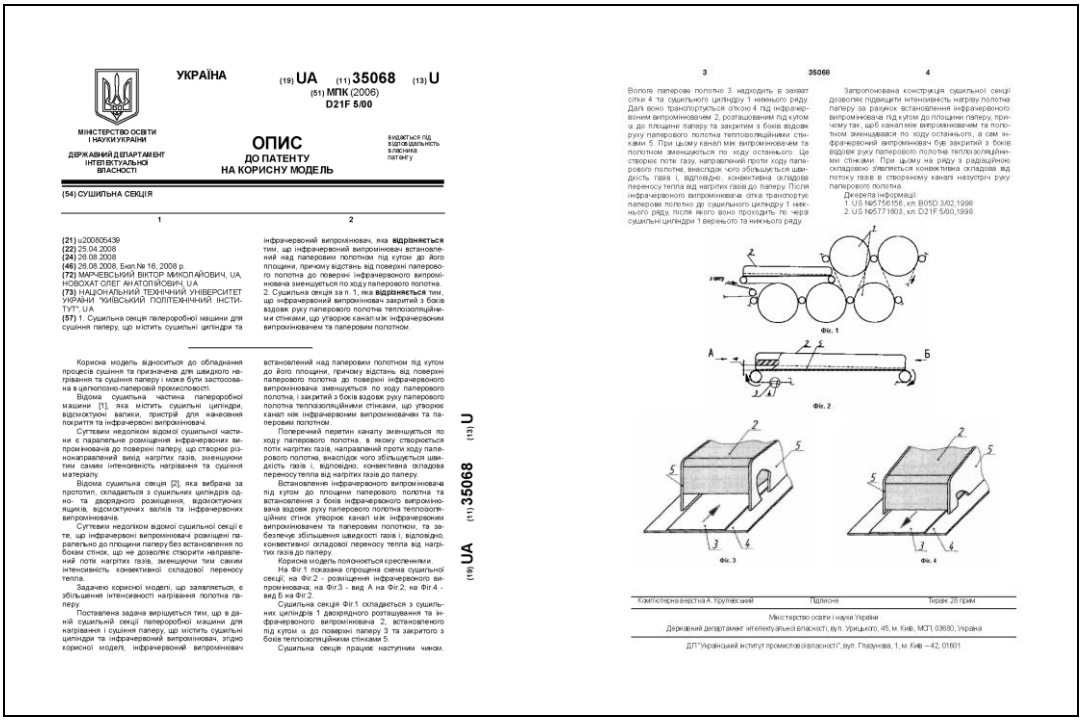

1 – $g$ =112 г/м²; 2 – $g$ =125 г/м²; 3 – $g$ =140 г/м²; 4 – $g$ = 200 г/м²

**Залежність тривалості першого періоду сушіння флютингу від густини теплового потоку**

## Розроблено пристрої для інтенсифікації процесу сушіння:

З метою швидкого нагрівання флютингу на початку сушіння розроблено пристрій сушильної секції папероробної машини (патент України №35068).

Згідно патенту, полотно флютингу проходить під інфрачервоними випромінювачами, спрямованими до нього. Для зменшення теплових втрат інфрачервона панель накрита зверху та з боків кожухом з матеріалу, що має високу ступінь відбиття ІЧВ. Полотно флютингу, інфрачервона панель та бокові кришки утворюють канал для повітря. Кут між полотном та інфрачервоною панеллю зменшується по ходу полотна. Це створює рух повітря в напряму, протилежному до руху паперового полотна. Це покращує відведення парів води, інтенсифікуючи процес сушіння.



УКРАЇНА (19) UA (11) 35068 (13) U
(51) МПК (2006) D21F 5/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під відповідальність власника патенту

(54) СУШИЛЬНА СЕКЦІЯ

(21) u200805439
(22) 25.04.2008
(24) 26.08.2008
(46) 26.08.2008, Бюл.№ 16, 2008 р.
(72) МАРЧЕВСЬКИЙ ВІКТОР МИКОЛАЙОВИЧ, UA, НОВОХАТ ОЛЕГ АНАТОЛІЙОВИЧ, UA
(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ", UA
(57) 1. Сушильна секція паперобробної машини для сушіння паперу, що містить сушильні циліндри та інфрачервоний випромінювач, яка **відрізняється** тим, що інфрачервоний випромінювач встановлений над паперовим полотном під кутом до його площини, причому відстань від поверхні паперового полотна до поверхні інфрачервоного випромінювача зменшується по ходу паперового полотна.
2. Сушильна секція за п. 1, яка **відрізняється** тим, що інфрачервоний випромінювач закритий з боків вздовж руху паперового полотна теплоізоляційними стінками, що утворює канал між інфрачервоним випромінювачем та паперовим полотном.

Корисна модель відноситься до обладнання процесів сушіння та призначена для швидкого нагрівання та сушіння паперу і може бути застосована в целюлозно-паперовій промисловості.

Відома сушильна частина паперобробної машини [1], яка містить сушильні циліндри, відсмоктуючі валики, пристрій для нанесення покриття та інфрачервоні випромінювачі.

Суттєвим недоліком відомої сушильної частини є паралельне розміщення інфрачервоних випромінювачів до поверхні паперу, що створює розконцентрований вихід нагрітих газів, зменшуючи тим самим інтенсивність нагрівання та сушіння матеріалу.

Відома сушильна секція [2], яка вибрана за прототип, складається з сушильних циліндрів одно- та дворядного розміщення, відсмоктуючих ящиків, відсмоктуючих валків та інфрачервоних випромінювачів.

Суттєвим недоліком відомої сушильної секції є те, що інфрачервоні випромінювачі розміщені паралельно до площини паперу без встановлення по боках стінок, що не дозволяє створити направлений потік нагрітих газів, зменшуючи тим самим інтенсивність конвективної складової переносу тепла.

Задачею корисної моделі, що заявляється, є збільшення інтенсивності нагрівання полотна паперу.

Поставлена задача вирішується тим, що в даній сушильній секції паперобробної машини для нагрівання і сушіння паперу, що містить сушильні циліндри та інфрачервоний випромінювач, згідно корисної моделі, інфрачервоний випромінювач встановлений над паперовим полотном під кутом до його площини, причому відстань від поверхні паперового полотна до поверхні інфрачервоного випромінювача зменшується по ходу паперового полотна, і закритий з боків вздовж руху паперового полотна теплоізоляційними стінками, що утворює канал між інфрачервоним випромінювачем та паперовим полотном.

Поперечний перетин каналу зменшується по ходу паперового полотна, в якому створюється потік нагрітих газів, направлений проти ходу паперового полотна, внаслідок чого збільшується швидкість газів і, відповідно, конвективна складова переносу тепла від нагрітих газів до паперу.

Встановлення інфрачервоного випромінювача під кутом до площини паперового полотна та встановлення з боків інфрачервоного випромінювача вздовж руху паперового полотна теплоізоляційних стінок, утворює канал між інфрачервоним випромінювачем та паперовим полотном, та забезпечує збільшення швидкості газів і, відповідно, конвективної складової переносу тепла від нагрітих газів до паперу.

Корисна модель пояснюється кресленнями.

На Фіг.1 показана спрощена схема сушильної секції; на Фіг.2 - розміщення інфрачервоного випромінювача; на Фіг.3 - вид А на Фіг.2; на Фіг.4 - вид Б на Фіг.2.

Сушильна секція Фіг.1 складається з сушильних циліндрів 1 дворядного розташування та інфрачервоного випромінювача 2, встановленого під кутом α до поверхні паперу 3 та закритого з боків теплоізоляційними стінками 5.

Сушильна секція працює наступним чином.

Вологе паперове полотно 3 надходить в захват сітки 4 та сушильного циліндру 1 нижнього ряду. Далі воно транспортується сіткою 4 під інфрачервоним випромінювачем 2, розташованим під кутом α до площини паперу та закритим з боків вздовж руху паперового полотна теплоізоляційними стінками 5. При цьому канал між випромінювачем та полотном зменшується по ходу останнього. Це створює потік газу, направлений проти ходу паперового полотна, внаслідок чого збільшується швидкість газів і, відповідно, конвективна складова переносу тепла від нагрітих газів до паперу. Після інфрачервоного випромінювача сітка транспортує паперове полотно до сушильного циліндру 1 нижнього ряду, після якого воно проходить по черзі сушильні циліндри 1 верхнього та нижнього ряду.

Запропонована конструкція сушильної секції дозволяє підвищити інтенсивність нагріву полотна паперу за рахунок встановлення інфрачервоного випромінювача під кутом до площини паперу, причому так, щоб канал між випромінювачем та полотном зменшувався по ходу останнього, а сам інфрачервоний випромінювач був закритий з боків вздовж руху паперового полотна теплоізоляційними стінками. При цьому на ряду з радіаційною складовою зростається конвективна складова від потоку газів в створеному каналі назустріч руху паперового полотна.

Джерела інформації:
1. US №5756156, кл. B05D 3/02,1998
2. US №5771603, кл. D21F 5/00,1998

Фіг. 1
Фіг. 2
Фіг. 3
Фіг. 4

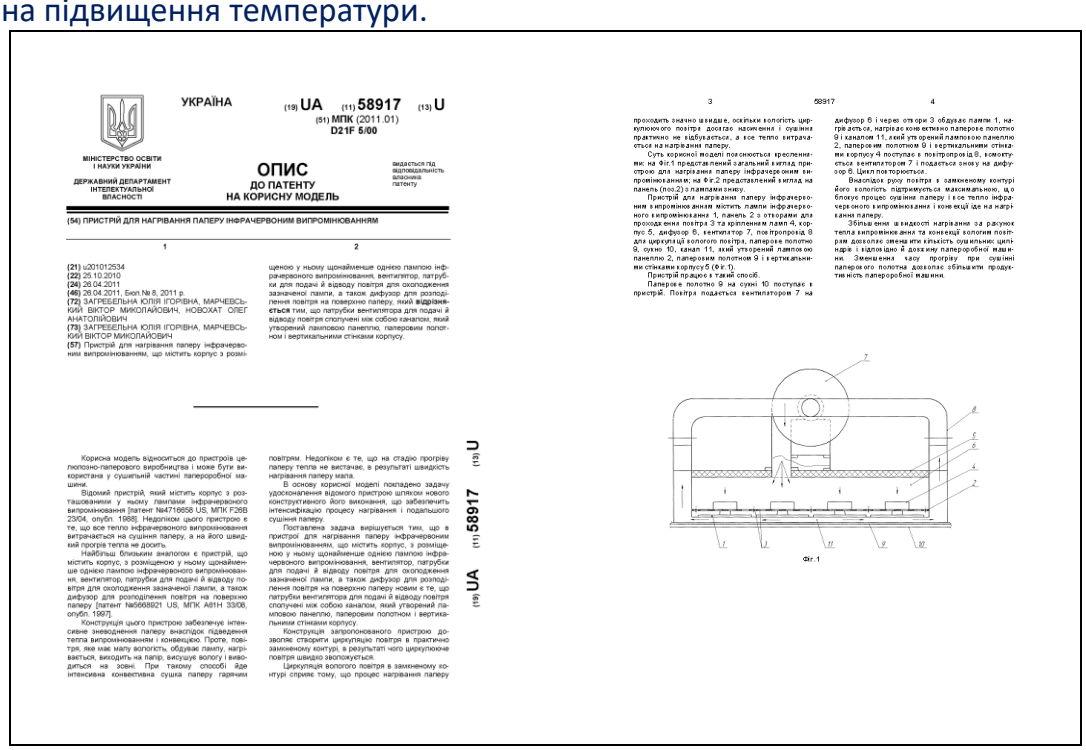
Комп'ютерна верстка А. Крулевський | Підписне | Тираж 28 Прим

Міністерство освіти і науки України
Державний департамент інтелектуальної власності, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глушкова, 1, м. Київ – 42, 01601

Для модернізації ПРМ розроблено пристрій для нагрівання флютингу інфрачервоним випромінюванням (патент України №58917).

Згідно патенту, встановлення інфрачервоних випромінювачів на початку сушильної частини ПРМ дає змогу швидко нагрівати полотно флютингу. А особливість конструкції збільшує інтенсивність нагрівання в зв’язку з тим, що процес відбувається за 100 % відносної вологості. Це зменшує інтенсивність випаровування в періоді нагрівання і вся теплота від ІЧВ витрачається на підвищення температури.



УКРАЇНА (19) UA (11) 58917 (13) U
(51) МПК (2011.01) D21F 5/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під відповідальність власника патенту

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ НАГРІВАННЯ ПАПЕРУ ІНФРАЧЕРВОНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ

(21) u201012534
(22) 26.10.2010
(24) 26.04.2011
(46) 26.04.2011, Бюл.№ 8, 2011 р.
(72) ЗАГРЕБЕЛЬНА ЮЛІЯ ІГОРІВНА, МАРЧЕВСЬКИЙ ВІКТОР МИКОЛАЙОВИЧ, НОВОХАТ ОЛЕГ АНАТОЛІЙОВИЧ
(73) ЗАГРЕБЕЛЬНА ЮЛІЯ ІГОРІВНА, МАРЧЕВСЬКИЙ ВІКТОР МИКОЛАЙОВИЧ
(57) Пристрій для нагрівання паперу інфрачервоним випромінюванням, що містить корпус з розміщеною у ньому щонайменше однією лампою інфрачервоного випромінювання, вентилятор, патрубки для подачі й відводу повітря для охолодження зазначеної лампи, а також дифузор для розподілення повітря на поверхню паперу, який **відрізняється** тим, що патрубки вентилятора для подачі й відводу повітря сполучені між собою каналом, який утворений ламповою панеллю, паперовим полотном і вертикальними стінками корпусу.

Корисна модель відноситься до пристроїв целюлозно-паперового виробництва і може бути використана у сушильній частині паперобробної машини.

Відомий пристрій, який містить корпус з розташованими у ньому лампами інфрачервоного випромінювання [патент №4716658 US, МПК F26B 23/04, опубл. 1988]. Недоліком цього пристрою є те, що все тепло інфрачервоного випромінювання витрачається на сушіння паперу, а на його швидкий прогрів тепла не досить.

Найбільш близьким аналогом є пристрій, що містить корпус, з розміщеною у ньому щонайменше однією лампою інфрачервоного випромінювання, вентилятор, патрубки для подачі й відводу повітря для охолодження зазначеної лампи, а також дифузор для розподілення повітря на поверхню паперу [патент №5668921 US, МПК A61H 33/08, опубл. 1997].

Конструкція цього пристрою забезпечує інтенсивне знекоднення паперу внаслідок підведення тепла випромінюванням і конвекцією. Проте, повітря, яке має малу вологість, обдуває лампу, нагрівається, виходить на папір, висушує вологу і виводиться на зовні. При такому способі йде інтенсивна конвективна сушка паперу гарячим повітрям. Недоліком є те, що на стадію прогріву паперу тепла не вистачає, в результаті швидкість нагрівання паперу мала.

В основу корисної моделі покладено задачу удосконалення відомого пристрою шляхом нового конструктивного його виконання, що забезпечить інтенсифікацію процесу нагрівання і подальшого сушіння паперу.

Поставлена задача вирішується тим, що в пристрої для нагрівання паперу інфрачервоним випромінюванням, що містить корпус, з розміщеною у ньому щонайменше однією лампою інфрачервоного випромінювання, вентилятор, патрубки для подачі й відводу повітря для охолодження зазначеної лампи, а також дифузор для розподілення повітря на поверхню паперу новим є те, що патрубки вентилятора для подачі й відводу повітря сполучені між собою каналом, який утворений ламповою панеллю, паперовим полотном і вертикальними стінками корпусу.

Конструкція запропонованого пристрою дозволяє створити циркуляцію повітря в практично замкненому контурі, в результаті чого циркулюючe повітря швидко зволожується.

Циркуляція вологого повітря в замкненому контурі сприяє тому, що процес нагрівання паперу проходить значно швидше, оскільки вологість циркулюючого повітря досягає максимальної і сушіння практично не відбувається, а все тепло витрачається на нагрівання паперу.

Суть корисної моделі пояснюється кресленнями: на Фіг.1 представлений загальний вигляд пристрою для нагрівання паперу інфрачервоним випромінюванням; на Фіг.2 представлений вигляд на панель (поз.2) з лампами знизу.

Пристрій для нагрівання паперу інфрачервоним випромінюванням містить лампи інфрачервоного випромінювання 1, панель 2 з отворами для проходження повітря 3 та кріплення ламп 4, корпус 5, дифузор 6, вентилятор 7, повітропровід 8 для циркуляції вологого повітря, паперове полотно 9, сушку 10, канал 11, який утворений ламповою панеллю 2, паперовим полотном 9 і вертикальними стінками корпусу 5 (Фіг.1).

Пристрій працює в такий спосіб.

Паперове полотно 9 на сушці 10 поступає в пристрій. Повітря подається вентилятором 7 на дифузор 6 і через отвори 3 обдуває лампи 1, нагрівається, нагріває конвективно паперове полотно 9 і канал 11, який утворений ламповою панеллю 2, паперовим полотном 9 і вертикальними стінками корпусу 4 поступає в повітропровід 8, комутується вентилятором 7 і подається знову на дифузор 6. Цикл повторюється.

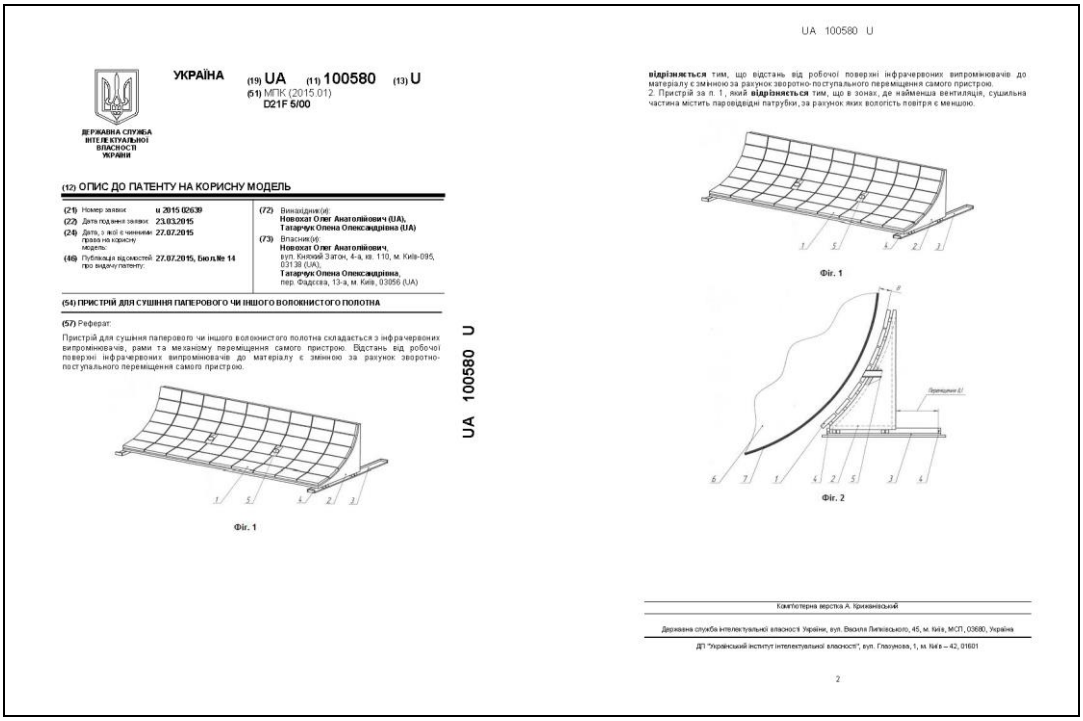
Внаслідок руху повітря в замкненому контурі його вологість підтримується максимальною, що блокує процес сушіння паперу і все тепло інфрачервоного випромінювання і конвекції йде на нагрівання паперу.

Збільшення швидкості нагрівання за рахунок тепла випромінювання та конвекції вологим повітрям дозволяє замінити кількість сушильних циліндрів і відповідно й довжину паперобробної машини. Зменшення часу прогріву при сушінні паперового полотна дозволяє збільшити продуктивність паперобробної машини.

Фіг.1

Для інтенсифікації сушіння полотна флютингу завдяки застосування ІЧВ, швидкого та зручного відведення, в разі необхідності, гарячої поверхні випромінювачів розроблена конструкція (патент України №100580).

Теплота від проходження інфрачервоного випромінювання поглинається флютингом, інтенсифікуючи процес сушіння. А циркуляційні отвори зменшують вологість парогазової суміші біля поверхні флютингу.



UA 100580 U

УКРАЇНА (19) UA (11) 100580 (13) U
(51) МПК (2015.01) D21F 5/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2015 02639
(22) Дата подання заявки: 23.03.2015
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 27.07.2015
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 27.07.2015, Бюл.№ 14

(72) Винахідник(и): Новохат Олег Анатолійович (UA), Татарчук Олена Олександрівна (UA)
(73) Власник(и): Новохат Олег Анатолійович, вул. Київий Затон, 4-а, кв. 110, м. Київ-095, 03138 (UA); Татарчук Олена Олександрівна, пер. Федосєєва, 13-а, м. Київ, 03056 (UA)

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ СУШІННЯ ПАПЕРОВОГО ЧИ ІНШОГО ВОЛОКНИСТОГО ПОЛОТНА

(57) Реферат:

Пристрій для сушіння паперового чи іншого волокнистого полотна складається з інфрачервоних випромінювачів, рами та механізму переміщення самого пристрою. Відстань від робочої поверхні інфрачервоних випромінювачів до матеріалу є змінною за рахунок зворотно-поступального переміщення самого пристрою.

Фіг. 1

UA 100580 U

**відрізняється** тим, що відстань від робочої поверхні інфрачервоних випромінювачів до матеріалу є змінною за рахунок зворотно-поступального переміщення самого пристрою.
2. Пристрій за п. 1, який **відрізняється** тим, що в зонах, де найменша вентиляція, сушильна частина містить пароводяні патрубки, за рахунок яких вологість повітря є меншою.

Фіг. 1

Фіг. 2

Комп'ютерна верстка А. Кривенської

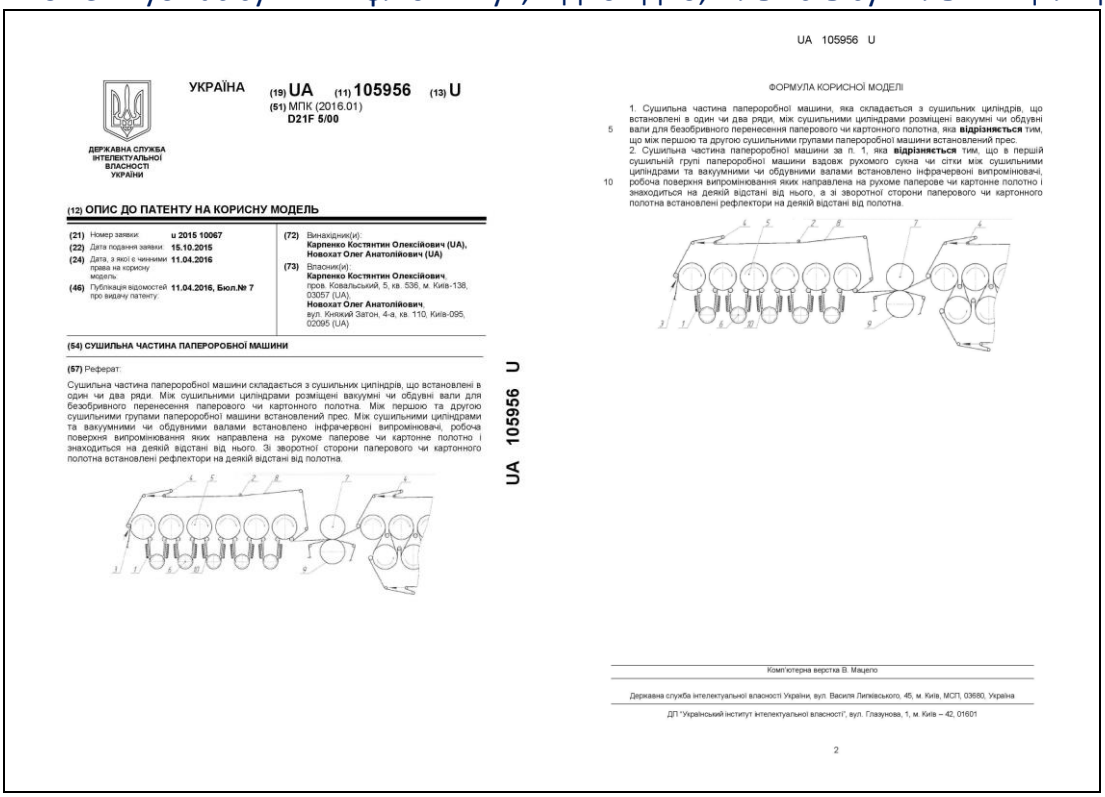
Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

2

Для інтенсифікації сушіння флютингу розроблено конструкцію сушильної групи папероробної машини (патент України №105956).

Установки інфрачервоних випромінювачів монтуються на вільному пробігу полотна флютингу. Додаткове підведення теплоти завдяки встановленню інфрачервоних випромінювачів зменшує час сушіння флютингу і, відповідно, кількість сушильних циліндрів.



UA 105956 U

УКРАЇНА (19) UA (11) 105956 (13) U
(51) МПК (2016.01) D21F 5/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2015 10067
(22) Дата подання заявки: 15.10.2015
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 11.04.2016
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 11.04.2016, Бюл.№ 7

(72) Винахідник(и): Карпенко Костянтин Олексійович (UA), Новохат Олег Анатолійович (UA)
(73) Власник(и): Карпенко Костянтин Олексійович, пров. Ковальський, 5, кв. 536, м. Київ-138, 03057 (UA); Новохат Олег Анатолійович, вул. Київий Затон, 4-а, кв. 110, Київ-095, 02095 (UA)

(54) СУШИЛЬНА ЧАСТИНА ПАПЕРОРОБНОЇ МАШИНИ

(57) Реферат:

Сушильна частина папероробної машини складається з сушильних циліндрів, що встановлені в один чи два ряди. Між сушильними циліндрами розміщені вакуумні чи обдувні вали для безобривного перенесення паперового чи картонного полотна. Між першою та другою сушильними групами папероробної машини встановлений прес. Між сушильними циліндрами та вакуумними чи обдувними валами встановлено інфрачервоні випромінювачі, робоча поверхня випромінювання яких направлена на рухоме паперове чи картонне полотно і знаходиться на деякій відстані від нього. Зі зворотної сторони паперового чи картонного полотна встановлені рефлектори на деякій відстані від полотна.

UA 105956 U

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Сушильна частина папероробної машини, яка складається з сушильних циліндрів, що встановлені в один чи два ряди, між сушильними циліндрами розміщені вакуумні чи обдувні вали для безобривного перенесення паперового чи картонного полотна, яка **відрізняється** тим, що між першою та другою сушильними групами папероробної машини встановлений прес.
2. Сушильна частина папероробної машини за п. 1, яка **відрізняється** тим, що в першій сушильній групі папероробної машини вздовж рухомого сукна чи сітки між сушильними циліндрами та вакуумними чи обдувними валами встановлено інфрачервоні випромінювачі, робоча поверхня випромінювання яких направлена на рухоме паперове чи картонне полотно і знаходиться на деякій відстані від нього, а зі зворотної сторони паперового чи картонного полотна встановлені рефлектори на деякій відстані від полотна.

Комп'ютерна верстка В. Мацепо

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

2

## Висновки за результатами дисертаційної роботи

1. Науково обґрунтовано доцільність використання енергії інфрачервоного випромінювання для сушіння флютингу.
2. Науково обґрунтовано фізичну та математичну моделі процесу сушіння флютингу із застосуванням енергії ІЧВ.

3. Отримано нові кінетичні залежності процесу сушіння флютингу із застосуванням енергії ІЧВ за різних технологічних параметрів процесу.
4. Встановлено вплив технологічних параметрів на інтенсивність процесу сушіння флютингу із застосуванням енергії ІЧВ та надано рекомендації щодо вибору цих параметрів.
5. Експериментально визначено, що застосування ІЧВ сприяє інтенсифікації сушіння флютингу в періоді нагрівання та першому періоді сушіння.
6. На основі отриманих експериментальних результатів підтверджено адекватність математичної моделі сушіння флютингу із застосуванням енергії ІЧВ.
7. На основі встановлених кінетичних закономірностей та основних параметрів процесу сушіння флютингу розроблено алгоритм розрахунку сушильної установки з інфрачервоними випромінювачами.
8. Отримані кінетичні закономірності і основні параметри процесу сушіння флютингу із застосуванням ІЧВ дозволяють здійснювати проектування промислових процесів сушіння флютингу та ефективного обладнання для сушіння.
9. Встановлено питомі затрати на енергоресурс під час сушіння флютингу із застосуванням енергії ІЧВ за різної тарифікації електроенергії та порівняно з затратами на використання водяної пари в сушильних циліндрах.
10. Показано, що застосування ІЧВ для сушіння флютингу зменшить витрати природного газу на виробництво водяної пари та дозволить зменшити викиди в атмосферу вуглекислого газу, що утворюються під час спалювання природного газу.
11. Результати дисертаційної роботи впроваджено у папероробному обладнанні, що виготовляє ТОВ ПТК “Вуглепром", м. Дніпро.
12. Результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв інженерно-хімічного факультету НТУУ “КПІ”.