

Мінімально необхідні для перевірки математичної моделі польові дослідження автомобіля з експериментальними шинами буде використано для перевірки роботи математичної моделі КТЗ в різних умовах руху.

**Висновки.** Складено методику експериментального дослідження робочих процесів машин зі спеціальними шинами. Методика базується на використанні комплексу апаратури, який дає змогу всебічно оцінити низку параметрів і порівняти отримані результати з результатами теоретичних досліджень.

Під час проведенні натурного експерименту як дослідний зразок використовувалася ГАЗ-66 вантажопідймальністю 2 т.

### Література

1. **Бойко О.Д.** Камера для автомобільної шини / О.Д. Бойко, Р.В. Зінько, І.С. Лозовий. Патент на корисну модель України № 41910. Заявл. 10.06.2009. – 2 с.
2. **Кузьо І.В.** Аналіз досліджень систем регулювання тиску в колесах транспортних засобів / І.В. Кузьо, О.Д. Бойко, Р.В. Зінько, І.С. Лозовий // Системи оброблення інформації. – 2008. – № 6. – С. 14 -19.
3. **Зінько Р.В.** Апробація математичної моделі роботи і руху автовантажувача // Вісник Технологічного університету Поділля. – Хмельницький : Вид-во ТУП. – 2000. – Вип. 3. – С. 129-134.
4. **Черевко Ю.М.** Узагальнений алгоритм проведення досліджень при фізичному моделюванні / Ю.М. Черевко, І.А. Вікович, Р.В. Зінько // Вісник ЖДТУ. Сер. Технічні науки, 2008. – Вип. III (46), т. II. – С. 37-44.

#### **Бойко О.Д., Зінько Р.В., Лозовий І.С. Методика експериментального дослідження автомобіля со спеціальними шинами**

Предложена методика экспериментального исследования рабочих процессов машин со специальными шинами. Методика базируется на использовании комплекса аппаратуры, который дает возможность всесторонне оценить ряд параметров и сравнить полученные результаты с результатами теоретических исследований.

**Ключевые слова:** многосекционные шины, методика экспериментальных исследований.

#### **Bojko O.D., Zinko R.V., Lozovij I.S. A method of automobile experimental research with the special tires**

The method of experimental research of workings processes of machines is offered with the special tires. A method is based on drawing on the complex of apparatus, which allows comprehensively to estimate the row of parameters and compare the got results to the results of theoretical researches.

**Keywords:** multisections tires, method of experimental research.

УДК 666.94

*Доц. О.М. Креховецький, канд. техн. наук; доц. А.В. Сибірний, канд. біол. наук; ст. викл. М.А. Петрова – НУ "Львівська політехніка"*

### **ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ РОБОТИ ОБЕРТОВИХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ВИПАЛУ ЦЕМЕНТНОГО КЛІНКЕРУ З МЕТОЮ ЕКОНОМІЇ ВИТРАТИ ЕНЕРГОНОСІВ**

Теоретично проаналізовано роботу оберткових печей, в яких випаляється цементний клінкер. Збільшення поверхні внутрішніх теплообмінних пристроїв приводить до істотного зменшення питомої витрати технологічного палива. Встановлено, що модернізація оберткової печі шляхом заміни в зоні досушування гірляндної завіси на ланцюги "з вільно звисаючими кінцями" приведе до збільшення площі поверхні контакту між гарячими димовими газами і матеріалом. Таке нововведення дасть змогу передавати більшу кількість тепла від гарячих газів до матеріалу, приведе до збільшення продуктивності печі по клінкеру на ~1,0 %, до пониження температури ди-

мових газів на виході з печі на 4-5 °С, що, своєю чергою, покращить умови експлуатації електрофільтра та витяжного вентилятора. Питома витрата енергоносія також зменшиться.

**Ключові слова:** обертова піч, внутрішні теплообмінні пристрої, питома витрата технологічного палива.

Цементний клінкер випалюють у пічних агрегатах, серед яких найпоширеніші агрегати з обертовими печами без запічних теплообмінних пристроїв [1]. Інтенсивність нагрівання зумовлена кількістю тепла, що передається до матеріалу. За законом Ньютона, ця кількість тепла істотно залежить від поверхні теплообміну між гарячими газами і матеріалом, а також від кількості тепла, що передається до матеріалу. Поверхня теплообміну на вже існуючій печі може бути збільшена за рахунок заміни гірляндної завіси завісою "з вільно звисаючими кінцями" [2].

На рис. 1 [2] зображено загальний вигляд пічного агрегату з обертовою піччю без запічних теплообмінних пристроїв. Обертова піч обладнана внутрішніми теплообмінними пристроями (ланцюговою завісою 6 та внутрішніми теплообмінниками 7) і призначена для випалу цементного клінкеру за мокрим способом виробництва.

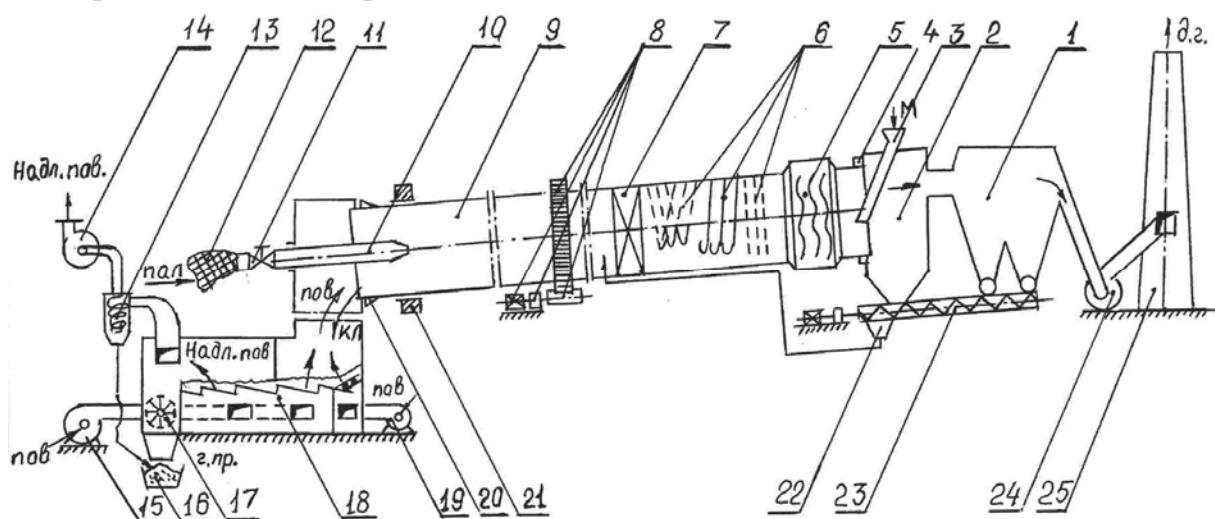


**Рис. 1. Схема пічного агрегату з обертовою піччю без запічних теплообмінних пристроїв:** 1 – електрофільтр; 2 – пилеосаджувальна камера; 3 – завантажувальна воронка; 4 – ущільнення холодного кінця печі; 5 – фільтр-підігрівник; 6 – ланцюгова завіса; 7 – внутрішні теплообмінники; 8 – привід печі; 9 – корпус; 10 – пристрій для спалювання палива; 11 – засувка; 12 – гнучкий шланг для подачі палива; 13 – циклон для очищення надлишкового повітря; 14 – вентилятор для відводу надлишкового повітря; 15 – вентилятор загального дуття; 16 – клінкерний транспортер; 17 – дробарка; 18 – колосниковий холодильник; 19 – вентилятор гострого дуття; 20 – ущільнення гарячого кінця; 21 – бандажно-роликові опори; 22 – фулер-насос; 23 – шнековий транспортер; 24 – димохід; 25 – комин

Ланцюгові завіси встановлюють усередині барабану печі на ділянці зони випаровування. У цій зоні шлам ще не втратив властивостей текучості. Початок ланцюгової завіси (рис. 2) розташовують на відстані 3-5 м від холодного кінця печі (кінець – в зоні, де температура газового потоку не перевищує 1050 °С). Довжина зони навішування залежить від довжини і діаметра корпусу печі і сягає 20-60 м (обертова піч 5×185 м має довжину зони навішування ~60 м).



Загальна кількість тепла, яке передається газовим потоком до матеріалу в ланцюговій зоні, можна представити формулою

де:  $\alpha_{\text{пер}}$  – приведений коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м<sup>2</sup>·град;  $F_l$  – загальна площа поверхні ланцюгів, м<sup>2</sup>; ( $F_l = K_3 \cdot \pi \cdot D_{\text{вн}} \cdot l_3$ );  $D_{\text{лз}}$  – внутрішній діаметр печі в ланцюговій зоні, м;  $K_3$  – коефіцієнт навіски ланцюгів;  $l_3$  – довжина зони, м;  $\Delta t_{\text{сер}}$  – середня різниця температур газового потоку і матеріалу в ланцюговій зоні, яка визначається формулою

де:  $\Delta t_{\text{б}}$ ,  $\Delta t_{\text{м}}$  – більша і менша різниці температур газів і матеріалу. Приведений коефіцієнт тепловіддачі визначається з рівняння [3]

де:  $\alpha_{\text{газ}}$  – коефіцієнт тепловіддачі від димових газів до ланцюгової завіси;  $\alpha_m$  – коефіцієнт тепловіддачі від газу до ланцюгів;  $\varphi$  – центральний кут сегмента матеріалу.

$G = 75000$  кг/год; тепло, яке передається до матеріалу (табл. 14) [4]  $Q_m = 249,45 + 462,21 + 15,082 - 34,593 = 692,149$  кДж/кг кл. Поверхня теплообміну на 1 м довжини зони  $F = \pi \cdot D_{\text{вн}} \cdot (1 + \alpha_{\text{рег}}) = 3,14 \cdot 4,6 \cdot (1 + 6) = 101,108$  м<sup>2</sup>; приведений коефіцієнт тепловіддачі (дод. 12) [4]  $\alpha_{\text{рег}} = 25,71$  кДж/(м<sup>2</sup>·год·°C).

Температури матеріалу і газів наведено в табл.

**Табл. Температури матеріалу і газів**

| Технологічні зони | Температура матеріалу, °С |             | Температура газу, °С |             |
|-------------------|---------------------------|-------------|----------------------|-------------|
|                   | Початок зони              | Кінець зони | Початок зони         | Кінець зони |
| Випаровування     | 15                        | 100         | 195,5                | 824,1       |
| Досушки           | 100                       | 250         | 824,1                | 1041,1      |

Середньо логарифмічна різниця температур (див.табл. 19) [4]

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\bar{\theta}} - \Delta t_m}{2,3 \lg \frac{\Delta t_{\bar{\theta}}}{\Delta t_m}} = \frac{(1041,1 - 250) - (824,1 - 100)}{2,3 \lg \frac{1041,1 - 250}{824,1 - 100}} = \frac{791,1 - 724,1}{2,3 \lg \frac{791,1}{724,1}} = 758^{\circ}\text{C};$$

$\Delta t$  можна визначити графічно (рис. 3) [4].

$$l_{\text{дос}} = \frac{GQ_m}{KF\Delta t} = \frac{75000 \cdot 692,149}{25,71 \cdot 101,108 \cdot 758} = 26,34 \text{ м.}$$

Визначення довжини зони випаровування. Вихідні дані:

$G = 75000$  кг/год;  $Q_m = 2463,993$  кДж/кг кл;

$F = \pi \cdot D_{\text{вн}} \cdot (1 + K_3) = 3,14 \cdot 4,6 \cdot (1 + 11) = 173,328 \text{ м}^2$ ,

де:  $K_3 = 11$  – коефіцієнт навіски ланцюгів (відношення величини поверхні ланцюгів до величини поверхні футеровки);  $\alpha_{\text{рег}} = 81,69$  кДж/(м<sup>2</sup>·год·°С); (див. дод. 12) [4]

$$l_{\text{вип}} = \frac{75000 \cdot 2463,993}{81,69 \cdot 173,328 \cdot 395,5} = 33 \text{ м.}$$

Модернізація обертової печі шляхом заміни в зоні досушування гирляндної завіси на ланцюги "з вільно звисаючими кінцями" приведе до збільшення площі поверхні контакту між гарячими димовими газами і матеріалом. Таке нововведення дасть змогу передавати більшу кількість тепла від гарячих газів до матеріалу, приведе до збільшення продуктивності печі по клінкеру на ~1,0 %, до пониження температури димових газів на виході з печі на 4-5 °С, що, своєю чергою, покращить умови експлуатації електрофільтра та витяжного вентилятора. Питома витрата енергоносія також зменшиться.

## Література

- 1. Креховецький О.М.** Методи покращення екологічної обстановки в регіоні при роботі пічних агрегатів промисловості будівельних матеріалів / О.М. Креховецький, А.В. Сибірний, І.І. М'якуш // Матеріали I Міжнародного конгресу: Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2009. – С. 119.
- 2. Креховецький О.М.** Аналіз ефективності теплової роботи обертової печі розміром 5×185 м / О.М. Креховецький, В.П. Дулеба // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук.-техн. праць. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2004. – Вип. 14.4. – С. 315-317.
- 3. Булавин И.А.** Тепловые процессы в технологии силикатных материалов / И.А. Булавин, И.А. Макаров, А.Я. Рапопорт, В.К. Хохдов. – М. : Изд-во "Наука", 1982. – 236 с.
- 4. Креховецький О.М.** Тепловые процессы химической технологии : метод. указания к курсовому и дипломному проектированию / О.М. Креховецький, І.Й. Павлиш. – Львів : Вид-во ДУ "Львівський політехнічний ін-т", 1988. – 60 с.

**Креховецкий О.М., Сибирный А.В., Петрова М.А. Пути улучшения работы вращающихся печей для обжига цементного клинкера с целью экономии расхода энергоносителей**

Теоретически проанализирована работа вращающихся печей, в которых обжигается цементный клинкер. Увеличение поверхности внутренних теплообменных приспособлений приводит к существенному уменьшению удельного расхода технологического топлива. Установлено, что модернизация оборотной печи путем замены в зоне досушивания гирляндной завесы на цепи "со свободно свисающими концами" приведет к увеличению площади поверхности контакта между горячими дымовыми газами и материалом. Такое нововведение даст возможность передавать большее количество тепла от горячих газов к материалу, приведет к увеличению производительности печи по клинкеру на ~1,0 %, до понижения температуры дымовых газов на выходе из печи на 4-5 °С, что, в свою очередь, улучшит условия эксплуатации электрофильтра и вытяжного вентилятора. Удельная затрата энергоносителя также уменьшится.

**Ключевые слова:** вращающаяся печь, внутренние теплообменные устройства, удельный расход технологического топлива.

**Krekhovetskij O.M., Sybirnyj A.V., Petrova M.A. Revolving furnaces for the burning out cement clinker: ways of their work improvement with the aim of power carriers expense saving**

The article is devoted to the theoretical analysis of the revolving furnaces work where cement clinker is burnt out. Increase of the inner thermal devices surface leads to the essential reduction of the specific expense of the technological fuel. It is set that modernization of circulating stove on chains "with freely hangings down ends" will result the way of replacement in the area of dosushuvannya of girlyandnoy curtain in an increase the area of surface of contact between hot smoke gases and material. Such innovation will enable to pass the greater amount of heat from hot gases to material, will bring to the increase of the productivity stoves over on a clinker on ~1,0 %, before a drop in the temperature of smoke gases on an exit from a stove on 4-5 °S, that, in same queue, will improve external of elektrofil'tra and air-exhauster environments. The specific expense of power medium will diminish also.

**Keywords:** revolving furnace, inner thermal devices, specific expense of the technological fuel.

УДК 621.825.001.24

Аспір. Р.Я. Предко – НУ "Львівська політехніка"

**ОСОБЛИВОСТІ ДИНАМОМЕТРИЧНОГО ВИМІРЮВАННЯ  
ЗМІНИ ПРУЖНОГО НАТЯГУ ПРИВОДНОГО ПАСА В  
АВТОМАТИЧНО РЕГУЛЬОВАНІЙ ПАСОВІЙ ПЕРЕДАЧІ**

Розглянуто особливості динамометричного вимірювання зусиль у пружних системах. Показано вплив пружності динамометра на вимірювання натягу приводного пасу в пасовій передачі. Встановлено, що особливий вплив на точність результатів мають випадки вимірювання зміни зовнішнього навантаження податливої механічної системи. Динамометричним вимірюванням характеру зміни пружного натягу приводного пасу в автоматично регульованих пасових передачах можна досягти реальних результатів лише з врахуванням податливостей як самого пасу, так і пружного елемента динамометра.

**Ключові слова:** пасова передача, пружний натяг пасу, вимірювання.

**Вступ.** Автоматично регульовані пасові передачі характеризуються тим, що в них пружний натяг приводного пасу збільшується з ростом корисного навантаження. Оскільки такі пасові передачі ще недостатньо досліджені, то однією із задач є експериментальне вивчення характеру зміни пружно-