

3. ISO 5801. Industrial fans. Performance testing using standardized airways.
4. ГОСТ 10921-90. "Вентиляторы радиальные и осевые. Методы аэродинамических испытаний". – 23 с.
5. Центробежные вентиляторы / под ред. Т.С. Соломаховой. – М. : Изд-во "Машиностроение", 1975. – 236 с.
6. Временные методические рекомендации по проектированию входных и выходных элементов вентиляторных установок. – М. : Изд-во ЦНИИ-Прозданий, 1976. – 25 с.
7. Рекомендации по расчету гидравлических сопротивлений сложных элементов систем вентиляции. – М. : Изд-во "Стройиздат", 1981. – 29 с.

### **Гулай Б.И. Повышение эффективности работы радиального вентилятора в вентиляционной системе**

Отмечено, что во время подбора радиального вентилятора нужно учитывать ряд таких факторов, как: тип стенда, на котором определено аэродинамические характеристики, наличие прямолинейных участков, их поперечного перереза и конфигурации до и после вентилятора, а также элементов его присоединения к вентиляционной системе. Это обеспечит его эффективную работу в системе вентиляции с параметрами, приведенными в технической документации. Также отмечено о неотложности корректировки характеристики вентилятора и предвидения запаса давления, если эти требования не выполняются.

**Ключевые слова:** вентиляционная система, радиальный вентилятор, скорость воздушного потока, давление, режим работы, параметры, эффективность.

### **Gulai B.I. Increasing efficiency of radial fan operation in the ventilation system**

This article states that it is important to consider a number of factors when choosing a radial fan, namely, test bench with defined aerodynamic characteristics, presence of linear areas, theirs cross-section and configuration before and after the fan, as well as elements that join the fan to the ventilation system. It ensures effective fan operation in the ventilation system according to parameters provided in technical documentation. If these requirements are not met it is necessary to correct fan characteristics and predict pressures reserve.

**Keywords:** ventilation system, radial fan, airflow velocity, pressure, operation mode, parameters, efficiency.

УДК 621.43.068.3

Доц. О.М. Креховецький, канд. техн. наук;  
доц. А.В. Сибірний, канд. біол. наук; доц. К.В. Степова, канд. біол. наук;  
доц. А.Б. Тарнавський, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"

## **АЛЬТЕРНАТИВНА ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГООЩАДНІСТЬ – ОСНОВНІ ПРОБЛЕМИ СЬОГОДЕННЯ**

Розглянуто питання використання вторинних енергоресурсів, які на сьогодні використовують надзвичайно мало або зовсім не використовують. Йдеться про утилізацію вторинного тепла димових газів пічних агрегатів для випалу цементного клінкеру. Використання тепла відпрацьованих димових газів дасть змогу істотно зменшити питому витрату первинних енергоносіїв. Окрім цього, використання рекуперативного теплообмінника спонукає вжиття запобіжних заходів щодо забивання міжреберного простору теплообмінника пилом, значна кількість якого перебуває в димових газах, і очищувати від нього цей простір.

**Ключові слова:** "вторинні" енергоносії, пічний агрегат для випалу цементного клінкеру, питома витрата технологічного палива.

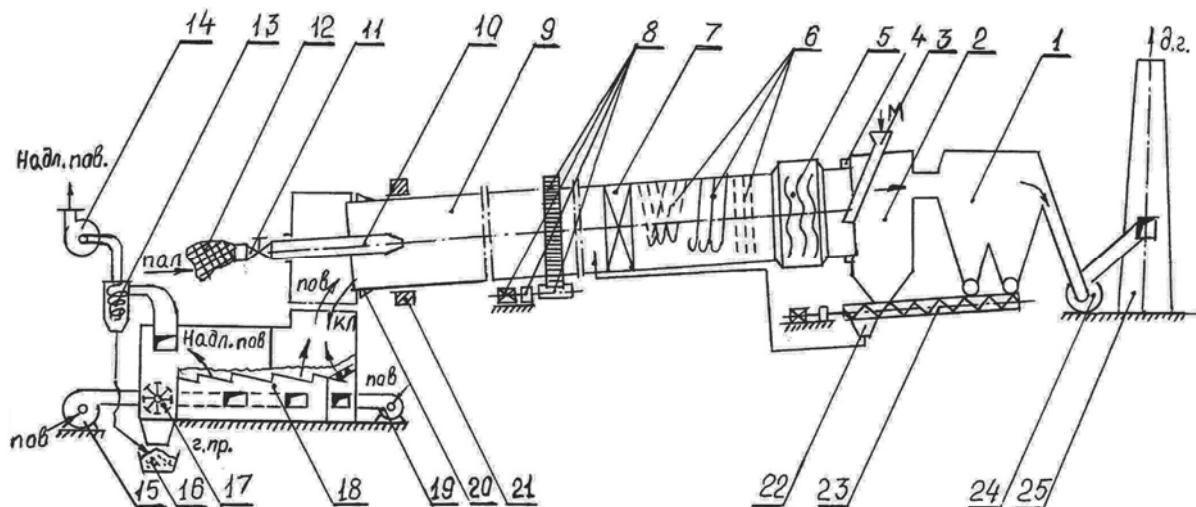
За оцінками експертів (зокрема за прогнозами Міжнародного енергетичного агентства – IEA), запасів нафти на Землі вистачить лише до 2030-

2050 рр.; запаси нафти на планеті стрімко зменшуються: з 1150 розвіданих в усьому світі гігабарелів нафти на сьогодні "викачані" не менше ніж 900, і в цей час щодня добувають по 80 мегабарелів. Прогнози щодо природного газу: його запасів вистачить до 2060-2080 рр. [1].

Тому в найближчі 25-30 років світовому співтовариству необхідно здійснити енергетичну революцію. Потрібно завершити максимальне використання альтернативних екологічно чистих поновлюваних джерел енергії (ПДЕ) – сонця, вітру, малих і середніх річок, океанських припливів і ін., що покриє до 15-20 % потреби в енергії [1]. Важливе місце у світовій енергетиці займає використання вторинних енергоресурсів, які на сьогодні використовують надзвичайно мало або зовсім не використовують.

На порядок денний виходять питання використання "вторинного" (низькопотенційного) тепла й усієї "зайвої" кінетичної й теплової енергії потоків газу й рідини на підприємствах (так звана "когенерація"). Усі промислові підприємства (насамперед трансгази, металургійні заводи, ТЕС й енергоємні підприємства промисловості будівельних матеріалів) повинні здійснити максимальну утилізацію свого "вторинного" (низькопотенційного) тепла (тепло димових газів, тепло "викидуваної" пари, тепло гарячого конденсату й т. ін.).

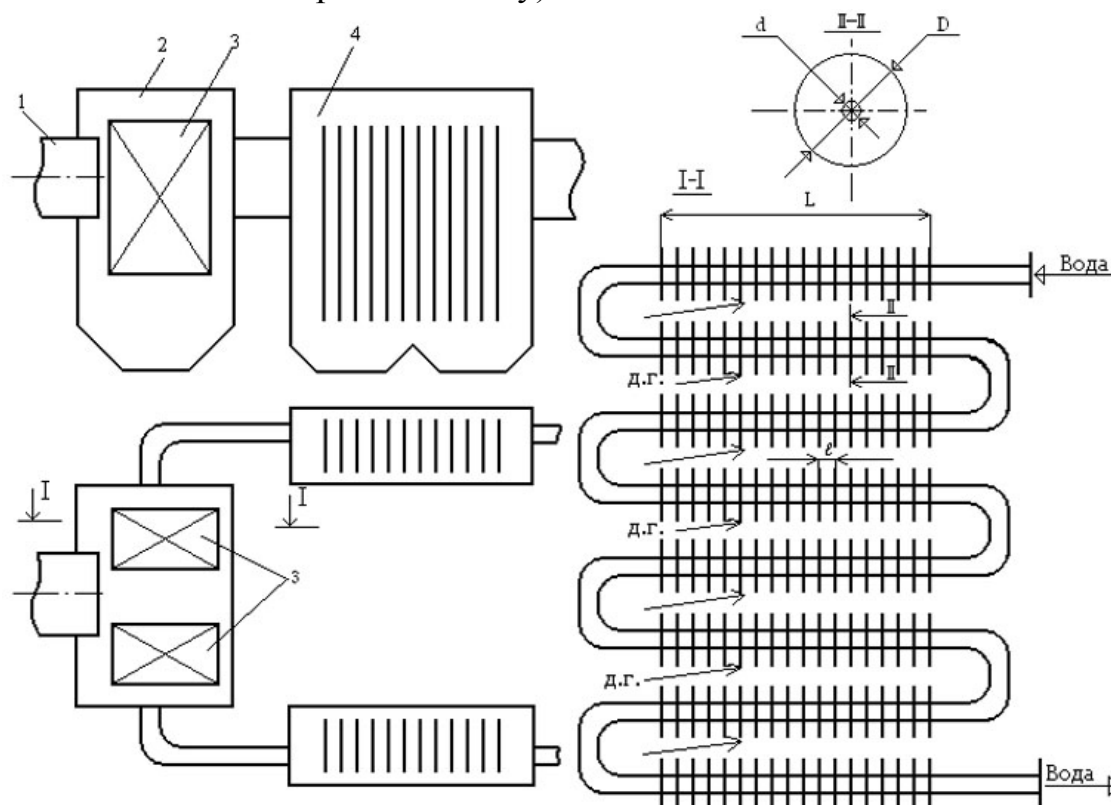
До енергоємних підприємств промисловості будівельних матеріалів відноситься цементне виробництво. Цементний клінкер випалюють у пічних агрегатах, схему якого представлено на рис. 1.



**Рис. 1. Пічний агрегат з внутрішніми теплообмінниками мокрого способу випалу цементного клінкера:** 1 – електрофільтр; 2 – пилоосаджувальна камера; 3 – завантажувальна лійка; 4 – ущільнення холодного кінця печі; фільтр – підігрівник; 6 – ланцюгова завіса; 7 – внутрішні теплообмінники; 8 – привід печі; 9 – корпус; 10 – пристрій для спалювання палива; 11 – газовий кран; 12 – шланг для подачі палива; 13 – циклон для очищення надлишкового повітря; 14 – вентилятор для відведення надлишкового повітря; 15 – вентилятор загального дуття; 16 – транспортер; 17 – вентилятор інтенсивного дуття; 18 – холодильник; 19 – вентилятор загального дуття; 20 – ущільнення гарячого кінця печі; 21 – бандажноролікові опори; 22 – фулерпомпа; 23 – транспортер; 24 – димотяг; 25 – комин

Видається можливим використання тепла відпрацьованих димових газів шляхом нагрівання технічної води в рекуперативних теплообмінниках, які доцільно розмістити в пилоосаджувальній камері пічного агрегату на шляху

руху димових газів (див. рис. 2). Передача тепла від гарячих димових газів до технічної води відбувається через металічну стінку з ребрами (з метою збільшення площі поверхні контакту).



**Рис. 2. Схема розміщення рекуператорів в осаджувальній камері:**  
 обертова піч; 2 – пилоосаджувальна камера; 3 – рекуперативний теплообмінник;  
 4 – електрофільтр

Під час розрахунку рекуператора використаємо основне рівняння теплообміну

$$Q_v = KF \Delta t_{сер} \epsilon_{\Delta t} \text{ Вт} \quad (1)$$

де:  $Q_v = V_v \cdot (i'_v - i''_v)$  – кількість тепла, яке отримує вода в рекуператорі, Вт;  $V_v$  – кількість води, яка нагрівається в рекуператорі, м<sup>3</sup>/год;  $i'_v, i''_v$  – ентальпії води відповідно при виході і вході в рекуператор, кДж/м<sup>3</sup>;  $K$  – коефіцієнт теплопередачі, Вт/м<sup>2</sup>·град;  $F$  – поверхня нагрівання рекуператора, м<sup>2</sup>;  $\Delta t_{сер}$  – середня логарифмічна різниця температур між димовими газами і водою, град;  $\epsilon_{\Delta t}$  – поправковий множник для випадку складної схеми теплообміну.

З рівняння (1) визначаємо поверхню нагрівання рекуператора, за якою можна знайти його конструктивні розміри.

Розрахуємо рекуперативний ребрений теплообмінник для нагрівання води кількістю  $V_{води} = 150000$  м<sup>3</sup>/год від температури  $t'_{вод} = 45$  °С до  $t''_{вод} = 55$  °С. Димові гази в кількості  $V_{дим} = 580000$  м<sup>3</sup>/год мають на вході в рекуператор температуру  $t'_{дим} = 200$  °С. Визначаємо

$$Q_v = V_v (i'_v - i''_v) = 150000 (230,5 - 189) = 6225000 \text{ кДж/год}$$

або

$$Q_v = 0,278 \cdot 6225000 = 1730500,5 \text{ Вт.}$$

Визначаємо температуру димових газів, приймаючи втрати тепла рекуператором в навколишнє середовище за 10 % [2].

$$Q_{\text{дим}} = Q_g / 0,9 = V_{\text{дим}}(i'_{\text{дим}} - i''_{\text{дим}}) \quad (2)$$

(початкова температура димових газів  $t'_{\text{дим}} = 200$  °С, що відповідає ентальпії продуктів горіння  $i'_{\text{дим}} = 275,5$  кДж / м<sup>3</sup> (додаток 9) [2].

$$1730500,5/0,9 = 180000 \cdot (275,5 - i''_{\text{дим}}), \text{ звідки } i''_{\text{дим}} = 264,82 \text{ кДж / м}^3.$$

Цьому тепловмісту димових газів відповідає температура  $t'_{\text{дим}} = 190,1$  °С. Приймаючи для рекуператора схему перехресного протитоку, що відповідає восьмиходовому оребреному рекуперативному теплообміннику (рис. 2). Визначимо середню логарифмічну різницю температур з допомогою номограми (додаток 31) [2] за  $t'_{\text{дим}} - t_g = \Delta t_n = 200 - 55 = 145$  °С;

$$t''_{\text{дим}} - t_g = \Delta t_k = 190,1 - 45 = 145,1 \text{ °С}; \Delta t_{\text{сер}} = 150 \text{ °С}$$

За додатком 48 [2] визначаємо  $\varepsilon_{\Delta t}$  для перехресного протитоку з параметрів

$$P = (t_g - t'_g) / (t'_{\text{дим}} - t'_g) = (190,1 - 45) / (200 - 45) = 0,936;$$

$$R = (t'_{\text{дим}} - t''_{\text{дим}}) / (t'_g - t''_{\text{дим}}) = (200 - 190,1) / (55 - 45) = 0,99.$$

Значення коефіцієнта  $\varepsilon_{\Delta t}$  близьке за величиною до одиниці, тому ним можна знехтувати.

Задаючи швидкість води в рекуператорі 5-6 м/с і швидкість димових газів 1-2 м/с [2], визначаємо для рекуператора з графіку рис. 42 [2] коефіцієнти тепловіддачі  $\alpha_v$  і  $\alpha_{\text{газ}}$  і знаходимо з рівняння 286 [2] величину коефіцієнта теплопередачі  $K = 75$  Вт/м<sup>2</sup> · град.

За формулою (1) визначаємо необхідну поверхню теплообміну

$$F = 1730500,5/75 \cdot 150 = 153,822 \text{ м}^2.$$

При  $L=3$  м,  $l = 0,02$  м,  $D = 0,3$  м,  $d = 0,1$  м,  $n_1=150$ ,  $n_2 = 16$  і кількість ходів рекуператора  $n=8$ . Дійсна поверхня теплообміну рекуператора становить:

$$F_{\delta} = 0,785 \cdot (D^2 - d^2) \cdot n_1 \cdot n_2 + 3,14 \cdot d \cdot L \cdot n_2 = \\ = 0,785 \cdot (0,3^2 - 0,1^2) \cdot 150 \cdot 16 + 3,14 \cdot 0,1 \cdot 3 \cdot 16 = 150,72 + 15,072 = 165,792 \text{ м}^2.$$

Завдяки використанню рекуператора з площею поверхні теплообміну  $F_{\delta}=165,792$  м<sup>2</sup> кількість тепла, що передається від димових газів до води, становить  $1730500,5 \cdot 165,792 / 153,822 = 1865163,233$  Вт. Враховуючи, що витрата тепла в обертовій печі  $5 \times 185$  м  $Q_{\text{випр}} = 159202520,8$  Вт [3], використання рекуперативного пластинчатого восьмиходового теплообмінника з поверхнею теплообміну  $F_{\delta}=165,792$  м<sup>2</sup> дасть змогу використати 1,18 % тепла, яке втрачається з димовими газами безповоротно, що рівноцінне економії витрати природного газу  $g=150$  нм<sup>3</sup>/год.

Використання рекуперативного теплообмінника спонукає подумати, як запобігти забиванню міжреберного простору теплообмінника пилом, значна кількість якого перебуває в димових газах, і очищувати від нього цей простір.

## Література

1. Краснянський М.Е. Утилизация и рекуперация отходов : учебн. пособие. – Донецк : Изд-во "Друк-Инфо", 2004. – 120 с.
2. Левченко П.В. Расчеты печей и сушил силикатной промышленности. – Донецк : Изд-во "Высш. шк.", 1968. – 367 с.

**3. Креховецький О.М.** Методические указания к курсовому и дипломному проектированию по курсу "Тепловые процессы химической технологии" / О.М. Креховецький, І.Й. Павлиш. – Львів : Львівський політехнічний ін-т, 1988. – 60 с.

***Креховецький О.М., Сибирный А.В., Степова К.В., Тарнавский А.Б.***  
**Альтернативная энергетика и энергосбережение – основные проблемы  
нынешнего времени**

Рассмотрен вопрос использования вторичных энергоресурсов, которые на сегодня используются чрезвычайно мало или совсем не используют. Речь идет об утилизации вторичного тепла дымовых газов печных агрегатов для обжига цементного клинкера. Использование тепла отработанных дымовых газов даст возможность существенно уменьшить удельную затрату первичных энергоносителей. Кроме этого, использование рекуперативного теплообменника побуждает принятие мер пресечения забивки междуреберного пространства теплообменника пылью, значительное количество которой находится в дымовых газах, и очищать от него это пространство.

**Ключевые слова:** вторичные энергоносители, печной агрегат для обжига цементного клинкера, удельная затрата технологического топлива.

***Krekhovetskij O.M., Sybirnyj A.V., Stepova K.V., Tharnavskij A.B.***  
**Alternative energy and energy-savings is basic problems of present tense**

The question of the use of second energy resources which for today are utilized extraordinarily little or not nearly utilize is examined. Speech goes about utilization of the second heat of smoke gases of the stove aggregates for burning of cement clinker. The use of heat of exhaust smoke gases will be given by possibility substantially to decrease the specific expense of primary power mediums. Except for it, the use of recuperation heater is induced by acceptance of measures of suppression of hammering in space between ribs of heater by a dust, some of dust particulars contain in smoke gases, and to purge from him it is space.

**Keywords:** secondary energy resources, furnace unit for cement clinker burning out, unit discharge of process fuel.

УДК 697.92

*Аспір. О.І. Макаруха;*

*доц. В.М. Желих, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"*

**ОЦІНЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ В ЦЕХАХ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

Проаналізовано наявні системи опалення для цеху поросят і свиноматки. Враховуючи те, що в місцях перебування поросят потрібно підтримувати вищу температуру внутрішнього повітря порівняно з місцем свиноматки, запропоновано систему опалення, особливістю якої є застосування стінової опалювальної панелі. Здійснено оцінювання температурного режиму місця перебування свиноматки і побудовано графік зміни температури внутрішнього повітря.

**Ключові слова:** температурний режим, внутрішня температура.

**Постановка проблеми.** У цеху поросят і свиноматки потрібно підтримувати різні температурні режими: в місцях перебування поросят має бути вища температура порівняно з місцем свиноматки, що ускладнює проектування системи опалення.

На сьогодні існують різні системи опалення для підтримання певних параметрів мікроклімату в цеху поросят і свиноматки. Найпоширенішими є використання інфрачервоних нагрівачів і нагрівальних килимків (електричних або водяних).