

$\alpha_1 = 51^\circ$ ;  $\alpha_2 = 46^\circ$ ;  $l_{г.з.} = 100$  мм;  $h_{г.з.} = 420$  мм;  $l_1 = 750$  мм;  $l_2 = 450$  мм. Представлено полученное расчетным путем распределение фракционного состава материала.

Обеспечиваемая сегрегация классов крупности материала при использовании лотка указанной конструкции максимально близка к требуемому распределению [1], что позволит более равномерно распределить твердое топливо по горизонтам слоя, тем самым выровнять тепловой режим процесса спекания.

Предложена модификация составного загрузочного лотка с дополнительной стреловидной секцией, призванной снизить влияние прибортовых прососов воздуха на тепловой режим спекания.

Опыт использования составного лотка [5] свидетельствует об эффективности его применения. Таким образом, необходимо провести активные эксперименты с целью определения влияния работы предложенного лотка на производительность процесса агломерации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мных А.С. Определение оптимального распределения твердого топлива в слое загружаемой шихты для выравнивания теплового режима агломерационного процесса [Текст] / А.С.Мных // Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика. – 2014. – №6. – С.47-51.
2. Мных А.С. Исследование динамики процесса формирования слоя аглошихты, подготовленной к тепловой обработке [Текст] / А.С.Мных // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – №2. – С.23-28.
3. Мных А.С. Определение сегрегации фракций аглошихты, требуемой для стабилизации теплового режима спекания [Текст] / А.С.Мных // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2015. – №1. – С.31-36.
4. Пат 42105 Україна, МПК F 27 В 21/06, С 22 В 1/16 (2009.01). Завантажувальний пристрій конвеєрної агломераційної машини / Овчинникова І.А., Міщенко І.М., Ілюхін О.Я., Овчинников О.В.; заявник та патентотримач Запорізький нац. техн. унів-т. – Заявл. 05.01.2009; опубл. 25.06.2009, Бюл. №12.
5. Сальников И.М. Составной загрузочный лоток агломашины [Текст] / И.М.Сальников, М.Ю.Пазюк, Ю.Д.Гузъ // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1990. – №10. – С.5-7.

*Поступила в редколлегию 04.03.2015.*

УДК 669.183.213.2

ГЛУЩЕНКО О.Л., к.т.н., доцент

Дніпродзержинський державний технічний університет

### **МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАСАДОК РЕГЕНЕРАТИВНИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ МЕТАЛУРГІЙНИХ АГРЕГАТІВ**

**Вступ.** Рациональное використання вторинних енергоресурсів промисловості безпосередньо впливає на умови енергопостачання й паливний баланс підприємства, а також на модернізацію технологічної схеми виробництва та його загальноекономічні показники. Енергетична модернізація виробничих високотемпературних процесів шляхом використання їх вторинних енергетичних ресурсів є джерелом суттєвої економії палива та пов'язаних з цим матеріальних цінностей. На даний час на металургійних підприємствах зосереджена значна кількість вторинних енергоресурсів. Якщо утилізувати ці енергоресурси, можливо отримати суттєву економію палива. Це завдання є актуальним для

всіх металургійних підприємств особливо в сьогоднішній час, коли спостерігаються значні економічні труднощі.

**Постановка задачі.** Важливим фактором, що визначає ефективність роботи регенераторів, є їхня здатність регенерувати тепло відхідних газів відповідно до вимог повного спалювання палива та аеродинамічних можливостей даного металургійного агрегату. Ступінь засвоєння теплоти і її віддачі у процесі роботи регенератора залежать як від вибору вогнетривких матеріалів, що регенерують тепло, так і від конструкції регенеративних пристроїв, а також від теплотехнічних факторів: температури відхідних газів, швидкості їхнього руху, графіка зміни напрямку руху відхідних газів і палива і т.п. Рациональний вибір конструкції та зносостійких вогнетривких матеріалів може виявитися одночасно ефективним як відносно поліпшення регенерації, так і підвищення стійкості елементів кладки регенератора. Зміна конструкції регенеративних насадок може істотно підвищити ефективність роботи регенератора.

**Результати роботи.** Для того, щоб дослідити теплову роботу регенеративних теплообмінників та удосконалити їх конструкцію, необхідно розробити математичну модель теплової роботи печей. Для вдосконалення конструкції регенераторів необхідно знати основні параметри насадок. З цією метою в роботі проведено теоретичні дослідження по визначенню наступних характеристик насадок: питомої поверхні нагрівання, питомого об'єму і живого перетину. В [1] наведено графічні залежності цих показників від розміру чарунки для різних типів насадок (Сименса, Петерсена, Каупера й насадок із брускової цегли). Однак інтервал дії цих кривих обмежується розміром чарунки [60; 180] мм. У тому ж випадку, коли розміри чарунок насадок будуть за межами цього інтервалу, розрахунки виконати неможливо. У роботі пропонуються рівняння, які дозволяють визначити основні характеристики насадок.

Розглянемо приклад визначення цих показників для насадки Сименса.

Питому поверхню нагрівання  $f_1$ ,  $\text{м}^2/\text{м}^3$  визначаємо за допомогою ступеневої регресії, що має такий вигляд:

$$f_1 = b_0 \cdot a^{b_1}, \quad (1)$$

де  $a$  – розмір чарунки, м.

Ступенева регресія полягає у визначенні параметрів емпіричної залежності, що описує зв'язок між деяким числом  $N$  пари значень  $f$  та  $a$ , забезпечуючи при цьому найменшу середньоквадратичну похибку. Значення  $f_1$  та  $a$  беремо із графіків [1].

Визначаємо  $b_1$  й  $b_0$  за наступними формулами [2]:

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^N \ln a_i \sum_{i=1}^N \ln f_i - N \sum_{i=1}^N \ln a_i \cdot \ln f_i}{\left( \sum_{i=1}^N \ln a_i \right)^2 - N \cdot \sum_{i=1}^N (\ln a_i)^2}, \quad (2)$$

$$b_0 = \exp \left[ \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N \ln f_i - b_1 \cdot \sum_{i=1}^N \ln a_i \right) \right]. \quad (3)$$

$N = 4$ ;  $f_1(a)$  задані значеннями 20,5 (0,06); 16 (0,1); 13,45 (0,14); 11,85 (0,18) [1].

$$b_1 = \frac{(\ln 0,06 + \ln 0,1 + \ln 0,14 + \ln 0,18) \left( \ln 20,5 + \ln 16 + \ln 13,45 + \ln 11,85 \right) - 4 \cdot (\ln 0,06 \cdot \ln 20,5 + \ln 0,1 \cdot \ln 16 + \ln 0,14 \cdot \ln 13,45 + \ln 0,18 \cdot \ln 11,85)}{(\ln 0,06 + \ln 0,1 + \ln 0,14 + \ln 0,18)^2 - 4 \left[ (\ln 0,06)^2 + (\ln 0,1)^2 + (\ln 0,14)^2 + (\ln 0,18)^2 \right]} = -0,4995.$$

$$b_0 = \exp \left[ \frac{1}{4} \left( (\ln 20,5 + \ln 16 + \ln 13,45 + \ln 11,85) + 0,4995(\ln 0,06 + \ln 0,1 + \ln 0,14 + \ln 0,18) \right) \right] = 5,041.$$

Таким чином, залежність для визначення площі поверхні нагрівання має вигляд:

$$f_1 = 5,041 \cdot a^{-0,4995} \quad (4)$$

Для того, щоб визначити правильність знайденої залежності, побудуємо графічну залежність  $f_1^P(a)$  і порівняємо її із графічною залежністю  $f_1(a)$ , що представлена в [1].

Для графіка визначимо додаткові точки за формулою (4): при  $a = 0,06$  м  $f_1^P = 20,551$  м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>; при  $a = 0,1$  м  $f_1^P = 15,923$  м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>; при  $a = 0,14$  м  $f_1^P = 13,459$  м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>; при  $a = 0,18$  м  $f_1^P = 11,872$  м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>; при  $a = 0,21$  м  $f_1^P = 10,992$  м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>; при  $a = 0,225$  м  $f_1^P = 10,619$  м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>.

Графічну залежність  $f_1^{\text{розр.}}(a)$  представлено на рис. 1.

Питомий об'єм ( $\mathcal{G}$ ) визначається за гіперболічними регресіями [2], що полягає у визначенні параметрів функції

$$\mathcal{G}(a) = b_0 + \frac{b_1}{a}, \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (5)$$

Значення  $b_0$  й  $b_1$  визначаються за наступними формулами, а саме, з розв'язання системи рівнянь:

$$\begin{cases} b_0 \cdot N + b_1 \cdot \sum_{i=1}^N \frac{1}{a_i} = \sum_{i=1}^N \mathcal{G}_i; \\ b_0 \cdot \sum_{i=1}^N \frac{1}{a_i} + b_1 \cdot \sum_{i=1}^N \frac{1}{a_i^2} = \sum_{i=1}^N \frac{\mathcal{G}_i}{a_i}. \end{cases}$$

З [1] одержуємо наступні вихідні дані:  $N = 4$ ;  $\mathcal{G}(a)$  задані значеннями 0,513 (0,06); 0,4 (0,1); 0,313 (0,14); 0,263 (0,18).

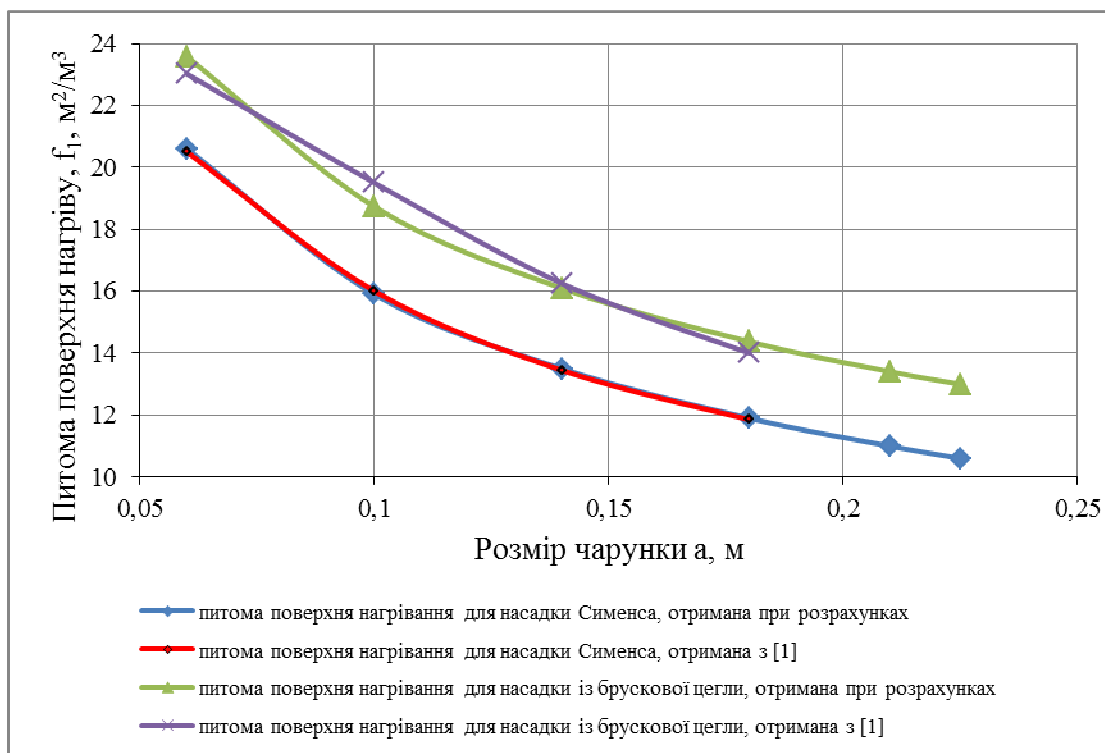


Рисунок 1 – Залежність питомої поверхні нагрівання від розмірів чарунки для насадки Сименса й насадки із брускової цегли

Розв'язуємо систему рівнянь

$$\begin{cases} b_0 \cdot 4 + b_1 \cdot \left( \frac{1}{0,06} + \frac{1}{0,1} + \frac{1}{0,14} + \frac{1}{0,18} \right) = 0,513 + 0,4 + 0,313 + 0,263; \\ b_0 \cdot \left( \frac{1}{0,06} + \frac{1}{0,1} + \frac{1}{0,14} + \frac{1}{0,18} \right) + b_1 \cdot \left( \frac{1}{0,06^2} + \frac{1}{0,1^2} + \frac{1}{0,14^2} + \frac{1}{0,18^2} \right) = \frac{0,513}{0,06} + \frac{0,4}{0,1} + \frac{0,313}{0,14} + \frac{0,263}{0,18}. \end{cases}$$

$$\begin{cases} 4 \cdot b_0 + 39,365 \cdot b_1 = 1,489; \\ b_0 \cdot 39,365 + b_1 \cdot 459,662 = 16,247. \end{cases}$$

З першого рівняння визначаємо  $b_0$  та підставляємо це значення в рівняння (2):

$$\begin{aligned} b_0 &= \frac{1,489 - 39,365 \cdot b_1}{4}; \\ 39,365 \cdot \left( \frac{1,489 - 39,365 \cdot b_1}{4} \right) + 459,662 \cdot b_1 &= 16,247; \\ 14,654 - 387,401 \cdot b_1 + 459,662 \cdot b_1 - 16,247 &= 0; \\ 72,261 \cdot b_1 &= 1,593; \\ b_1 &= 0,022. \end{aligned}$$

Підставляємо значення  $b_1$  в перше рівняння системи та визначаємо значення  $b_0$ :

$$b_0 = \frac{1,489 - 39,365 \cdot 0,022}{4} = 0,156.$$

Підставляємо значення  $b_1$  та  $b_0$  у вираження (5)

$$g^{\text{розр.}}(a) = 0,156 + \frac{0,022}{a}, \quad (6)$$

Для побудови графічної залежності  $g^{\text{розр.}}(a)$  визначаємо додаткові точки за допомогою рівняння (6): при  $a = 0,06 \text{ м}$   $g^{\text{розр.}} = 0,523 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ; при  $a = 0,1 \text{ м}$   $g^{\text{розр.}} = 0,376 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ; при  $a = 0,14 \text{ м}$   $g^{\text{розр.}} = 0,313 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ; при  $a = 0,18 \text{ м}$   $g^{\text{розр.}} = 0,278 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ; при  $a = 0,210 \text{ м}$   $g^{\text{розр.}} = 0,261 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ; при  $a = 0,225 \text{ м}$   $g^{\text{розр.}} = 0,254 \text{ м}^3/\text{м}^3$ .

Графічна залежність  $g^{\text{розр.}}(a)$  представлена на рис.2. Для співставлення на рис.2 наведено графік  $g(a)$ , що представлений в [1].

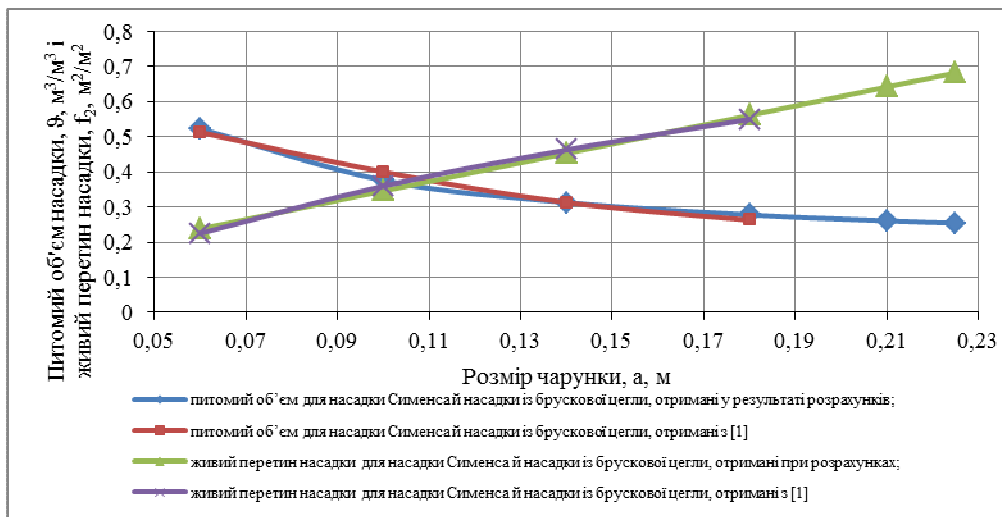


Рисунок 2 – Залежність питомого об'єму  $g(a)$  та живого перетину насадки  $f_2(a)$  від розміру чарунки для насадки Сименса й насадки з брускової цегли

Живий перетин насадки ( $f_2$ ) визначаємо за лінійною регресією, що полягає у визначенні параметрів емпіричної лінійної залежності

$$f_2(a) = b_1 \cdot a + b_0, \text{ м}^2/\text{м}^2. \quad (7)$$

Значення  $b_1$  й  $b_0$  визначаємо за рівняннями:

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^N a_i \cdot \sum_{i=1}^N f_{2_i} - N \cdot \sum_{i=1}^N a_i \cdot f_{2_i}}{\left( \sum_{i=1}^N a_i \right)^2 - N \sum_{i=1}^N a_i^2},$$

$$b_0 = \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N f_{2_i} - b_1 \cdot \sum_{i=1}^N a_i \right).$$

З [1] одержуємо вихідні дані:  $N = 4$ ;  $f_2(a)$  задані значеннями 0,225 (0,06); 0,360 (0,1); 0,463 (0,14); 0,55 (0,18).

Визначаємо  $b_1$  й  $b_0$ :

$$b_1 = \frac{(0,06 + 0,1 + 0,14 + 0,18) \cdot (0,225 + 0,360 + 0,463 + 0,55) - 4 \cdot (0,225 \cdot 0,06 + 0,360 \cdot 0,1 + 0,463 \cdot 0,14 + 0,55 \cdot 0,180)}{(0,06 + 0,1 + 0,14 + 0,18)^2 - 4(0,06^2 + 0,1^2 + 0,14^2 + 0,18^2)} = 2,695.$$

$$b_0 = \frac{1}{4} [(0,225 + 0,360 + 0,463 + 0,55) - 2,695 \cdot (0,06 + 0,1 + 0,14 + 0,18)] = 0,0761.$$

Отримані результати  $b_1$  й  $b_0$  підставимо у рівняння (7), отримаємо наступну залежність:

$$f_2^{\text{расч.}}(a) = 2,695 \cdot a + 0,0761. \quad (8)$$

Для побудови графічної залежності  $f_2^{\text{розр.}}(a)$  необхідно додатково отримати кілька точок за формулою (8): при  $a = 0,06$  м  $f_2^{\text{P}} = 0,238$  м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>; при  $a = 0,1$  м  $f_1^{\text{P}} = 0,346$  м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>; при  $a = 0,14$  м  $f_1^{\text{P}} = 0,453$  м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>; при  $a = 0,18$  м  $f_1^{\text{P}} = 0,561$  м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>; при  $a = 0,21$  м  $f_1^{\text{P}} = 0,642$  м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>; при  $a = 0,225$  м  $f_1^{\text{P}} = 0,682$  м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>.

Графічна залежність  $f_2^{\text{розр.}}(a)$  наведена на рис.2. Для співставлення представлено графічну залежність  $f_2(a)$ [1].

Для всіх інших видів насадок розрахунки проводяться аналогічним чином.

*Аналіз отриманих даних при розрахунку насадок різного типу.* У [1] наведено графічні залежності питомої поверхні нагрівання, питомого об'єму і живого перетину насадки від радіуса чарунки насадок різного типу. Для точного розрахунку у тому випадку, коли розміри чарунок насадок Сименса, Петерсена та насадок із брускової цегли виходять за межі значень, представлених на графіках [1], необхідно мати залежності, за якими можна визначити необхідні параметри. При проведенні порівняльного аналізу отримано, що для насадки Сименса та насадки із брускової цегли отримані рівняння питомої поверхні нагрівання є діючими в інтервалі від  $a = 60$  мм до  $a = 250$  мм, тому що при  $a = 30$  мм спостерігається велика похибка  $f_1^{\text{розр.}}(a) \geq f_1(a)$ . Такий же інтервал [60; 250] задовільний і при визначенні питомого об'єму та живого перетину насадки, при цьому графіки  $f_2(a)$  й  $\mathcal{A}(a)$  для насадки Сименса й насадки із брускової цегли збігаються. Аналіз даних, отриманих для насадки Петерсена (при ширині цегли  $b = 65$  мм й  $b = 75$  мм), показує, що графік питомої поверхні нагрівання, отриманий за розрахунками, практично збігається із графіком питомої поверхні нагрівання, що наведено у [1]. У цьому випадку діапазон дії отриманого рівняння збільшується від  $a = 30$  мм і до  $a = 300$  мм. Що ж стосується розрахунку питомого об'єму та живого перетину насадки, то графік для  $\mathcal{A}(a)_{65}$  збігається з  $\mathcal{A}(a)_{75}$ , також як і збігається графік  $\mathcal{A}^{\text{P}}(a)_{65}$  з  $\mathcal{A}^{\text{P}}(a)_{75}$ . Діапазон розміру чарунки, що задовольняє умовам рівняння, складе від  $a = 30$  мм до  $a = 210$  мм. Графічні залежності ж  $f_2^{\text{P}}(a)_{65}$  і  $f_2^{\text{P}}(a)_{75}$  дуже близькі. Однак діапазон розміру чарунки в цьому випадку менший і становить від  $a = 75$  мм до  $a = 275$  мм.

Величини  $f_1$ ,  $f_2$  і  $\mathcal{Q}$ , отримані в результаті дослідження, зведено у табл.1.

Таблиця 1 – Величини питомої поверхні нагрівання, питомого об'єму й живого перетину, отримані в результаті дослідження для різних типів насадок при  $a = 60$  мм до  $a = 100$  мм

Показники Тип насадок	a = 60 мм			a = 100 мм		
	$f_1, \text{м}^2/\text{м}^3$	$\mathcal{Q}, \text{м}^3/\text{м}^3$	$f_2, \text{м}^2/\text{м}^2$	$f_1, \text{м}^2/\text{м}^3$	$\mathcal{Q}, \text{м}^3/\text{м}^3$	$f_2, \text{м}^2/\text{м}^2$
Насадка Сименса	20,551	0,523	0,238	15,923	0,376	0,346
Насадка Петерсена (для $b = 65$ мм)	22,98	0,637	0,255	17,928	0,490	0,354
Насадка Петерсена (для $b = 75$ мм)	19,503	0,637	0,225	15,689	0,490	0,321
Насадка із брускової цегли	23,573	0,523	0,238	18,727	0,376	0,346
Насадка Каупера	15,36	0,770	0,230	14,692	0,633	0,367

**Висновки.** 1. Визначено основні характеристики насадок, а саме: питомої поверхні нагрівання, питомого об'єму й живого перетину (Сименса, брускова, Петерсена 65 і Петерсена 75) за допомогою методу апроксимації.

2. Розроблені апроксимаційні залежності дозволяють здійснювати розрахунок без використання графічного методу, який має обмеження стосовно розмірів чарунок.

3. Перевірка даної методики на адекватність показала, що похибка розрахунку основних характеристик насадок не перевищує 1%.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Теплотехнические расчёты металлургических печей / под общ. ред. А.С.Телегина. – М.: Металлургия, 1970. – 528с.
2. Дьяконов В.П. Справочник по алгоритмам и программам на языке Бейсик для персональных ЭВМ / Дьяконов В.П. – М.: Наука, 1987. – 240с.

Надійшла до редколегії 05.03.2015.

УДК 621.311.004.18

ПАБАТ А.І., к.т.н., доцент

Дніпродзержинський державний технічний університет

### ІННОВАЦІЙНИЙ СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛООВОГО ОБЛАДНАННЯ

**Вступ.** В останні роки підвищення ефективності енергетики ЖКГ і насамперед ефективності використання палива пов'язують в основному з двома технологіями: 1) з використанням кисню як окислювача; 2) з високотемпературним підігрівом повітря за рахунок глибокої утилізації теплоти вихідних газів унаслідок застосування регенеративних пальників. Якоюсь мірою ці технології можна розглядати як конкуруючі, кожна з них має і переваги, і недоліки, тому вибір тієї чи іншої технології залежить від конкретних обставин для кожного об'єкта.

В Україні і країнах СНД кисень у нагрівальних печах і пристроях не застосовується. За літературними даними технології використання кисню одержали широке по-