

5. Kal'ko V. A. The locomotive. Illustrated manual operator / Kal'ko V. A., Medvedev G. G., Rukavishnikov Yu. A. – M. : Transport, 1967. – 223 P.

6. Kulagin D. A. Mechanization, automation, Informatization, telecommunications and communications in the sectors of industry : collective monograph / [pod red. S. M. Akhmetova]. – Novosibirsk : Izd. «SibAK», 2014. – 156 P.

УДК 629.4.076:62-52:629.423.2

Д.А. Кулагин, канд. техн. наук, доцент

Запорожский национальный технический университет

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

В статье показано влияние использования рациональных режимов работы поездов, которые определяют степень использования мощности и силы тяги, надежность и экономичность в конкретных эксплуатационных условиях, позволяют достичь оптимальных расходов первичных энергетических ресурсов. Достижение оптимальных эксплуатационных характеристик, наряду с экономией энергоресурсов, достигается усовершенствованием режимов вождения поездов, рациональным использованием топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов. Целью данной статьи является анализ технологий повышения эффективности использования энергетических ресурсов на подвижном составе железных дорог. В результате проведенного исследования выявлено, что основными элементами экономии энергетических ресурсов во время эксплуатации подвижного состава железных дорог является использования максимальной возможной силы тяги, реализация больших значений коэффициента сцепления, рациональное использование запасов кинетической энергии для преодоления подъемов, правильный выбор скорости начала торможения, умелое регулирование силы тяги с применением ослабления возбуждения тяговых двигателей при оптимальном температурном режиме обмоток электрических машин и дизеля.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, эффективность, экономия, режимы вождения поезда, рациональность.

УДК 621.783.2:621.311.16

Ю.Г. Качан, д-р техн. наук, профессор;

В.Л. Коваленко, канд. техн. наук, доцент; А.А. Візер

Запорізька державна інженерна академія

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ГАЗОВОЇ НАГРІВАЛЬНОЇ ПЕЧІ ЗА НАЯВНОСТІ ПРОСТОРОВОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ

В роботі представлені результати експериментального дослідження впливу електричного поля на розподіл температури у нагрівальних пристроях. Для підвищення ефективності експерименту було здійснено його планування з метою досягнення максимальної точності прогнозування при мінімальній кількості проведених операцій і забезпечення статистичної достовірності одержаних результатів. Отримано математичну модель, що дозволяє визначити температуру у місці розташування електродів при наявності електричного поля, її підтверджено її адекватність.

Ключові слова: математична модель, нагрівальна піч, тепловий потік, просторове електричне поле, інтенсифікація теплообміну.

Вступ. Як було визначено [1,2], вплив електричного поля на процес розподілу температури у нагрівальних камерах є незаперечним і проявляється вже за відносно низьких напруг до 1 кВ. При цьому інтенсифікації процесу теплообміну у певній області промислового нагрівального пристрою, зазвичай, не приділяється значної уваги. Частково це задовольняється зміною конструкції і аеродинамічних характеристик останнього, що є недостатнім. Впровадження вищезазначених заходів у комплексі з використанням запропонованого методу підвищення енергоефективності на основі застосування електричного поля у якості керуючого впливу на теплові потоки може дати значну економію витрат

підприємств на органічне паливо і знизити його долю у структурі собівартості продукції. Зважаючи на те, що в більшості нагрівальних печей у якості енергоносія використовується природний газ, вартість якого зростає, подальші дослідження у даному напрямку є актуальними.

Матеріал і результати досліджень. Для отримання математичної моделі, що дозволяє визначити температуру у заданому місці нагрівальної камери під дією просторового електричного поля було створено спеціальну пічну установку, електрична частина якої дозволяє змінювати робочу напругу заданої полярності на рухомих електродах у широкому діапазоні 0 – 1000 В, та проведено відповідні досліди з урахуванням специфіки поставленого завдання. Для підвищення ефективності експерименту здійснено його планування з метою досягнення максимальної точності прогнозування при мінімальній кількості проведених операцій і збереженні статистичної достовірності результатів. Для розробки матриці дробного факторного експерименту типу 2^5 за відомими методиками [3] було обрано кілька параметрів, які можуть впливати на розподіл температури всередині установки, а саме: U – напруга між електродом та пальником (В), h – відстань між дослідними пластинами-електродами і поздовжньою віссю камери (м), H – відстань між зазначеними пластинами і верхньою межею камери (м), α – кут нахилу пластин по відношенню до поздовжньої осі (радіан). Крім того, вирішено також враховувати полярність поданої напруги. Матрицю діапазону значень досліджуваних параметрів, що враховуються у математичній моделі, представлено у таблиці 1.

Таблиця 1

Діапазон значень врахованих у математичній моделі параметрів.

| Параметр | Максимальне значення | Мінімальне значення |
|-----------------------------|----------------------|---------------------|
| U (В) | 1000 | 300 |
| h (м) | 0,05 | 0,08 |
| H (м) | 0,315 | 0,11 |
| α (рад) | 1,57 | 0 |
| Знак полярності на пальнику | + | - |

Схему відповідної експериментальної установки зображено на рисунку 1.

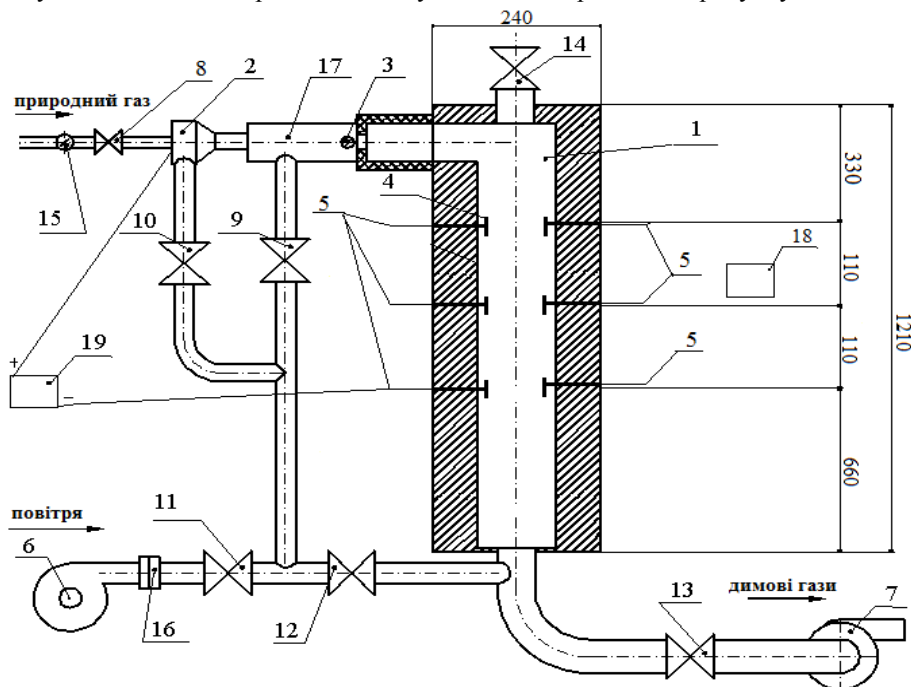


Рис. 1. Принципова схема експериментальної установки:

1 – теплоізолювана нагрівальна камера; 2 – пальник; 3 – електроіскровий запальник; 4 – досліджувана пластинка; 5 – електроди; 6 – повітродувка; 7 – димосос; 8 – 14 – арматура регулювання процесом горіння; 15 – газовий лічильник; 16 – вимірювальна діафрагма; 17 – додаткова камера; 18 – прилад для вимірювання температури безконтактний; 19 – електричний пристрій.

За результатами проведеного у відповідності зі складеною задля цього матрицею одержана потрібна математична модель виду:

$$T = f(U, H, h, \alpha) = b_0 + b_1 U + b_2 H + b_3 h + b_4 \alpha + b_5 (U \cdot H) + b_6 (U \cdot h) + b_7 (U \cdot \alpha) + b_8 (h \cdot H) + b_9 (H \cdot \alpha) + b_{10} (h \cdot \alpha) + b_{11} (U \cdot H \cdot h) + b_{12} (U \cdot H \cdot \alpha) + b_{13} (H \cdot h \cdot \alpha) + b_{14} (U \cdot h \cdot \alpha) + b_{15} (U \cdot H \cdot h \cdot \alpha), \quad (1)$$

де b_i – коефіцієнти моделі, $i = \overline{1, 15}$. Значення останніх наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

Коефіцієнти моделі нагрівальної установки за наявності просторового електричного поля різної полярності.

| Коефіцієнти | Значення, відповідно до полярності на пальнику | |
|-------------|--|--------------|
| | "-" | "+" |
| b0 | 412,5900116 | 483,3716609 |
| b1 | 0,042288037 | 0,051010453 |
| b2 | -199,3031359 | -709,8722416 |
| b3 | 238,0952381 | -915,0987224 |
| b4 | 16,97108236 | -45,24364352 |
| b5 | -0,051103368 | -0,229965157 |
| b6 | -0,384436702 | -0,602787456 |
| b7 | -0,014832405 | 0,010874631 |
| b8 | 5714,285714 | 15981,41696 |
| b9 | 24,1165287 | 419,3021002 |
| b10 | 19,5299496175 | 1078,289946 |
| b11 | 0,4645760744 | 4,181184669 |
| b12 | 0,0162749580 | -0,054743041 |
| b13 | -784,1570681169 | -8093,09276 |
| b14 | 0,1679279759 | -0,142035997 |
| b15 | -0,1479541639 | 0,739770819 |

Похибка прогнозування температури всередині нагрівальної установки за наявності електричного поля визначалася за допомогою отриманої математичної моделі згідно [4]. Відповідність прогнозованої температури пластини T_n дійсній T_δ одержано у вигляді:

$$T_n = \alpha_0 + \alpha_1 T_\delta, \quad (2)$$

$$\text{де } \alpha_0 = \overline{T_n} - r_{T_n T_\delta} \sigma_{T_n} / \sigma_{T_\delta} \overline{T_\delta}; \quad \alpha_1 = r_{T_n T_\delta} \sigma_{T_n} / \sigma_{T_\delta}.$$

Тут $\overline{T_n}, \overline{T_\delta}$ – середні значення прогнозованих і дійсних температур пластини; r_{Q_n, Q_δ} – коефіцієнт кореляції між ними; $\sigma_{Q_n}, \sigma_{Q_\delta}$ – середньоквадратичні відхилення, α_0, α_1 – емпіричні коефіцієнти при розрахунку прогнозованих температур. Зазначені величини обчислено за формулами:

$$r_{T_n T_\delta} = \frac{\sum_1^L (T_\delta - \overline{T_\delta}) \cdot (T_n - \overline{T_n})}{L \cdot \sigma_{T_n T_\delta}}; \quad (3)$$

$$\sigma_{T_\delta} = \sqrt{\sum_1^L (T_\delta - \overline{T_\delta})^2 / (L-1)}; \quad (4)$$

$$\sigma_{T_n} = \sqrt{\sum_1^L (T_n - \overline{T_n})^2 / (L-1)}, \quad (5)$$

де L – обсяг статистичної вибірки (кількість проведених вимірів).

Середньоквадратична абсолютна похибка вимірів визначалася як:

$$\Delta T_n = t_p \sigma_{T_n}^*, \quad (6)$$

де t_p – коефіцієнт Стьюдента, що береться з таблиці відповідного розподілу [4] для заданої вірогідності й кількості ступенів свободи дії $k=L-1$. У розглянутому випадку вірогідність прийнята $P=0,05$. Тут $\sigma_{T_n}^*$ – залишкове середньоквадратичне відхилення, що обчислено за формулою:

$$\sigma_{T_n}^* = \sqrt{\sum_1^L (T_n - T_n^*)^2 / (L-1)}. \quad (7)$$

У результаті середньоквадратична відносна похибка прогнозу визначена в такий спосіб:

$$\delta_{T_n} = |\Delta T_n| / T_{n\max} \cdot 100\%, \quad (8)$$

де $T_{n\max}$ – граничне значення прогнозованої температури.

Результати відповідності прогнозованого значення температури пластини дійсному значенню у випадку “–” та “+” полярності на пальнику наведено на рисунках 2 та 3 відповідно.

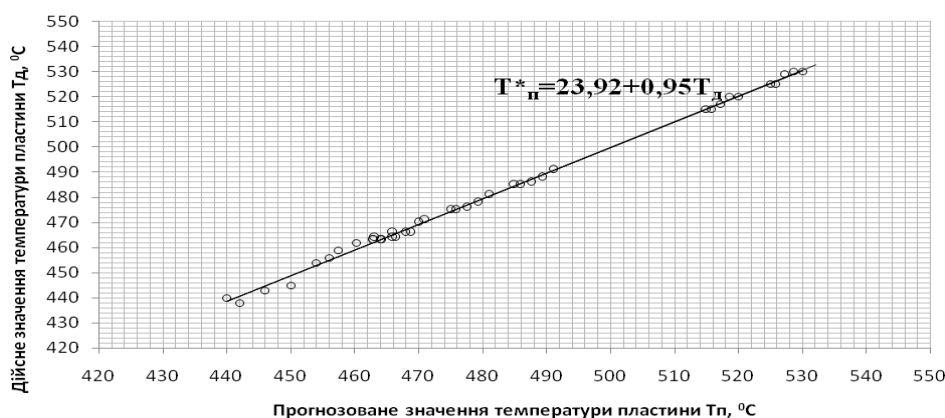


Рис. 2. Відповідність прогнозованого значення температури пластини дійсному у випадку “–” полярності на пальнику.

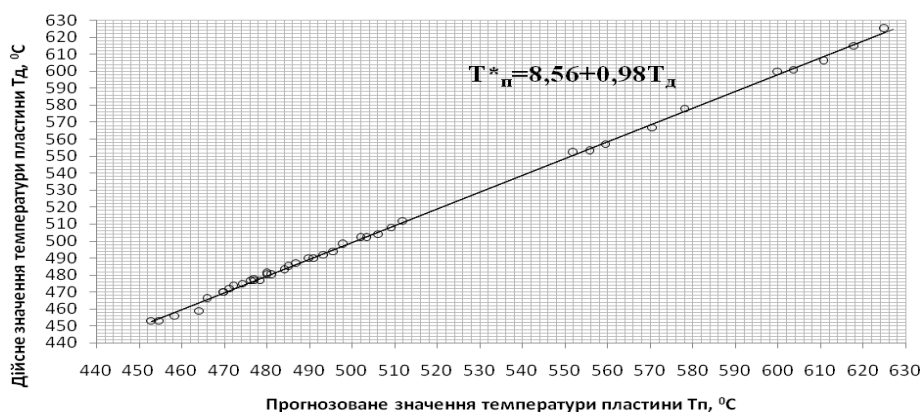


Рис. 3 Відповідність прогнозованого значення температури пластини дійсному у випадку “+” полярності на пальнику

Об'єм статистичної вибірки склав $L = 32$. У підсумку середньоквадратична відносна похибка прогнозу дорівнює відповідно $\delta_{T_{n(-)}} = 1,79\%$ та $\delta_{T_{n(+)}} = 3,04\%$, що достатньо для задач, що розглядаються.

Висновки

У результаті перевірки математичної моделі камерної печі підтверджена її адекватність реальним процесам. Середньоквадратична відносна похибка прогнозу не перевищила 4%. Використання даної моделі дає можливість керувати тепловими потоками за допомогою просторових електричних полів з метою інтенсифікації процесу теплообміну у заданій області печей, що працюють на природному газі.

Список літератури

1. Качан Ю. Г. Щодо можливості підвищення енергоефективності нагрівальних печей за рахунок формування теплових потоків просторовими електричними полями / Ю. Г. Качан, В. Л. Коваленко, А. А. Візер // *Металургія : наукові праці ЗДІА*. – Запоріжжя: РВВ ЗДІА, 2013. № 29. – С. 121–125.
2. Качан Ю. Г. Щодо можливості керування тепловими потоками просторовим електричним полем. / Ю. Г. Качан, В. Л. Коваленко, А. А. Візер // *Металлургическая теплотехника : сборник научных трудов Национальной металлургической академии Украины*. – Днепропетровск : Новая идеология, 2013. № 13.
3. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский . – М. : Наука, 1976. – 279 с.
4. Лукомский Ф.И. Теория корреляции и ее применение к анализу производства. – М.: Госстатиздат, 1958. - 120 с.

U. Kachan, V. Kovalenko, A. Vizer
Zaporozhye State Engineering Academy

MODELING OF THE TEMPERATURE CONDITION OF THE GAS HEATING FURNACE IN SPATIAL ELECTRIC FIELD

The results of experimental research of the electric field influence on a temperature distributing in heating devices are proposed in this article. To increase of experimental efficiency its planning to get an accuracy maximum of prediction at minimum quantity of accomplished operations and to provide for statistic reliability of the achieved results was carried out. The mathematical model permitting to determine temperature in the place of electrodes location at existing electric field was obtained, its adequacy was confirmed .

Keywords: mathematical model, heating furnace, heat flux, spatial electric field, intensification of heat exchange.

1. Kachan, U.G., Kovalenko, V.L., Vizer A.A (2013). About possibility of increasing the energy efficiency of heating furnaces by forming heat fluxes using spatial electric fields / *Metallurgy : ZDIA scientific papers* . - Zaporozhye: RVV ZDIA , 2013 . - V. 29, 121-125 p.p.
2. Kachan, U.G., Kovalenko, V.L., Vizer A.A (2013). About possibility to control heat fluxes using spatial electric fields / *Metallurgical heating engineering : collection of scientific labours of the National metallurgical academy of Ukraine*. - Dnepropetrovsk : New ideology, 2013. - V.13.
3. Adler,U.P., Markov, E.V., Granovskiy U. V. (1976). Planning of the experiment to find of optimum terms.- Moscow : Science, 279 p.
4. Lukomskiy F.I. (1958) Correlation theory of and its application to the production analysis. – Moscow.: Gosstatizdat, 120 p.

УДК 621.783.2:621.311.16

Ю.Г. Качан, д-р техн. наук, профессор;
В.Л Коваленко, канд. техн. наук, доцент; **А.А Візер**
Запорожская государственная инженерная академия

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ГАЗОВОЙ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ ПРИ НАЛИЧИИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

В работе представлены результаты экспериментального исследования влияния электрического поля на распределение температуры в нагревательных устройствах. Для повышения эффективности эксперимента было осуществлено его планирование с целью достижения максимальной точности прогнозирования при минимальном количестве проведенных операций и обеспечения статистической достоверности полученных результатов. Получена математическая модель, позволяющая определить температуру в месте расположения электродов при наличии электрического поля, и подтверждено ее адекватность .

Ключевые слова: математическая модель, нагревательная печь, тепловой поток, пространственное электрическое поле, интенсификация теплообмена.