

$$\frac{ab^2 \rho_q}{(1-f_v)} \frac{d^2 \varphi_{uu}}{dt^2} = ab^2 \rho_q g + ab^2 \rho_q \frac{d^2 \varphi_{uu}}{dt^2} - \frac{(ab^2 \rho_q g; 0; ab^2 \rho_q g)}{\left( -T_k \sin \varphi_{uu}; T_k \cos \varphi_{uu}; \frac{2\pi R_M}{\sqrt{T_k^2 + 4\pi^2 R_M^2}} \right) \left( 1 - f_v \frac{|\Phi|}{|\Phi|} \right)}; \quad (5)$$

- коли частинка тіла елементарної маси  $dm_e$  зернового матеріалу рухається одночасно по робочій поверхні спірального витка та внутрішній поверхні кожуха

$$\frac{4ab^2}{3} \rho_q \frac{d^2 \varphi_{uu}}{dt^2} = \left( \frac{4ab^2}{3} \rho_q g \sin \varphi_{uu}; 0; -\frac{4ab^2}{3} \rho_q g \sin \varphi_{uu} \right) + R_v \left( -T_k \sin \varphi_{uu}; T_k \cos \varphi_{uu}; \frac{2\pi R_M}{\sqrt{T_k^2 + 4\pi^2 R_M^2}} \right) \left( 1 - f_v \frac{|\Gamma|}{|\Pi|} \right); \quad (6)$$

$$\text{де } T_k = T_1 + (k_z - 1) \frac{D_{uu} (k_{Tk} - k_{T1})}{i - 1}; \quad \Phi = \frac{dR_{uu}}{dt} - \left( -2\pi \frac{d\varphi_{uu}}{dt} \cdot y + \frac{dx_0(t)}{dt}; \frac{dy_0(t)}{dt} + 2\pi \frac{d\varphi_{uu}}{dt} \cdot x; 0 \right);$$

$$\Gamma = \frac{d\varphi_{uu}}{dt} - 2\pi \omega_{uu} \cdot y + \frac{d\varphi_0}{dt}; \quad \Pi = \frac{dR_M}{2dt} - 2\pi \omega_{uu} \cdot y + \frac{dx_0(t)}{dt}.$$

Отримані математичні моделі (5), (6) мають стаціонарні рішення відносно прискорення руху  $d^2 \varphi_{uu} / dt^2 = a_m$  (м/с<sup>2</sup>) частинки, які відповідають точкам спокою:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2 \varphi_{uu}}{dt^2} = a_{Im} = g \sin \varphi_{uu} \left[ \frac{\left( \frac{\pi D_{uu}}{\sqrt{T_k^2 + \pi^2 D_{uu}^2}} \right) \left( \frac{1 + f_v^2 - f_v}{f_v - f_v^2} \right)}{\left( \frac{\pi D_{uu} \cos \varphi_{uu}}{\sqrt{T_k^2 + \pi^2 D_{uu}^2}} \right)} \right]; \\ \frac{d^2 \varphi_{uu}}{dt^2} = a_{IIm} = 0,5 g \sin \varphi_{uu} (1 - D_{uu}) (\sin \varphi_{uu} - 1) \end{aligned} \right\}. \quad (7)$$

### Література

1. Baranovsky V.M., Solomka V.O., Onyshchenko V.B. Choice of parameters when designing a screw conveyor. CDTUSG Herald. 2001. No 8 (2). P. 209-215.

УДК 66.041

**Карпюк Т. О.**

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ХЛІБОПЕКАРСЬКИХ ПЕЧЕЙ

**Карпюк Т. О.**

### IMPROVING THE BAKING OVENS EFFICIENCY

Хлібопекарське виробництво традиційно залишається однією з провідних галузей харчової промисловості України, забезпечуючи населення соціально значущою продукцією. Водночас ця галузь характеризується високою енергоємністю виробництва, причому хлібопекарські печі споживають до семидесяти відсотків усієї енергії підприємства. В умовах сучасної енергетичної кризи та тривалої тенденції до зростання цін на енергоносії питання раціонального використання енергетичних ресурсів набуває стратегічного значення для забезпечення конкурентоспроможності вітчизняних виробників.

Виконано комплексний аналіз сучасних технологічних та організаційних підходів до підвищення ефективності роботи хлібопекарських печей з наступним визначенням найбільш перспективних напрямків їх модернізації в умовах вітчизняних підприємств.

Аналіз стану матеріально-технічної бази галузі свідчить, що значна частина обладнання, яке експлуатується на українських хлібопекарських підприємствах, є морально та фізично застарілим. Коефіцієнт корисної дії таких печей зазвичай не перевищує сорока п'яти – п'ятдесяти п'яти відсотків, тоді як сучасне обладнання здатне досягати показників на рівні сімдесяти п'яти – вісімдесяти відсотків. Це означає, що майже половина споживаної енергії витрачається нераціонально, що критично впливає на собівартість продукції та економічну ефективність виробництва загалом.

У ході дослідження нами було виокремлено п'ять основних напрямків технологічної модернізації хлібопекарських печей. Першим і найважливішим напрямком є оптимізація теплового режиму випікання через впровадження сучасних систем автоматичного регулювання температури. Такі системи забезпечують підтримання заданих температурних параметрів у кожній технологічній зоні печі з точністю до одного градуса Цельсія, що дозволяє досягти рівномірного пропікання виробів та мінімізувати непродуктивні витрати енергії. За результатами наших розрахунків, впровадження автоматизованих систем керування тепловим режимом забезпечує зниження енергоспоживання на вісім – дванадцять відсотків.

Другим важливим напрямком є комплексне покращення теплоізоляції печей. Проведені нами обстеження показали, що через недосконалу теплоізоляцію експлуатованого обладнання тепловтрати можуть досягати тридцяти – сорока відсотків від загального споживання енергії. Застосування сучасних високоефективних теплоізоляційних матеріалів, зокрема керамічного волокна та багат шарових композитних панелей, дозволяє знизити теплові втрати до п'яти – десяти відсотків. При цьому особливу увагу необхідно приділяти ізоляції конструктивних елементів, через які найчастіше відбувається витік тепла: дверцят завантаження та вивантаження, оглядових вікон, технологічних отворів.

Третім перспективним напрямком є впровадження систем рекуперації теплової енергії відпрацьованих димових газів. Температура газів, що відводяться з робочої камери печі, становить двісті п'ятдесят – триста градусів Цельсія, що представляє значний енергетичний потенціал для вторинного використання. Встановлення теплообмінних апаратів дозволяє утилізувати це тепло для підігрівання технологічної води, повітря системи вентиляції або інших виробничих потреб підприємства. Економічна ефективність систем рекуперації підтверджується терміном окупності на рівні двох – трьох років при досягненні економії палива до п'ятнадцяти – двадцяти відсотків.

Четвертим напрямком модернізації є заміна застарілих пальникових пристроїв на сучасні високоефективні моделі з електронною системою регулювання процесу горіння. Такі пальники забезпечують більш повне згоряння палива, точне дозування його подачі відповідно до технологічних потреб та зменшення викидів продуктів неповного згоряння. Модернізація пальникових пристроїв дозволяє підвищити коефіцієнт корисної дії печі на десять – п'ятнадцять відсотків та покращити екологічні показники виробництва.

П'ятим технологічним напрямком є впровадження частотно-регульованих електроприводів для вентиляторів та інших допоміжних механізмів печі. На відміну від традиційних систем, що працюють на постійній потужності, частотне регулювання дозволяє оптимізувати режими роботи обладнання відповідно до поточних виробничих потреб. Це забезпечує економію електроенергії на рівні тридцяти – сорока відсотків при терміні окупності інвестицій полтора – два роки.

Поряд із технічними заходами важливу роль у підвищенні ефективності відіграють організаційні чинники. До них належать оптимізація виробничого графіку з метою максимального завантаження печей, мінімізація технологічних простоїв обладнання, систематичне навчання обслуговуючого персоналу сучасним методам експлуатації та

обслуговування, а також впровадження автоматизованих систем моніторингу енергоспоживання для оперативного виявлення відхилень від нормативних показників.

Нами було проведено техніко-економічне обґрунтування комплексної модернізації типової хлібопекарської печі продуктивністю три тонни готової продукції на добу. Розрахунки показали, що впровадження описаних вище заходів забезпечує зниження витрат природного газу на вісімнадцять – двадцять п'ять відсотків та зменшення споживання електричної енергії на двадцять – тридцять відсотків. При цьому сукупні капітальні інвестиції окуповуються протягом двох – трьох років експлуатації модернізованого обладнання, що є економічно привабливим показником для підприємств галузі.

Підсумовуючи результати проведеного дослідження, необхідно зробити кілька принципових висновків. По-перше, підвищення ефективності роботи хлібопекарських печей потребує саме комплексного системного підходу, що поєднує технологічні, технічні та організаційні заходи. По-друге, найвищу економічну ефективність демонструє інтегроване впровадження декількох напрямків модернізації, зокрема покращення теплоізоляції у поєднанні з рекуперацією теплової енергії та автоматизацією технологічних процесів. По-третє, капітальні інвестиції в модернізацію печей є економічно обґрунтованими та характеризуються прийнятним терміном окупності. По-четверте, ефекти від підвищення енергетичної ефективності не обмежуються лише економією ресурсів, а також проявляються у покращенні якісних характеристик готової продукції та екологічних параметрів виробництва.

Перспективами подальших наукових досліджень у цьому напрямку ми вбачаємо поглиблене вивчення можливостей інтеграції альтернативних джерел енергії в технологічні процеси хлібопекарського виробництва, розроблення інтелектуальних систем управління тепловими режимами на основі штучного інтелекту, а також дослідження впливу різних варіантів модернізації на фізико-хімічні та органолептичні показники хлібобулочних виробів.

### Література

1. Ворошук В.Я., Вітенько Т.М. Інжиніринг та 3D моделювання в середовищі SolidWorks: навч. посіб. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023. 164 с.

УДК 621.9

**О.С. Кобельник<sup>1</sup>, к.т.н; В.І. Оліховський<sup>2</sup>; В.Р. Кобельник<sup>2</sup>, к.т.н., доцент**

<sup>1</sup>ВСП «Тернопільський фаховий коледж ТНТУ ім.І.Пулюя», Україна)

<sup>2</sup>Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

### **ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗМІНИ ПОДАЧІ ПРИ СВЕРДЛІННІ НАСКРІЗНИХ ОТВОРІВ**

**O.S. Kobelnyk, Ph. D; V.I. Olikhovskiy; V.R. Kobelnyk, Ph.D., Assoc. Prof.**

### **DEVICE FOR ENSURING CHANGE OF FEED DURIN DRILLING OF THROUGH HOLES**

Процес свердління наскрізних отворів та його характерні особливості висвітлені у працях [1-6]. Встановлено, що під час формування наскрізних отворів, у момент виходу свердла з тіла заготовки, виникають небажані ефекти у механізмах головного руху та подачі, як наприклад пружні деформації, що супроводжуються накопиченням потенціальної енергії. В момент виходу свердла із заготовки, ця енергія вивільняється та призводить до різкого зростання подачі  $S$ , що в свою чергу призводить до збільшення крутного моменту. Такий стрибок навантаження, є одним із основних факторів поломки свердла та утворення задирок при наскрізному свердлінні. Методами щодо мінімізації