

¹Канд. техн. наук, доцент кафедри інформатики, автоматики і систем управління ДВНЗ «Криворізький національний університет», Кривий Ріг, Україна

²Студентка ДВНЗ «Криворізький національний університет» Кривий Ріг, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКІСТЮ ВИПАЛЮВАЛЬНИХ ВІЗКІВ КОНВЕЄРНИХ МАШИН

Актуальність. Вирішено актуальну задачу розробки сучасних математичних моделей для дослідження регулювання швидкістю випалювальних візків конвеєрної машини, що дозволяє підтримувати заданий рівень висоти шару котунів та забезпечує оптимальний технологічний процес по випалу котунів і максимальну продуктивність.

Мета роботи – представлення результатів розробки математичної моделі для регулювання швидкості випалювальних візків конвеєрної машини із реалізацією сучасної SCADA-системи для управління продуктивністю конвеєрної машини шляхом регулювання швидкості переміщення її випалювальних візків, що приводить до зміни висоти шару котунів на цих візках.

Метод. Для оцінювання динамічних характеристик системи електроприводу і моделювання регулювання швидкості переміщення випалювальних візків конвеєрної машини використувано потужний і універсальний метод дослідження - графічне середовище імітаційного моделювання Simulink, що є додатком до пакету для числового аналізу MATLAB. При моделюванні з використанням Simulink використовується принцип візуального програмування, відповідно до якого, користувач на екрані з бібліотеки стандартних блоків створює модель пристрою і здійснює розрахунки.

Результати. У запропонованій математичній моделі використовуються вихідні дані конвеєрних машин ОК-306 та LURGI-278. Для побудови математичної моделі автоматизованої системи регулювання швидкості переміщення випалювальних візків конвеєрної машини виконані розрахунки передавальних функцій елементів, що входять у цю систему. У математичній моделі асинхронний двигун представлений спрощеною механічною та електромагнітною ланками зі зворотнім зв'язком по швидкості, які визначені передавальними функціями. У результаті моделювання отримані перехідні процеси при регулюванні висоти шару котунів на випалювальних візках та визначено їх вплив на продуктивність конвеєрної машини.

Для доцільності удосконалення АСУТП фабрики огрудкування за рахунок використання математичної моделі для регулювання швидкості руху випалювальних візків розроблена сучасна модель інтерфейсу SCADA-системи, що працює в реальному часі, та дає можливість оперативного диспетчерського управління. Оскільки у системах автоматизованого управління провідні фабрики огрудкування використовують інструментальну систему SCADA TRACE MODE 6, то систему регулювання висоти шару котунів доцільно розробляти з використанням SCADA TRACE MODE 6.

Висновки. На основі використання вихідних даних технологічного процесу випалу котунів на конвеєрній випалювальній машині та виконаних розрахунків у графічному середовищі Simulink MATLAB побудовано математичну модель системи для регулювання швидкості випалювальних візків конвеєрної машини, що відповідно до технологічного процесу дозволяє досліджувати вплив на процес випалу котунів за рахунок керування висотою шару котунів і продуктивність конвеєрної машини.

Запропоновану сучасну модель інтерфейсу SCADA-системи, що працює в реальному часі та дає можливість оперативного диспетчерського управління, може бути використано в реальних промислових умовах.

Ключові слова: фабрика огрудкування, конвеєрна машина, випалювальні візки, котуни, швидкість, математична модель, SCADA-система, моделювання, результати моделювання.

НОМЕКЛАТУРА

КМ – конвеєрна машина;
 АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом;
 SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition System;
 АД – асинхронний двигун;
 $W_{em}(p)$ – передавальна функція електромагнітної ланки;
 β – електромагнітна жорсткість;
 $M_{кр}$ – критичний момент асинхронного двигуна;
 $s_{кр}$ – критичне ковзання;
 f – частота струму в мережі живлення;
 p_n – кількість пар обмоток двигуна;
 T_{em} – електромагнітна стала;
 $W_{mx}(p)$ – передавальна функція механічної ланки;
 $W_{пч}(p)$ – передавальна функція перетворювача частоти;
 $K_{пч}$ – коефіцієнт перетворювача;
 $U_{пчм}$ – максимальна напруга на виході ланки перетворювача частоти;

$T_{пч}$ – постійна часу перетворювача частоти;
 $W_{opc}(p)$ – передавальна функція об'єкта регулювання;
 $W_{pc}(p)$ – передавальна функція регулятора струму;
 $W_{oc}(p)$ – бажана передавальна функція розімкнутого контуру регулювання струму;
 T_{μ} – некомпенсована постійна часу;
 K_{zc} – коефіцієнт датчика струму;
 $U_{рсм}$ – максимальна напруга на вході регулятора;
 I_{ϕ} – базисне значення струму, при використанні перетворювача частоти;
 $W_{рш}(p)$ – передавальна функція регулятора швидкості;
 $K_{зш}$ – коефіцієнт датчика швидкості;
 $U_{ршм}$ – максимальна напруга на вході регулятора швидкості;
 $W_p(p)$ – передавальна функція редуктора;
 $W_{рм}(p)$ – передавальна функція робочого механізму – привідної зірки конвеєра;
 h_3 – загальна максимальна висота шару котунів;
 $U_{звм}$ – максимальна напруга на виході передавальної функції зворотного зв'язку по висоті;
 $U_{квм}$ – максимальна напруга на виході вагів;
 $q_{квм}$ – максимальна продуктивність конвеєрних вагів.

ВСТУП

Сучасний процес виробництва залізородних котунів складається з прийому та підготовки шихтових матеріалів, виробництва сирих котунів при дозуванні концентрату, вапняку, бентоніту, тощо, зміцнення котунів і обробки зміцнених котунів. Сирі котуни піддаються термічній обробці на КМ у поєднанні з іншими технологічними операціями – завантаження сирих котунів у випалювальні візки, їх транспортування, сушіння, інтенсивний нагрів, високотемпературне випалювання і охолодження шару котунів. Коливання завантаження візків конвеєрної машини сирими котунами коливається у межах $\pm 18-20\%$, це викликає нерівномірну висоту шару котунів, тому для підтримки потрібного шару котунів виникає необхідність в розробці автоматичної системи керування швидкістю переміщення візків в продовж зон конвеєрної машини [1–6]. Одночасно потрібно враховувати те, що КМ працює у різних режимах, навантаженнях, різноманітних збуреннях, з сировиною та енергоносіями, що мають різні характеристики. Зміна цих параметрів приводить до коливань аеродинамічного опору шару котунів, що в свою чергу впливає на кількість присосів під візками, а відповідно й на температуру під ними, порушуючи газопроникність шару та якість котунів на виході машини. Від рівності шару котунів також залежить енергетичні показники та продуктивність КВМ, що потребує зменшення коливань висоти шару котунів на візках КМ шляхом регулювання швидкості переміщення випалювальних візків [7–9].

Окрім того, сучасних умовах досить актуальним є використання на верхньому рівні фабрики огрудування АСУТП, яка являє собою багаторівневу людино-машинну систему управління. В ієрархії програмно-апаратних засобів промислової автоматизації фабрики огрудування знаходяться SCADA-системи, які виконують задачі збирання інформації й управління технологічним процесом у реальному часі, та зберігання історії процесу, мають інтерфейс з оператором [8]. Вони займають верхній рівень ієрархії програмно-апаратних засобів автоматизації. Головне призначення SCADA-систем – збір поточної інформації про роботу устаткування з датчиків і контролерів, первинне перетворення та зберігання зібраної інформації, управління технологічним процесом, представлення поточної інформації у вигляді гістограм, таблиць, графіків, забезпечення зв'язку між оператором та технологічним процесом. У той же час, необхідно розрізняти програмне забезпечення SCADA, яке функціонує у складі АСУТП конкретного об'єкта, і набір інструментальних програмних засобів, призначених для розробки спеціалізованого програмного забезпечення. Ці дві різновидності програмного забезпечення тісно пов'язані, тому в подальшому будемо називати їх системами збору даних і оперативного управління. Найбільш популярними серед інструментальних засобів розробки є: WinCC фірми Siemens, Genesis32 фірми Iconics, iFIX фірми Intellution. Вони функціонують під управлінням Windows 98/NT/2000, що обумовлює їх максимальну відкритість і масштабованість.

Сучасні автоматизовані системи управління фабрик огрудування будуються на базі промислових контролерів, які на нижньому рівні АСУТП використовують інформацію з первинних перетворювачів, обробляють інформацію, що получено, регулюють технологічні параметри, забезпечують аварійну сигналізацію, захист і блокування. Сформована та оброблена контролерами інформація передається до комп'ютеризованих систем верхнього рівня АСУТП, які мають робочі місця диспетчера, оператора-технолога, де відбувається подальша обробка даних процесу і представлення оператору у інтуїтивно зрозумілому вигляді.

Сьогодні доцільно удосконалювати АСУТП фабрики огрудування за рахунок впровадження сучасної SCADA-системи регулювання швидкістю випалювальних візків, що працює в реальному часі та використовує можливість оперативного диспетчерського управління продуктивності КМ. Тому розробка сучасних математичних моделей для регулювання швидкості випалювальних візків КМ, які підтримують заданий рівень висоти шару котунів та забезпечують оптимальний технологічний процес по продуктивності, є актуальною науковою та практичною задачею.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Задача дослідження полягає в розробленні математичної моделі регулювання швидкості переміщення випалювальних візків КМ, що прискорює темпи протікання технологічного процесу, дозволяючи вивчати не тільки основні канали управління процесами випалювання котунів, скорочуючи час освоєння нових процесів, а й вдосконалювати вже існуючі, що змінюють продуктивність КМ. Цілі та методи моделювання спрямовані на підвищення ефективності та продуктивності КМ, якості продукції, забезпечення задач планування і управління, а також звільнення оператора від роботи в шкідливих умовах. Це дозволить більш точно керувати процесом термообробки та газодинамічним режимом шару котунів та реально впливати на якість спечених котунів, мінімізувати витрати палива для забезпечення заданої міцності котунів та збільшити продуктивність КМ. Задача моделювання управління швидкістю переміщення випалювальних візків КМ полягає в тому, що для технологічного об'єкта потрібно підібрати такий опис, який у повній мірі відображав дійсне значення продуктивності КМ з точки зору заданої мети моделювання. При розробці системи автоматичного регулювання швидкості переміщення випалювальних візків у продовж всіх зон КМ метою моделювання є дослідження поведінки системи, знаходження оптимальних параметрів регуляторів для роботи системи в необхідному режимі. При цьому удосконалюється керування оператором технологічного процесу випалювання котунів, забезпечуючи їх якість та необхідну продуктивність КМ, завдяки використанню регулювання швидкості випалювальних візків КМ, що реалізовано на базі SCADA-системи. Тому метою даної статті є представлення результатів розробки математичної моделі для регулювання швидкості випалювальних візків КМ із сигналізацією сучасної SCADA-системи для управління про-

дуктивністю КМ і регулювання висоти шару котунів на візках КМ.

2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

На сьогоднішній день проводяться масштабні дослідження в області створення ефективних методів та технологій, що дозволяють вирішувати керування технологічним процесом при автоматичному управлінні агрегатами та механізмами, призначених для виробництва котунів, у тому числі й регулюванні швидкості візків КМ, що досить широко висвітлено у вітчизняній і зарубіжній літературі [1–8]. Для управління переміщення випалювальних візків у продовж технологічних зон КМ використовуються електроприводи з електродвигунами постійного або змінного струму. При реалізації цієї мети застосовуються асинхронні електроприводи с параметричним управлінням, для яких використовуються перетворювачі частоти, що включені в статорні ланцюги асинхронного двигуна [9–12]. Технічні та економічні показники перетворювачів частоти грають головну роль у сфері їх застосування і виявляють доцільність їх промислового впровадження в електроприводі управління швидкістю візків КМ та є найбільш широко поширеними на практиці, їх експлуатація буде застосовуватися і в майбутньому для регулювання швидкості КМ [9, 11–12]. Проте, відомі результати досліджень не в повній мірі відображають протікання технологічного процесу випалювання котунів і з великою помилкою визначають продуктивність при регулюванні швидкості візків КМ. Разом з цим, велика кількість різних публікацій присвячено розробці сучасних SCADA-систем для автоматизації агрегатів і механізмів фабрики огрудкування. Лідерами промислових SCADA-систем є: фірми AdAstra, що розробила систему Trace Mode [8], Slmeider Electric – Monitor Pro [13], US Data – Factory Link [14], Wonderware – Intouch [15], фірми Iconics – Genesis [16] та ін. За допомогою TRACE MODE 5.04 для Windows NT можливо не тільки розробляти розподілені АРМ операторів технологічного процесу, а й запрограмувати контролери, а також зв'язати АСУТП з корпоративною інформаційною системою підприємства і глобальною мережею Internet.

Відомі SCADA-системи використовуються у галузях господарства, де потрібно забезпечувати операторський

контроль за технологічними процесами в реальному часі, які можливо порівняти та зробити обґрунтований вибір на користь той чи іншої системи, що користуються популярністю у фахівців. Так, використовують SCADA-системи відомих західних фірм (Siemens, GE Fanuc, Octagon Systems, PEP, Modicon, Schneider Electric) в автоматичних системах управління газоперекачувальних станцій моніторингу та управління об'єктами енергетики, технології фізико-хімічного поділу сировини, що містить цукор та інших промислових об'єктів [17–25]. У металургійному виробництві та на деяких технологічних дільницях гірничо-збагачувальних підприємствах використовують SCADA систему TRACE MODE, яка є спеціалізованим комплексом рішень для верхніх рівнів АСУ ТП від компанії AdAstra Research Group. SCADA система TRACE MODE здійснює такі функції: управління процесом виробництва; збір даних; архівування даних; віддалене управління обладнанням; тривожна сигналізація; відображення інформації на трендах; генерування звітів. [19, 20, 26]. У той же час, деякі технологічні об'єкти випалу котунів фабрики огрудкування потребують удосконалення АСУТП за рахунок застосування сучасних SCADA-систем.

3 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Для моделювання регулювання швидкості палет КМ необхідно використовувати найбільш потужний і універсальний метод дослідження та оцінювання динамічних систем, поведінка яких залежить від випадкових факторів. Враховуючи вище сказане використовуємо графічне середовище імітаційного моделювання Simulink, що дозволяє за допомогою блок-діаграм у вигляді направлених графів, будувати динамічні моделі, включаючи дискретні, безперервні і гібридні, нелінійні і розривні системи. Програма Simulink є додатком до пакету для числового аналізу MATLAB. При моделюванні з використанням Simulink реалізуємо принцип візуального програмування, відповідно до якого, користувач на екрані з бібліотеки стандартних блоків створює модель пристрою і здійснює розрахунки [11]. На рис. 1 зображено математичну модель, розроблену у програмі Simulink на основі наступних розрахунків.

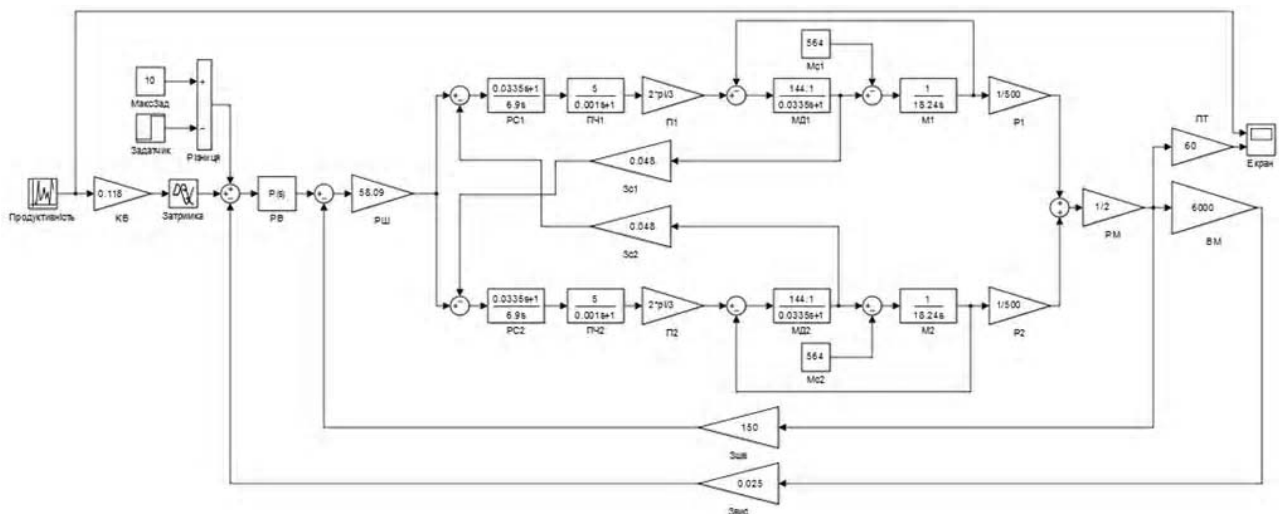


Рисунок 1 – Математична модель процесу регулювання висоти шару котунів

Процес транспортування та регулювання висоти шару котунів на випалювальних візках потребує електропривод із достатньою потужністю. Потужність електроприводу стрічки візків витрачається на подолання опору руху конвеєра: тертя кочення в ходових роликах візків, тертя ковзання в нижніх поздовжніх, торцевих і бортових ущільнювачах при руху візків, тертя в зачепленнях і тертя при завантаженні котунів на випалювальні візки КМ. Також, необхідно врахувати, що котуни створюють рушійний момент на візках розвантажувальної частини конвеєра, що полегшує роботу приводу. Тому розрахунок потужності електроприводу є першочерговим завданням при побудові системи керування.

У математичній моделі використано вихідні дані конвеєрних машин ОК-306 та LURGI-278 [5–7, 29]. Для моделювання автоматизованої системи необхідно провести розрахунки передавальних функцій елементів, що входять у систему автоматичного регулювання швидкості переміщення випалювальних візків КМ. Так, спрощена математична модель асинхронного двигуна має механічну та електромагнітну ланки зі зворотнім зв'язком по швидкості, які описуються наступними передавальними функціями. Для електромагнітної ланки:

$$W_{ем}(p) = \frac{\beta}{T_{ем}p + 1} = \frac{144,1}{0,0335p + 1}, \quad (1)$$

де $\beta = \frac{M_{кр}}{s_{кр}\omega_0}$, $M_{кр} = 1432,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $s_{кр} = 0,095$ визначається

за каталогом,

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p_n}, f = 50 \text{ Гц}, p_n = 3;$$

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{3} = 104,67 \text{ об/хв},$$

$$\beta = \frac{1432,5}{0,095 \cdot 104,67} = 144,1.$$

Електромагнітна стала (2), визначається за формулою:

$$T_{ем} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot s_k} = \frac{1}{3 \cdot 14,159 \cdot 0,095} = 0,033 \text{ с}. \quad (2)$$

Передавальна функція механічної ланки:

$$W_{мх}(p) = \frac{1}{Jp} = \frac{1}{18,24p}. \quad (3)$$

Передавальна функція перетворювача частоти має вигляд:

$$W_{пч}(p) = \frac{\kappa_{пч}}{T_{пч}p + 1} = \frac{5}{0,01p + 1}. \quad (4)$$

де $\kappa_{пч} = \frac{f}{U_{пчм}}$, $U_{пчм} = 10 \text{ В}$, $\kappa_{пч} = \frac{50}{10} = 5 \text{ Гц/В}$. $T_{пч}$ приймається за $0,001 \text{ с}$.

Ланка $\frac{2\pi}{p_n} = \frac{2 \cdot 3,14}{3} = 2,1$ розташовується між пере-

творювачем частоти і двигуном, потрібна для перетворення частоти напруги живлення у частоту обертання двигуна [11, 30–32].

Для спрощення синтезу регулятора струму можна знехтувати зворотнім зв'язком по швидкості асинхронного двигуна. Тоді передавальна функція об'єкта регулювання має наступний вигляд:

$$W_{орс}(p) = W_{рс} \cdot \frac{\kappa_{пч}}{T_{пч}p + 1} \cdot \frac{2\pi}{p_n} \cdot \frac{\beta}{T_{ем}p + 1}. \quad (5)$$

Бажана передавальна функція розімкнутого контуру регулювання струму матиме вигляд:

$$W_{бс}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu}p \cdot (T_{\mu}p + 1)}. \quad (6)$$

де $T_{\mu} = 0,001 \text{ с}$, приймає значення постійної часу перетворювача частоти, а передавальний коефіцієнт зворотного зв'язку регулювання струму, знаходиться за відношенням між максимальною напругою сигналу на вході регулятора $U_{рсм}$ та величиною на виході об'єкта регулювання $I_б$:

$$\kappa_{зс} = \frac{U_{рсм}}{I_б} = \frac{10}{210} = 0,048. \quad (7)$$

де $I_б$ приймається на 50 % більше від номінального.

Величина номінального струму асинхронного двигуна за каталогом становить 140 А, отже базисне значення струму дорівнює: $I_б = 140 \cdot 1,5 = 210 \text{ А}$.

Передавальна функція регулятора струму знаходиться за формулою:

$$W_{рс}(p) = \frac{T_{ем}p + 1}{T_i p}. \quad (8)$$

$$T_i = \frac{p_n}{4 \cdot T_{\mu} \cdot \kappa_{пч} \cdot \pi \cdot \beta \cdot \kappa_{зс}} = \frac{3}{4 \cdot 0,001 \cdot 5 \cdot 3,14 \cdot 144,1 \cdot 0,048} = 6,9. \quad (9)$$

$$W_{рс}(p) = \frac{0,0335p + 1}{6,9p}. \quad (10)$$

Об'єкт регулювання швидкості складається з перетворювача частоти і асинхронного двигуна, а також редуктора і робочого механізму:

$$W_{орш}(p) = W_{рш} \cdot \frac{\kappa_{пч}}{2 \cdot T_{\mu}p + 1} \cdot \frac{1}{Jp} \cdot W_p \cdot W_{рм}. \quad (11)$$

Передавальний коефіцієнт зворотного зв'язку регулювання швидкості:

$$\kappa_{зш} = \frac{U_{ршм}}{v} = \frac{10}{0,067} = 150. \quad (12)$$

$W_p(p)$ дорівнює передавальному коефіцієнту редуктора і має значення $\kappa_p = \frac{1}{500} = 0,002$.

При підключенні двох асинхронних двигунів ділить сумарну частоту обертання навпіл, тому є коефіцієнтом $K_{рм} = 0,5$.

Бажана передавальна функція розімкнутого контуру регулювання швидкості матиме вигляд:

$$W_{бш}(p) = W_{рш} \cdot \frac{1}{4 \cdot T_{\mu} p (T_{\mu} p + 1)} \cdot \kappa_{зш}. \quad (13)$$

$$W_{рш}(p) = \frac{\kappa_{зс} \cdot J \cdot 3 \cdot \kappa_{рм}}{8 \cdot T_{\mu} \cdot \kappa_{зш} p \cdot \pi \cdot p_H \cdot \kappa_p} = \frac{0,048 \cdot 18,24 \cdot 3 \cdot 0,5}{8 \cdot 0,001 \cdot 150 \cdot 3,14 \cdot 3 \cdot 0,002} = 58,09. \quad (14)$$

Передавальна функція виконавчого механізму отримує на вході значення частоти обертання електроприводу і формує на виході висоту шару котунів:

$$W_{вм}(p) = \frac{h_3}{v} = \frac{400}{0,067} = 5970,15. \quad (15)$$

де $h_3 = 400$ мм.

Формула для знаходження передавальної функції зворотного зв'язку по висоті шару:

$$W_{зв}(p) = \frac{U_{звм}}{h_3} = \frac{10}{400} = 0,025. \quad (16)$$

Передавальна функція конвеєрних вагів має вигляд:

$$W_{кв}(p) = K_{кв} = \frac{U_{квм}}{q_{квм}} = \frac{10}{85} = 0,118. \quad (17)$$

де $U_{квм} = 10$ В; $q_{квм} = 85$ кг/с [33].

У моделі (рис. 1) блок **ПРОДУКТИВНІСТЬ** генерує випадкові числа у межах від 55 до 85 кг тривалістю в секунду, моделюючи зміну продуктивності КМ. Блок **КВ** моделює передавальну функцію конвеєрних вагів на основі розрахунків за формулою (17). Блок **ЗАТРИМКА** формує затримку, значення якої приймається в секунду. Ця затримка виникає через те, що конвеєрні ваги розташовані на відстані від краю КМ, тобто потрібен час щоб котуни з позиції вимірювання ваги потрапили на край конвеєра. Також, варто врахувати те, що існує збірний конвеєр, розміщений над конвеєрною стрічкою, що складається з візків КМ, і тому виникає додаткова затримка, що дорівнює часу падіння котунів зі конвеєра на візки. Блок **ЗАДАТЧИК** формує сигнал задатчика висоти шару у межах від 0 до 10 В для моделювання напруги, яка ви-

никає при переміщенні повзунка на панелі керування висотою шару котунів. Блок **РІЗНИЦЯ** знаходить значення різниці між сигналом блоків **ЗАДАТЧИК** та **МАКС-ЗАД**, значення якого дорівнює 10 В. Блок **РІЗНИЦЯ** інвертує сигнал задатчика у межах від 0 до 10 В, оскільки це необхідно для правильного керування електроприводом. Блок **ЗВИС** моделює зворотній зв'язок по висоті шару котунів. Розрахунок даного блоку виконано за формулою (16). Блок **РВ** моделює регулятор висоти у вигляді Р-регулятора. Значення регулятора висоти обчислюються з використанням компонента програми Simulink – Tune. Блок **ЗШВ** моделює зворотній зв'язок по швидкості. Розрахунок даного блоку наведено у формулі (12). Розрахунок блоку регулятора швидкості **РШ** здійснюється за формулою (14). Сигнал із регулятора швидкості потрапляє на дві однакові лінії на блоки **РС1** та **РС2**, які моделюють регулятори струму на основі формули (10). Блоки **ЗС1** та **ЗС2** моделюють зворотній зв'язок по струму на основі формули (6), при чому блоки під'єднані до протилежних ліній для синхронізації електродвигунів. Блоки перетворювачів частот **ПЧ1** та **ПЧ2** моделюють зміну сигналу за законом, обчисленим у формулі (4). Блоки перетворення **П1** та **П2** моделюють перетворення частоти напруги живлення в частоту обертання двигунів. Групи блоків **МД1**, **Мс1**, **М1** та **МД2**, **Мс2**, **М2**, охоплені зворотними зв'язками, моделюють передавальні функції асинхронних електродвигунів.

Блоки **МД1**, **МД2** моделюють електромагнітні складові двигунів, блоки **Мс1**, **Мс2** формують статичний момент, а блоки **М1** та **М2** утворюють механічні ланки. Блоки **Р1**, **Р2** визначають функцію роботи редуктора, що враховує передавальне число. Блок робочого механізму **РМ** моделює привідну зірку конвеєра випалювальних візків. Зірка ділить сумарну частоту обох асинхронних двигунів навпіл.

Блок виконавчого механізму **ВМ** моделює перетворення частоти обертання привідної зірки у висоту шару котунів, розраховується за формулою (15). Блок **ПТ** перетворює частоту обертання зірки у швидкість конвеєра. Елемент **ЕКРАН** показує графік зміни продуктивності КМ та перехідний процес швидкості випалювальних візків.

Для доцільності удосконалення АСУТП фабрики огрудування за рахунок використання регулювання швидкості руху випалювальних візків розроблена сучасна модель інтерфейсу SCADA-системи, що працює в реальному часі та дає можливість оперативного диспетчерського управління. Оскільки у системах автоматизованого управління провідні фабрики огрудування використовують інструментальну систему SCADA TRACE MODE 6, то систему регулювання висоти шару котунів доцільно розробляти з використанням SCADA TRACE MODE 6 [8, 27–28].

Інструментальна система TRACE MODE 6 – це універсальний засіб розробки та налагодження програм для автоматизованих систем управління технологічними процесами і управління виробництвом. Вона складається з інтегрованого середовища розробки та налагоджувального монітору реального часу – профайлера. Інструментальна система інсталюється на робочому місці розроб-

ника АСУТП. У ній створюється набір файлів, які називаються проектом TRACE MODE.

Інтегроване середовище включає повний набір засобів розробки систем автоматизації технологічних процесів, та управління бізнес-процесами виробництва. Доступні засоби створення: операторського інтерфейсу SCADA, розподілених систем керування, промислової бази даних реального часу, програм для промислових контролерів. За допомогою виконавчих модулів TRACE MODE проект АСУТП запускається на виконання в реальному часі. TRACE MODE дозволяє створювати проект відразу для декількох виконавчих модулів – вузлів проекту. Кожному вузлу проекту відповідає одна інсталяція виконавчого модуля. Окрім цього, інтегроване середовище розробки дозволяє поступово нарощувати функціональність АСУТП, починаючи з простого моніторингу та візуалізації технологічного процесу на одному персональному комп'ютері SCADA/HMI і закінчуючи реалізацією складних контурів управління, організацією розподілених обчислень, підключенням додаткових робочих місць і економічних модулів: облік і технічне обслуговування обладнання, облік і управління персоналом та управління виконанням виробництва.

Перевагами даної SCADA-системи також є те, що в систему інтегровано більше десяти різних редакторів проектування автоматизованих систем керування виробництва та управління персоналом. Ці компоненти системи полегшують написання програми та дозволяють об'єднувати різні рівні автоматизації виробництвом без потреби використання інших програмних засобів. Крім того, система TRACE MODE на даний момент є універсальною системою, вона вміщує більше 2500 драйверів для різноманітних пристроїв та засобів автоматизації, а для тих яких немає можливість за допомогою вбудованого редактору без особливих навичок програмування написати програму драйвера.

Присутність унікальної технології автоматичної побудови автоматизованих систем дозволяє декількома рухами створити зв'язки між вузлами розподіленої системи управління, між джерелами даних SCADA і каналами, створити джерела даних за відомою конфігурації контролера та інше. При цьому, інтерфейс програми є інтуїтивно зрозумілий та простий, що дозволяє програмісту скоротити час на написання програми, а вбудовані редактори ведуть постійну перевірку програми, забезпечуючи безпомилковість написання програми [16–22].

4 ЕКСПЕРИМЕНТИ

На основі даних та розрахунків у графічному середовищі Simulink, що входить в пакет для числового аналізу MATLAB, побудовано математичну модель системи регулювання швидкістю випалювальних візків КМ, що відповідно до технологічного процесу забезпечує керування висотою шару котунів і в результаті продуктивністю КМ.

Запропонована система та розроблене для неї програмне забезпечення використовувалося для дослідження протікання технологічного процесу при управлінні швидкістю випалювальних візків і визначення можливості практичного застосування на фабриках огрудування. Для побудови моделі процесу регулювання висоти шару ко-

тунів при зміні швидкості переміщення візків проведені розрахунки передавальних функцій елементів моделі, використовуючи вихідні дані випалювальних машин ОК-306 та LURGI-278 [6, 29, 33].

Для демонстрації роботи інтерфейсу SCADA-системи розроблено програмне забезпечення з використанням SCADA TRACE MODE 6. Програма написана графічною мовою програмування FBD та зображена на рис. 2а. Окремо створені канали зв'язку для передачі даних між програмою та екраном, які показані на рис. 2б. Вхідна змінна програми Zad_vys_R отримує по каналу Zad_vys значення висоти шару, виставлене на шкалі повзунком поля «Задатчик висоти шару сирих котунів, мм» екрану. Вхідна змінна $Vaga_R$ по каналу $Vaga$ отримує значення продуктивності, згенеровано випадково у межах від 55 до 85 кг.

Програма виконує алгебраїчні операції над вхідними змінними, генерує похибку, яка для даної системи регулювання приймається в межах 10 мм, для моделювання вимірних даних датчиком висоти, формує вихідні сигнали Екран_1_1_Shv, Екран_1_1_Vys, які по каналам Shv, Vys потрапляють на екран у поля «Швидкість конвеєра палет, м/хв» та «Висота шару котунів, мм».

Кожен канал передачі даних має свої параметри, налаштування та обмеження. Канал $Vaga$ передає дані про продуктивність КМ у програму та на екран. Зображення налаштувань каналу наведено на рис. 3а. У полі ВП встановлюється значення верхньої межі каналу 85 кг, а в поле НП встановлюється значення нижньої межі 55 кг. При демонстрації роботи системи на цей канал подаються дані з генератора випадкових чисел, який генерує число у межах від 0 до 100 кожної секунди. У полі обробки даних встановлені параметри множника 0,3 та зміщення 55. Ці параметри розраховані за формулою у полі масштабування для переведення значень генератора у межах 0–100 В значення ваги у межах 55–85 кг. У полі розмірність для каналу $Vaga$ обрано значення кг. Параметри каналу Vys зображені на рис. 3б. Канал передає дані про висоту шару котунів на конвеєрі у програму та на екран. Значення поля ВП встановлене у 390, оскільки максимальне значення задатчика становить 300 мм, висота постілі розраховується та приймається висотою в 80 мм, найвище значення похибки становить 10 мм, тому в сумі ці дані дають максимальне значення верхньої межі каналу 320 мм. Значення поля НП встановлене у 170 мм, оскільки при мінімальних значеннях задатчика висоти шару 100 мм, постілі 80 мм та найнижчого значення похибки 10 мм підсумкове значення нижньої межі дорівнює 170 мм. Розмірність каналу виставлена в мм. Канал Shv має параметри, зображені на рис. 3в. Його призначення – передавання даних про швидкість переміщення випалювальних візків КМ у програму та на екран. Значення поля ВП приймається за 4, НП – 1, на основі даних аналізу КМ. Розмірність каналу має значення м/хв.

Параметри каналу Zad_vys зображено на рис. 3г. Канал призначений для передачі задатчика рівня сирих котунів із екрану до програми. Тут поля ВП та НП мають значення відповідно 300 та 100, оскільки саме на такий рівень сирих котунів розрахована машина LURGI-278. Поля ВГ та НГ приймають значення верхнього та ниж-

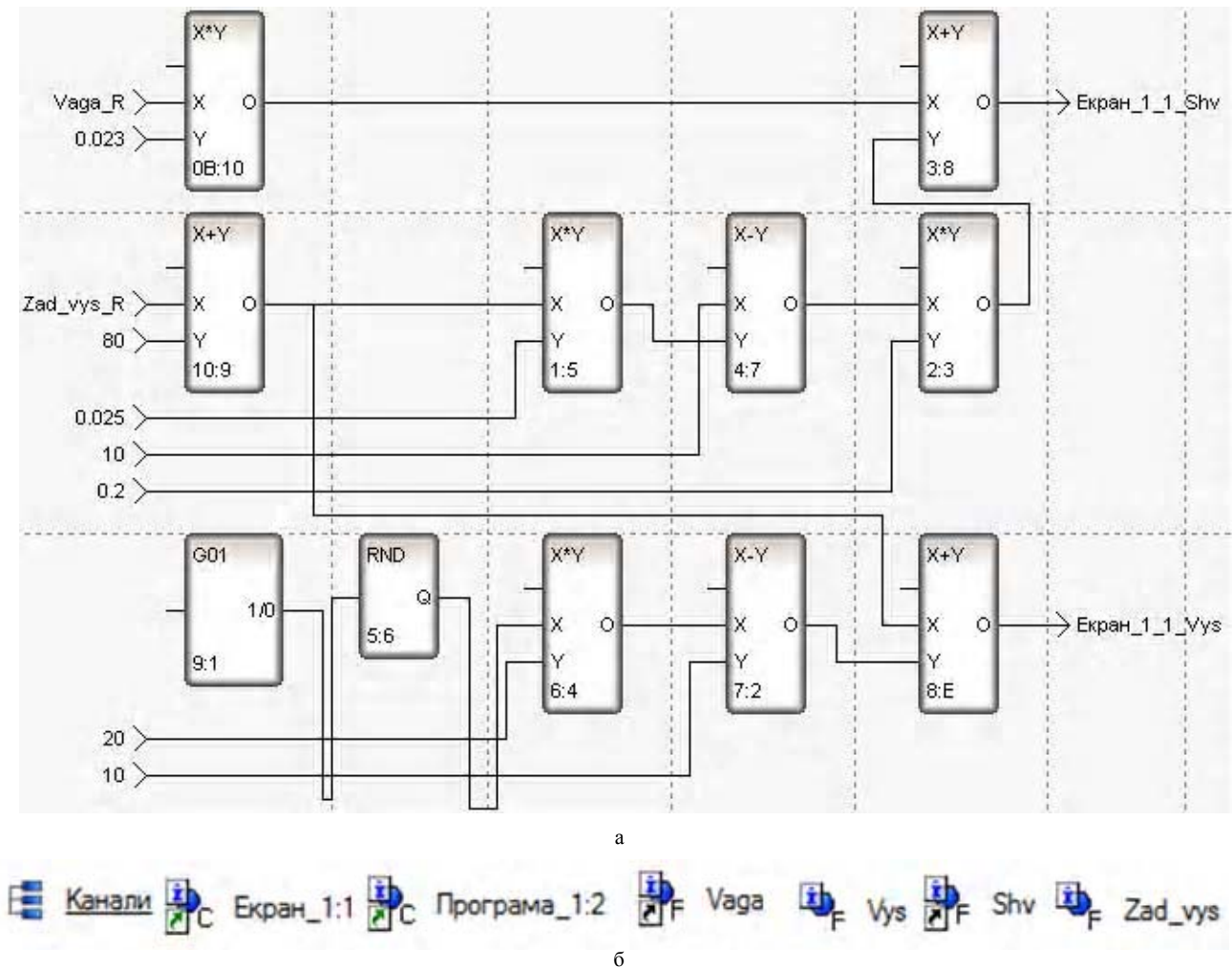


Рисунок 2 – Програмне забезпечення (а) і канали для передачі даних (б) SCADA-системи

нього попереджувального рівня, встановлені на рівнях 240 та 220. Оскільки номінальна висота котунів на КМ становить 320 мм, то безпечне відхилення від цього рівня приймається у межах 20 мм. ВА та НА – верхній та нижній аварійний рівень, мають значення 280 та 120. При виході установки висоти за межі цих рівнів є ризик перевантаження електроприводу. Значення розмірності каналу в мм. На старті встановлюється номінальне значення висоти 240 мм, яке можна змінювати під час роботи системи.

5 РЕЗУЛЬТАТИ

Проведені експерименти підтвердили працездатність і практичну застосовність запропонованої математичної моделі системи автоматичного регулювання швидкістю випалювальних візків КМ. У результаті моделювання отримано перехідні процеси зміни продуктивності КМ при регулюванні швидкості візків КМ. Графіки вхідних і вихідних сигналів, зображено на рис. 4.

З отриманих графіків видно, що в залежності від зміни продуктивності КМ змінюється швидкість переміщення візків зі встановленою затримкою. При сигналі на задатчику 8В, що відповідає виставленій висоті рівня 240 мм без постілі, швидкість електроприводу, а відповідно і швидкість переміщення візків, регулюється в межах від 3,2 до 3,8 м/с.

При проведенні моделювання встановлено значення регулятора висоти шару котунів у випалювальних візках, воно дорівнює 1,051. Це значення обчислене з використанням компонента програми Simulink – Tune. Коефіцієнти блоків перетворення $PI1$ та $PI2$ моделюють перетворення частоти напруги живлення в частоту обертання асинхронних двигунів і мають значення 2,09, а значення блоків $P1$, $P2$, що визначають функцію роботи редуктора, яка враховує передавальне число, становить 0,002. Блок робочого механізму PM моделює привідну зірку конвеєра та її передавальна функція становить 0,5, а блок $PI3$, що перетворює частоту обертання зірки у швидкість конвеєра, має значення 60.

Приклад роботи SCADA-системи зображено на рис. 5. У верхній частині екрану зображено конвеєр палет та збірний конвеєр у горизонтальній площині. На основі попередньо зроблених розрахунків, продуктивність КМ коливається у межах 55–85 кг/с. Над зображенням конвеєра випалювальних візків розміщено поле «Висота шару котунів, мм». У нього виводиться значення висоти шару котунів, виміряна датчиком рівня. Значення може коливатись у межах 170–390 мм, у залежності від заданого рівня, з урахуванням висоти шару постілі, яка становить 80 мм, та похибки, величиною 10 мм. Під зображен-

Имя: Vaga Кодировка: TCS5
 Комментарий: Продуктивность збирного конвеера

Границы: Использовать

Обработка: Использовать

Системные: Основные

Тип: Input

Размерность: кг

Период: 1 сек

Единица измерения: сек

Автоподстройка: Включить

Индекс:

Отработка: Отработать

На старте: 0

Архивация: Дополнительно

Параметры: ВП: 85, ВА: 0, ВГ: 0, НГ: 0, НА: 0, НП: 55, Гистерезис: 0, Контроль границ:

Апертура: 0, Пик: 0, Сглаж.: 0, Множитель: 0.3, Смещение: 55

Масштабирование: Масштабирование

Масштабирование: Масштабирование

И: Max, Min, x 0.3, + 55, =, A: Max, Min

Рассчитать

а

Имя: Vys Кодировка: TCS5
 Комментарий: Высота шару котунів на конвеерній стрічці палет, включно з 80 мм постлі

Границы: Использовать

Обработка: Использовать

Системные: Основные

Тип: Input

Размерность: мм

Период: 1 цикл CALC

Единица измерения: цикл CALC

Автоподстройка: Включить

Индекс:

Отработка: Отработать

На старте: 0

Архивация: Дополнительно

Параметры: ВП: 390, ВА: 0, ВГ: 0, НГ: 0, НА: 0, НП: 170, Гистерезис: 0, Контроль границ:

Апертура: 0, Пик: 0, Сглаж.: 0, Множитель: 1, Смещение: 0

Масштабирование: Масштабирование

Масштабирование: Масштабирование

И: Max, Min, x 1, + 0, =, A: Max, Min

Рассчитать

б

Имя: Shv Кодировка: TCS5
 Комментарий: Швидкість палет конвеера

Границы: Использовать

Обработка: Использовать

Системные: Основные

Тип: Input

Размерность: м/мин

Период: 1 цикл CALC

Единица измерения: цикл CALC

Автоподстройка: Включить

Индекс:

Отработка: Отработать

На старте: 0

Архивация: Дополнительно

Параметры: ВП: 4, ВА: 0, ВГ: 0, НГ: 0, НА: 0, НП: 1, Гистерезис: 0, Контроль границ:

Апертура: 0, Пик: 0, Сглаж.: 0, Множитель: 1, Смещение: 0

Масштабирование: Масштабирование

Масштабирование: Масштабирование

И: Max, Min, x 1, + 0, =, A: Max, Min

Рассчитать

в

Имя: Zad_vys Кодировка: TCS5
 Комментарий: Задатчик высоты рівня сирих котунів на палетах, без постлі

Границы: Использовать

Обработка: Использовать

Системные: Основные

Тип: Output

Размерность: мм

Период: 1 цикл CALC

Единица измерения: цикл CALC

Автоподстройка: Включить

Индекс:

Отработка: Отработать

На старте: 240

Архивация: Дополнительно

Параметры: ВП: 300, ВА: 280, ВГ: 260, НГ: 220, НА: 120, НП: 100, Гистерезис: 0, Контроль границ:

Апертура: 0, Пик: 0, Сглаж.: 0, Множитель: 0, Смещение: 0

Масштабирование: Масштабирование

Масштабирование: Масштабирование

И: Max, Min, + 0, x 1, =, A: Max, Min, Q: Max, Min

Рассчитать

г

Рисунок 3 – Налаштування каналів Vaga (а), Vys (б), Shv (в) і Zad_vys (г)

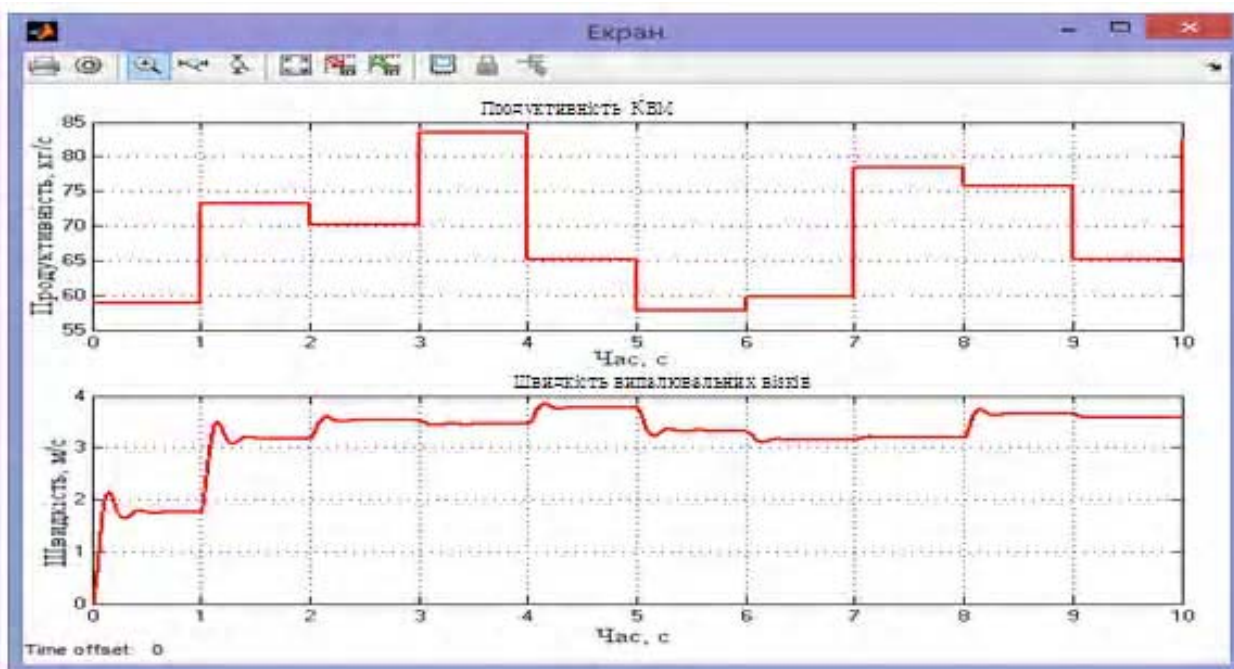


Рисунок 4 – Перехідні процеси продуктивності КМ і регулювання висоти шару котунів на випалювальних візках КМ

ням конвеєра візків знаходиться поле «Швидкість руху випалювальних візків, м/хв», яке показує значення швидкості візків на основі даних, вимірних датчиком швидкості. Швидкість не перевищує 4 м/с і змінюється в залежності від продуктивності. У нижній частині екрану знаходиться поле «Задатчик висоти шару сирих котунів, мм» із елементом керування у вигляді повзунка зі шкалою. Номінальне значення висоти шару котунів становить 320 мм, з яких 80 мм складає висота постілі, тому дана область на шкалі має зелений колір. Аварійна висота шару, коли є ризик перевантаження електроприводу, на шкалі має червоний колір. У полі жовтого кольору дублюється значення заданої висоти.

На графіку рис. 5 в нижній частині екрану динамічно виводиться значення продуктивності, висоти шару котунів та швидкості випалювальних візків лініями зеленого, червоного та синього кольору відповідно. Вертикальна шкала з лівого краю графіка показує розмірність відображеної величини в залежності від обраного сигналу в нижній частині графіка. Горизонтальна шкала показує час вимірювання параметрів.

6 ОБГОВОРЕННЯ

Аналіз результатів моделювання показав, що запропонована модель забезпечує виконання наступних технічних вимог, що пред'являються до КМ, а саме: регулювання висоти шару котунів на випалювальних візках зміною швидкості конвеєра, при цьому максимальна висота шару, включаючи постіль, складає 400 мм і коли-

вається у межах, що не перевищують 3%. Максимальна швидкість руху випалюваних візків КМ складає 4 м/хв. Регулювання відбувається на основі аналізу вантажопотоку конвеєра. Кількість котунів на випалювальних візках коливається у межах 20 % при продуктивності 250 т/год, що складає приблизно 55–85 кг/с.

ВИСНОВКИ

У роботі вирішено актуальне завдання автоматизації – регулювання швидкості переміщення випалювальних візків вздовж технологічних зон конвеєрної машини, що забезпечує по умовам експлуатації потрібну висоту шару котунів на візках і максимальну продуктивність КМ. Для дослідження технологічних процесів на КМ розроблена математична модель системи автоматичного регулювання швидкості випалювальних візків конвеєрної машини. Для цього використано графічне середовище імітаційного моделювання Simulink пакету для числового аналізу MATLAB.

Для оперативного диспетчерського управління технологічним процесом фабрики огрудкування розроблена сучасна модель інтерфейсу SCADA-системи для регулювання висоти шару котунів на випалювальних візках і продуктивності КМ з використанням інструментальної системи SCADA TRACE MODE 6. Результати досліджень SCADA-системи регулювання висоти шару котунів на візках і продуктивності конвеєрної машини LURGI-278 показали її працездатність, що вказує на можливість використання в промислових умовах. Запропо-

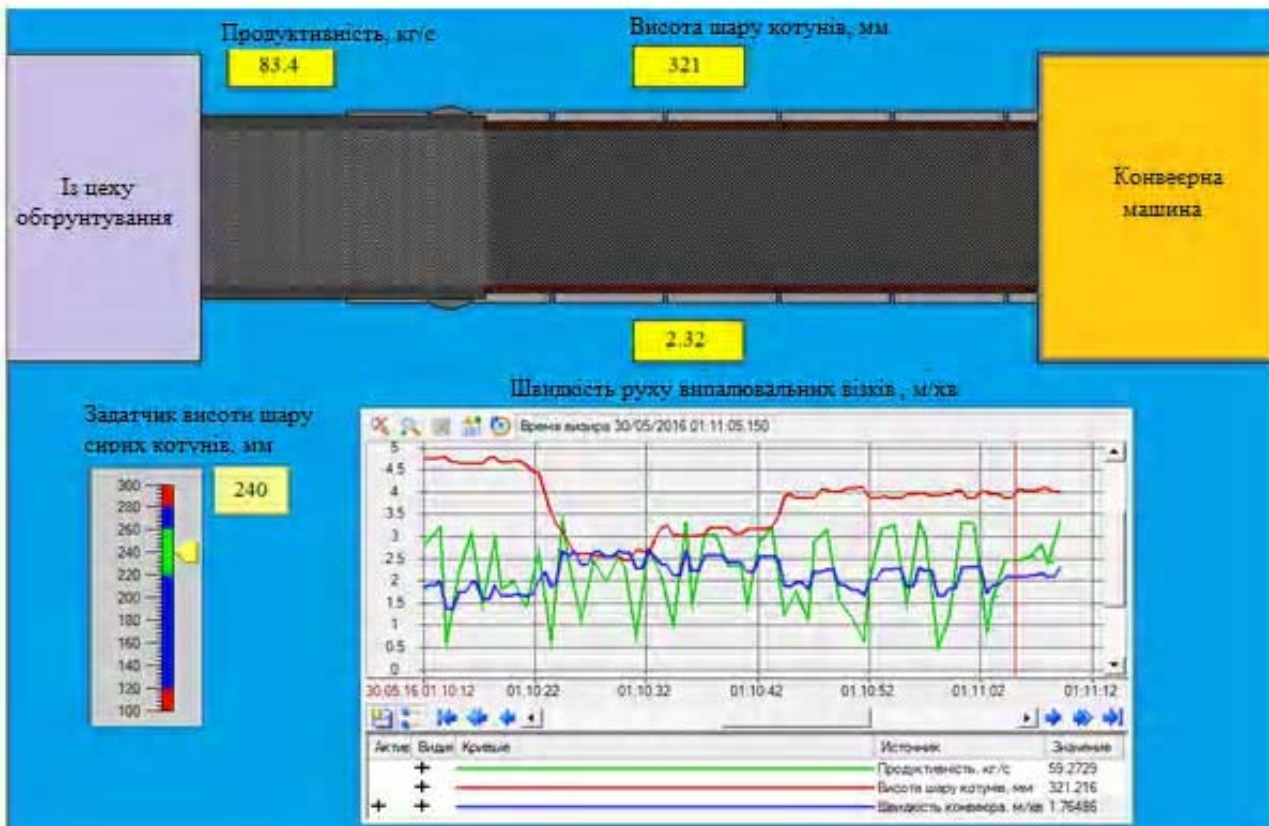


Рисунок 5 – Приклад роботи SCADA-системи при регулюванні висоти шару котунів на випалювальних візках КМ

нована система необхідна для забезпечення виконання технічних вимог при випалюванні котунів на КВ і комфортної роботи оператора з отриманими даними.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пирматов Д. С. Математическая модель тепловой обработки окатышей в обжиговой машине / Д. С. Пирматов // Сборник трудов всероссийской конференции : Новые технологии в научных исследованиях, проектировании, управлении, производстве НТ-2010. – Воронеж, 2010. – № 5 – С. 88–89.
2. Дубинина Т. П. Исследования температурного режима формирования окатышей / Т. П. Дубинина // Качество минерального сырья. – 2011. – С. 292–307.
3. Рубан С. А. Розробка принципів керування температурним режимом процесу випалювання котунів з використанням прогнозуючих ANFIS-моделей / С. А. Рубан, В. Й. Лобов // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2008. – № 1 – С. 69–74.
4. Vyacheslav Lobov Investigation of temperature distribution along the height of the layer of pellets on conveyor roasting machine / Vyacheslav Lobov, Karina Lobova, Mykhailo Koltiar // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – No. 4. – P. 34–38.
5. Пирматов Д. С. Оптимизация режима термообработки окатышей в АСУ ТП конвейерной обжиговой машины / Д. С. Пирматов, В. А. Кривоносов // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 3 – С. 38–42.
6. Брагин В. В. Автоматизация процесса термообработки окатышей Лурги-278 ОАО «Северный ГОК»: научный проект / Брагин В. В. – Екатеринбург : ТОРЭКС. 2007. – 60 с.
7. Бережной Н. Н. Математическое моделирование температурного поля окатыша / Н. Н. Бережной, В. М. Серебренников, А. В. Зайцев // Вісник Криворізького технічного університету: 36. наук. праць. – Кривий Ріг : КТУ, 2008. – Вип. 20. – С. 188–193.
8. SCADA TRACE MODE в АСУТП обогащения руды Северного ГОКа (Кривой Гор) [Електронний ресурс] // AdAstra Research Group, Ltd. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: www.tracemode.ua/apps/news/gok_obogashenie/.
9. Чумак А. С. Дискретная система нечеткого управления электроприводом обжиговой машины / А. С. Чумак, М. Г. Данилова // Журнал Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2012. – № 9 – С. 95–97.
10. Чумак А. С. Дискретная система нечеткого управления электроприводом обжиговой машины / А. С. Чумак, М. Г. Данилова // Журнал Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2012. – № 9 – С. 95–97.
11. Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя [Електронний ресурс]: electrono.ru/elektricheskie-mashiny/regulirovanie-chastoty-vrashheniya-asinxronnogo-dvigatelya. – Назва з екрану.
12. Система управляемый преобразователь – асинхронный двигатель [Електронний ресурс]: http://model.exponenta.ru/epivod/glv_050.htm. – Назва з екрану.
13. schneider-electric.com.au: Modernize your Monitor Pro software with less risk, less cost and less effort [Електронний ресурс]: schneider-electric.com.au/documents/product-services/en/services/field-services/monitor-pro-modernization-brochure.pdf. – Назва з екрану.
14. fiord.com: Перенос решений из SCADA [Електронний ресурс]: www.fiord.com/images/industry_avt/soft/pcvue/2015%2010%20-%20Migration%20Factory%20Link%20Ru.pdf. – Назва з екрану.
15. wonderware.kz: Описание программного обеспечения [Електронний ресурс]: wonderware.kz/pdf/Wonderware_InTouch_1015.pdf. – Назва з екрану.
16. Швецов Д. SCADA-система GENESIS32 в сквозной автоматизации производства // ИСУП. – 2007. – № 4. – С. 5.
17. Демида Б. Реалізація принципів паралельного збору інформації на прикладі SCADA- системи «TraceMode» / Б. Демида, Д. Зербіно, Д. Пелешко // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка» «Комп'ютерні науки та інформаційні технології». – 2005. – № 543. – С. 3–10.
18. adastra.ru: ТРЕЙС Моуді – інтегрована SCADA-i soft logic-система для розробки АСУТП [Електронний ресурс]: adastra.ru. – Назва з екрану.
19. Кузнецов А. Genesis for Windows – графічна SCADA-система для розробки АСУ ТП // Сучасні технології автоматизації. – 1997. – № 3. – С. 37–41.
20. schneider-electric.com: SCADA Systems [Електронний ресурс]: http://www.schneider-electric.com/solutions/ww/fr/med/20340568/application/pdf/1485_se-whitepaper-letter-scadaoverview-v005.pdf. – Назва з екрану.
21. The Fundamentals of SCADA / Bentley Systems, Incorporated. 2004. – 18 p.
22. Barnes Ken. Review of Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) Systems / Ken Barnes, Briam Johnson, Reva Nickelson // Idaho National Engineering and Environmental Laboratory. – 2004. – P. 76.
23. Алексеев М. А. Методы повышения надежности распределенных SCADA систем управления авиацией и ПВО ВС Украины / М. А. Алексеев, Е.И. Сироткина // Новітні технології – для захисту повітряного простору : восьма наукова конференція Харківського Університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 18–19 квітня 2012 р.: тези доповідей. – Харків : ХУПС ім. І. Кожедуба, 2012. – С. 46–47.
24. Андреев Е. Б. SCADA-системы: взгляд изнутри / Е. Б. Андреев, Н. А. Куцевич, О. В. Синенко. – М. : Издательство «РТСофт», 2004. – 176 с.
25. Куцевич Н.А. SCADA-системы. Взгляд со стороны // Промышленные АСУ и контроллеры. – 1999. – № 1. – 4 с.
26. adastra.ru: Крупнейший металлургический завод Китая выбирает TRACE MODE [Електронний ресурс]: www.adastra.ru/news/20040419/. – Назва з екрану.
27. TRACE MODE 6: Интегрированная среда разработки [Електронний ресурс]: <http://www.adastra.ru/products/dev/>. – Назва з екрану.
28. Trace Mode 6 Быстрый старт. Руководство пользователя. – М. : AdAstra Research Group, Ltd, 2006. – 114 с.
29. Спиваковский А. О. Транспортирующие машины : учеб. пособие для машиностроительных вузов. 3-е изд., перераб. / А. О. Спиваковский, В. К. Дьячков. – М. : Машиностроение, 1983. – С. 487.
30. Масандилов Л. Б. Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей. 2-е изд., перераб. и доп. / Л. Б. Масандилов, В. В. Москаленко. – М. : Энергия, 1978. – 96 с.
31. Попович М. Г. Теорія автоматичного керування : підручник / М. Г. Попович, О. В. Ковальчук. – К. : Либідь, 1997. – 544 с.
32. Валюх О. А. Элементы теории автоматического управления : навчальний посібник / О. А. Валюх, В. М. Максимів. – Львів : Афіша, 2002. – 123 с.
33. Бессараб В. И. Проектирование и эксплуатация оборудования фабрик окомкования : справ. изд. / В. И. Бессараб. – Металлургия, 1986. – С. 15.

Стаття надійшла до редакції 13.12.2016.

Після доробки 16.01.2016.

Лобов В. И.¹, Лобова К. В.²

¹Канд. техн. наук, доцент кафедры информатики, автоматизации и систем управления ГВУЗ «Криворожский национальный университет», Кривой Рог, Украина

²Студентка ГВУЗ «Криворожский национальный университет», Кривой Рог, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТЬЮ ОБЖИГОВЫХ ТЕЛЕЖЕК КОНВЕЙЕРНЫХ МАШИН

Актуальность. Решена актуальная задача разработки современных математических моделей для исследования регулирования скоростью обжиговых тележек конвейерной машины, которая позволяет поддерживать заданный уровень высоты слоя окатышей и обеспечивает оптимальный технологический процесс по обжигу окатышей и максимальную производительность.

Цель работы – представление результатов разработки математической модели для регулирования скорости обжиговых тележек конвейерной машины с реализацией современной SCADA-системы для управления производительностью конвейерной машины путем регулирования скорости перемещения ее обжиговых тележек, которая приводит к изменению высоты слоя окатышей на этих тележках.

Метод. Для оценки динамических характеристик системы электропривода и моделирования регулирования скорости перемещения обжиговых тележек конвейерной машины используется мощный и универсальный метод исследования – графическая среда имитационного моделирования Simulink, который является приложением к пакету для численного анализа MATLAB. При моделировании с использованием Simulink используется принцип визуального программирования, в соответствии с которым пользователь на экране из библиотеки стандартных блоков создает модель устройства и осуществляет расчеты.

Результаты. В предлагаемой математической модели используются исходные данные конвейерных машин ОК-306 и LURGI-278. Для построения математической модели автоматизированной системы регулирования скорости перемещения обжиговых тележек конвейерной машины выполнены расчеты передаточных функций элементов, входящих в эту систему. В математической модели асинхронный двигатель представлен упрощенной механической и электромагнитной звеньями с обратной связью по скорости, которые определены передаточными функциями. В результате моделирования получены переходные процессы при регулировке высоты слоя окатышей на обжиговых тележках и определено их влияние на производительность конвейерной машины.

Для целесообразности совершенствования АСУТП фабрики окомкования за счет использования математической модели для регулирования скорости движения обжиговых тележек разработана современная модель интерфейса SCADA-системы, которая работает в реальном времени, и дает возможность оперативного диспетчерского управления. Поскольку в системах автоматизированного управления ведущие фабрики окомкования используют инструментальную систему SCADA TRACE MODE 6, то систему регулирования высоты слоя окатышей целесообразно разрабатывать с использованием SCADA TRACE MODE 6.

Выводы. На основе использования выходных данных технологического процесса обжига окатышей на конвейерной обжиговой машине и выполненных расчетов в графической среде Simulink MATLAB построена математическая модель системы для регулирования скорости обжиговых тележек конвейерной машины в соответствии с технологическим процессом позволяет исследовать влияние на процесс обжига окатышей за счет управления высотой слоя окатышей и производительность конвейерной машины.

Предложенную современную модель интерфейса SCADA-системы, которая работает в реальном времени и дает возможность оперативного диспетчерского управления, может быть использовано в реальных промышленных условиях.

Ключевые слова: фабрика окомкования, конвейерная машина, обжиговые тележки, окатыши, скорость, математическая модель, SCADA-система, результаты моделирования.

Lobov V. Y.¹, Lobova K. V.²

¹PhD, Associate Professor of the Department Informatics, Automation and Control Systems SHEI “Kryvyi Rih National University”, Kryvyi Rih, Ukraine

²Student SHEI “Kryvyi Rih National University”, Kryvyi Rih, Ukraine

MODELING SYSTEM OF AUTOMATIC SPEED REGULATION OF CONVEYOR MACHINES ROASTING TRUCKS

Context. Resolves an actual task of developing advanced mathematical models to study regulation of the roasting trucks speed of the conveyor machine that allows to maintain a predetermined level of height pellet layer and provides optimal process for firing pellets and maximum performance

Objective is a presentation of the mathematical model development results for the regulation roasting trucks speed of the conveyor machine with implementation modern SCADA-system for controlling the conveyor machine performance by regulating its moving speed roasting trucks, which leads to a change of height of the pellet layer on the trucks.

Method. To evaluate the dynamic characteristics of the drive system and the simulation control the speed of movement of the roasting trucks conveyor machine uses a powerful and universal method of research – graphical environment Simulink simulation modeling, which is a supplement to the package MATLAB for numerical analysis. When using Simulink simulation uses the principle of visual programming, in accordance with which the user on the screen of the library of standard blocks and creates a device model performs calculations.

Results. The proposed mathematical model used baseline data of conveyor machines ОК-306 and LURGI-278. To construct a mathematical model of the automated speed control system for moving the roasting trucks conveyor machines have calculated transfer functions of elements included in the system. As a result of simulation obtained transients when adjusting the height of the pellet layer on the roasting carts and determine their impact on the performance of the conveyor machine.

For the feasibility of improving the control system pelletizing plant by the use of a mathematical model for the regulation of the speed of roasting trucks designed modern model interface SCADA-system that works in real time, and enables operational dispatch management. As the SCADA TRACE MODE 6, the height of the pellet layer control system should be developed using SCADA TRACE MODE 6 pelletizing plant systems leading automated management tool using the system.

Conclusions. On the basis of the use of the output of the technological process of roasting of the pellets on the conveyor of the burning car and the calculations in a graphical environment Simulink MATLAB built a mathematical model of the system for controlling the speed of the roasting trucks conveyor machine in accordance with technological process allows to investigate influence on pellet burning process by controlling the height of the pellet layer and the performance of the conveyor machine.

The proposed model of a modern SCADA-system interface that works in real time and enables operational dispatch management, can be used in real industrial environments.

Keywords: pelletizing factory, conveyor machine, roasting trucks, pellets, speed, mathematical model, SCADA-system simulation, the simulation results.

REFERENCES

1. Pirmatov D. S. Matematicheskaya model' teplovy obrabotki okatyshey v obzhigovoy mashine [Tekst], *Sbornik trudov vserossiyskoy konferentsii: Novyye tekhnologii v nauchnykh issledovaniyakh, proyektirovani, upravlenii, proizvodstve NT-2010*. Voronezh, 2010, No. 5, pp. 88–89.
2. Dubinina T. P. Issledovaniya temperaturnogo rezhima formirovaniya okatyshey, *Kachestvo mineral'nogo syr'ya*, 2011, pp. 292–307.
3. Ruban S. A., Lobov V. Y. Rozrobka printsipiv keruvannya temperaturnim rezhimom protsesu vipalyuvannya kotuniv z vikoristannyam prognozuyuchikh ANFIS-modeley [Tekst], *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2008, No. 1, pp. 69–74.
4. Vyacheslav Lobov, Karina Lobova, Mykhailo Koltiar Investigation of temperature distribution along the height of the layer of pellets on conveyor roasting machine, *Metallurgical and Mining Industry*, 2015, No. 4, pp. 34–38.
5. Pirmatov D. S., Krivonosov V. A. Optimizatsiya rezhima termoobrabotki okatyshey v ASU TP konveyernoy obzhigovoy mashiny, *Inzhenernyy vestnik Dona*, 2013, No. 3, pp. 38–42.
6. Bragin V. V. Avtomatizatsiya protsesa termoobrabotki okatyshey Lurgi-278 OAO «Severnny GOK»: nauchnyy proyekt. Yekaterinburg, TOREKS. 2007, 60 p.
7. Berezhnoy N. N., Serebrenikov V. M., Zaytsev A. V. Matematicheskoye modelirovaniye temperaturnogo polya okatysya, *Visnik Krivoriz'kogo tekhnichnogo universitetu: Zb. nauk. prats'*. Kriviy Rig: KTU, 2008, Vip. 20, pp. 188–193.
8. SCADA TRACE MODE v ASUTP obogashcheniya rudy Severnogo GOKa (Krivoy Rog) [Yelettronniy resurs], *AdAstra Research Group, Ltd*, 2015. Rezhim dostupu do resursu: www.tracemode.ua/apps/news/gok_obogashenie
9. Chumak A. S., Danilova M. G. Diskretnaya sistema nechetkogo upravleniya elektroprivodom obzhigovoy mashiny, *Zhurnal Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2012, No. 9, pp. 95–97.
10. Chumak A. S., Danilova M. G. Diskretnaya sistema nechetkogo upravleniya elektroprivodom obzhigovoy mashiny, *Zhurnal Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2012, No. 9, pp. 95–97.
11. Regulirovaniye chastoty vrashcheniya asinkhronnogo dvigatelya [Yelettronniy resurs]: electrono.ru/elektricheskie-mashiny/regulirovanie-chastoty-vrashcheniya-asinxronnogo-dvigatelya. Nazva z yekranu
12. Sistema upravlyayemyy preobrazovatel' – asinkhronnyy dvigatel' [Yelettronniy resurs]: http://model.exponenta.ru/epivod/gly_050.htm. Nazva z yekranu.
13. schneider-electric.com.au: Modernize your Monitor Pro software with less risk, less cost and less effort [Yelettronniy resurs]: schneider-electric.com.au/documents/product-services/en/services/field-services/monitor-pro-modernization-brochure.pdf. Nazva z yekranu.
14. fiord.com: Perenos resheniy iz SCADA [Yelettronniy resurs]: www.fiord.com/images/industry_avt/soft/pcvue/2015%2010%20%20Migration%20Factory%20Link%20Ru.pdf. Nazva z yekranu.
15. wonderware.kz: Opisaniye programmnoy obespecheniya [Yelettronniy resurs]: wonderware.kz/pdf/Wonderware_InTouch_1015.pdf. Nazva z yekranu.
16. Shvetsov D. SCADA-sistema GENESIS32 v skvoznoy avtomatizatsii proizvodstva, *ISUP*, 2007, No. 4, 5 p.
17. Demida B., Zerbino D., Peleshko D. Realizatsiya printsipiv paralel'nogo zboru informatsii na prikladi SCADA-sistemi "TraceMode", *Vysnik Nats. un-tu "Lviv's'ka politekhnika" "Komp'yuterni nauki ta informatssyus tekhnologii"*, 2005, No. 543, pp. 3–10.
18. adastra.ru: TREYS Moudi – integrovana SCADA-i soft logic-sistema dlya rozrobki ASUTP [Yelettronniy resurs]: adastra.ru. Nazva z yekranu.
19. Kuznetsov A. Genesis for Windows – grafichna SCADA-sistema dlya rozrobki ASU TP, Suchasni tekhnologii' avtomatyzatsii', 1997, No. 3, pp. 37–41
20. schneider-electric.com: SCADA Systems [Yelettronniy resurs]: http://www.schneider-electric.com/solutions/ww/fr/med/20340568/application/pdf/1485_se-whitepaper-letter-scadaoverview-v005.pdf. Nazva z yekranu.
21. The Fundamentals of SCADA/ Bentley Systems, Incorporated. 2004, 18 p.
22. Barnes Ken, Briam Johnson, Reva Nickelson Review of Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) Systems, *Idaho National Engineering and Environmental Laboratory*, 2004, P. 76.
23. Alekseyev M. A., Sirotkina Ye. I. Metody povysheniya nadezhnosti raspredelennykh SCADA sistem upravleniya aviatsiyey i PVO VS Ukrainy, *Novitni tekhnologii tekhnologii zakhistu povitryanogo prostoru: Vos'ma naukova konferentsiya Kharkivs'kogo Universitetu Povitryanikh Sil imenu Ivana Kozheduba, 18–19 kvitnya 2012 r.: tezi dopovidey*. Kharkiv, KHUPS im. I. Kozheduba, 2012, pp. 46–47.
24. Andreyev Ye. B., Kutsevich N. A., Sinenko O. V. SCADA-sistemy: vzglyad iznutri. Moscow, Izdatel'stvo «RTSoft», 2004, 176 p.
25. Kutsevich N.A. SCADA-sistemy. Vzglyad so storony, *Promyshlennyye ASU i kontrolyery*, 1999, No. 1, 4 p.
26. adastra.ru: Krupneyshiy metallurgicheskii zavod Kitaya vybirayet TRACE MODE [Yelettronniy resurs]: www.adastra.ru/news/20040419/. Nazva z yekranu.
27. TRACE MODE 6: Integrirovannaya sreda razrabotki [Yelettronniy resurs]: <http://www.adastra.ru/products/dev/>. Nazva z yekranu.
28. Trace Mode 6 Bystryy start. Rukovodstvo pol'zovatelya. Moscow. AdAstra Research Group, Ltd, 2006, 114 p.
29. Spivakovskiy A. O., D'yachkov V. K. Transportiruyushchiye mashiny: Ucheb. posobiye dlya mashinostroitel'nykh vuzov. 3-ye izd., pererab. Moscow, Mashinostroyeniye, 1983, P. 487.
30. Masandilov L. B., Moskalenko V. V. Regulirovaniye chastoty vrashcheniya asinkhronnykh dvigateley. 2-ye izd., pererab. i dop. Moscow, Energiya, 1978, 96 p.
31. Popovich M. G., Koval'chuk O. V. Teoriya avtomatichnogo keruvannya: Pidruchnik. Kiev, Libid', 1997, 544 p.
32. Valyukh O. A., Maksimiv V. M. Yelementi teorii avtomatichnogo keruvannya. Navchal'nyy posibnik. L'viv, Afisha, 2002, 123 p.
33. Bessarab V. I. Proyektirovaniye i ekspluatatsiya oborudovaniya fabrik okomkovaniya : sprav. Izd. Metallurgiya, 1986, P. 15.