

УДК 004.94:681.5

В.Т. Діордієв, к.т.н., професор

А. О. Кашкар'юв, інженер

Таврійський державний агротехнологічний університет,

м. Мелітополь, Україна

asv-tdatu@yandex.ru

АВТОМАТИЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ВИРОБНИЦТВА КОМБІКОРМІВ В УМОВАХ ГОСПОДАРСТВ АПК

Постановка проблеми. Для ефективного тваринництва необхідно забезпечити господарства не тільки якісним племінним фондом та сучасним технологічним обладнанням, а ще й надійною, функціонально насиченою автоматичною системою керування (АСК) технологічним процесом (ТП) виробництва комбікормів (ВК) на технологічних комплексах (ТК) в умовах господарств АПК [8]. Отже, організація АСК, обґрунтування та розробка алгоритмічного забезпечення, функцій сервісу та їх впровадження є актуальною задачею [10].

Аналіз останніх досліджень. Рівень розвитку аналітичних методів теоретико-математичного обґрунтування структури математичних моделей, законів керування і регулювання координат ТК, систем енергоекономічного керування ТП і виробництвом, побудова ієрархічних систем автоматизації на основі регулюючої обчислювальної техніки, яка керує, характеризується математичними методами прийняття рішень з урахуванням функції втрат [2, 3].

Новими науковими результатами в цій області є моделі і закони математичного прийняття рішень в області синтезу параметрів мікропроцесорної адаптивної системи керування координатами енерготехнологічного устаткування, де для вирішення завдання пошуку умовного екстремуму, приймається методологія синтезу закону керування процесом на основі оптимальної по енергозбереженню еталонної моделі екстремального керування енергоперетворенням з АСК на базі мікропроцесорних засобів автоматизації [2, 6].

Головними напрямками дослідно-експериментальних розробок є: розробка методів аналізу і синтезу інтегрованих систем обробки даних і інформації різних рівнів ієрархії; створення інтегрованих АСК, обробки інформації і підтримки рішень; перехід до систем автоматизованого інжинірингу; застосування в управлінні методів штучного інтелекту адаптації і оптимізації [3, 9].

Інформація, отримана в системах проектування, підготовки виробництва і планування дозволяє організувати безпосереднє керування виробничою системою. Проте, як правило, на першому етапі використання цих даних використовуються розрізнені набори алгоритмів технічного та економічного керування окремими ТК (підсистемами). Сформувані кризне алгоритмічне забезпечення, не удаючись до моделювання, можна лише шляхом тривалих і дорогих експериментів, що зазвичай призводить до корекції як засобів так і методів керування. Тому вибір та обґрунтування єдиного математичного апарату моделювання дозволить уніфікувати процедуру проектування, тестування та впровадження результатів. Ефективним засобом побудови кризного алгоритмічного забезпе-

чення є системне моделювання, що дозволяє вирішувати задачу у поліваріантній постановці з урахуванням варіативних можливостей і зовнішніх (що обумовлюють) умов на функціонування виробничої системи.

Для цілей програмно-логічного керування і регулювання ТП та ТК кормовиробництва широко використовується обчислювальна техніка. Загальною метою та концепцією використання є ідентифікація відхилення і/або підтримка заданої амплітуди автоколиваний основного контуру при значному впливі зовнішнього середовища або зміні параметрів об'єкту керування [2, 7]. У цьому напрямі повинні використовуватися інтегровані системи, об'єднуючі всі рівні ієрархії керування виробництвом на основі технологій математизованого комп'ютерного забезпечення SOFTLOGIC, SCADA, MES, ERP та ін.

Перелічені напрямки програмного забезпечення (ПЗ) на базі персональних комп'ютерів (ПК) за останнє десятиріччя суттєво вплинули на розвиток АСК ТП. Завдяки ним ПК не тільки перейшли у диспетчерські пункти та до операторів, але й інтегруються на апаратному рівні до ТП. Сучасне ПЗ надмірно перевантажене функціями, які дозволяють використовувати OPC- та Web-технології на різних етапах керування виробництвом (рис. 1) [4, 9]. У той же час, на ринку користуються попитом "бюджетне" ПЗ, в яких є відповідні функції керування або аналізу вхідної інформації з можливістю протоколювання процедури роботи та генерації звітів [4]. Саме такі проекти мають можливість відпрацювання науково обґрунтованої структури та будови АСК. Тому, дослідження питання організації АСК, обґрунтування та розробка алгоритмічного забезпечення ТК ВК та функцій сервісу і їх впровадження є доцільною та актуальною задачею.



Рис. 1. Критерії споживчої оцінки та перелік поширених SCADA-систем.

У контексті ВК на автоматизованих ТК в умовах господарств АПК, необхідно зазначити, що деякі чинники системного характеру, обумовлені станом вітчизняної науки і техніки, ускладнюють вирішення питань реалізації гнучкого виробництва: більшість існуючих систем є дослідно-експериментальними; се-

рійно випускаються обмежена кількість фрагментів систем; неповна уніфікація устаткування, що виготовляється, і недостатньо адаптовані до умов України зарубіжні ТК; відносно велика кількість комплектуючих компонентів апаратурного виконання, що ускладнює фізичну інтеграцію системи; недостатня структурна гнучкість інтерфейсу в програмному та математичному забезпеченні; недостатня функціональна повнота характеристик устаткування і апаратури керування; недостатньо висока інтегральна надійність функціонування системи в умовах виробництва, особливо в умовах господарств АПК.

Формування мети. Метою досліджень авторів є підвищення якості комбікормів, вироблених на автоматизованих ТК в умовах господарств, за рахунок розширення функцій АСК ТП на основі мереж Петрі. Метою даної публікації є представлення результатів досліджень за даним напрямом.

Основна частина. Існує багато способів опису систем за допомогою моделей. Конкретний вибір залежить від відомої інформації, можливостей збору даних про хід процесу по мірі його виконання та мети моделювання. На відмінну від наукових задач, де метою моделювання є поглиблене вивчення будови системи та обґрунтування оптимальних режимів роботи, модель у інженерному розумінні вважається адекватною, якщо відповідні процеси керування виконуються прогнозованим способом, тобто вихід стійкий з незначним відхиленням від заданого значення, відтворюваності відгуку на вхідний сигнал і т.д.

Сучасні засоби автоматизації та методи побудови АСК ТП дозволяють реалізувати інформаційні функції спрямовані на автоматизацію звітності поточного стану технологічного процесу, реєстрацію часових діаграм роботи обладнання, індикацію та сигналізацію подій – далеко не повний перелік можливостей АСК ТП виконаній на сучасній елементній базі з огляду на впровадження алгоритмічного забезпечення АСК [6, 9].

Дана система є устаткуванням і засобами обчислювальної техніки для інтерактивного моделювання, де реалізується широкий набір функціональних можливостей, які підрозділяються на наступні компоненти: сприйняття і аналіз образної інформації у візуальній формі; інтерактивна графіка і інтерактивне образне моделювання.

Основними алгоритмами попередньої обробки є локальні арифметико-логічні процедури, які можуть бути представлені в наступній формі [3]

$$U_{n,m} = \begin{cases} U_1, & \text{якщо } Y_1 < \text{con } X_{n,m} \leq Y_2; \\ U_2, & \text{якщо } Y_2 < \text{con } X_{n,m} \leq Y_3; \\ \dots, & \dots \\ U_L, & \text{якщо } Y_{L-1} < \text{con } X_{n,m} \leq Y_L; \end{cases} \quad (1)$$

або у вигляді

$$U_{n,m} = \text{con} X_{n,m}, \quad (2)$$

де X – матриця внутрішніх змінних станів;

Y – матриця вихідних результатів (результати вимірювань);

U – матриця керуючих впливів (змінних).

Таке представлення ТП ВК вимагає чіткої визначеності технологічної схеми та випуску одного виду рецепту, що в умовах господарств АПК України не є

ефективним, оскільки, як правило, у господарствах відсутня вузька спеціалізація. Тому необхідно детально розглядати технологічні схеми, з урахуванням технологічного обладнання його ієрархічної підпорядкованості та сучасних засобів математичного та комп'ютерного моделювання.

ТП ВК можна представити як динамічну нелінійну систему зведену до дискретної, яку можна апроксимувати різницевиими рівняннями виду [5]

$$X[(k+1) \cdot h] \approx X(k \cdot h) + h \cdot f(X, U), \quad (3)$$

де h – інтервал дискретизації (шаг інтегрування);
 k – порядковий номер h .

У матричному вигляді рівняння стану лінійної системи

$$\frac{dX}{dt} = A \cdot X + B \cdot U, \quad (4)$$

де A, B – матриці, які містять постійні коефіцієнти

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} b_{11} & \dots & b_{1r} \\ b_{21} & \dots & b_{2r} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ b_{n1} & \dots & b_{nr} \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Представлені рівняння (3-5) дозволяють формалізувати керованість, можливість спостереження та оцінку системи, але вимагають повного математичного опису етапів ТП, що в умовах господарств, а саме гнучкості технологічних схем та різноманіття рецептів, ускладнює перехід від моделювання ТК до керування ним за допомогою програмних засобів.

Вирішення задачі оптимального керування, в основному дискретними лінійними об'єктами – проводиться на основі застосування методів математичного програмування [2]. При такому підході різниці рівняння динаміки об'єкту є обмеженнями завдання математичного програмування. Найбільш простим в алгоритмічному відношенні для вказаного випадку є проекційно-градієнтний метод, оскільки він дозволяє ефективно враховувати двосторонні обмеження на керовані та контрольовані змінні [4]. Урахування обмежень пропонується виконувати за допомогою спеціально вибраної неевклідової метрики, залежної від відстаней що проектує на гіперплощину, відповідно позначеною двостороннім обмеженням. У такому разі, для об'єкту керування, який розглядається, узагальнена модель дискретного типу матиме вигляд [2]:

$$\bar{x}_k^0 = [A^0] \bar{x}_{k-1} + [B^0] \bar{u}_k; \quad k = 1, N_t; \quad \dim \bar{x}^0 = \dim \bar{u}^0 = N_p, \quad (6)$$

де $[A^0]$ - матриця параметрів об'єкту;

$[B^0]$ - матриця параметрів управління;

\bar{x} - вектор керованих координат;

\bar{u} - вектор координат, що управляють (величин);

$\dim \bar{x}$ - оператор зрушення;

N_t - кількість тактів управління

при цьому для подальшого аналізу прийнято, що розмірність вектора дій, який керує, дорівнює розмірності N_p вектора регульованих величин. На вказані величини накладаються двосторонні обмеження:

$$\bar{x}^{\min} \leq \bar{x}_k^0 \leq \bar{x}^{\max}; \bar{u}^{\min} \leq \bar{u}_k^0 \leq \bar{u}^{\max}; \forall k = \overline{1, N_t}, \quad (7)$$

де ставиться завдання знаходження такої послідовності $\{\bar{u}_k^0, k = \overline{1, N_t}\}$ дій, що керують, яка забезпечує мінімум деякому критерію якості функціонування системи при заданому векторі початкових умов об'єкту \bar{x}^0 . При відповідних позначеннях дане завдання записується у вигляді еквівалентного завдання математичного програмування: знайти \rightarrow

$$\bar{x} = \bar{x}^{opt} : f(\bar{x}) \rightarrow \min [h(\bar{x}) = 0; \bar{x}^{\min} \leq \bar{x} \leq \bar{x}^{\max}, \quad (8)$$

$$\text{де } [h]^T \stackrel{\Delta}{=} [h_1^T \dots h_{N_t}^T]; \dim h = N_t N_p \stackrel{\Delta}{=} m; \quad (9)$$

$$h_k \stackrel{\Delta}{=} [A^0] \bar{x}_{k-1}^0 + [B^0] \bar{u}_k^0 - \bar{x}_k^0; \quad (10)$$

$$\bar{x}^T \stackrel{\Delta}{=} [\bar{x}_0^{0T}, \bar{x}_1^{0T}, \bar{u}_1^{0T}, \dots, \bar{x}_{N_t}^{0T}, \bar{u}_{N_t}^{0T}]; \dim \bar{x} = (2N_t + 1)N_p \stackrel{\Delta}{=} n, \quad (11)$$

тобто складність алгоритму розрахунку параметрів оптимального керування об'єктом (6) визначається функціональною складністю рішення задачі математичного програмування (8-11).

В даному випадку шуканий вектор буде визначатись за допомогою рекурентної процедури:

$$\bar{x}_k = \bar{x}_{k-1} + \Delta t(\bar{x}) \bar{u}_k; k = 1, 2, \dots; \bar{x}_0 = (\bar{x}^{\min} + \bar{x}^{\max})/2, \quad (12)$$

де Δt - крок процедури; до - номер ітерації, а сенс і розмірність введених вектора змінних \bar{x} і вектора зсуву \bar{u} обумовлені формою завдання (8-11). Вектор зсуву є загальним рішенням невизначеної системи лінеаризованих рівнянь:

$$\bar{u} : [A] \bar{u} = \bar{b}; \bar{b} \stackrel{\Delta}{=} -\bar{h}; \|\bar{u} - \nabla \bar{f}\| \rightarrow \min, \quad (13)$$

$$[A^0] \stackrel{\Delta}{=} \begin{bmatrix} A^0 : -E : B^0 \\ A^0 : O : -E : B^0 \\ \vdots \\ A^0 : O : -E : B^0 \end{bmatrix}, \quad (14)$$

де $[A^0]$ - якобіан обмежень-рівності;

$\nabla \bar{f}(x)$ - вектор градієнта функції, що оптимізується при цьому

$$\dim E = N_p \times N_p.$$

Надалі, значення якобіана можна використовувати для обґрунтування кількісних та якісних показників і параметрів АСК, що не є сумою якостей складових її елементів, а саме володіють системо- і схематичною самостійністю. Крім того, необхідно зазначити, що якобіан розраховується для квадратних матриць (в іншому випадку їх доповнюють "0" до таких), що у реальних умовах достатньо важко забезпечити.

Останній підхід дозволяє вирішити задачу розрахунку оптимального керування динамічними дискретними об'єктами при значній кількості тактів керування, що, з обчислювальної точки зору, є обмежуючою умовою. В якості суттєвої переваги даного алгоритму слід зазначити, що для остаточного формування вектора зсуву використовується початкова розріджена матриця коефіцієнтів, тобто не використовується процедура заміни в процесі алгоритмічних перетворень нульових елементів на ненульових, характерна для відомих методів

оптимізації [2], при цьому значно зменшується кількість ітерацій для отримання рішення за алгоритмом проекційно-градієнтного метода оптимізації, що сприяє спрощенню алгоритмічного і програмного забезпечення завдань оптимального оперативного управління динамічними об'єктами.

Але представлені методи моделювання ТП, АСК ним та оптимізації аМОІ АСК (1, 3, 4, 6, 13) здебільшого мають місце у задачах наукового характеру. В умовах господарств АПК задача синтезу АСК ТК ВК полягає тому щоб за отриманими вхідними даними про технологічну схему комплексу ВК синтезувати імітаційну модель ТК, та узгодити її із засобами керування, що забезпечить підвищення якості комбікормів за рахунок керованості комплексу та розширення функцій управління та сервісу АСК.

Нами запропоновано використовувати МП для синтезу ТК ВК в умовах господарств [6]. Пропозиція ґрунтується на основі виділення технологічних операцій ВК в окремі ТМ та визначення ТП ВК за допомогою графового та матричного представлення МП: перехід – ТМ, вузол – датчик, дуга – лінія зв'язку між датчиком та ТМ.

МП задається двома матрицями з цілих чисел, окрім множин необхідних за визначенням, котрі допомагають визначити структуру мережі та правила спрацювання переходів: A , розмірністю $|P| \times |T|$ та B , розмірністю $|T| \times |P|$, та вектором M_0 довжиною $|P|$. Ряд i , $1 \leq i \leq |P|$, матриці A відповідає місцю $p_i \in P$, стовбець j , $1 \leq j \leq |T|$, матриці A відповідає переходу $t_j \in T$ (множини P і T строго упорядковані). Ряд i , $1 \leq i \leq |T|$, матриці B відповідає переходу $t_j \in T$, стовбець j , $1 \leq j \leq |P|$, матриці B відповідає місцю $p_i \in P$. Елемент $A(i, j)$ матриці A дорівнює $F(p_i, t_j)$, елемент $B(i, j)$ матриці B дорівнює $F(t_i, p_j)$. Вектор M_0 – початкова розмітка [6]. Можна забезпечити співставлення відповідних векторів стану об'єкту та керуючих впливів у матричній формі (5, 6) з представленими матрицями інцедентності МП. Такий підхід відкриває нові можливості та задачі щодо розробки функцій сервісу, а також обґрунтування та розробки алгоритмів оцінки якості роботи АСК, технологічного обладнання та ТК в цілому.

Таким чином, задача синтезу АСК ТК ВК формулюється наступним чином: на основі аналізу технологічної схеми (ТС) комплексу ВК, ТП як об'єкта автоматизації та параметрів, які підлягають контролю, управлінню та реєстрації скласти імітаційну модель ТП на основі мереж Петрі [2].

Моделювання ТП виробництва комбікорму показали простоту використання, гнучкість та універсальність запропонованої методики (рис. 2) [7]. Під час складання мережі визначаються вузли програмної генерації маркерів та які генеруються за правилами спрацювань МП. Останні здійснюють поточне керування ТП та інформують про його поточний етап. Вузли з програмною генерацією маркерів потрібні для синхронізації паралельних процесів або дозволу на виконання відповідного етапу технологічного процесу (P_2 , рис. 2, б).

Багаторівнева структурована МП відповідає ТС модельованого ТК і складається з двох рівнів. Перший рівень визначає послідовність технологічних операцій, який містить складені переходи, розкрита множина яких представляє другий рівень – рівень операцій. Топологією першого рівня визначається послі-

довність технологічних операцій, в яких комбікорм або компонент комбікорму транспортується на тривале або тимчасове зберігання чи проходить певні етапи зміни фізико-хімічних властивостей. Топологією другого рівня визначається послідовність операцій, пуск виконавчих механізмів та контроль стану вимірювальних пристроїв [Пат. України №54511].

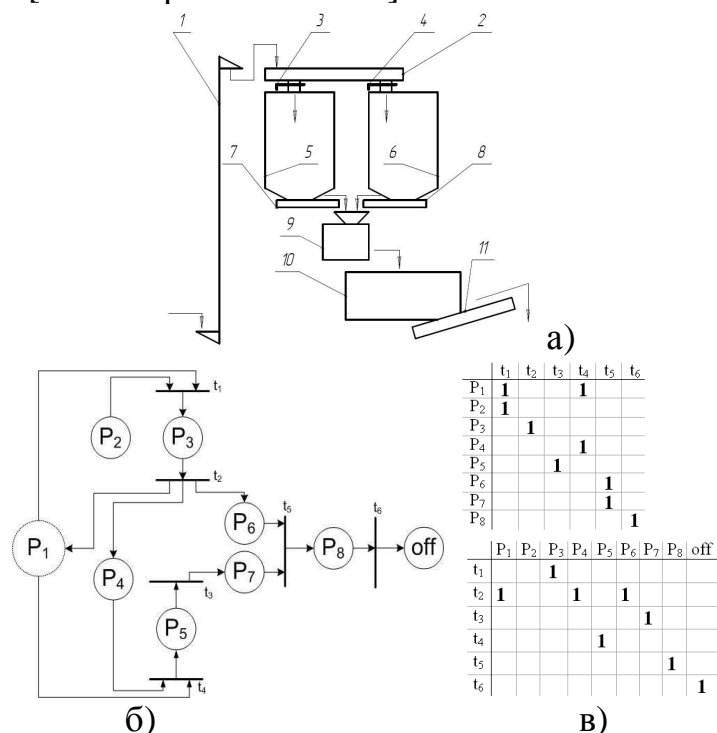


Рис. 2. Моделювання ТП виробництва комбікорму: технологічна схема (а) комплексу періодичної дії (1 – норія; 2 – розподільчий шнек; 3-4 – засувка; 5-6 – бункер компоненту; 7-8 – дозатор; 9 - дробарка; 10 – змішувач; 11 - вивантажувач); модель 1-го (б) рівня та її матриця інцидентності (в).

У випадку, коли вхід будь-якого переходу 1-го рівня має у своєму складі маркер, здійснюється звернення до відповідної послідовності функцій моделі 2-го рівня, яка є нерозгалуженою мережею, яка має по головній діагоналі матриці інцидентності значенням «1». Після виконання послідовності функцій мережі 2-го рівня маркер передається до розмітки 1-го рівня з відповідною індикацією засобами візуалізації. Необхідно зазначити, що запропонований спосіб тільки координує послідовність реалізації функцій, які можуть складатись з традиційних алгоритмів керування технологічним обладнанням.

Використання матриць інцидентності дозволяє реалізувати ряд сервісних функцій контролю стану ТП та елементів ТК на основі контролю тривалості роботи виконавчих механізмів (транспортерів, засувок) та часу спрацювань датчиків (рівень, положення засувок) - таймінг [7].

Аналіз матриць інцидентності базується на методах виключення грубих помилок або хибних даних, значення яких перевищує похибки, обумовлені умовами виробництва та станом елементів ТК. У контексті, таймінгу грубі похибки приймають дещо інше значення, яке дозволяє акцентувати увагу оператора або ідентифікувати аварійний стан на певній ділянці ТК ВК.

Для удосконалення та розвитку методики оцінки, з огляду на практичне застосування, доцільно данні досліджень представляти у відносних одиницях - нормовані ($x_{ni} = x_i / \bar{X}$) відносно середнього арифметичного. Це дозволяє узагальнити дослідження при різних законах розподілу з контрольованими параметрами $\bar{X}_n = const, S_n = var$.

В свою чергу, формальним критерієм аномальності результату спостереження (часу спрацювання), а відповідно і висновку про належність даних до еталонної групи вимірювань, є нерівність [7]

$$|x_n^* - 1| \geq t \cdot S_n, \quad (15)$$

де x_n^* – умовно помилкове спостереження;
 t – коефіцієнт, який залежить від виду та закону розподілу, об'єму вибірки та рівня значущості;
 S_n – нормоване стандартне.

Така нерівність має критичну ситуацію, яка властива еталонним даним ($S_n=0$ або $S_n \approx 0$) - чутливість критерію зростає, що унеможливорює надання об'єктивних та достовірних висновків про техніко-технологічну значущість відхилень [7]. Враховуючи незалежний характер даних можна прийняти значення t таким, яке відповідає критерію Стюдента (при довірчій ймовірності 0,05 $t=1,96$).

Виходячи з задач аналізу таймінгу роботи елементів ТК, подальша робота спрямована на визначення впливу можливих умовних помилок x_n^* на площу АЧХ. Для цього прийнято «ідеальні» умови визначення площі АЧХ. Вважати-мемо, що її розмір відповідатиме множині даних значення елементів якої дорівнює «1». В результаті виконання теоретичних досліджень, щодо таймінгу роботи виконавчих механізмів та датчиків ТК, можна відзначити можливість використання площі АЧХ (обробка вхідних даних математичного апарату гармонійного аналізу – дискретне перетворення Фур'є (ДФФ)), як критерію нормального режиму роботи елементів ТК та стану ТП.

Для розрахунку $S_{АЧХ}$ використовуємо вибірку об'ємом 2^n ($n \in 1, 2, \dots$), що дозволяє використовувати алгоритм швидкого перетворення. Тригонометричний багаточлен Фур'є, який у контексті дискретних даних часу про таймінг за наближеними формулами Бесселя матиме вигляд [11]:

$$y(t) = a_0 + \sum_{i=1}^{N/2} a_i \cdot \cos \pi \cdot i + \sum_{i=1}^{N/2} b_i \cdot \sin \pi \cdot i, \quad (16)$$

$$a_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N y_i, \quad b_0 = 0; \quad (17)$$

$$a_m = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^N y_i \cdot \cos \frac{2\pi \cdot i \cdot m}{N}, \quad m = 1, 2, \dots, N/2, \quad (18)$$

$$b_m = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^N y_i \cdot \sin \frac{2\pi \cdot i \cdot m}{N}, \quad m = 1, 2, \dots, N/2, \quad (19)$$

де y_i – масив вхідних значень, А;

N – кількість рівних частин на які поділений період Т.

Тоді визначення площі АЧХ матиме вигляд

$$S_{АЧХ} = \int_0^N y(t) dt ,$$

або у контексті поточних дискретних даних датчиків та виконавчих механізмів

$$S_{АЧХ} = \sum_{i=1}^m \sqrt{a_m^2 + b_m^2} . \quad (20)$$

Методика обробки вхідних даних така: формувались вибірки об'ємом 2^2 ; з формована сукупність нормувалась відносно середньоарифметичного; до сукупності додається час – $N+1$, який нормується відносно середнього арифметичного еталонної сукупності; розраховувався t (1) та обчислювалась $S_{АЧХн}$ (6) для сукупності $[2; N+1]$; отримана множина даних $(t; S_{АЧХн})$ сортувалась та визначався коефіцієнт кореляції за стандартною методикою [7].

Згідно мети досліджень було розроблено ПЗ (рис. 3, а) [1], яке забезпечує моделювання роботи мережних моделей ТП ВК, тестове та поточне керування роботою технологічного обладнання, отримання експертом (оператором, користувачем) експериментальних вхідних даних для подальшого їх аналізу [7].

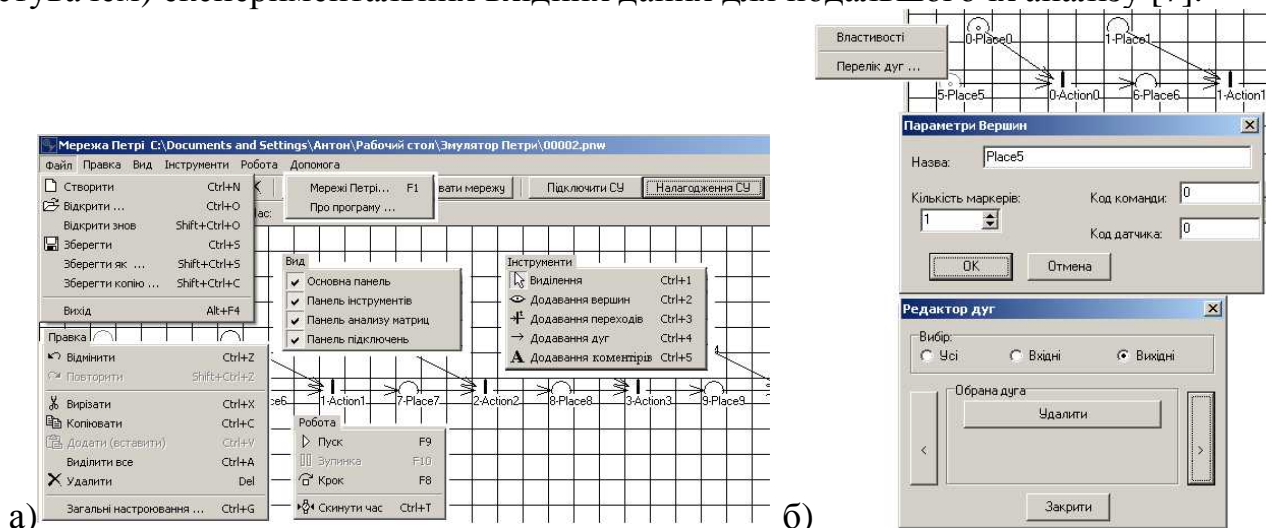


Рис. 3. Головна форма та розгорнутий вигляд верхнього меню (а); редагування параметрів елементів МП - вузлів (б).

Встановлення параметрів і властивостей вершин та переходів мережі здійснюється викликом їх контекстного меню, яке містить меню «Властивості» (прив'язка елементів МП до команд та датчиків) та «Перелік дуг» (рис. 3, б).

Особливістю ПЗ є розширення повноважень експерта або оператора ТП, який може виконувати корегування послідовності керуючих команд та налаштувань АСК без участі програміста. На основі даного ПЗ здійснене відпрацювання алгоритмів оцінки функцій таймінгу виконавчих механізмів, датчиків окремо та в цілому технологічного комплексу.

Виробничі випробування були виконані на базі комбикормового цеху №2 ТОВ «Агропромислова компанія» (м. Мелітополь, Запорізька обл.). Результати роботи також були передані до ВАТ «Уманьферммаш» (м. Умань, Черкаська обл.).

У результаті обробки експериментальних даних, об'ємом 4 та 8 значень, необхідно зазначити, що у випадку порівняння можливих помилкових даних

(максимальний час спрацювання), які відповідають нормальному закону розподілу, за допомогою критерію Стюдента (1) із $S_{АЧХн}$ коефіцієнт кореляції між цими показниками складає менше ніж 0,3 та 0,7 відповідно у різних варіантах повторів. Таке значення обумовлене врахуванням динаміки контрольованих значень. У той же час збільшення об'єму вибірки до 16 значень дозволило отримати коефіцієнт кореляції більше ніж 0,9 за різними повторами, що дозволяє надавати об'єктивні достовірні висновки.

Висновки. Виробничі випробування показали, що упровадження АСК ТП ВК сприяє підвищенню якості комбікормів за рахунок розширення функцій керування та сервісу (економічний ефект: у товарній формі 21 т/рік, економія експлуатаційних витрат 2500 грн/рік). Економічний та технологічний ефект досягається за рахунок попередження аварійних ситуацій та своєчасної ідентифікації зміни режиму роботи елементів ТК.

За результатами обробки експериментальних даних рекомендовано на етапі початкової експлуатації АСК на основі МП використовувати критерій Стюдента (при об'ємі вибірки від 4), для виключення можливих аварійних ситуацій та формування бази еталонних значень мережної моделі ТП. А при 16 значень і більше – використовувати запропоновану методику на основі ДПФ.

Результати досліджень можуть лягти в основу вітчизняної SCADA-системи з інтегрованими функціями проектування ТК, керування виробництвом комбікормів в умовах господарств АПК на автоматизованих ТК.

Бібліографічні посилання

1. А.с. 36841 України. Комп'ютерна програма "MiniAPCSCombi" / *В.Т. Діордієв, А.О. Кашкарьов* / Заявник та власник ТДАТУ. - № 37087; заявл. 08.12.2010; опубл. 08.02.2011.
2. *Банди Б.* Методы оптимизации. Вводный курс/ *Б. Банди.* Пер. с англ. *О.В. Шихеевой.* – М.: Радио и связь, 1988. – 128 с.
3. *Бесекерский В.А.* Теория систем автоматического управления / *В.А. Бесекерский, Е.П. Попов.* – Изд. 4-е, перераб. и доп. – СПб, Изд-во "Профессия", 2003. – 752 с.
4. *Глухов Ф.В.* Сравнение SCADA-систем по соотношению «цена/качество» / *Ф.В. Глухов* [Электронный ресурс]. – Режим доступа к публикации: http://www.adastra.ru/reports/expo10/gluhov-SCADA_comparison_.htm
5. *Густав Олссон.* Цифровые системы автоматизации и управления/ *Олссон Густав, Пиани Джангуидо.* – СПб.: Невский Диалект, 2001. – 557 с.
6. *Діордієв В.Т.* Використання мереж Петрі для моделювання технологічного процесу приготування комбікормів / *В.Т. Діордієв, А.О. Кашкарьов* // Вісник ЛНАУ: Агроінженерні дослідження. – Львів: Львів. нац. аграр. ун-т, 2008. – №12., Т2. – С. 55 – 61.
7. *Діордієв В.Т.* Методика експериментальних досліджень АСУ комплексом виробництва комбікормів / *В.Т. Діордієв, А.О. Кашкарьов* // Праці ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. - Вип. 10, Том 9. – С. 187-193. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/portal/Chem_Biol/Ptdau/2010_10_9.
8. *Диордиев В.Т.* Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормо-

производством / *В.Т. Диордиев* // Праці ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. - Вип. 10, Том 10. – С. 14-21. – Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/portal/Chem_Biol/Ptdau/2010_10_10

9. *Деменков Н.П.* К вопросу о сравнительном анализе и тенденциях развития SCADA-систем/ *Н.П. Деменков* [Электронный ресурс]. – Режим доступа к публикации: http://www.adastra.ru/reports/expro9/Demenkov-SCADA_trends_and_benchmarks.htm.

10. *Лысогор В.Г.* Автоматизация - не роскошь, а необходимый компонент успеха современного производства / *В.Г. Лысогор, Ю.Я. Скидан* // Хранение и переработка зерна, – 2001. – №2. – С. 61 – 65.

11. *Сергиенко А.Б.* Цифровая обработка сигналов / *А.Б. Сергиенко*. – СПб.: Питер, 2003. – 604 с.

Анотація

У публікації розглянуті сучасні програмні засоби АСК у контексті технологічного процесу виробництва комбікормів на автоматизованих комплексах. Наведені результати упровадження АСК технологічного комплексу виробництва комбікормів на базі імітаційної моделі технологічного процесу. Розглянута функціональність АСК на основі мереж Петрі.

Ключові слова

Автоматична система керування, технологічний комплекс, комбікорм, мережа Петрі.

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА КОМБИКОРМОВ В УСЛОВИЯХ ХОЗЯЙСТВ АПК

Диордиев В.Т., Кашкарев А.А.

Аннотация

В статье рассмотрены современные средства АСУ в контексте технологического процесса производства комбикормов на автоматизированных комплексах. Приведены результаты внедрения АСУ технологического комплекса производства комбикормов на основе имитационной модели технологического процесса. Рассмотрена функциональность АСУ на основе сети Петри.

AUTOMATION PROCESS CONTROL PRODUCTION MIXED-FODDERS IN AGRICULTURAL HOUSEHOLDS

V. Diordiev, A. Kashkarov

Summary

The article considers the modern means of APC in the context of the technological process of production mixed-fodders on automated lines. The results of implementing APC technology complex mixed-fodders production on the basis of a simulation model of the process. The functional process control on the basis Petri nets.