

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ
ТЕХНОЛОГІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ З ДИСКРЕТНИМ
РЕЖИМОМ РОБОТИ ВИКОНАВЧИХ МЕХАНІЗМІВ
В УМОВАХ ГОСПОДАРСТВ АПК**

В.Т. ДІОРДІЄВ, А.О. КАШКАРЬОВ

Розглянуто задачу моделювання автоматизованої системи керування (АСК) технологічним комплексом (ТК) з дискретним характером роботи технологічного обладнання та виконавчих механізмів на основі мереж Петрі. Розв'язання задачі виконано на прикладі технологічного процесу виробництва комбікорму (ВК). Для цього проаналізовано стан та шляхи удосконалення АСК ТК з дискретним режимом роботи виконавчих механізмів, споживчі показники SCADA-систем та функціональність АСК. Обґрунтовано використання математичного апарату мереж Петрі для синтезу ТК, його імітаційної моделі та АСК ним. Такий підхід дозволяє враховувати технологічну схему комплексу та параметри, які підлягають контролю, керуванню та реєстрації. Наведено приклад використання запропонованого способу моделювання. За рахунок алгоритмів аналізу тривалості роботи виконавчих елементів та часу спрацювання датчиків за допомогою математичного апарату гармонійного аналізу розширено інформаційні функції АСК ТК. Наведено діалогові вікна розробленого програмного забезпечення АСК ТК ВК. Представлено результати виробничих досліджень.

ВСТУП

Автоматизація технологічних процесів (ТП) в АПК має низку особливостей, зумовлених не лише технічними, технологічними умовами виробництва та переробкою продукції сільського господарства, але й різноманіттям техніко-технологічних рішень, що не дозволяє типізувати інжинірингові рішення автоматизованих систем керування (АСК) технологічними процесами [1, 2].

У сільському господарстві поширені ТП, які реалізуються технологічними комплексами (ТК) із дискретним режимом роботи обладнання та/або виконавчих механізмів: маршрутизація зернових на елеваторах та їх передпосівна та післязбиральна обробка, зрошування закритого та відкритого ґрунту, робота інкубаторів, прибирання гною, напування тварин, виробництва комбікормів, роздача кормів тощо. Отже, для ефективного розвитку АПК України господарства необхідно забезпечити не тільки якісним генетичним матеріалом, ресурсоощадними технологіями та сучасним технологічним обладнанням, а ще й надійною, функціонально насиченою гнучкою АСК ТП виробництва та переробки продукції сільського господарства [3]. Саме тому, організація АСК, обґрунтування та розробка алгоритмічного забезпечення, функцій керування та сервісу, а також їх впровадження у виробництво є актуальною задачею.

Рівень розвитку аналітичних методів теоретико-математичного обґрунтування структури математичних моделей, законів керування та регулюван-

ня координат ТК, систем енергоекономічного керування ТП і виробництвом, побудова ієрархічних систем автоматизації на основі регулюючої обчислювальної техніки, яка керує, характеризується математичними методами прийняття рішень із урахуванням функції втрат або на основі алгоритмів, які дозволяють їх ідентифікувати [2, 4].

Головними напрямками дослідно-експериментальних розробок є: розробка методів аналізу і синтезу інтегрованих систем обробки даних та інформації різних рівнів ієрархії; створення інтегрованих АСК, обробки інформації та підтримки прийняття рішень; розробка кризних алгоритмів керування ТП, перехід до систем автоматизованого інжинірингу; застосування в управлінні методів штучного інтелекту адаптації й оптимізації [2, 4, 5].

Мета роботи — представлення АСК ТК із дискретним характером роботи технологічного обладнання та виконавчих механізмів на основі мереж Петрі на прикладі ТП ВК в умовах господарств АПК.

АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАНЬ

Інформація, яка отримана за допомогою систем проектування, підготовки виробництва та планування дозволяє організувати безпосереднє керування виробничою системою [6]. Проте, як правило, на першому етапі використовують розрізнені набори алгоритмів технічного та економічного керування окремими ТК (підсистемами). Сформувані кризне алгоритмічне забезпечення, не вдаючись до моделювання, можна лише завдяки проведенню тривалих і затратних експериментів, що зазвичай призводить до корекції як засобів, так і методів керування [7]. Тому вибір та обґрунтування єдиного математичного апарату моделювання дозволить уніфікувати процедуру проектування, тестування та упровадження результатів досліджень АСК. Ефективним засобом побудови кризного алгоритмічного забезпечення є системне моделювання, що дозволяє вирішувати задачу в поліваріантній постановці з урахуванням варіативних можливостей і зовнішніх умов на функціонування виробничої системи [1, 5].

Для цілей програмно-логічного керування та регулювання ТП і ТК широко використовується обчислювальна техніка, загальною метою та концепцією використання якої є ідентифікація відхилення ТК від нормального режиму роботи та підтримка заданої амплітуди автоколивань основного контуру під час впливів зовнішнього середовища або зміні параметрів об'єкта керування [4, 7]. У цьому напрямі мають використовуватися інтегровані системи, які об'єднують усі рівні ієрархії керування виробництвом на основі технологій математизованого комп'ютерного забезпечення SOFTLOGIC, SCADA, MES, ERP тощо.

Перелічені напрями використання програмного забезпечення (ПЗ) на базі персональних комп'ютерів (ПК) за останнє десятиріччя суттєво вплинули на розвиток АСК ТП. Завдяки ним ПК не тільки перейшли в диспетчерські пункти, але й інтегруються на апаратному рівні до ТП. Однак умови господарств АПК не дозволяють використовувати сучасні програмні продукти з повним переліком їх функціональних можливостей (OPC- та Web-технології на різних етапах керування виробництвом) (рис. 1), що безпосередньо впливає на вартість автоматизації та вимагає від господарства певної

виробничої та моральної готовності переходу [8, 9]. У той же час, самими господарствами розробляються та впроваджуються локальні АСК ділянок ТП. Крім того, на ринку користуються попитом «бюджетне» ПЗ, яке забезпечує мінімальний набір функцій керування. Тобто, є потреба в АСК на сучасній елементній та алгоритмічній базі.



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

Вважаємо, що в умовах господарств АПК є необхідність розробки гнучкої АСК ТП, які характеризуються дискретним характером роботи виконавчих механізмів, з метою забезпечення серійності, універсальності, простоти налагодження та експлуатації. Вирішення цього питання має забезпечити підвищення якості готової продукції, надійності роботи ТК та зменшення експлуатаційних витрат. Тому, дослідження питання організації АСК, обґрунтування та розробка алгоритмічного забезпечення, функцій сервісу та їх впровадження є доцільною та актуальною задачею.

Для розв'язання поставленої задачі та досягнення поставленої мети обрано ТП виробництва комбікормів (ВК) на автоматизованих ТК в умовах господарств із порційним принципом дозування. Слід зазначити, що у контексті ВК на автоматизованих ТК в умовах господарств АПК деякі чинники системного характеру, обумовлені станом вітчизняної науки і техніки, ускладнюють вирішення питань реалізації гнучкого виробництва, а саме: більшість існуючих систем є дослідно-експериментальними; серійно випускається обмежена кількість фрагментів систем; неповна уніфікація устаткування, що виготовляється, і недостатньо адаптовані до умов України зарубіжні ТК; відносно велика кількість комплектуючих компонентів

апаратного 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. Вибір даного ТП пояснюється широким різноманіттям технологічного обладнання, технологічних операцій та їх сполучень у певні ТП та ТК, а також можливістю підвищення якості комбікормів, вироблених на автоматизованих ТК, за рахунок АСК ТП.

ОБГРУНТУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ

Сучасні засоби автоматизації та методи побудови АСК ТП дозволяють на основі алгоритмічного забезпечення реалізувати інформаційні функції спрямовані на автоматизацію звітності, визначення поточного стану технологічного процесу, реєстрацію часових діаграм роботи обладнання, індикацію та сигналізацію подій тощо [5, 8]. Також, об'єднання устаткування і засобів обчислювальної техніки для інтерактивного керування та моделювання ТП реалізує широкий набір функціональних можливостей, які підрозділяються на наступні компоненти: сприйняття і аналіз образної інформації у візуальній формі; інтерактивна графіка й інтерактивне образне моделювання.

Існує багато способів опису систем за допомогою моделей. Конкретний вибір залежить від відомої інформації, можливостей збору даних про хід процесу та мети моделювання під час його реалізації. На відміну 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 є стійким із незначним відхиленням від заданого значення. Тому, можливість своєчасної ідентифікації відхилення виробничих даних від модельних дозволяє АСК та персоналу, що обслуговує, адекватно реагувати на зміни у стані ТП, що забезпечується у випадку адекватного математичного опису ТП та АСК ним.

Основні функції керування задаються локальними арифметико-логічними процедурами, які можуть бути представлені в наступній формі [1]

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

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 визначеності технологічної схеми та випуску одного виду рецепту, що в умовах тваринницьких господарств

АПК України не є ефективним, оскільки, як правило, у таких господарствах відсутня вузька спеціалізація та можливі зміни виробничого напрямку. 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 [10]:

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

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:

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

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

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

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

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:

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

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

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

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

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

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

тобто складність алгоритму розрахунку параметрів оптимального керування об'єктом (6) визначається функціональною складністю рішення задачі математичного програмування (8–11). Тут шуканий вектор визначається за допомогою рекурентної процедури:

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

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

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

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

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 цього 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 ненульові, характерна для відомих методів оптимізації [4]. При цьому значно зменшується кількість ітерацій для отримання рішення за алгоритмом проєкційно-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 самої АСК (1, 3, 4, 6, 13) здебільшого мають місце у задачах наукового характеру. В умовах господарств АПК задача синтезу АСК ТК ВК полягає в 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.

Для синтезу ТК ВК в умовах господарств запропоновано використовувати мережі Петрі (МП) [6,11]. 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 $p_i \in P$, стовпець j , $1 \leq j \leq |T|$, матриці A відповідає переходу $t_j \in T$ (множини P та T строго упорядковані). Ряд i , $1 \leq i \leq |T|$, матриці B відповідає переходу $t_j \in T$. Стовпець j , $1 \leq j \leq |P|$, матриці B відповідає місцю $p_i \in P$. Елемент $A(i, j)$ матриці A дорівнює $F(t_i, p_j)$, 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 (1, 4) та векторній (6) формах із представленими матрицями інцидентності 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 у цілому.

Таким чином, задача синтезу АСК ТК ВК формулюється так: на основі аналізу технологічної схеми комплексу ВК, ТП як об'єкта автоматизації та параметрів, які підлягають контролю, управлінню та реєстрації необхідно скласти мережну імітаційну модель ТП [4].

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА КОМБІКОРМУ

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 керування ТП та інформують про його поточний етап. Вузли з програмною генерацією маркерів P_2 синхронізують паралельні процеси або дозволяють виконання відповідного етапу технологічного процесу (рис. 2, б).

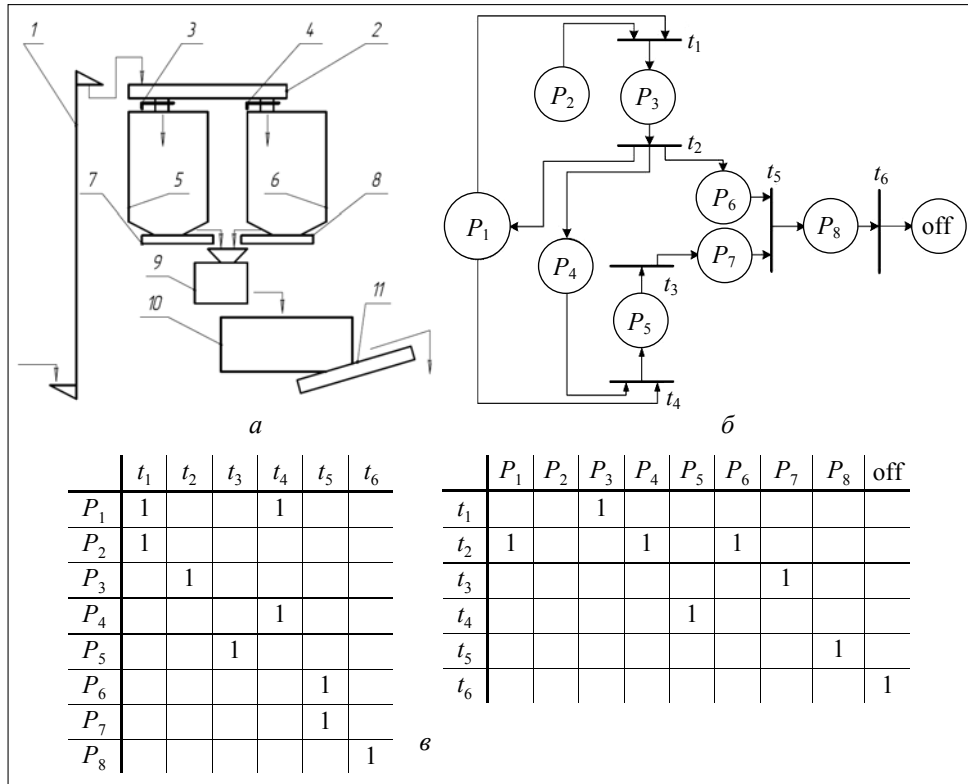


Рис. 2. Моделювання ТП виробництва комбікорму: а — технологічна схема комплексу періодичної дії (1 — норія; 2 — розподільчий шнек; 3–4 — засувка; 5–6 — бункер компоненту; 7–8 — дозатор; 9 — дробарка; 10 — змішувач; 11 — вивантажувач); б — модель ТП 1-го рівня, в — матриця інцидентності моделі 1-го рівня

Дворівнева структурована МП відповідає ТС модельованого ТК та складається з двох рівнів. Перший рівень визначає послідовність технологічних операцій, що містить складені переходи, розкрита множина яких представляє другий рівень — рівень операцій. Топологією першого рівня визначається послідовність 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 [11].

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, що 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 із традиційних алгоритмів керування технологічним обладнанням.

РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

Використання матриць інцидентності дозволяє реалізувати ряд сервісних функцій контролю стану ТП та елементів ТК на основі контролю тривалості роботи виконавчих механізмів (транспортів, засувки) та часу спрацювань датчиків (рівень, положення засувки) — таймінг [7]. Аналіз даної інформації 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.

У 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 унеможливує надання об'єктивних та достовірних висновків про техніко-технологічну значущість відхилень. Враховуючи незалежний характер даних можна прийняти значення t таким, яке відповідає критерію Стьюдента (при довірчій ймовірності 0,05 $t = 1,96$).

Для розрахунку $S_{\text{АЧХ}}$ 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 [12]:

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

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

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

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

де y_i — масив вхідних значень, N — кількість рівних частин, на які поділено період T .

Тоді визначення площі АЧХ матиме вигляд

$$S_{\text{АЧХ}} = \int_0^N y(t) dt,$$

або у контексті поточних дискретних даних датчиків та виконавчих механізмів

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

Методика обробки вхідних даних така: формувались вибірки об'ємом 2^2 . Отримані сукупності нормувались відносно середньоарифметичного. До сукупності додається час $N + 1$, який нормується відносно середнього арифметичного еталонної сукупності. Розраховувався t (1) та обчислювалась $S_{\text{АЧХ}_n}$ (6) для сукупності $[2, N + 1]$. Отримана множина даних $(t, S_{\text{АЧХ}_n})$ сортувалась та визначався коефіцієнт кореляції за стандартною методикою.

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ АСК

Згідно з метою досліджень було розроблено ПЗ (рис. 3, а) [13], 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].

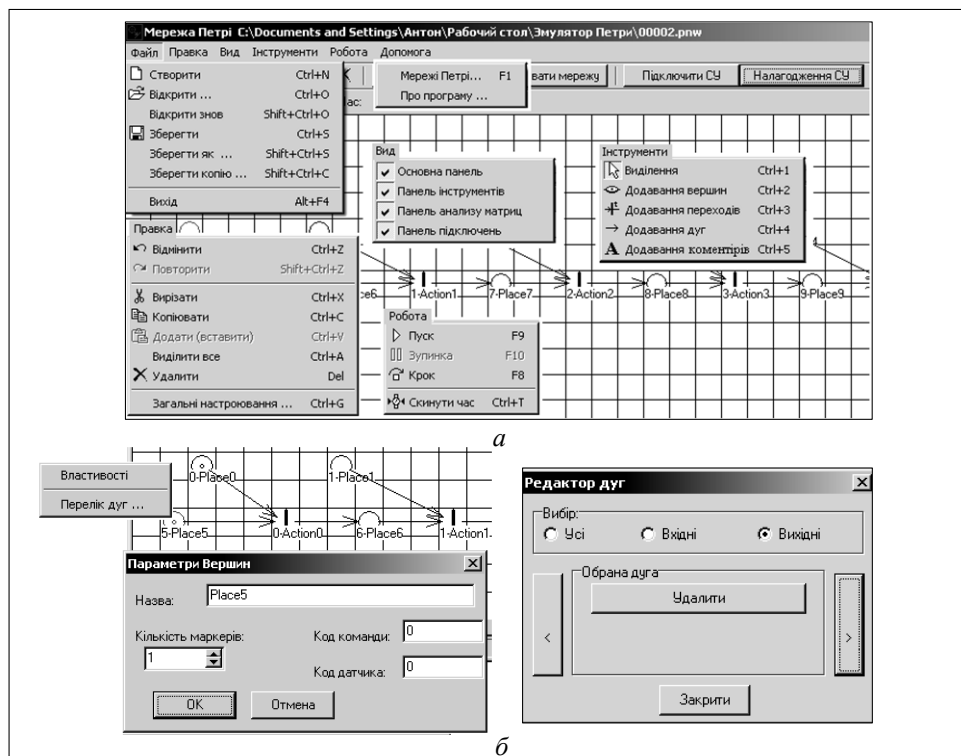


Рис. 3. Діалогові вікна «MiniAPSCCombi»: а — головна форма та розгорнутий вигляд верхнього меню; б — редагування параметрів елементів МП — вузлів

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 настроювань АСК без участі програміста. На основі даного ПЗ здійснено відпрацювання алгоритмів оцінки функцій таймінгу виконавчих механізмів й датчиків окремо та в цілому технологічного комплексу.

Виробничі випробування було виконано на базі комбікормового 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 Стьюдента (1) із $S_{\text{дчхн}}$ 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 ефекти досягаються 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 Стьюдента (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 АСК ТП у сільському господарстві та промисловості, які реалізуються на ТК із дискретним режимом роботи обладнання та/або виконавчих механізмів, а також використані у вітчизняній SCADA-системі з інтегрованими функціями проектування ТК, керування виробництвом та підприємством.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мусин А.М., Ерков А.А. Компьютерный анализ и синтез систем управления сельскохозяйственными объектами // Техника в сельском хозяйстве. — 1998. — №2. — С. 15–19.

2. *Диордиев В.Т.* Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством // Пр. ТДАТУ. — Мелітополь: ТДАТУ. — 2010. — Вип. 10, Том 10. — С. 14–21.
3. *Лысогор В.Г., Скидан Ю.Я.* Автоматизация — не роскошь, а необходимый компонент успеха современного производства // Хранение и переработка зерна. — 2001. — №2. — С. 61–65.
4. *Банди Б.* Методы оптимизации. Вводный курс / Пер. с англ. О.В. Шихеевой. — М.: Радио и связь, 1988. — 128 с.
5. *Згуровський М.З., Панкратова Н.Д.* Основи системного аналізу. — К.: Вид. гр. ВНУ, 2007. — 544 с.
6. *Диордієв В.Т., Кашкар'юв А.О.* Використання мереж Петрі для моделювання технологічного процесу приготування комбікормів // Вісн. ЛНАУ: Агроінженерні дослідження. — Л.: Львів. нац. аграр. ун-т, 2008. — Т. 2., №2 — С. 55 – 61.
7. *Диордієв В.Т., Кашкар'юв А.О.* Методика експериментальних досліджень АСУ комплексом виробництва комбікормів // Пр. ТДАТУ. — Мелітополь: ТДАТУ. — 2010. — Вип. 10, Т. 9. — С. 187–193. — http://nbuv.gov.ua/portal/Chem_Biol/Ptdau/2010_10_9.
8. *Глухов Ф.В.* Сравнение SCADA-систем по соотношению «цена/качество». — http://www.adastra.ru/reports/expo10/gluhov-SCADA_comparison_.htm.
9. *Деменков Н.П.* К вопросу о сравнительном анализе и тенденциях развития SCADA-систем — http://www.adastra.ru/reports/expo9/Demenkov-SCADA_trends_and_benchmarks.htm.
10. *Густав Олссон, Пиани Джангуидо.* Цифровые системы автоматизации и управления. — СПб.: Невский Диалект, 2001. — 557 с.
11. *Пат. №54511* Україна. МПК⁹ A23N 17/00, G06Q 10/00. Спосіб автоматизованого керування технологічним процесом виробництва комбікорму / В.Т. Диордієв, А.О. Кашкар'юв / Заявник та власник патенту Таврійський державний агротехнологічний університет. — № u201006332; заявл. 25.05.2010; опубл. 10.11.2010, бюл. № 21/2010.
12. *Сергиенко А.Б.* Цифровая обработка сигналов. — СПб.: Питер, 2003. — 604 с.
13. *Диордієв В.Т., Кашкар'юв А.О.* А.с. 36841 України. Комп'ютерна програма «MiniAPCSCombi» / Заявник та власник ТДАТУ. — № 37087; заявл. 08.12.2010; опубл. 08.02.2011.

Надійшла 17.05.2011