

ТАЙМІНГ ДАТЧИКІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ВИРОБНИЦТВА КОМБІКОРМУ ЯК СЕРВІСНА ФУНКЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА БАЗІ МЕРЕЖ ПЕТРІ

В.Т. Діордієв, А.О. Кашкар'єв
Таврійський державний агротехнологічний університет
Україна, пр. Б. Хмельницького 18, м. Мелітополь, 72315
Тел.: (0619) 42-57-97

Annotation - The results of theoretical studies of the service functions in the automatic control system for the production of mixed-fodder are presented in this tissue. We describe the possibility of identifying the condition of the equipment with Petri nets using. In this connection, it is proposed to apply "timing" of sensors based on the matrix definition of Petri nets.

Key words - automatic control system, Petri nets, timing, mixed-fodder.

Вступ. Використання сучасних технологій у виробництві комбінованих кормів необхідно здійснювати з урахуванням можливостей елементної бази і тенденцій до модульного проектування електротехнологічних комплексів виробництва комбікорму (ЕТКВК). Це забезпечить універсальність програмної та апаратної реалізації автоматичної системи управління технологічним процесом (АСУТП) комплексу виробництва комбікорму, спростити модернізацію технологічної схеми та її узгодження із схемою управління, підвищити інформативність сигналів (можливе зменшення кількості датчиків) і функціональність системи управління в цілому.

Аналіз джерел інформації. В результаті аналізу літературних джерел та технологічних схем була акцентована увага на математичному апараті мереж Петрі (МП), який застосовується для моделювання паралельних процесів, і складається з чітко визначених елементів, котрі досить вдало підходять для опису взаємодії елементів ЕТКВК [1, 4].

Подальше поглиблення у вивченні даного матеріалу дозволило скласти дворівневу модель виробництва комбікорму на електротехнологічних комплексах [1], яка описується матрицями інцидентності та має вільну мову відповідно до структури мережі. У контексті об'єкта моделювання – реалізується послідовне транспортування, завантаження компонентів, дозування, переробка (подрібнення, змішування та ін.) та ряд сервісних функцій АСУТП, спрямованих на підвищення надійності, елементів технологічного комплексу та його роботи в цілому.

Ми вважаємо, що має сенс розглядати таймінг спрацювання датчиків комплексу як інформативний сигнал в АСУТП на базі МП. Пропозиція ґрунтується на припущенні наявності інформативності таймінгу технологічного обладнання і датчиків, що у нормальному режимі експлуатації статистично незначуще залежить від властивостей компонентів комбікорму. Така можливість є у насичених датчиками сучасних АСУТП, які відбивають поточний стан технологічного обладнання (вкл/викл) і транспортних маршрутів компонентів комбікормів (рівень у бункерах) та матричному представленні МП. У такому випадку, достовірна інформація про поточний стан елементів ЕТКВК та комплексу в цілому буде наявною за визначенням, що дозволить ефективніше використовувати АСУТП на сучасній елементній

базі та підвищити надійність експлуатації комплексу.

Мета публікації. Метою публікації є висвітлення теоретичних досліджень стосовно можливості оцінки поточного стану елементів ЕТКВК та технологічного процесу при організації АСУТП на базі сучасних засобів збору й обробки інформації (оцінка стану на основі вимірювань). При використанні МП, на стадії проектних робіт, пропонується застосувати її матричне представлення для дослідження інформативності таймінгу спрацювання датчиків.

Основна частина. Як вже було зазначено вище МП дозволяє реалізувати певні переваги під час проектування та реалізації АСУТП ЕТКВК. Але, що вони супроводжуються великою кількістю додаткової, іноді зайвої, інформації: матриці інцидентності відповідно до переліку простих та складних переходів певних рівнів моделі; дерево покриття, вільна мова та ін. З одного боку, ця інформація апріорно необхідна для формалізації самої мережі на стадії проектування, а з іншого боку, ця інформація є зайвою при реалізації та експлуатації АСУ, але вона залишається наявною [4].

Поширені АСУТП виробництва комбікорму мають певні недоліки: орієнтацію на перелік основних функцій, необхідних для експлуатації ЕТКВК: дискретне управління робочими машинами, контроль та візуалізація поточного стану датчиків, формування звітності для бухгалтерії. Забезпечення роботи цих функцій є необхідним мінімальним переліком, що дозволяє використовувати ЕТКВК у сучасних ринкових умовах, але функціональні можливості та обчислювальні потужності засобів автоматизації мають на багато більший потенціал.

При аналізі журналу несправностей комбікормових підприємств та співбесіди з обслуговуючим персоналом було визначено, що більшість аварійних ситуацій можна було б уникнути при дотриманні планового обслуговування та попереджувального ремонту. Враховуючи важкість оцінки економічної ефективності заходів з обслуговування технологічного обладнання, часто приймається рішення про нехтування нормами обслуговування. Як наслідок, ремонт обладнання виконується після аварії, що супроводжується зниженням коефіцієнта використання обладнання, псуванням компонентів комбікорму та готового продукту і загрозою зниження безпеки праці.

Також, необхідно враховувати, що автоматизація звітності поточного стану технологічного процесу, рестрація часових діаграм роботи обладнання,

велика кількість методів індикації та сигналізації подій – далеко не повний перелік можливостей АСУТП, виконаній на сучасній елементній базі.

Повільний розвиток даного напрямку пояснюється економічною ефективністю виконання проектних робіт та експлуатації ЕТКВК. З позиції проектно-організації – забезпечується оптимальне співвідношення витрат на розробку базових функцій АСУТП, які дозволяють замовнику експлуатувати комплекс. З іншого боку – замовник отримує АСУТП комплексом виробництва комбікорму готову до експлуатації за зниженою вартістю. Саме тому питанню таймінгу датчиків не було приділено більше уваги, як засобу отримання інформації.

Доцільність та економічна ефективність пропозиції обумовлена підвищенням надійності роботи як АСУТП так і ЕТКВК, що дозволить оптимізувати обслуговування системи управління та зменшити поточні витрати та збитки від аварійних ситуацій.

Огляд та вивчення методів реалізації деяких характеристики технічної системи (керованість, можливість спостереження та оцінку) дозволив відзначити їх взаємний зв'язок, а можливість оцінки параметрів технологічного процесу та стану елементів ЕТКВК можна вважати потенційно існуючою функцією будь-якої керованої АСУТП, яка забезпечує динамічне представлення ходу ТП. Роботу алгоритму оцінки можна зобразити графічно (рис. 1). Отже, оцінка є нічим іншим, як комп'ютерною моделлю технічного та технологічного процесів, котра регулярно коректується на основі поточних вимірювань.

Отже, можливість спостереження характеризує можливість отримати інформацію про всі стани системи X на основі вхідних сигналів Y . Можливість спостереження також гарантує, що можна знайти необхідну матрицю K таку, що $\tilde{X}(kh)$ (абсолютна похибка дискретного вимірювання з кроком h) прямує до 0 як завгодно швидко. Якщо можливість спостереження відсутня, то це означає, що деякі стани

або частини системи фізично відокремлені від виходу процесу і тому не відбивається у вимірюваннях та система не є керованою за висунутими вимогами.

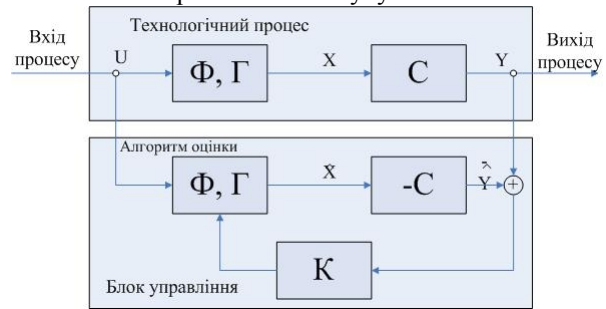


Рис. 1. Оцінка параметру або вектору стану X ТП чи елементу ЕТКВК: U – керуючі впливи; Y – вимірювання; \hat{X} – розрахований параметр або вектор стану; Φ, Γ, C – матриці коефіцієнтів нелінійних та зведених до лінійних кореляційних функцій; K – матриця поправочних коефіцієнтів.

Під час аналізу технологічних схем ЕТКВК та їх АСУТП, був проаналізований перелік параметрів, які необхідні для нормального функціонування комплексу, та розробки наявних датчиків, які необхідні для їх представлення в системі управління (табл. 1).

З таблиці 1 видно, що технологічний процес та стан елементів ЕТКВК достатньо повно представлено засобами вимірювання та сполучення їх із системою управління, тому питання про розробку нових датчиків для реалізації контролю часу спрацювання та оцінювання поточного стану ТП не постає. Тому, необхідно зосередити увагу на обґрунтуванні та розробці алгоритмічного забезпечення функцій оцінки.

У попередніх роботах пропонувалось використання функцій оцінки на базі аналізу навантажувальної діаграми приводного двигуна транспортеру за допомогою дискретного перетворення Фур'є (ДПФ) [2]. З метою уникнення ускладнення математичного апарату приймаємо рішення про використання ДПФ для оцінки таймінгу датчиків.

Таблиця 1.

Параметри технологічного процесу ЕТКВК, які підлягають контролю, реєстрації та управлінню

Елемент ЕТКВК	Сигнал		Функції які виконуються		
	DC	AC	контроль	реєстрація	управління
Бункер: приймальний оперативний готової продукції	+	-	Верхній і нижній рівні компонентів та готової продукції	Завантаження бункеру певним компонентом	Рівень, привод засувки
Розподіл компонентів по бункерах: приймальних оперативних	+	-	Положення розподільника, наповненість бункерів	Розподіл компонентів по бункерах	Привод розподільника та транспортерів
Дробарка: дозування завантаження приводу вивантаження	+	+	Подача, крупність помелу, струм навантаження приводу	Навантажувальна діаграма приводу	Привод перекидних клапанів, регулювання подачі
Змішування: дозування тривалість процесу якість змішування	+	+	Завантаження, тривалість та рівномірність змішування, вологість корму	Тривалість змішування	Привод змішувача та засувки
Гранулювання: завантаження приводу температура матриці рівень в охолоджувачі	+	+	Температура матриці, завантаження приводу, рівень продукту у охолоджувачі	Навантажувальна діаграма приводу гранулятора	Завантаження, розмір гранул та їх гранулометричний склад
Готова продукція: зберігання відпустка	-	+	Положення перекидного клапана, кількість відпущеної продукції	Відпуск готової продукції за видом і кількістю	Привод перекидного клапану, вивантажувача

Стосовно переліку датчиків, час спрацювання яких підлягатиме контролю, звернемо увагу на дискретні датчики рівня у бункерах зберігання компонентів та готової продукції і датчиках положення засувки, як найбільш простих, розповсюджених і обов'язкових за наявністю.

Очевидно, що час спрацювання датчиків рівня в бункерах залежить від конструктивних особливостей і геометричних розмірів бункерів та транспортерів (постійної складової), а також від особливостей компоненту або готової продукції з огляду на вологість, коефіцієнти внутрішнього та зовнішнього тертя при наспіванні у бункери та коливання продуктивності транспортуючих засобів – динамічної складової, яка може коливатись з-за зміни властивостей компоненту, умов та режиму роботи приводного обладнання.

Для відпрацювання методики оцінки таймінгу датчиків рівня пропонується, у першому наближенні, використати загальні (довідкові) формули визначення продуктивності транспортерів ЕТКВК (норія, шнек) та потужності їх приводного електродвигуна [2]. В результаті аналізу продуктивності зазначених елементів ЕТК ясно, що при коливанні властивостей компонентів комбікорму змінюється і продуктивність розглянутих елементів, що повинно враховуватись АСУТП.

При відокремленні параметрів, котрі відображають конструктивні особливості технологічних елементів, тобто їх можна позначити як константи, можна отримати наступний вигляд формул:

$$\text{норія: } Q_{\text{т.н.}} = K_n \cdot \psi \cdot \gamma \cdot V_n, \quad (1)$$

$$\text{шнек: } Q_{\text{т.ш.}} = K_m \cdot k_v \cdot \gamma \cdot n, \quad (2)$$

де K_n – коефіцієнт, який характеризує конструктивні особливості норії;

K_m – коефіцієнт, який характеризує конструктивні особливості шнека;

V_n – швидкість руху стрічки, м/с;

ψ – коефіцієнт заповнення ковшів;

γ – об'ємна маса матеріалу, кг/м³;

n – частота обертання шнека, об/хв;

Отже, з огляду на конструктивні особливості відповідних елементів комплексу, маємо три лінійні функції, коефіцієнти яких виступають у якості кута нахилу цих ліній, що відбиває чутливість відповідного елемента ЕТКВК до зміни властивостей компоненту або режиму роботи приводного електродвигуна.

Відповідно до ідеї таймінгу датчиків головне місце займає визначення реальної продуктивності відповідного технологічного елемента від початку включення або завантаження до номінального режиму або спрацювання датчика відповідного рівня. Математично це можна виразити як площу визначеного інтегралу функції параметру контролю відповідного датчика продуктивності, або формулою:

$$Y = K \int_0^{t_x} Y(t) dt, \quad (3)$$

де Y – функція контрольованого параметру;

K – конструктивний коефіцієнт, враховує параметри обладнання;

t_x – час спрацювання датчика, шуканий параметр.

Як вже було зазначено вище, для визначення можливості практичного застосування приймаємо за

параметр, який підлягає контролю та аналізу – продуктивність Q . Враховуючи, що продуктивність елементів ЕТКВК складається з перехідної та сталої складової формула (3) матиме вигляд:

$$Q = \int_0^{t_1} Q_n(t) dt + \int_0^{t_x - t_1} Q_c(t) dt \quad (4)$$

де t_1 – тривалість перехідного процесу, с.

У випадку моделювання продуктивності норії та шнеку перехідна складова матиме ланку чистого запізнення, обумовлену поступовим пересуванням компоненту, як на початку подачі, так і у випадку припинення подачі компоненту. У першому наближенні (припускаємо можливість не враховувати особливості роботи обладнання у перехідних режимах) чисте запізнення можна представити так:

$$\text{норія: } t_{3.н.} = \frac{H}{v_n} \quad (5)$$

$$\text{шнек: } t_{3.ш.} = \frac{60 \cdot L}{S \cdot n} \quad (6)$$

де H – висота норії, м;

L – довжина шнеку, м.

Під час оцінки часу спрацювання датчиків положення засувки та перекидних клапанів, необхідно враховувати гідравлічний радіус, який безпосередньо залежить від характеристик компоненту комбікорму (сводоутворення). З джерел інформації величина гідравлічного радіусу значно менша за площу перерізу вікна, а максимальне навантаження електропривод засувки отримує при відкритті заповненого бункеру. Отже, для наближеного розрахунку часу спрацювання датчиків положення необхідно враховувати наповненість бункеру, тривалість зберігання компоненту, його здатність до злежування. Пропонується у першому наближенні час спрацювання датчиків приймати за паспортними даними засувки або за формулою:

$$t_3 = \frac{S_{\text{вікна}}}{v_r} \quad (7)$$

де $S_{\text{вікна}}$ – площа вікна, м;

v_r – швидкість відкриття засувки, м²/с.

Зіставлення теоретичного і практичного матеріалу, дозволяє зробити можливим нехтування перехідною складовою, яка визначається через ідентифікацію відповідних змінних $V_{n.л.}(t)$ та $n_{n.ш.}(t)$. Така можливість пов'язана з тим, що прийнятий розрахунок запізнення робить не доцільним теоретичну деталізацію тривалості перехідного процесу.

Для подальшого обґрунтування і моделювання таймінгу датчиків в ЕТКВК приймаємо формули [2]:

$$Q_{\text{т.н.}} = K_n \cdot \psi \cdot \gamma \cdot \int_0^{t_x - t_{3.н.}} V_n(t) dt, \quad (8)$$

$$Q_{\text{т.ш.}} = K_m \cdot k_v \cdot \gamma \cdot \int_0^{t_x - t_{3.ш.}} n(t) dt. \quad (9)$$

Шуканою є величина t_x . Згідно представлених виразів, у першому наближенні, t_x буде визначатись за формулами:

$$\text{норія: } t_x = t_{3.н.} + \frac{Q_{\text{т.н.}}}{K_n \cdot \psi \cdot \gamma \cdot V_{c.л.}}, \quad (10)$$

$$\text{шнек: } t_x = t_{3.ш.} + \frac{Q_{\text{т.ш.}}}{K_m \cdot k_v \cdot \gamma \cdot n_c}. \quad (11)$$

де $V_{с.л.}$ – стале значення швидкості стрічки норії;
 v_c – стале значення швидкості обертання валу шнека, об/хв.;

Ці спрощені формули дозволяють виконати необхідний набір статистичних операцій для визначення доцільності та напрямків подальших досліджень. Найвність перехідної складової показує складність та невизначеність запропонованого методу.

У випадку аналізу таймінгу датчиків необхідно визначити належність поточного значення до нормального або такого, що потребує уваги оператора – аварійного. Отже для оцінки часу спрацювання датчиків необхідно створити базу значень часу їх спрацювань, що відбиватиме нормальний хід - технологічного процесу виробництва комбікорму – базу еталонних даних (БЕД). Значення у БЕД повинні бути наближеними до нормального закону розподілу. Тому коло подальших теоретичних досліджень необхідно вести спираючись на саме цей закон розподілу.

Наповнення БЕД виконується на стадії проектування самого ЕТКВК, з урахуванням конструктивних особливостей елементів. На стадії експлуатації АСУ – на початку виробництва відбувається «навчання» АСУТП, під час якого експертом здійснюється уточнення значень бази даних та перевірка теоретичних знань та адекватності результатів моделювання.

З метою уникнення ускладнення математичного апарату АСУТП ЕТКВК оцінку таймінгу пропонується виконувати за допомогою ДПФ. Тому необхідно дослідити вплив деяких параметрів статистичного розподілу на результат виконання ДПФ. Мова йдеться про дисперсію, асиметрію, ексцес та їх вплив на результат виконання перетворення Фур'є – амплітудно-частотну характеристику (АЧХ).

При дослідженні впливу дисперсії та ексцесу вимоги до розподілу значень у БЕД такі: об'єм вибірки повинен бути однаковим, розподіл сформований згідно нормального закону. Графічне представлення теоретичних даних та результату виконання ШПФ приведено на рис. 2.

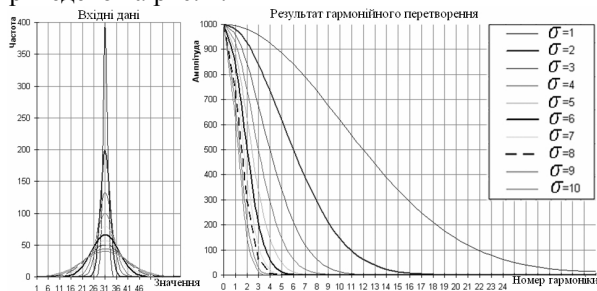


Рис. 2. Варіювання стандартного відхилення при побудові БЕД та його вплив на АЧХ ДПФ.

Аналізуючи графічні залежності можна дійти до таких висновків: у випадку належності експериментальних даних до нормального розподілу графік амплітуд повинен мати монотонний спадаючий характер; дисперсію та ексцес вибірки можна інтерпретувати через площу графіку амплітуд частот: залежність між дисперсією вибірки та площею обмеженою АЧХ є обернено пропорційною.

У випадку дослідження впливу асиметрії розподілу вимоги до теоретичних даних будуть такі: об'єм вибірки, середнє арифметичне та стандартне відхи-

лення повинні бути рівними у всіх вибірках (рис. 3). В результаті аналізу АЧХ можна дійти до висновку, що на результат ДПФ впливає тільки модульне значення асиметрії, а при достатньо великому значенні спостерігаються додаткові екстремуми – з'являється точка перегину АЧХ.

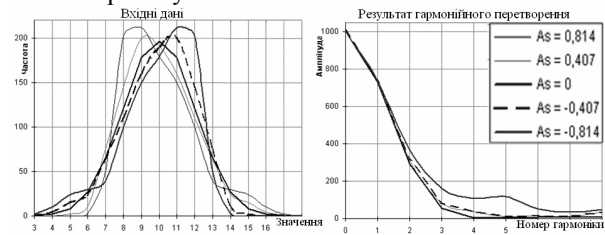


Рис.3. Графічне зображення результатів обробки вхідних даних для оцінки впливу асиметрії на АЧХ ДПФ

В результаті вивчення АЧХ (рис. 2, рис. 3) можна сформулювати базовий алгоритм щодо практичного використання таймінгу (рис. 4).

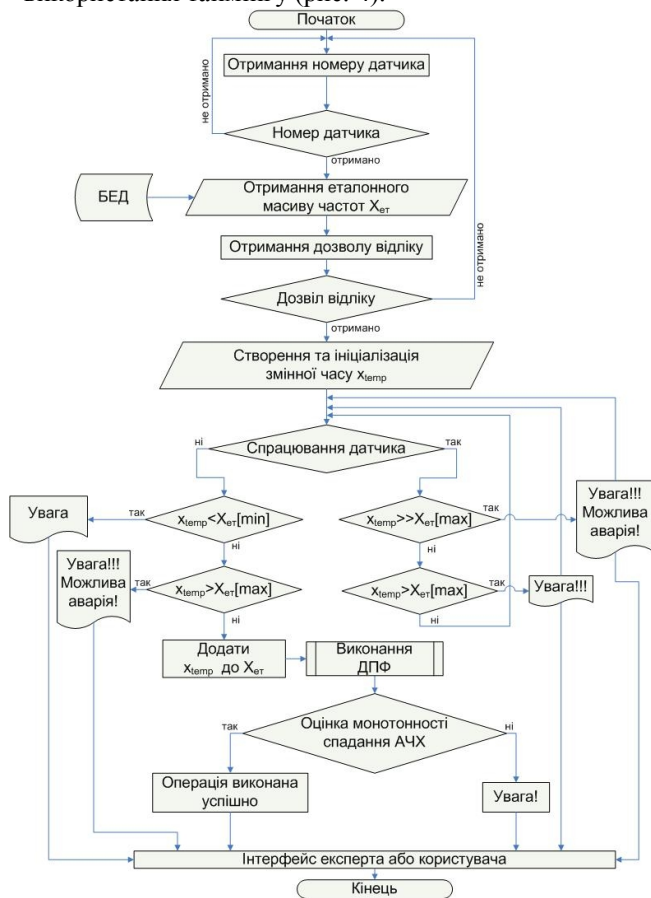


Рис. 4. Алгоритм використання таймінгу

З метою практичних випробувань запропонованого методу складена модель завантажувально-розвантажувальної ділянки ЕТКВК (рис. 5 і 6), та виконані пробні експерименти, які підтвердили доцільність поглиблення роботи у даному напрямку [1].

По головних діагоналях матриць інцидентності моделей складених переходів (рис.6) буде знаходитись «1» при формалізації самої МП [4]. Відповідно, для формування експертної БЕД у цих комірках матриці будуть знаходитись адреси еталонних та виробничих масивів, на базі яких буде виноситись висновок про стан роботи елементів та етапів ТП ЕТКВК.

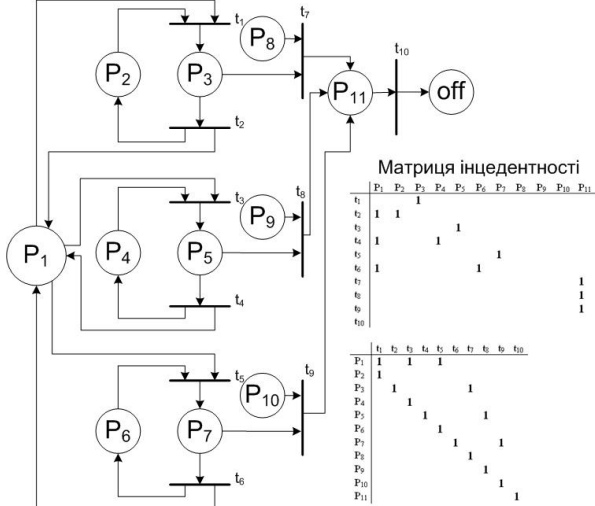
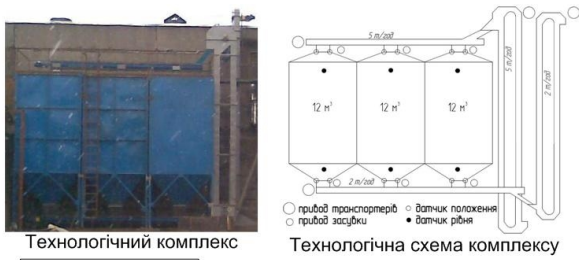


Рис. 5. Технологічна схема завантажувально-розвантажувальної ділянки ЕТКВК та її модель у МП

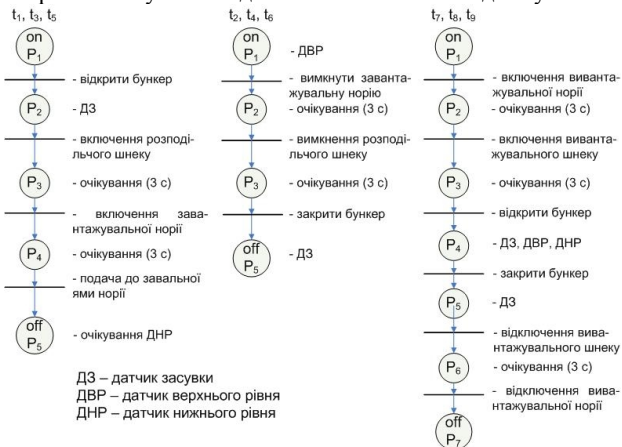


Рис. 6. Складені переходи моделі ТП

Стосовно варіантів подальшої можливості використання даної інформації, то планується виконувати дослідження у напрямку оцінки загальносистемної ефективності роботи ЕТКВК, яка в значній мірі залежить від ефективності динамічного функціонування. Запропоноване алгоритмічне забезпечення, з теоретичної точки зору, значно спрощує застосування різних математичних засобів, методів управління і регулювання параметрів та режимів енерготехнологічного устаткування у формі спеціалізованих програм.

Найважливішою характеристикою динаміки функціонування системи є ПВР (повнота використання матеріально-технічних ресурсів) [3]. Такий показник може бути визначений на основі процесів кругообігу ресурсу, що бере участь в технологічному процесі і процесах тих, що його забезпечують (рис. 7) і представлений у вигляді математичної залежності [3]:

$$\psi = \frac{\sum \tau_i m_i}{\left(\sum \tau_i m_i + \tau_i^* m_i^* \right)} = \frac{\sum \eta_i Q_i}{\sum Q_i} \quad (12)$$

де Q_i , η_i - відповідно кількість енергії, що витрачається, і коефіцієнт її використання в i -тій фазі процесу;

τ_i^* , τ_i - розрахункова і фактична тривалість i -тої фази процесу.

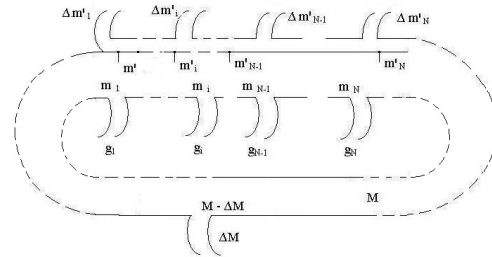


Рис. 7. Функціональна схема руху матеріальних та енергетичних ресурсів: m_i - кількість ресурсу i -ого етапу процесу з початкового об'єму і знов прийнятого; g_i - невикористані ресурси в i -му етапі процесу; Δm_i - кількість ресурсу, що поступає до i -го етапу; ΔM - не поворотні втрати матеріальних і енергетичних ресурсів.

Слід відзначити, що деякі параметри системи можна представити у вигляді рядів Фур'є, звідки представляється можливим виконати оцінку динамічної точності системи в режимі реального часу (при умові реалізації управління режимом роботи ЕТКВК).

Висновки. За результатами теоретичних досліджень визначено, що подальша розробка алгоритму оцінки тривалості спрацювань датчиків рівня окреслила коло питань, які потребують теоретичного та експериментального вирішення: обґрунтування об'єму БЕД; узгодження площі обмеженої АЧХ з дисперсією вибірки; формування бази правил можливих аварійних ситуацій та інше.

Слід зосередити увагу на можливості реалізації АСУТП виробництва комбікорму на електротехнологічному комплексі на базі мінімальної чисельності математичних функцій, що дозволить спростити математичний апарат АСУ. А також упровадити засоби контролю витрат ресурсів з мінімальною кількістю різномісних лічильників.

[1] Діордієв В.Т. Використання мереж Петрі для моделювання технологічного процесу приготування комбікормів/ В.Т. Діордієв, А.О. Кашкар'єв// Вісник Львівського національного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. - №12., Т2. - Львів: Львівський НАУ, 2008. - С. 55 - 61.

[2] Діордієв В.Т. Спосіб визначення витрати компоненту комбікорму під час експлуатації елементів технологічної лінії / В.Т. Діордієв, А.О. Кашкар'єв // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Вип. 87 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». - Харків: ХНТУСГ, 2009. - С 50-53.

[3] Енергетичні ресурси та потоки / [А.К. Шидловський, Ю.А. Віхорев, В.О. Чинайло та ін.]; під ред. А.К. Шидловського. - Київ: Українські енциклопедичні знання: Реднаут, 2003. - 472 с.

[4] Лескин А.А. Сети Петри в моделировании и управлении/ А.А. Лескин, П.А. Мальцев, А.М. Спиридонов. - Л.: «Наука», 1989. - 135 с.

Рекомендована до публікації д.т.н. Мунтяном В.О.